

Avaliação dos Aquíferos das Bacias  
Sedimentares da Província Hidrogeológica  
Amazonas no Brasil (escala 1:1.000.000) e  
Cidades Pilotos (escala 1:50.000)

Volume IV – Hidrogeoquímica da PHA

Tomo I – Aquíferos: Aluvial, Rio Branco, Içó  
e Tucunaré

Dezembro/2015

## **República Federativa do Brasil**

Dilma Vana Roussef

Presidenta

## **Ministério do Meio Ambiente**

Izabella Mônica Vieira Teixeira

Ministra

## **Agência Nacional de Águas**

### **Diretoria Colegiada**

Vicente Andreu Guillo - Diretor-Presidente

Gisela Forattini

João Gilberto Lotufo Conejo

Ney Maranhão

Paulo Lopes Varella Neto

## **Superintendência de Implementação e Programas e Projetos**

Ricardo Medeiros de Andrade

Tibério Magalhães Pinheiro

## **Coordenação de Águas Subterrâneas**

Fernando Roberto de Oliveira

Adriana Niemeyer Pires Ferreira

Fabício Bueno da Fonseca Cardoso (Gestor)

Leonardo de Almeida

Letícia Lemos de Moraes

Márcia Tereza Pantoja Gaspar

## **Comissão Técnica de Acompanhamento e Fiscalização**

Aline Maria Meiguins de Lima (SEMAS/PA)

Audrey Nery Oliveira Ferreira (FEMARH/RR)

Cléa Maria de Almeida Dore (FEMARH/RR)

Fabício Bueno da Fonseca Cardoso (ANA)

Fernando Roberto de Oliveira (ANA)

Flávio Soares do Nascimento (ANA)

Glauco Lima Feitosa (IMAC/AC)

Jane Freitas de Góes Crespo (SEMGRH/AM)  
José Trajano dos Santos (SEDAM/RO)  
Luciani Aguiar Pinto (SEMGRH/AM)  
Luciene Mota de Leão Chaves (SEMAS/PA)  
Marco Vinicius Castro Gonçalves (ANA)  
Maria Antônia Zabala de Almeida Nobre (SEMA/AC)  
Miguel Martins de Souza (SEMGRH/AM)  
Miguel Penha (SEDAM/RO)  
Nilza Yuiko Nakahara (FEMARH/RR)  
Olavo Bilac Quaresma de Oliveira Filho (SEMAS/PA)  
Vera Lucia Reis (SEMA/AC)  
Verônica Jussara Costa Santos (SEMAS/PA)

#### **Consórcio PROJETEC/TECHNE (Coordenação Geral)**

João Guimarães Recena  
Luiz Alberto Teixeira  
Antonio Carlos de Almeida Vidon  
Fábio Chaffin

#### **Gerência do Contrato**

Marcelo Casiuch  
Roberta Alcoforado

#### **Membros da Equipe Técnica Executora**

João Manoel Filho (Coordenador)  
Alerson Falieri Suarez  
Ana Nery Cadete  
Antonio Carlos Tancredi  
Carla Maria Salgado Vidal  
Carlos Danilo Câmara de Oliveira  
Cristiana Coutinho Duarte  
Edilton Carneiro Feitosa  
Fabianny Joanny Bezerra C. da Silva  
Maria de Fátima França de Moura  
Fernando Correia  
Joanderson James Oliveira Moraes

Ludmilla Calado  
Marcondes Assis  
Maria Marlúcia Freitas Santiago  
Mário Vicente Caputo  
Nelson da Franca Ribeiro dos Anjos  
Patrícia Celeste Lopes Jesuíno  
Paulo de Melo da Cunha Pedrosa  
Rilson Magalhães Cabral  
Roseli da Rocha Paixão de Almeida  
Rudson Fonseca  
Thiago Franklin de Almeida  
Wagner Vitor Araújo Ferreira  
Waldir Duarte Costa  
Walter Lucena  
Wilton José Silva da Rocha

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA

Avaliação dos Aquíferos das Bacias  
Sedimentares da Província Hidrogeológica  
Amazonas no Brasil (escala 1:1.000.000) e  
Cidades Pilotos (escala 1:50.000)

Volume IV - Hidrogeoquímica da PHA

Tomo I - Aquíferos: Aluvial, Rio Branco,  
Içá e Tucunaré

Dezembro/2015

Agência Nacional de Águas - ANA  
Setor Policial Sul, Área 5, Quadra 3, Bloco B, L e M  
CEP: 70610-200, Brasília - DF  
PABX: 2109-5400 / 2109-5252  
Endereço eletrônico: <http://www.ana.gov.br>

Equipe:  
Agência Nacional de Águas - ANA  
Superintendência de Implementação de Programas e Projetos - SIP

Elaboração e execução:  
Consórcio TECHNE- PROJETEC

Todos os direitos reservados  
É permitida a reprodução de dados e de informações, desde que citada a fonte.

Avaliação dos Aquíferos das Bacias Sedimentares da Província  
Hidrogeológica Amazonas no Brasil (escala 1:1.000.000) e  
Cidades Pilotos (escala 1:50.000).

Volume IV – Hidrogeoquímica da PHA.

Tomo I – Aquíferos: Aluvial, Rio Branco, Içá e Tucunaré

Brasília: ANA, SIP, 2015.

1. Recursos Hídricos
2. Província Hidrogeológica Amazonas
  - I. Agência Nacional de Águas
  - II. Consórcio TECHNE-PROJETEC

## APRESENTAÇÃO

O relatório final de Avaliação dos Aquíferos das Bacias Sedimentares da Província Hidrogeológica Amazonas (PHA) no Brasil (escala 1:1.000.000) e Cidades Pilotos (escala 1:50.000) é constituído dos seguintes volumes:

- Volume I – Balanço Hídrico da Província Hidrogeológica Amazonas
- Volume II – Geologia da Província Hidrogeológica Amazonas
- Volume III – Hidrogeologia e Modelo Numérico de Fluxo da Província Hidrogeológica Amazonas
  - ✓ Tomo I - Texto
  - ✓ Tomo II - Mapas
- Volume IV – Hidrogeoquímica da Província Hidrogeológica Amazonas
  - ✓ Tomo I - Aquíferos: Aluvial, Rio Branco, Içá e Tucunaré
  - ✓ Tomo II - Aquífero Alter do Chão, Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, Barreiras, Pirabas, Monte Alegre, Itaituba e Inominado (Cruzeiro do Sul)
- Volume V – Cidade Piloto: Macapá – AP
  - ✓ Tomo I - Texto
  - ✓ Tomo II - Mapas
- Volume VI – Cidade Piloto: Porto Velho – RO
  - ✓ Tomo I - Texto
  - ✓ Tomo II - Mapas
- Volume VII – Cidade Piloto: Rio Branco – AC
  - ✓ Tomo I - Texto
  - ✓ Tomo II - Mapas
- Volume VIII – Cidade Piloto: Santarém – PA
  - ✓ Tomo I - Texto
  - ✓ Tomo II - Mapas
- Volume IX – Cidade Piloto: Tabatinga – AM
  - ✓ Tomo I - Texto
  - ✓ Tomo II - Mapas
- Volume X – Proposta de Projeto para Proteção Ambiental e Gestão Sustentável das Águas Subterrâneas na Região Amazônica a ser Desenvolvido pelo Brasil e Países Vizinhos
- Volume XI – Banco de Dados
- Volume XII – Resumo Executivo

## SUMÁRIO

<b>1 - Introdução.....</b>	<b>44</b>
<b>1.1 – Objetivo do Estudo .....</b>	<b>45</b>
<b>1.2 – Critérios de seleção para as amostragens .....</b>	<b>48</b>
<b>1.3 – Procedimentos de Coleta .....</b>	<b>49</b>
<b>1.4 – Métodos de Análise .....</b>	<b>50</b>
<b>1.5 – Modelagem Geoestatística .....</b>	<b>51</b>
<b>1.6 – Modelagem Estatística de Parâmetros Físico-Químicos com Valores Abaixo do Limite de Detecção .....</b>	<b>53</b>
<b>1.7 - Balanço Iônico .....</b>	<b>56</b>
<b>1.8 - Índice de Troca de Bases (ITB).....</b>	<b>56</b>
<b>1.9 - Razões Iônicas .....</b>	<b>57</b>
<b>1.10 - Índice de Langelier .....</b>	<b>57</b>
<b>1.11 - Correlação entre Variáveis Hidrogeoquímicas.....</b>	<b>58</b>
<b>1.12 – Influência do Intemperismo Químico Regional na Qualidade das Águas Subterrâneas da Província Hidrogeológica Amazonas - PHA .....</b>	<b>59</b>
<b>2 – Parâmetros Usados na Avaliação Hidrogeoquímica das Águas dos Sistemas Aquíferos da PHA .....</b>	<b>61</b>
<b>2.1 - Cor.....</b>	<b>62</b>
<b>2.2 - Turbidez.....</b>	<b>62</b>
<b>2.3 – Condutividade Elétrica (CE) .....</b>	<b>62</b>
<b>2.4 – Temperatura .....</b>	<b>63</b>
<b>2.5 – Sólidos Totais Dissolvidos (STD) .....</b>	<b>63</b>
<b>2.6 – Potencial Hidrogeniônico (pH).....</b>	<b>64</b>
<b>2.7 – Potencial Redox (Eh) .....</b>	<b>64</b>
<b>2.8 – Cátions .....</b>	<b>65</b>
2.8.1 - Sódio .....	65
2.8.2 - Potássio .....	65
2.8.3 - Cálcio.....	65
2.8.4 - Magnésio .....	66
<b>2.9 – Ânions .....</b>	<b>66</b>
2.9.1 - Cloreto .....	66
2.9.2 - Sulfato.....	67
2.9.3 - Bicarbonato.....	67



<b>2.10 - Dureza</b> .....	<b>68</b>
<b>2.11 - Compostos Nitrogenados</b> .....	<b>68</b>
<b>2.12 - Ferro e Manganês</b> .....	<b>70</b>
<b>2.13 – Metais Pesados</b> .....	<b>74</b>
<b>2.14 – BTEX e Fenóis</b> .....	<b>77</b>
2.14.1 - BTEX .....	77
2.14.2 - Fenóis .....	78
<b>2.15 – Isótopos Ambientais</b> .....	<b>78</b>
2.15.1 – Oxigênio-18 e Deutério .....	78
2.15.2 – Trício .....	80
2.15.3 – Carbono-14 .....	80
<b>2.16 – Parâmetros Biológicos</b> .....	<b>81</b>
<b>3 – Hidrogeoquímica do Aquífero Aluvial</b> .....	<b>82</b>
<b>3.1 - Introdução</b> .....	<b>83</b>
<b>3.2 - Balanço Iônico</b> .....	<b>84</b>
<b>3.3 - Índice de Troca de Bases (ITB)</b> .....	<b>87</b>
<b>3.4 - Razões Iônicas</b> .....	<b>90</b>
<b>3.5 - Índice de Langelier</b> .....	<b>91</b>
<b>3.6 - Correlação entre Variáveis Hidrogeoquímicas</b> .....	<b>92</b>
<b>3.7 – Interpretação dos Resultados Analíticos das Águas Subterrâneas do Aquífero Aluvial</b> .....	<b>101</b>
3.7.1 - Cor .....	101
3.7.2 - Turbidez .....	103
3.7.3 - Condutividade Elétrica (CE) .....	104
3.7.4 - Temperatura .....	106
3.7.5 - Sólidos Totais Dissolvidos (STD) .....	107
3.7.6 - Potencial Hidrogeniônico (pH) .....	110
3.7.7 - Potencial Redox (Eh) .....	112
3.7.8 - Cátions .....	115
3.7.8.1 - Sódio .....	115
3.7.8.2 - Potássio .....	116
3.7.8.3 - Cálcio .....	118
3.7.8.4 - Magnésio .....	119
3.7.9 - Ânions .....	121

3.7.9.1 - Cloreto .....	121
3.7.9.2 - Sulfato .....	122
3.7.9.3 - Bicarbonato .....	124
3.7.10 - Dureza .....	125
3.7.11 - Compostos Nitrogenados .....	127
3.7.11.1 - Nitrato .....	127
3.7.11.2 – Nitrito .....	129
3.7.11.3 - Amônia .....	130
3.7.12 - Ferro e Manganês .....	131
3.7.12.1 - Ferro .....	131
3.7.12.2 - Manganês.....	133
3.7.13 – Metais Pesados .....	134
3.7.14 – BTEX e Fenóis.....	136
3.7.14.1 - BTEX.....	136
3.7.14.2 - Fenóis.....	136
3.7.15 – Isótopos Ambientais.....	137
3.7.15.1 – Oxigênio 18 e Deutério .....	137
3.7.15.2 – Trício.....	138
3.7.15.3 – Carbono 14 .....	139
3.7.15.4 - Conclusão.....	140
3.7.16 – Parâmetros Biológicos .....	141
3.7.17 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquífero Aluvial Segundo a Composição.....	142
3.7.17.1 – Diagrama Triangular de Piper .....	142
3.7.17.2 – Diagrama de Stiff .....	145
3.7.18 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquífero Aluvial Segundo o Uso .....	154
3.7.18.1 – Diagramas de Schoeller-Berkaloff para o Consumo Humano.....	154
3.7.18.2 – Diagramas de Risco de Sódio e Salinidade para Irrigação... ..	155
3.7.18.3 – Pecuária.....	158
3.7.19 - Conclusões Gerais sobre a Qualidade das Águas Subterrâneas do Aquífero Aluvial.....	159
<b>4 – Hidrogeoquímica do Aquífero Rio Branco .....</b>	<b>161</b>
<b>4.1 - Introdução .....</b>	<b>162</b>
<b>4.2 - Balanço Iônico .....</b>	<b>163</b>

<b>4.3 - Índice de Troca de Bases (ITB)</b> .....	<b>166</b>
<b>4.4 - Razões Iônicas</b> .....	<b>169</b>
<b>4.5 - Índice de Langelier</b> .....	<b>171</b>
<b>4.6 - Correlação entre Variáveis Hidrogeoquímicas</b> .....	<b>172</b>
<b>4.7 - Interpretação dos Resultados Analíticos das Águas Subterrâneas do Aquífero Rio Branco</b> .....	<b>181</b>
4.7.1 - Cor.....	181
4.7.2 - Turbidez.....	183
4.7.3 - Condutividade Elétrica (CE).....	184
4.7.4 - Temperatura .....	186
4.7.5 - Sólidos Totais Dissolvidos (STD).....	187
4.7.6 - Potencial Hidrogeniônico (pH) .....	191
4.7.7 - Potencial Redox (Eh).....	193
4.7.8 - Cátions.....	195
4.7.8.1 - Sódio .....	195
4.7.8.2 - Potássio.....	197
4.7.8.3 - Cálcio.....	198
4.7.8.4 - Magnésio .....	201
4.7.9 - Ânions.....	203
4.7.9.1 - Cloreto.....	203
4.7.9.2 - Sulfato .....	205
4.7.9.3 - Bicarbonato .....	207
4.7.10 - Dureza .....	208
4.7.11 - Compostos Nitrogenados .....	210
4.7.11.1 - Nitrato .....	210
4.7.11.2 - Nitrito .....	212
4.7.11.3 - Amônia .....	213
4.7.12 - Ferro e Manganês .....	215
4.7.12.1 - Ferro.....	215
4.7.12.2 - Manganês.....	216
4.7.13 – Metais Pesados .....	218
4.7.14 – BTEX e Fenóis.....	221
4.7.14.1 - BTEX.....	221
4.7.14.2 - Fenóis.....	222

4.7.15 – Isótopos Ambientais.....	222
4.7.15.1 – Oxigênio 18 e Deutério .....	222
4.7.15.2 – Trício.....	223
4.7.15.3 – Conclusão.....	224
4.7.16 – Parâmetros Biológicos .....	224
4.7.17 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquífero Rio Branco Segundo a Composição.....	226
4.7.17.1 – Diagrama Triangular de Piper.....	226
4.7.17.2 – Diagrama de Stiff .....	229
4.7.18 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquífero Rio Branco Segundo o Uso .....	240
4.7.18.1 – Diagramas de Schoeller-Berkaloff para o Consumo Humano.....	240
4.7.18.2 – Diagramas de Risco de Sódio e Salinidade para Irrigação... ..	242
4.7.18.3 – Pecuária.....	246
4.7.19 - Conclusões Gerais sobre a Qualidade das Águas Subterrâneas do Aquífero Rio Branco.....	246
<b>5 – Hidrogeoquímica do Aquífero Içá .....</b>	<b>249</b>
<b>5.1 - Introdução .....</b>	<b>250</b>
<b>5.2 - Balanço Iônico .....</b>	<b>251</b>
<b>5.3 - Índice de Troca de Bases (ITB).....</b>	<b>254</b>
<b>5.4 - Razões Iônicas .....</b>	<b>257</b>
<b>5.5 - Índice de Langelier .....</b>	<b>258</b>
<b>5.6 Correlação entre Variáveis Hidrogeoquímicas.....</b>	<b>259</b>
<b>5.7 - Interpretação dos Resultados Analíticos das águas subterrâneas do Aquífero Içá .....</b>	<b>268</b>
5.7.1 - Cor.....	268
5.7.2 - Turbidez.....	270
5.7.3 - Condutividade Elétrica (CE).....	271
5.7.4 - Temperatura .....	273
5.7.5 - Sólidos Totais Dissolvidos (STD).....	274
5.7.6 - Potencial Hidrogeniônico (pH) .....	277
5.7.7 - Potencial Redox (Eh).....	279
5.7.8 - Cátions.....	282
5.7.8.1 - Sódio .....	282
5.7.8.2 - Potássio.....	284

5.7.8.3 - Cálcio.....	285
5.7.8.4 - Magnésio .....	287
5.7.9 - Ânions.....	288
5.7.9.1 - Cloreto.....	288
5.7.9.2 - Sulfato .....	290
5.7.9.3 – Bicarbonato.....	292
5.7.10 - Dureza .....	293
5.7.11 - Compostos Nitrogenados .....	295
5.7.11.1 - Nitrato .....	295
5.7.11.2 – Nitrito .....	297
5.7.11.3 - Amônia .....	298
5.7.12 - Ferro e Manganês .....	300
5.7.12.1 - Ferro.....	300
5.7.12.2 - Manganês.....	301
5.7.13 – Isótopos Ambientais.....	303
5.7.13.1 – Oxigênio 18 e Deutério .....	303
5.7.13.2 – Trício.....	305
5.7.13.3 – Carbono 14 .....	306
5.7.13.4 - Conclusão.....	307
5.7.14 – Parâmetros Biológicos .....	308
5.7.15 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquífero Içá Segundo a Composição.....	309
5.7.15.1 – Diagrama Triangular de Piper.....	309
5.7.15.2 – Diagrama de Stiff.....	312
5.7.16 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquífero Içá Segundo o Uso .....	323
5.7.16.1 – Diagramas de Schoeller-Berkaloff para o Consumo Humano.....	323
5.7.16.2 – Diagramas de Risco de Sódio e Salinidade para Irrigação... ..	325
5.7.16.3 – Pecuária.....	328
5.7.17 - Conclusões Gerais sobre a Qualidade das Águas Subterrâneas do Aquífero Içá .....	329
<b>6 – Hidrogeoquímica do Aquífero Tucunaré.....</b>	<b>331</b>
<b>6.1 - Introdução .....</b>	<b>332</b>
<b>6.2 – O Fenômeno das Ressacas no Aquífero Tucunaré .....</b>	<b>333</b>
<b>6.3 - Balanço Iônico .....</b>	<b>334</b>

<b>6.4 - Índice de Troca de Bases (ITB)</b> .....	<b>337</b>
<b>6.5 - Razões Iônicas</b> .....	<b>340</b>
<b>6.6 - Índice de Langelier</b> .....	<b>342</b>
<b>6.7 - Correlação entre Variáveis Hidrogeoquímicas</b> .....	<b>343</b>
<b>6.8 - Interpretação dos Resultados Analíticos das águas subterrâneas do Aquífero Tucunaré</b> .....	<b>353</b>
6.8.1 - Cor.....	353
6.8.2 - Turbidez.....	356
6.8.3 - Condutividade Elétrica (CE).....	357
6.8.4 - Temperatura .....	359
6.8.5 - Sólidos Totais Dissolvidos (STD).....	360
6.8.6 - Potencial Hidrogeniônico (pH) .....	364
6.8.7 - Potencial Redox (Eh).....	365
6.8.8 - Cátions.....	368
6.8.8.1 - Sódio .....	368
6.8.8.2 - Potássio.....	369
6.8.8.3 - Cálcio.....	371
6.8.8.4 - Magnésio .....	373
6.8.9 - Ânions.....	375
6.8.9.1 - Cloreto.....	375
6.8.9.2 - Sulfato .....	377
6.8.9.3 - Bicarbonato .....	378
6.8.10 - Dureza .....	380
6.8.11 - Compostos Nitrogenados .....	382
6.8.11.1 - Nitrato .....	382
6.8.11.2 – Nitrito .....	384
6.8.11.3 - Amônia .....	385
6.8.12 - Ferro e Manganês .....	387
6.8.12.1 - Ferro.....	387
6.8.12.2 - Manganês.....	389
6.8.13 – Metais Pesados .....	390
6.8.14 – BTEX e Fenóis.....	394
6.8.14.1 - BTEX.....	394
6.8.14.2 - Fenóis.....	395

6.8.15 – Isótopos Ambientais.....	395
6.8.15.1 – Oxigênio 18 e Deutério .....	395
6.8.15.2 – Trício.....	396
6.8.15.3 – Carbono 14 .....	397
6.8.15.4 – Conclusão.....	398
6.8.16 – Parâmetros Biológicos .....	399
6.8.17 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquífero Tucunaré Segundo a Composição.....	400
6.8.17.1 – Diagrama Triangular de Piper.....	400
6.8.17.2 – Diagrama de Stiff.....	403
6.8.18 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquífero Tucunaré Segundo o Uso .....	413
6.8.18.1 – Diagramas de Schoeller-Berkaloff para o Consumo Humano.....	413
6.8.18.2 – Diagramas de Risco de Sódio e Salinidade para Irrigação... ..	415
6.8.18.3 – Pecuária.....	418
6.8.19 - Conclusões Gerais sobre a Qualidade das Águas Subterrâneas do Aquífero Tucunaré .....	419
<b>7 – Referências Bibliográficas .....</b>	<b>421</b>
<b>8 – ANEXOS .....</b>	<b>431</b>
<b>8.1 – Resultados Hidrogeoquímicos nas coletas de abril e outubro de 2012 do Aquífero Aluvial .....</b>	<b>432</b>
8.1.1 – Análises físico-químicas e microbiológicas realizadas no aquífero Aluvial durante a primeira campanha de amostragem de água no período chuvoso em abril de 2012.....	433
8.1.2 - Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas no aquífero Aluvial durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012. ....	434
8.1.3 - Análises de metais pesados, BTEX, fenóis e de isótopos ambientais realizadas no aquífero Aluvial durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012. ....	435
<b>8.2 – Resultados Hidrogeoquímicos nas coletas de abril e outubro de 2012 do Aquífero Rio Branco.....</b>	<b>436</b>
8.2.1 – Análises físico-químicas e microbiológicas realizadas no aquífero Rio Branco durante a primeira campanha de amostragem de água no período chuvoso em abril de 2012.....	437
8.2.2 – Análises físico-químicas e microbiológicas realizadas no aquífero Rio Branco durante a segunda campanha de amostragem de água no período chuvoso em abril de 2012.....	438

8.2.3 - Análises de metais pesados, BTEX, fenóis e de isótopos ambientais realizadas no aquífero Rio Branco durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012.....	439
<b>8.3 – Resultados Hidrogeoquímicos nas coletas de abril e outubro de 2012 do Aquífero Içá .....</b>	<b>440</b>
8.3.1 – Análises físico-químicas e microbiológicas realizadas no aquífero Içá durante a primeira campanha de amostragem de água no período chuvoso em abril de 2012. ....	441
8.3.2 - Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas no aquífero Içá durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012. ....	442
8.3.3 - Análises de metais pesados, BTEX, fenóis e de isótopos ambientais realizadas no aquífero Içá durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012. ....	443
<b>8.4 – Resultados Hidrogeoquímicos nas coletas de abril e outubro de 2012 do Aquífero Tucunaré .....</b>	<b>444</b>
8.4.1 – Análises físico-químicas e microbiológicas realizadas no aquífero Tucunaré durante a primeira campanha de amostragem de água no período chuvoso em abril de 2012. ....	445
8.4.2 - Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas no aquífero Tucunaré durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012. ....	446
8.4.3 - Análises de metais pesados, BTEX, fenóis e de isótopos ambientais realizadas no aquífero Tucunaré durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012.....	447
<b>8.5 – Protocolo de Guia de Coleta de Amostras Bioagri Ambiental .....</b>	<b>448</b>



## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1.1</b> – Quantitativos de poços analisados, cidades e seus respectivos aquíferos nas duas campanhas de amostragem na PHA. ....	47
<b>Tabela 1.2</b> – Parâmetros analisados, limites de detecção (LD) e valores numéricos adotados para estatística descritiva dos resultados das coletas nos Aquíferos da PHA nas duas campanhas. ....	54
<b>Tabela 1.3</b> – Estatística descritiva com 100% de valores abaixo do limite de detecção da cor, substituídos por um valor numérico. ....	55
<b>Tabela 1.4</b> – Distribuição de probabilidade da cor para 100% de valores abaixo do limite de detecção, substituídos por um valor numérico. ....	56
<b>Tabela 1.5</b> – Principais razões iônicas e seus significados segundo Hem (1985). ....	57
<b>Tabela 1.6</b> – Faixas do IS segundo Snoeyink & Jenkins (1980). ....	58
<b>Tabela 2.1</b> - Classificação das águas subterrâneas quanto ao STD, segundo Mcneely <i>et al.</i> (1979). ....	63
<b>Tabela 2.2</b> – Classificação das águas segundo a sua faixa de valor de dureza (Von Sperling, 2005). ....	68
<b>Tabela 2.3</b> - Valores Máximos Permitidos (VMP) de nitrato e nitrito para os usos preponderantes (Resolução CONAMA 396/2008). ....	70
<b>Tabela 2.4</b> – Valores Máximos Permitidos (VMP) de ferro e manganês para os usos preponderantes (Resolução CONAMA 396/2008). ....	71
<b>Tabela 2.5</b> - Valores Máximos Permitidos (VMP) de Arsênio, Bário, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Mercúrio, Níquel e Zinco, segundo a Portaria MS 2914/2011. ....	77
<b>Tabela 2.6</b> - Valores Máximos Permitidos (VMP) de Arsênio, Bário, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Mercúrio, Níquel e Zinco para os usos preponderantes (Resolução CONAMA 396/2008). ....	77
<b>Tabela 2.7</b> - Valores Máximos Permitidos (VMP) de Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos (BTEX), segundo a Portaria MS 2914/2011. ....	78
<b>Tabela 2.8</b> - Valores Máximos Permitidos (VMP) de Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos (BTEX) para os usos preponderantes (Resolução CONAMA 396/2008). ....	78
<b>Tabela 2.9</b> - Valores Máximos Permitidos (VMP) de Fenóis para os usos preponderantes (Resolução CONAMA 396/2008). ....	78
<b>Tabela 2.10</b> – Relação entre unidades de trício (U.T.) e idade das águas subterrâneas. ....	80
<b>Tabela 2.11</b> - Valores Máximos Permitidos (VMP) de microorganismos para os usos preponderantes (Resolução CONAMA 396/2008). ....	81

<b>Tabela 3.1</b> – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf para as amostras coletadas no aquífero Aluvial – abril de 2012.....	85
<b>Tabela 3.2</b> – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf para as amostras coletadas no aquífero Aluvial – outubro de 2012. ....	86
<b>Tabela 3.3</b> – Resultado do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no Aquífero Aluvial nas duas campanhas. ....	87
<b>Tabela 3.4</b> – Parâmetros estatísticos dos resultados do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no Aquífero Aluvial nas duas campanhas. ....	89
<b>Tabela 3.5</b> – Resultado das razões iônicas para as amostras coletadas no Aquífero Aluvial nas duas campanhas. ....	91
<b>Tabela 3.6</b> – Resultado do Índice de Saturação (IS) para as amostras coletadas no aquífero Aluvial, nas duas campanhas.....	92
<b>Tabela 3.7</b> – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Aluvial – abril de 2012. ....	93
<b>Tabela 3.8</b> – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Aluvial – outubro de 2012.....	97
<b>Tabela 3.9</b> – Estatística descritiva da Cor do Aquífero Aluvial no período chuvoso (Cor-1) - abril de 2012 e no período seco (Cor-2) – outubro de 2012. ....	102
<b>Tabela 3.10</b> – Distribuição de probabilidade da Cor do Aquífero Aluvial no período chuvoso (Cor-1) - abril de 2012 e no período seco (Cor-2) – outubro de 2012.....	102
<b>Tabela 3.11</b> – Estatística descritiva da Turbidez do Aquífero Aluvial no período chuvoso (Tu-1) - abril de 2012 e no período seco (Tu-2) – outubro de 2012. ....	103
<b>Tabela 3.12</b> – Distribuição de probabilidade da Turbidez do Aquífero Aluvial no período chuvoso (Tu-1) - abril de 2012 e no período seco (Tu-2) – outubro de 2012.....	104
<b>Tabela 3.13</b> – Estatística descritiva da Condutividade Elétrica do Aquífero Aluvial no período chuvoso (CE-1) - abril de 2012 e no período seco (CE-2) – outubro de 2012. ...	104
<b>Tabela 3.14</b> – Distribuição de probabilidade da Condutividade Elétrica do Aquífero Aluvial no período chuvoso (CE-1) - abril de 2012 e no período seco (CE-2) – outubro de 2012. ....	105
<b>Tabela 3.15</b> – Estatística descritiva da Temperatura (°C) do Aquífero Aluvial no período chuvoso (T-1) - abril de 2012 e no período seco (T-2) – outubro de 2012.....	106
<b>Tabela 3.16</b> – Distribuição de probabilidade da Temperatura (°C) do Aquífero Aluvial no período chuvoso (T-1) - abril de 2012 e no período seco (T-2) – outubro de 2012.....	107
<b>Tabela 3.17</b> – Valores de condutividade elétrica CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e sólidos totais dissolvidos STD ( $\text{mg}/\text{L}$ ) no aquífero Aluvial nas duas campanhas de amostragem. ....	108

<b>Tabela 3.18</b> – Estatística descritiva dos Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero Aluvial no período chuvoso (STD-1) - abril de 2012 e no período seco (STD-2) – outubro de 2012. ....	109
<b>Tabela 3.19</b> – Distribuição de probabilidade dos Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero Aluvial no período chuvoso (STD-1) - abril de 2012 e no período seco (STD-2) – outubro de 2012.....	110
<b>Tabela 3.20</b> – Estatística descritiva do pH <i>in situ</i> do Aquífero Aluvial no período chuvoso – abril de 2012 (pH-1) e no período seco – outubro de 2012 (pH-2).....	111
<b>Tabela 3.21</b> – Distribuição de probabilidade do pH <i>in situ</i> do Aquífero Aluvial no período chuvoso – abril de 2012 (pH-1) e no período seco – outubro de 2012 (pH-2). ....	111
<b>Tabela 3.22</b> – Estatística descritiva do Eh (mV) do Aquífero Aluvial no período chuvoso (Eh-1) - abril de 2012 e no período seco (Eh-2) – outubro de 2012.....	113
<b>Tabela 3.23</b> – Distribuição de probabilidade do Eh (mV) do Aquífero Aluvial no período chuvoso (Eh-1) - abril de 2012 e no período seco (Eh-2) – outubro de 2012. ....	114
<b>Tabela 3.24</b> – Estatística descritiva do Sódio do Aquífero Aluvial no período chuvoso (Na-1) - abril de 2012 e no período seco (Na-2) – outubro de 2012. ....	115
<b>Tabela 3.25</b> – Distribuição de probabilidade do Sódio do Aquífero Aluvial no período chuvoso (Na-1) - abril de 2012 e no período seco (Na-2) – outubro de 2012.....	116
<b>Tabela 3.26</b> – Estatística descritiva do Potássio do Aquífero Aluvial no período chuvoso (K-1) - abril de 2012 e no período seco (K-2) – outubro de 2012.....	117
<b>Tabela 3.27</b> – Distribuição de probabilidade do Potássio do Aquífero Aluvial no período chuvoso (K-1) - abril de 2012 e no período seco (K-2) – outubro de 2012. ....	118
<b>Tabela 3.28</b> – Estatística descritiva do Cálcio do Aquífero Aluvial no período chuvoso (Ca-1) - abril de 2012 e no período seco (Ca-2) – outubro de 2012. ....	118
<b>Tabela 3.29</b> – Distribuição de probabilidade do Cálcio do Aquífero Aluvial no período chuvoso (Ca-1) - abril de 2012 e no período seco (Ca-2) – outubro de 2012. ....	119
<b>Tabela 3.30</b> – Estatística descritiva do Magnésio do Aquífero Aluvial no período chuvoso (Mg-1) - abril de 2012 e no período seco (Mg-2) – outubro de 2012.....	120
<b>Tabela 3.31</b> – Distribuição de probabilidade do Magnésio do Aquífero Aluvial no período chuvoso (Mg-1) - abril de 2012 e no período seco (Mg-2) – outubro de 2012. ....	121
<b>Tabela 3.32</b> – Estatística descritiva do Cloreto do Aquífero Aluvial no período chuvoso (Cl-1) - abril de 2012 e no período seco (Cl-2) – outubro de 2012.....	121
<b>Tabela 3.33</b> – Distribuição de probabilidade do Cloreto do Aquífero Aluvial no período chuvoso (Cl-1) - abril de 2012 e no período seco (Cl-2) – outubro de 2012. ....	122
<b>Tabela 3.34</b> – Estatística descritiva do Sulfato do Aquífero Aluvial no período chuvoso (S-1) - abril de 2012 e no período seco (S-2) – outubro de 2012.....	123

<b>Tabela 3.35</b> – Distribuição de probabilidade do Sulfato do Aquífero Aluvial no período chuvoso (S-1) - abril de 2012 e no período seco (S-2) – outubro de 2012. ....	124
<b>Tabela 3.36</b> – Estatística descritiva do Bicarbonato do Aquífero Aluvial no período chuvoso (B-1) - abril de 2012 e no período seco (B-2) – outubro de 2012. ....	124
<b>Tabela 3.37</b> – Estatística descritiva da Dureza do Aquífero Aluvial no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) – outubro de 2012. ....	126
<b>Tabela 3.38</b> – Distribuição de probabilidade da Dureza do Aquífero Aluvial no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) – outubro de 2012. ....	127
<b>Tabela 3.39</b> – Estatística descritiva do Nitrato do Aquífero Aluvial no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012. ....	127
<b>Tabela 3.40</b> – Distribuição de probabilidade do Nitrato do Aquífero Aluvial no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012. ....	128
<b>Tabela 3.41</b> – Estatística descritiva do Nitrito do Aquífero Aluvial no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012. ....	129
<b>Tabela 3.42</b> – Distribuição de probabilidade do Nitrito do Aquífero Aluvial no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012. ....	130
<b>Tabela 3.43</b> – Estatística descritiva da Amônia do Aquífero Aluvial no período chuvoso (A-1) - abril de 2012 e no período seco (A-2) – outubro de 2012. ....	130
<b>Tabela 3.44</b> – Distribuição de probabilidade da Amônia do Aquífero Aluvial no período chuvoso (A-1) - abril de 2012 e no período seco (A-2) – outubro de 2012. ....	131
<b>Tabela 3.45</b> – Estatística descritiva do Ferro do Aquífero Aluvial no período chuvoso (Fe-1) - abril de 2012 e no período seco (Fe-2) – outubro de 2012. ....	132
<b>Tabela 3.46</b> – Distribuição de probabilidade do Ferro do Aquífero Aluvial no período chuvoso (Fe-1) - abril de 2012 e no período seco (Fe-2) – outubro de 2012. ....	133
<b>Tabela 3.47</b> – Estatística descritiva do Manganês do Aquífero Aluvial no período chuvoso (Mn-1) - abril de 2012 e no período seco (Mn-2) – outubro de 2012. ....	133
<b>Tabela 3.48</b> – Distribuição de probabilidade do Manganês do Aquífero Aluvial no período chuvoso (Mn-1) - abril de 2012 e no período seco (Mn-2) – outubro de 2012. ....	134
<b>Tabela 3.49</b> – Valores de oxigênio-18 e deutério obtidos nas amostras coletadas no aquífero Aluvial no período seco (outubro de 2012). ....	138
<b>Tabela 3.50</b> – Idade aparente ou convencional do radiocarbono ( $^{14}\text{C}$ ) em anos BP ( <i>before present</i> – 1950) e, quando inferior a 200 anos, dita “Moderna” por convenção e expressa em %M ou pMC ( <i>percent modern carbon</i> ). ....	140
<b>Tabela 3.51</b> - Classificação das Águas do Aquífero Aluvial segundo a composição química - Período Chuvoso (abril de 2012). ....	143

<b>Tabela 3.52</b> - Classificação das Águas do Aquífero Aluvial, de acordo com a composição química - Período seco (outubro de 2012). .....	144
<b>Tabela 3.53</b> - Classificação das Águas do Aquífero Aluvial, de acordo com a predominância de íons - Período chuvoso (abril de 2012). .....	145
<b>Tabela 3.54</b> - Classificação das Águas do Aquífero Aluvial, de acordo com a predominância de íons - Período seco (outubro de 2012). .....	149
<b>Tabela 3.55</b> - Classificação das águas coletadas nas duas campanhas de amostragem de acordo com o risco de salinidade e de sódio, segundo USSL. ....	158
<b>Tabela 3.56</b> – Padrões de STD para uso animal, segundo McKee & Wolf (1963). .....	158
<b>Tabela 4.1</b> – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf para as amostras coletadas no aquífero Rio Branco – abril de 2012.....	163
<b>Tabela 4.2</b> – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf, para as amostras coletadas no aquífero Rio Branco – outubro de 2012. ....	164
<b>Tabela 4.3</b> – Resultado do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no aquífero Rio Branco nas duas campanhas.....	166
<b>Tabela 4.4</b> – Parâmetros estatísticos dos resultados do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no aquífero Rio Branco nas duas campanhas. ....	169
<b>Tabela 4.5</b> – Resultado das razões iônicas para as amostras coletadas no aquífero Rio Branco nas duas campanhas. ....	170
<b>Tabela 4.6</b> – Resultado do Índice de Saturação (IS) para as amostras coletadas no aquífero Rio Branco nas duas campanhas.....	171
<b>Tabela 4.7</b> – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Rio Branco – abril de 2012.....	173
<b>Tabela 4.8</b> – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Rio Branco – outubro de 2012.....	177
<b>Tabela 4.9</b> – Estatística descritiva da cor das águas do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (Cor-1) - abril de 2012 e no período seco (Cor-2) - outubro de 2012. ....	182
<b>Tabela 4.10</b> – Distribuição de probabilidade da cor no Aquífero Rio Branco no período chuvoso (Cor-1) - abril de 2012 e no período seco (Cor-2) - outubro de 2012. ....	182
<b>Tabela 4.11</b> – Estatística descritiva da turbidez do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (Tu-1) - abril de 2012 e no período seco (Tu-2) - outubro de 2012.....	183
<b>Tabela 4.12</b> – Distribuição de probabilidade da turbidez do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (Tu-1) - abril de 2012 e no período seco (Tu-2) - outubro de 2012. ....	184
<b>Tabela 4.13</b> – Estatística descritiva da Condutividade Elétrica do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (CE-1) - abril de 2012 e no período seco (CE-2) – outubro de 2012. ...	185

<b>Tabela 4.14</b> – Distribuição de probabilidade da Condutividade Elétrica do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (CE-1) - abril de 2012 e no período seco (CE-2) - outubro de 2012.....	186
<b>Tabela 4.15</b> – Estatística descritiva da Temperatura (°C) do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (T-1) - abril de 2012 e no período seco (T-2) - outubro de 2012. ....	186
<b>Tabela 4.16</b> – Distribuição de probabilidade do T(°C) do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (T-1) - abril de 2012 e no período seco (T-2) - outubro de 2012.....	187
<b>Tabela 4.17</b> – Valores de condutividade elétrica CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e sólidos totais dissolvidos SDT (mg/L) no aquífero Rio Branco, na primeira e na segunda campanha de amostragem.....	188
<b>Tabela 4.18</b> – Estatística descritiva dos Sólidos Dissolvidos Totais do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (STD-1) - abril de 2012 e no período seco (STD-2) - outubro de 2012.....	189
<b>Tabela 4.19</b> – Distribuição de probabilidade dos Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (STD-1) - abril de 2012 e no período seco (STD-2) - outubro de 2012.....	191
<b>Tabela 4.20</b> – Estatística descritiva do pH <i>in situ</i> no período chuvoso – abril de 2012 (pH-1) e no período seco – outubro de 2012 (pH-2). ....	191
<b>Tabela 4.21</b> – Distribuição de probabilidade do pH <i>in situ</i> no período chuvoso – abril de 2012 (pH-1) e no período seco – outubro de 2012 (pH-2). ....	192
<b>Tabela 4.22</b> – Estatística descritiva do Eh no período chuvoso – abril de 2012 (Eh-1) e no período seco – outubro de 2012 (Eh-2).....	194
<b>Tabela 4.23</b> – Distribuição de probabilidade do Eh no período chuvoso – abril de 2012 (Eh-1) e no período seco – outubro de 2012 (Eh-2).....	195
<b>Tabela 4.24</b> – Estatística descritiva do Sódio do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (Na-1) - abril de 2012 e no período seco (Na-2) – outubro de 2012. ....	196
<b>Tabela 4.25</b> – Distribuição de probabilidade do Sódio do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (Na-1) - abril de 2012 e no período seco (Na-2) – outubro de 2012.....	197
<b>Tabela 4.26</b> – Estatística descritiva do Potássio do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (K-1) - abril de 2012 e no período seco (K-2) – outubro de 2012. ....	197
<b>Tabela 4.27</b> – Distribuição de probabilidade do Potássio do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (K-1) - abril de 2012 e no período seco (K-2) - outubro de 2012. ....	198
<b>Tabela 4.28</b> – Estatística descritiva do Cálcio do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (Ca-1) - abril de 2012 e no período seco (Ca-2) – outubro de 2012. ....	199
<b>Tabela 4.29</b> – Distribuição de probabilidade do Cálcio do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (Ca-1) - abril de 2012 e no período seco (Ca-2) - outubro de 2012.....	200

<b>Tabela 4.30</b> – Estatística descritiva do Magnésio do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (Mg-1) - abril de 2012 e no período seco (Mg-2) - outubro de 2012. ....	201
<b>Tabela 4.31</b> – Distribuição de probabilidade do Magnésio do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (Mg-1) - abril de 2012 e no período seco (Mg-2) - outubro de 2012. ....	202
<b>Tabela 4.32</b> – Estatística descritiva do Cloreto do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (Cl-1) - abril de 2012 e no período seco (Cl-2) – outubro de 2012. ....	203
<b>Tabela 4.33</b> – Distribuição de probabilidade do Cloreto do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (Cl-1) - abril de 2012 e no período seco (Cl-2) - outubro de 2012. ....	204
<b>Tabela 4.34</b> – Estatística descritiva do Sulfato do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (S-1) - abril de 2012 e no período seco (S-2) - outubro de 2012. ....	205
<b>Tabela 4.35</b> – Distribuição de probabilidade do Sulfato do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (S-1) - abril de 2012 e no período seco (S-2) - outubro de 2012. ....	206
<b>Tabela 4.36</b> – Estatística descritiva do Bicarbonato do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (B-1) - abril de 2012 e no período seco (B-2) – outubro de 2012. ....	207
<b>Tabela 4.37</b> – Estatística descritiva da Dureza no Aquífero Rio Branco no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) - outubro de 2012. ....	208
<b>Tabela 4.38</b> – Distribuição de probabilidade da Dureza do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) - outubro de 2012. ....	210
<b>Tabela 4.39</b> – Estatística descritiva do Nitrato do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) - outubro de 2012. ....	210
<b>Tabela 4.40</b> – Distribuição de probabilidade do Nitrato do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) - outubro de 2012. ....	211
<b>Tabela 4.41</b> – Estatística descritiva do Nitrito do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012. ....	212
<b>Tabela 4.42</b> – Distribuição de probabilidade do Nitrito do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012. ....	213
<b>Tabela 4.43</b> – Estatística descritiva da Amônia do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (A-1) - abril de 2012 e no período seco (A-2) – outubro de 2012. ....	214
<b>Tabela 4.44</b> – Distribuição de probabilidade da Amônia do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (A-1) - abril de 2012 e no período seco (A-2) – outubro de 2012. ....	215
<b>Tabela 4.45</b> – Estatística descritiva do Ferro do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (Fe-1) - abril de 2012 e no período seco (Fe-2) - outubro de 2012. ....	215
<b>Tabela 4.46</b> – Distribuição de probabilidade do Ferro do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (Fe-1) - abril de 2012 e no período seco (Fe-2) - outubro de 2012. ....	216
<b>Tabela 4.47</b> – Estatística descritiva do Manganês no Aquífero Rio Branco no período chuvoso (Mn-1) - abril de 2012 e no período seco (Mn-2) - outubro de 2012. ....	217

<b>Tabela 4.48</b> – Distribuição de probabilidade do Manganês do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (Mn-1) - abril de 2012 e no período seco (Mn-2) - outubro de 2012....	218
<b>Tabela 4.49</b> – Valores de deutério e oxigênio-18 dosados nas amostras coletadas no aquífero Rio Branco na segunda campanha de amostragem (outubro de 2012).....	223
<b>Tabela 4.50</b> - Classificação das Águas do Aquífero Rio Branco segundo a composição química - Período Chuvoso (abril de 2012).....	227
<b>Tabela 4.51</b> - Classificação das Águas do Aquífero Rio Branco, de acordo com a composição química - Período seco (outubro de 2012).....	228
<b>Tabela 4.52</b> - Classificação das águas do aquífero Rio Branco, de acordo com a predominância de íons - Período chuvoso (abril de 2012).....	229
<b>Tabela 4.53</b> - Classificação das Águas do Aquífero Rio Branco, de acordo com a predominância de íons - Período seco (outubro de 2012).....	234
<b>Tabela 4.54</b> - Classificação das águas coletadas nas duas campanhas de amostragem de acordo com o risco de salinidade e o risco de sódio, segundo USSL.....	245
<b>Tabela 4.55</b> – Padrões de STD para uso animal, segundo McKee & Wolf (1963).....	246
<b>Tabela 5.1</b> – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf para as amostras coletadas no aquífero Içá – abril de 2012.....	252
<b>Tabela 5.2</b> – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf, para as amostras coletadas no aquífero Içá – outubro de 2012.....	253
<b>Tabela 5.3</b> – Resultado do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no aquífero Içá nas duas campanhas.....	254
<b>Tabela 5.4</b> – Parâmetros estatísticos dos resultados do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no aquífero Içá nas duas campanhas.....	257
<b>Tabela 5.5</b> – Resultado das razões iônicas para as amostras coletadas no aquífero Içá nas duas campanhas.....	258
<b>Tabela 5.6</b> – Resultado do Índice de Saturação (IS) para as amostras coletadas no aquífero Içá nas duas campanhas.....	259
<b>Tabela 5.7</b> – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Içá – abril de 2012.....	260
<b>Tabela 5.8</b> – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Içá – outubro de 2012.....	264
<b>Tabela 5.9</b> – Estatística descritiva da Cor do Aquífero Içá no período chuvoso (Cor-1) - abril de 2012 e no período seco (Cor-2) – outubro de 2012.....	269
<b>Tabela 5.10</b> – Distribuição de probabilidade da Cor do Aquífero Içá no período chuvoso (Cor-1) - abril de 2012 e no período seco (Cor-2) – outubro de 2012.....	270



<b>Tabela 5.11</b> – Estatística descritiva da Turbidez do Aquífero Içá no período chuvoso (Tu-1) - abril de 2012 e no período seco (Tu-2) – outubro de 2012.....	270
<b>Tabela 5.12</b> – Distribuição de probabilidade da Turbidez do Aquífero Içá no período chuvoso (Tu-1) - abril de 2012 e no período seco (Tu-2) – outubro de 2012.....	271
<b>Tabela 5.13</b> – Estatística descritiva da Condutividade Elétrica do Aquífero Içá no período chuvoso (CE-1) - abril de 2012 e no período seco (CE-2) – outubro de 2012. ....	272
<b>Tabela 5.14</b> – Distribuição de probabilidade da Condutividade Elétrica do Aquífero Içá no período chuvoso (CE-1) - abril de 2012 e no período seco (CE-2) – outubro de 2012. ...	273
<b>Tabela 5.15</b> – Estatística descritiva da Temperatura (°C) do Aquífero Içá no período chuvoso (T-1) - abril de 2012 e no período seco (T-2) – outubro de 2012.....	273
<b>Tabela 5.16</b> – Distribuição de probabilidade do Temperatura (°C) do Aquífero Içá no período chuvoso (T-1) - abril de 2012 e no período seco (T-2) – outubro de 2012.....	274
<b>Tabela 5.17</b> – Valores de condutividade elétrica CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e sólidos totais dissolvidos STD (mg/L) no aquífero Içá nas duas campanhas de amostragem. ....	275
<b>Tabela 5.18</b> – Estatística descritiva dos Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero Içá no período chuvoso (STD-1) - abril de 2012 e no período seco (STD-2) – outubro de 2012. ....	276
<b>Tabela 5.19</b> – Distribuição de probabilidade dos Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero Içá no período chuvoso (STD-1) - abril de 2012 e no período seco (STD-2) – outubro de 2012.....	277
<b>Tabela 5.20</b> – Estatística descritiva do pH <i>in situ</i> do Aquífero Içá no período chuvoso – abril de 2012 (pH-1) e no período seco – outubro de 2012 (pH-2).....	278
<b>Tabela 5.21</b> – Distribuição de probabilidade do pH <i>in situ</i> do Aquífero Içá no período chuvoso – abril de 2012 (pH-1) e no período seco – outubro de 2012 (pH-2). ....	279
<b>Tabela 5.22</b> – Estatística descritiva do Eh (mV) do Aquífero Içá no período chuvoso – abril de 2012 (Eh-1) e no período seco – outubro de 2012 (Eh-2). ....	280
<b>Tabela 5.23</b> – Distribuição de probabilidade do Eh do Aquífero Içá no período chuvoso – abril de 2012 (Eh-1) e no período seco – outubro de 2012 (Eh-2). ....	281
<b>Tabela 5.24</b> – Estatística descritiva do Sódio do Aquífero Içá no período chuvoso (Na-1) - abril de 2012 e no período seco (Na-2) – outubro de 2012.....	282
<b>Tabela 5.25</b> – Distribuição de probabilidade do Sódio do Aquífero Içá no período chuvoso (Na-1) - abril de 2012 e no período seco (Na-2) – outubro de 2012. ....	283
<b>Tabela 5.26</b> – Estatística descritiva do Potássio do Aquífero Içá no período chuvoso (K-1) - abril de 2012 e no período seco (K-2) – outubro de 2012.....	284
<b>Tabela 5.27</b> – Distribuição de probabilidade do Potássio do Aquífero Içá no período chuvoso (K-1) - abril de 2012 e no período seco (K-2) – outubro de 2012. ....	285

<b>Tabela 5.28</b> – Estatística descritiva do Cálcio do Aquífero Içá no período chuvoso (Ca-1) - abril de 2012 e no período seco (Ca-2) – outubro de 2012.....	286
<b>Tabela 5.29</b> – Distribuição de probabilidade do Cálcio do Aquífero Içá no período chuvoso (Ca-1) - abril de 2012 e no período seco (Ca-2) – outubro de 2012.....	287
<b>Tabela 5.30</b> – Estatística descritiva do Magnésio do Aquífero Içá no período chuvoso (Mg-1) - abril de 2012 e no período seco (Mg-2) – outubro de 2012.....	287
<b>Tabela 5.31</b> – Distribuição de probabilidade do Magnésio do Aquífero Içá no período chuvoso (Mg-1) - abril de 2012 e no período seco (Mg-2) – outubro de 2012.....	288
<b>Tabela 5.32</b> – Estatística descritiva do Cloreto do Aquífero Içá no período chuvoso (Cl-1) - abril de 2012 e no período seco (Cl-2) – outubro de 2012.....	289
<b>Tabela 5.33</b> – Distribuição de probabilidade do Cloreto do Aquífero Içá no período chuvoso (Cl-1) - abril de 2012 e no período seco (Cl-2) – outubro de 2012.....	290
<b>Tabela 5.34</b> – Estatística descritiva do Sulfato do Aquífero Içá período chuvoso (S-1) - abril de 2012 e no período seco (S-2) – outubro de 2012.....	290
<b>Tabela 5.35</b> – Distribuição de probabilidade do Sulfato do Aquífero Içá no período chuvoso (S-1) - abril de 2012 e no período seco (S-2) – outubro de 2012.....	291
<b>Tabela 5.36</b> – Estatística descritiva do Bicarbonato do Aquífero Içá no período chuvoso (B-1) - abril de 2012 e no período seco (B-2) – outubro de 2012.....	292
<b>Tabela 5.37</b> – Estatística descritiva da Dureza do Aquífero Içá no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) – outubro de 2012.....	293
<b>Tabela 5.38</b> – Distribuição de probabilidade da Dureza do Aquífero Içá no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) – outubro de 2012.....	294
<b>Tabela 5.39</b> – Estatística descritiva do Nitrato do Aquífero Içá no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.....	295
<b>Tabela 5.40</b> – Distribuição de probabilidade do Nitrato do Aquífero Içá no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.....	296
<b>Tabela 5.41</b> – Estatística descritiva do Nitrito do Aquífero Içá no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.....	297
<b>Tabela 5.42</b> – Distribuição de probabilidade do Nitrito do Aquífero Içá no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.....	298
<b>Tabela 5.43</b> – Estatística descritiva da Amônia do Aquífero Içá no período chuvoso (A-1) - abril de 2012 e no período seco (A-2) – outubro de 2012.....	298
<b>Tabela 5.44</b> – Distribuição de probabilidade da Amônia do Aquífero Içá no período chuvoso (A-1) - abril de 2012 e no período seco (A-2) – outubro de 2012.....	300
<b>Tabela 5.45</b> – Estatística descritiva do Ferro do Aquífero Içá no período chuvoso (Fe-1) - abril de 2012 e no período seco (Fe-2) – outubro de 2012.....	300

<b>Tabela 5.46</b> – Distribuição de probabilidade do Ferro do Aquífero Içá no período chuvoso (Fe-1) - abril de 2012 e no período seco (Fe-2) – outubro de 2012. ....	301
<b>Tabela 5.47</b> – Estatística descritiva do Manganês do Aquífero Içá no período chuvoso (Mn-1) - abril de 2012 e no período seco (Mn-2) – outubro de 2012.....	302
<b>Tabela 5.48</b> – Distribuição de probabilidade do Manganês do Aquífero Içá no período chuvoso (Mn-1) - abril de 2012 e no período seco (Mn-2) – outubro de 2012. ....	303
<b>Tabela 5.49</b> – Valores de oxigênio-18 e deutério obtidos nas amostras coletadas no aquífero Içá no período seco (outubro de 2012). ....	304
<b>Tabela 5.50</b> – Idade aparente ou convencional do radiocarbono ( $^{14}\text{C}$ ) em anos BP ( <i>before present</i> – 1950) e, quando inferior a 200 anos, dita “Moderna” por convenção e expressa em %M ou pMC ( <i>percent modern carbon</i> ).....	307
<b>Tabela 5.51</b> - Classificação das águas do aquífero Içá segundo a composição química - período chuvoso (abril de 2012).....	311
<b>Tabela 5.52</b> - Classificação das águas do aquífero Içá, de acordo com a composição química - período seco (outubro de 2012).....	312
<b>Tabela 5.53</b> - Classificação das águas do aquífero Içá de acordo com a predominância de íons - período chuvoso (abril de 2012). ....	313
<b>Tabela 5.54</b> - Classificação das Águas do Aquífero Içá de acordo com a predominância de íons - Período seco (outubro de 2012). ....	318
<b>Tabela 5.55</b> - Classificação das águas coletadas nas duas campanhas de amostragem de acordo com o risco de salinidade e de sódio, segundo USSL. ....	328
<b>Tabela 5.56</b> – Padrões de STD para uso animal, segundo McKee & Wolf (1963). ....	329
<b>Tabela 6.1</b> – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf para as amostras coletadas no aquífero Tucunaré – abril de 2012. ....	334
<b>Tabela 6.2</b> – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf, para as amostras coletadas no aquífero Tucunaré – outubro de 2012.....	336
<b>Tabela 6.3</b> – Resultado do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no aquífero Tucunaré nas duas campanhas. ....	337
<b>Tabela 6.4</b> – Parâmetros estatísticos dos resultados do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no aquífero Tucunaré nas duas campanhas.....	340
<b>Tabela 6.5</b> – Resultado das razões iônicas para as amostras coletadas no aquífero Tucunaré nas duas campanhas. ....	341
<b>Tabela 6.6</b> – Resultado do Índice de Saturação (IS) para as amostras coletadas no aquífero Tucunaré nas duas campanhas. ....	342
<b>Tabela 6.7</b> – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Tucunaré – abril de 2012.....	344

<b>Tabela 6.8</b> – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Tucunaré – outubro de 2012. ....	348
<b>Tabela 6.9</b> – Estatística descritiva da Cor do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (Cor-1) - abril de 2012 e no período seco (Cor-2) - outubro de 2012. ....	353
<b>Tabela 6.10</b> – Distribuição de probabilidade da Cor do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (Cor-1) - abril de 2012 e no período seco (Cor-2) – outubro de 2012.....	354
<b>Tabela 6.11</b> – Estatística descritiva da Turbidez do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (Tu-1) - abril de 2012 e no período seco (Tu-2) - outubro de 2012.....	356
<b>Tabela 6.12</b> – Distribuição de probabilidade da Turbidez do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (Tu-1) - abril de 2012 e no período seco (Tu-2) - outubro de 2012. ....	357
<b>Tabela 6.13</b> – Estatística descritiva da Condutividade Elétrica do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (CE-1) - abril de 2012 e no período seco (CE-2) - outubro de 2012....	358
<b>Tabela 6.14</b> – Distribuição de probabilidade da Condutividade Elétrica do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (CE-1) - abril de 2012 e no período seco (CE-2) - outubro de 2012.....	359
<b>Tabela 6.15</b> – Estatística descritiva da Temperatura (°C) do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (T-1) - abril de 2012 e no período seco (T-2) - outubro de 2012. ....	359
<b>Tabela 6.16</b> – Distribuição de probabilidade da temperatura T(°C) do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (T-1) - abril de 2012 e no período seco (T-2) - outubro de 2012. ...	360
<b>Tabela 6.17</b> – Valores de condutividade elétrica CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e sólidos totais dissolvidos STD (mg/L) no aquífero Tucunaré nas duas campanhas de amostragem.....	361
<b>Tabela 6.18</b> – Estatística descritiva dos teores de STD (mg/L) do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (STD-1) - abril de 2012 e no período seco (STD-2) - outubro de 2012. ....	362
<b>Tabela 6.19</b> – Distribuição de probabilidade dos Sólidos Dissolvidos Totais do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (STD-1) - abril de 2012 e no período seco (STD-2) - outubro de 2012.....	363
<b>Tabela 6.20</b> – Estatística descritiva do pH <i>in situ</i> no período chuvoso – abril de 2012 (pH-1) e no período seco – outubro de 2012 (pH-2). ....	364
<b>Tabela 6.21</b> – Distribuição de probabilidade do pH <i>in situ</i> no período chuvoso – abril de 2012 (pH-1) e no período seco – outubro de 2012 (pH-2). ....	365
<b>Tabela 6.22</b> – Estatística descritiva do Eh no período chuvoso – abril de 2012 (Eh-1) e no período seco – outubro de 2012 (Eh-2).....	367
<b>Tabela 6.23</b> – Distribuição de probabilidade do Eh no período chuvoso – abril de 2012 (Eh-1) e no período seco – outubro de 2012 (Eh-2).....	368
<b>Tabela 6.24</b> – Estatística descritiva do Sódio do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (Na-1) - abril de 2012 e no período seco (Na-2) - outubro de 2012. ....	368

<b>Tabela 6.25</b> – Distribuição de probabilidade do Sódio do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (Na-1) - abril de 2012 e no período seco (Na-2) - outubro de 2012.....	369
<b>Tabela 6.26</b> – Estatística descritiva do Potássio do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (K-1) - abril de 2012 e no período seco (K-2) - outubro de 2012. ....	370
<b>Tabela 6.27</b> – Distribuição de probabilidade do Potássio do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (K-1) - abril de 2012 e no período seco (K-2) - outubro de 2012. ....	371
<b>Tabela 6.28a</b> – Estatística descritiva do Cálcio do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (Ca-1) - abril de 2012 e no período seco (Ca-2) - outubro de 2012 (valores inconsistentes para o período chuvoso).....	371
<b>Tabela 6.28b</b> – Estatística descritiva do Cálcio do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (Ca-1) - abril de 2012 e no período seco (Ca-2) - outubro de 2012 (valores consistentes para o período chuvoso).....	371
<b>Tabela 6.29a</b> – Distribuição de probabilidade do Cálcio do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (Ca-1) - abril de 2012 e no período seco (Ca-2) - outubro de 2012, com dados inconsistentes.....	372
<b>Tabela 6.29b</b> – Distribuição de probabilidade do Cálcio do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (Ca-1) - abril de 2012 e no período seco (Ca-2) - outubro de 2012, com dados consistentes.....	373
<b>Tabela 6.30</b> – Estatística descritiva do Magnésio do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (Mg-1) - abril de 2012 e no período seco (Mg-2) - outubro de 2012. ....	374
<b>Tabela 6.31</b> – Distribuição de probabilidade dos teores de Magnésio (mg/L) do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (Mg-1) - abril de 2012 e no período seco (Mg-2) - outubro de 2012.....	375
<b>Tabela 6.32</b> – Estatística descritiva do Cloreto do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (Cl-1) - abril de 2012 e no período seco (Cl-2) - outubro de 2012.....	375
<b>Tabela 6.33</b> – Distribuição de probabilidade do Cloreto do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (Cl-1) - abril de 2012 e no período seco (Cl-2) - outubro de 2012. ....	376
<b>Tabela 6.34</b> – Estatística descritiva do Sulfato do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (S-1) - abril de 2012 e no período seco (S-2) - outubro de 2012.....	377
<b>Tabela 6.35</b> – Distribuição de probabilidade do Sulfato do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (S-1) - abril de 2012 e no período seco (S-2) - outubro de 2012. ....	378
<b>Tabela 6.36</b> – Estatística descritiva do Bicarbonato do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (B-1) - abril de 2012 e no período seco (B-2) - outubro de 2012. ....	378
<b>Tabela 6.37</b> – Distribuição de probabilidade do Bicarbonato do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (B-1) - abril de 2012 e no período seco (B-2) – outubro de 2012. ....	379
<b>Tabela 6.38a</b> – Estatística descritiva da Dureza do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) - outubro de 2012, com valores inconsistentes de cálcio.....	380

<b>Tabela 6.38b</b> – Estatística descritiva da Dureza do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) - outubro de 2012, com valores consistentes de cálcio.....	380
<b>Tabela 6.39a</b> – Distribuição de probabilidade da Dureza do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) - outubro de 2012, com dados consistentes de cálcio.....	381
<b>Tabela 6.39b</b> – Distribuição de probabilidade da Dureza do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) - outubro de 2012, com dados consistentes de cálcio.....	382
<b>Tabela 6.40</b> – Estatística descritiva do Nitrato do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) - outubro de 2012. ....	382
<b>Tabela 6.41</b> – Distribuição de probabilidade do Nitrato do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) - outubro de 2012.....	384
<b>Tabela 6.42</b> – Estatística descritiva do Nitrito do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) - outubro de 2012. ....	384
<b>Tabela 6.43</b> – Distribuição de probabilidade do Nitrito do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) - outubro de 2012.....	385
<b>Tabela 6.44</b> - Estatística descritiva da Amônia do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (A-1) - abril de 2012 e no período seco (A-2) - outubro de 2012.....	386
<b>Tabela 6.45</b> – Distribuição de probabilidade da Amônia no Aquífero Tucunaré no período chuvoso (A-1) - abril de 2012 e no período seco (A-2) - outubro de 2012. ....	387
<b>Tabela 6.46</b> – Estatística descritiva do Ferro (mg/L) do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (Fe-1) - abril de 2012 e no período seco (Fe-2) - outubro de 2012.....	387
<b>Tabela 6.47</b> – Distribuição de probabilidade do Ferro (mg/L) do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (Fe-1) - abril de 2012 e no período seco (Fe-2) - outubro de 2012. ....	388
<b>Tabela 6.48</b> – Estatística descritiva do Manganês (mg/L) do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (Mn-1) - abril de 2012 e no período seco (Mn-2) - outubro de 2012....	389
<b>Tabela 6.49</b> – Distribuição de probabilidade do Manganês (mg/L) do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (Mn-1) - abril de 2012 e no período seco (Mn-2) - outubro de 2012. ....	390
<b>Tabela 6.50</b> – Valores de deutério e oxigênio-18 dosados nas amostras coletadas no aquífero Tucunaré no período seco (outubro de 2012).....	396
<b>Tabela 6.51</b> – Idades aparentes ou convencionais do radiocarbono ( $^{14}C$ ) em anos BP ( <i>before present</i> – 1950) e, quando inferior a 200 anos, dita “Moderna” por convenção e expressa em %M ou pMC ( <i>percent modern carbon</i> ).....	397
<b>Tabela 6.52</b> - Classificação das Águas do Aquífero Tucunaré segundo a composição química - Período Chuvoso (abril de 2012).....	401

<b>Tabela 6.53</b> - Classificação das Águas do Aquífero Tucunaré, de acordo com a composição química - Período seco (outubro de 2012). .....	403
<b>Tabela 6.54</b> - Classificação das Águas do Aquífero Tucunaré, de acordo com a predominância de íons - Período chuvoso (abril de 2012). .....	403
<b>Tabela 6.55</b> - Classificação das Águas do Aquífero Tucunaré, de acordo com a predominância de íons - Período seco (outubro de 2012). .....	408
<b>Tabela 6.56</b> - Classificação das águas coletadas nas duas campanhas de amostragem de acordo com o risco de salinidade e de sódio, segundo USSL. ....	418
<b>Tabela 6.57</b> – Padrões de STD para uso animal, segundo McKee & Wolf (1963). .....	419

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> – Localização das cidades analisadas nas duas campanhas de amostragem na PHA. ....	46
<b>Figura 1.2</b> – Equações utilizadas no <i>software</i> Qualigraf para estimativa do erro prático no balanço iônico, segundo as metodologias de Custodio & Llamas (1983) e Logan (1965). ....	56
<b>Figura 2.1</b> – Diagrama pH-Eh ilustrando a solubilidade do ferro em relação a pH, em 3 (três) zonas, para $C_{T,S} = 10^4 M$ ; $C_{T,CO_3} = 10^{-3} M$ , segundo Hem (1960). Adaptado de Snoeyink & Jenkins (1980). ....	73
<b>Figura 3.1</b> – Ilustração dos resultados de ITB calculados para as amostras coletadas no Aquífero Aluvial, no período chuvoso, com o predomínio de cátions. ....	88
<b>Figura 3.2</b> – Ilustração dos resultados de ITB calculados para as amostras coletadas no Aquífero Aluvial, no período de estiagem, com o predomínio de cátions. ....	89
<b>Figura 3.3</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Cor do Aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012. ....	102
<b>Figura 3.4</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Turbidez do Aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012. ....	103
<b>Figura 3.5</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Condutividade Elétrica do Aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012. ....	105
<b>Figura 3.6</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Temperatura (°C) do Aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012. ....	107
<b>Figura 3.7</b> – Relações entre a condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos no aquífero Aluvial, no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012). ....	109
<b>Figura 3.8</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade dos Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012. ....	110
<b>Figura 3.9</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do pH do Aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012. ....	111
<b>Figura 3.10</b> – Diagrama pH versus Eh (mV), de amostras de águas subterrâneas dos poços monitorados no aquífero Aluvial (temperatura <i>in situ</i> variou de 24 a 33,5°C) nas duas campanhas de amostragem. ....	112



<b>Figura 3.11</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Eh (mV) do Aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	114
<b>Figura 3.12</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Sódio do Aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	115
<b>Figura 3.13</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Potássio do Aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	117
<b>Figura 3.14</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Cálcio do Aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	119
<b>Figura 3.15</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Magnésio do Aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	120
<b>Figura 3.16</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Cloreto do Aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	122
<b>Figura 3.17</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Sulfato do Aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	123
<b>Figura 3.18</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Bicarbonato do Aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	125
<b>Figura 3.19</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Dureza do Aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	126
<b>Figura 3.20</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Nitrato do Aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	128
<b>Figura 3.21</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Nitrito do Aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	129
<b>Figura 3.22</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Amônia do Aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	131
<b>Figura 3.23</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Ferro do Aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	132

<b>Figura 3.24</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Manganês do Aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	134
<b>Figura 3.25</b> – Diagrama mostrando a relação de oxigênio-18 e deutério das precipitações das águas do aquífero Aluvial. ....	138
<b>Figura 3.26</b> – Idade qualitativa da recarga do aquífero Aluvial, segundo os dados de trício de 09 (nove) amostras coletadas. ....	139
<b>Figura 3.27</b> – Idade medida com carbono-14 de amostra de água do aquífero Aluvial. ....	140
<b>Figura 3.28</b> – Classificação das águas do aquífero Aluvial coletadas no período chuvoso (abril de 2012) segundo o diagrama Triangular de Piper. ....	143
<b>Figura 3.29</b> – Classificação das águas subterrâneas do aquífero Aluvial através do Diagrama de Piper, com base em amostras de água coletadas em outubro de 2012....	144
<b>Figura 3.30a</b> – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Aluvial. ....	145
<b>Figura 3.30b</b> – Águas bicarbonatadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Aluvial. .	147
<b>Figura 3.30c</b> – Águas bicarbonatadas cálcicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Aluvial. .	148
<b>Figura 3.30d</b> – Água sulfatada cálcica classificada segundo o Diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada em abril de 2012 no aquífero Aluvial.....	149
<b>Figura 3.30e</b> – Água cloretada cálcica classificada segundo o Diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada em abril de 2012 no aquífero Aluvial.....	149
<b>Figura 3.31a</b> – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Aluvial. ....	150
<b>Figura 3.31b</b> – Águas bicarbonatadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Aluvial. ....	152
<b>Figura 3.31c</b> – Águas bicarbonatadas cálcicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Aluvial. ....	153
<b>Figura 3.32</b> – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Aluvial, no período chuvoso, segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff. ....	154
<b>Figura 3.33</b> – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Aluvial, no período de estiagem, segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff. ....	155
<b>Figura 3.34</b> – Classificação das águas do Aquífero Aluvial para fins de irrigação – Abril de 2012.....	156

<b>Figura 3.35</b> – Classificação das águas do Aquífero Aluvial para fins de irrigação – Outubro de 2012.....	157
<b>Figura 4.1</b> – Ilustração dos resultados de ITB calculados para as amostras coletadas no Aquífero Rio Branco no período chuvoso, com o predomínio de cátions.....	167
<b>Figura 4.2</b> – Ilustração dos resultados de ITB calculados para as amostras coletadas no Aquífero Rio Branco no período de estiagem, com o predomínio de cátions. ....	168
<b>Figura 4.3</b> – Histogramas de frequência e curvas lognormais ajustadas de distribuição de probabilidade da Cor no Aquífero Rio Branco, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	182
<b>Figura 4.4</b> – Histogramas de frequência e curvas normais ajustadas de distribuição de probabilidade da Turbidez do Aquífero Rio Branco, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	184
<b>Figura 4.5</b> – Histogramas de frequência e curvas lognormais de distribuição de probabilidade da Condutividade Elétrica do Aquífero Rio Branco, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	185
<b>Figura 4.6</b> – Histogramas de frequência e curvas normais de distribuição de probabilidade da Temperatura (°C) do Aquífero Rio Branco, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	187
<b>Figura 4.7</b> – Relações entre a condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos no aquífero Rio Branco, no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012).....	189
<b>Figura 4.8</b> – Histogramas de frequência modelados por funções lognormais de distribuição de probabilidade dos Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero Rio Branco, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012. ....	190
<b>Figura 4.9</b> – Histogramas de frequência e curvas normais de distribuição de probabilidade do pH <i>in situ</i> do Aquífero Rio Branco, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	192
<b>Figura 4.10</b> – Diagrama pH versus Eh (mV), de amostras de águas subterrâneas dos poços monitorados no aquífero Rio Branco (temperatura <i>in situ</i> variou de 26 a 34°C) nas duas campanhas de amostragem. ....	193
<b>Figura 4.11</b> – Histogramas de frequência e curvas normais de distribuição de probabilidade do Eh do Aquífero Rio Branco, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	195
<b>Figura 4.12</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Sódio do Aquífero Rio Branco, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	196
<b>Figura 4.13</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Potássio do Aquífero Rio Branco, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	198

<b>Figura 4.14</b> – Histogramas de frequência e curvas lognormais de distribuição de probabilidade do Cálcio do Aquífero Rio Branco, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	200
<b>Figura 4.15</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Magnésio do Aquífero Rio Branco, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	202
<b>Figura 4.16</b> – Histogramas de frequência e curvas lognormais de distribuição de probabilidade do Cloreto do Aquífero Rio Branco, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	204
<b>Figura 4.17</b> – Histogramas de frequência e curvas lognormais de distribuição de probabilidade do Sulfato no Aquífero Rio Branco, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	206
<b>Figura 4.18</b> – Histogramas de frequência do Bicarbonato do Aquífero Rio Branco sem ajuste de distribuição de probabilidade <i>lognormal</i> .....	207
<b>Figura 4.19</b> – Histogramas de frequência e curvas lognormais de distribuição de probabilidade da Dureza do Aquífero Rio Branco, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	209
<b>Figura 4.20</b> – Histogramas de frequência modelados por lei lognormal de distribuição de probabilidade do Nitrato do Aquífero Rio Branco, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	211
<b>Figura 4.21</b> – Histograma de frequência modelados por lei lognormal de distribuição de probabilidade do Nitrito do Aquífero Rio Branco, no período chuvoso – abril de 2012 e gráfico no período seco – outubro de 2012.....	213
<b>Figura 4.22</b> – Histogramas de frequência modelados por lei lognormal de distribuição de probabilidade da Amônia do Aquífero Rio Branco, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	214
<b>Figura 4.23</b> – Histogramas de frequência modelados pela função lognormal de distribuição de probabilidade de ocorrência de Ferro no Aquífero Rio Branco, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	216
<b>Figura 4.24</b> – Histogramas de frequência modelados pela lei lognormal de distribuição de probabilidade do Manganês no Aquífero Rio Branco, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	217
<b>Figura 4.25</b> – Diagrama mostrando relação de oxigênio 18 e deutério no aquífero Rio Branco.....	223
<b>Figura 4.26</b> – Idade qualitativa da recarga do aquífero Rio Branco, segundo os dados de trício de 7 (sete) amostras coletadas.....	224
<b>Figura 4.27</b> – Classificação das águas do aquífero Rio Branco, coletadas no período chuvoso (abril de 2012) segundo o diagrama Triangular de Piper.....	227

<b>Figura 4.28</b> – Classificação das águas subterrâneas do aquífero Rio Branco através do Diagrama de Piper, com base em amostras de água coletadas em outubro de 2012....	228
<b>Figura 4.29a</b> – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Rio Branco. ...	230
<b>Figura 4.29b</b> – Águas bicarbonatadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Rio Branco. ....	232
<b>Figura 4.29c</b> – Águas cloretadas magnesianas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Rio Branco. ....	233
<b>Figura 4.29d</b> – Água sulfatada sódica classificada segundo o Diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada em abril de 2012 no aquífero Rio Branco.....	233
<b>Figura 4.29e</b> – Água sulfatada cálcica classificada segundo o Diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada em abril de 2012 no aquífero Rio Branco.....	233
<b>Figura 4.29f</b> – Água mista sódica classificada segundo o Diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada em abril de 2012 no aquífero Rio Branco. ....	234
<b>Figura 4.30a</b> – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Rio Branco.....	235
<b>Figura 4.30b</b> – Águas bicarbonatadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Rio Branco.....	238
<b>Figura 4.30c</b> – Águas sulfatadas cálcicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletada no período de estiagem, em outubro de 2012, no aquífero Rio Branco.....	238
<b>Figura 4.30d</b> – Água sulfatada magnesiana classificada segundo o Diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Rio Branco.....	239
<b>Figura 4.30e</b> – Água sulfatada sódica classificada segundo o Diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Rio Branco.....	239
<b>Figura 4.31</b> – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Rio Branco no período chuvoso, segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff. ....	241
<b>Figura 4.32</b> – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Rio Branco no período de estiagem, segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff.....	242
<b>Figura 4.33</b> – Classificação das águas do Aquífero Rio Branco para fins de irrigação – Abril de 2012.....	243

<b>Figura 4.34</b> – Classificação das águas do Aquífero Rio Branco para fins de irrigação – Outubro de 2012.....	244
<b>Figura 5.1</b> – Ilustração dos resultados de ITB calculados para as amostras coletadas no Aquífero Içá, no período chuvoso, com o predomínio de cátions.....	255
<b>Figura 5.2</b> – Ilustração dos resultados de ITB calculados para as amostras coletadas no Aquífero Içá, no período de estiagem, com o predomínio de cátions. ....	256
<b>Figura 5.3</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Cor do Aquífero Içá, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	269
<b>Figura 5.4</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Turbidez do Aquífero Içá, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	271
<b>Figura 5.5</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Condutividade Elétrica do Aquífero Içá, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	272
<b>Figura 5.6</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Temperatura (°C) do Aquífero Içá, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	274
<b>Figura 5.7</b> – Relações entre a condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos no aquífero Içá, no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012).276	
<b>Figura 5.8</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade dos Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero Içá, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	277
<b>Figura 5.9</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do pH <i>in situ</i> do Aquífero Içá, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	278
<b>Figura 5.10</b> – Diagrama <i>pH versus Eh</i> (mV), de amostras de águas subterrâneas dos poços monitorados no aquífero Içá ( <i>T in situ</i> variou de 25,5 a 41,7°C) nas duas campanhas de amostragem. ....	280
<b>Figura 5.11</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Eh do Aquífero Içá, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	281
<b>Figura 5.12</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Sódio do Aquífero Içá, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	283
<b>Figura 5.13</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Potássio do Aquífero Içá, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	285

<b>Figura 5.14</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Cálcio do Aquífero Içá, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	286
<b>Figura 5.15</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Magnésio do Aquífero Içá, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	288
<b>Figura 5.16</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Cloreto do Aquífero Içá, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	289
<b>Figura 5.17</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Sulfato Aquífero Içá, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	291
<b>Figura 5.18</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Bicarbonato do Aquífero Içá, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	293
<b>Figura 5.19</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Dureza do Aquífero Içá, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	294
<b>Figura 5.20</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Nitrato do Aquífero Içá, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	296
<b>Figura 5.21</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Nitrito do Aquífero Içá, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	298
<b>Figura 5.22</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Amônia do Aquífero Içá, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	299
<b>Figura 5.23</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Ferro do Aquífero Içá, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	301
<b>Figura 5.24</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Manganês do Aquífero Içá, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	302
<b>Figura 5.25</b> – Diagrama mostrando que a água subterrânea do aquífero Içá contém 15,04% da composição isotópica das águas de chuva, sugerindo que a recarga provém das precipitações.....	305
<b>Figura 5.26</b> – Idade qualitativa da recarga do aquífero Içá, segundo os dados de trício de 12 (doze) amostras coletadas. ....	306
<b>Figura 5.27</b> – Idade medida com carbono-14 de amostra de água do aquífero Içá. ....	307

<b>Figura 5.28</b> – Classificação das águas do aquífero Içá, coletadas no período chuvoso (abril de 2012), segundo o diagrama Triangular de Piper. ....	310
<b>Figura 5.29</b> – Classificação das águas subterrâneas do aquífero Içá, através do Diagrama de Piper, com base em amostras de água coletadas em outubro de 2012. ....	311
<b>Figura 5.30a</b> – Águas bicarbonatadas sódicas classificadas segundo os diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Içá. ....	313
<b>Figura 5.30b</b> – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Içá. ....	316
<b>Figura 5.30c</b> – Água cloretada magnesiana classificada segundo o diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada em abril de 2012 no aquífero Içá. ....	317
<b>Figura 5.31a</b> – Águas bicarbonatadas sódicas classificadas segundo os diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Içá. ....	318
<b>Figura 5.31b</b> – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Içá. ....	321
<b>Figura 5.31c</b> – Águas bicarbonatadas magnesianas classificadas segundo os diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Içá. ....	322
<b>Figura 5.31d</b> – Água cloretada magnesiana classificada segundo o diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Içá. ....	323
<b>Figura 5.32</b> – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Içá no período chuvoso (abril de 2012), segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff. ....	324
<b>Figura 5.33</b> – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Içá no período de estiagem (outubro de 2012), segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff. ....	325
<b>Figura 5.34</b> – Classificação das águas do aquífero Içá para fins de irrigação – abril de 2012. ....	326
<b>Figura 5.35</b> – Classificação das águas do aquífero Içá para fins de irrigação – outubro de 2012. ....	327
<b>Figura 6.1</b> – Ilustração dos resultados de ITB calculados para as amostras coletadas no Aquífero Tucunaré, no período chuvoso, com o predomínio de cátions. ....	338
<b>Figura 6.2</b> – Ilustração dos resultados de ITB calculados para as amostras coletadas no Aquífero Tucunaré, no período de estiagem, com o predomínio de cátions. ....	339
<b>Figura 6.3</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Cor do Aquífero Tucunaré, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012. ....	354



<b>Figura 6.4</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Turbidez do Aquífero Tucunaré, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	357
<b>Figura 6.5</b> – Histogramas de frequência e curvas lognormais de distribuição de probabilidade da Condutividade Elétrica (CE) do Aquífero Tucunaré, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	358
<b>Figura 6.6</b> – Histogramas de frequência e curvas normais de distribuição de probabilidade da Temperatura (°C) das águas do Aquífero Tucunaré, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	360
<b>Figura 6.7</b> – Relações entre a condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos no aquífero Tucunaré, no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012).....	362
<b>Figura 6.8</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade dos Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero Tucunaré, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	363
<b>Figura 6.9</b> – Histograma de frequência e curvas normais ajustadas de distribuição de probabilidade do pH <i>in situ</i> do Aquífero Tucunaré, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	365
<b>Figura 6.10</b> – Diagrama <i>pH versus Eh</i> (mV), de amostras de águas subterrâneas dos poços monitorados no aquífero Tucunaré (Temperatura <i>in situ</i> variou de 25 a 32°C) nas duas campanhas de amostragem. ....	366
<b>Figura 6.11</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Eh do Aquífero Tucunaré, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	367
<b>Figura 6.12</b> – Histogramas de frequência e curvas aproximadas de distribuição de probabilidade lognormal do Sódio do Aquífero Tucunaré, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	369
<b>Figura 6.13</b> – Histogramas de frequência e curvas lognormal de distribuição de probabilidade do Potássio do Aquífero Tucunaré, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	370
<b>Figura 6.14a</b> – Histogramas de frequência e curvas lognormais de distribuição de probabilidade do Cálcio do Aquífero Tucunaré no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012 (histogramas com dados inconsistentes). ....	372
<b>Figura 6.14b</b> – Histogramas de frequência e curvas lognormais de distribuição de probabilidade do Cálcio do Aquífero Tucunaré no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012 (histogramas com dados consistentes). ....	373
<b>Figura 6.15</b> – Histogramas de frequência e curvas ajustadas de distribuição lognormal de probabilidade de ocorrência de Magnésio no Aquífero Tucunaré, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	374

<b>Figura 6.16</b> – Histogramas de frequência e curvas lognormais de distribuição de probabilidade do Cloreto do Aquífero Tucunaré, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	376
<b>Figura 6.17</b> – Histogramas de frequência e curvas lognormais de distribuição de probabilidade do Sulfato Aquífero Tucunaré, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	377
<b>Figura 6.18</b> – Histograma de frequência e curva lognormal de distribuição de probabilidade do Bicarbonato do Aquífero Tucunaré, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	379
<b>Figura 6.19a</b> – Histogramas de frequência e curvas normais ajustadas de distribuição de probabilidade da Dureza do Aquífero Tucunaré, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012, com valores inconsistentes de cálcio. ....	381
<b>Figura 6.19b</b> – Histogramas de frequência e curvas normais ajustadas de distribuição de probabilidade da Dureza do Aquífero Tucunaré, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012, com valores consistentes de cálcio. ....	382
<b>Figura 6.20</b> – Histogramas de frequência e curvas normais ajustadas de distribuição de probabilidade do Nitrato do Aquífero Tucunaré, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	383
<b>Figura 6.21</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Nitrito do Aquífero Tucunaré, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	385
<b>Figura 6.22</b> – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Amônia no Aquífero Tucunaré, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	386
<b>Figura 6.23</b> – Histogramas de frequência e curvas lognormais de distribuição de probabilidade do Ferro do Aquífero Tucunaré, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	388
<b>Figura 6.24</b> – Histogramas de frequência e curvas lognormais de distribuição de probabilidade do Manganês do Aquífero Tucunaré, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	390
<b>Figura 6.25</b> – Diagrama mostrando que a água subterrânea do aquífero Tucunaré tem origem nas precipitações e apresenta, em relação às mesmas, uma redução de 30% no conteúdo de $\delta^{18}\text{O}$ devido a perdas por evaporação da água meteórica durante o processo de recarga por infiltração direta das águas de chuva. ....	396
<b>Figura 6.26</b> – Idade qualitativa da recarga do aquífero Tucunaré, segundo os dados de trício de 7 (sete) amostras coletadas.....	397
<b>Figura 6.27</b> – Idades medidas com carbono 14 de amostras de água do aquífero Tucunaré.....	398
<b>Figura 6.28</b> – Classificação das águas do aquífero Tucunaré, coletadas no período chuvoso (abril de 2012) segundo o diagrama Triangular de Piper.....	401

<b>Figura 6.29</b> – Classificação das águas subterrâneas do aquífero Tucunaré, através do Diagrama de Piper, com base em amostras de água coletadas em outubro de 2012....	402
<b>Figura 6.30a</b> – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Tucunaré.....	408
<b>Figura 6.30b</b> – Água bicarbonatada sódica classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Tucunaré.....	408
<b>Figura 6.31a</b> – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Tucunaré. ....	409
<b>Figura 6.31b</b> – Águas bicarbonatadas sódicas, classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Tucunaré. ....	412
<b>Figura 6.31c</b> – Águas bicarbonatadas cálcicas, classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Tucunaré. ....	413
<b>Figura 6.31d</b> – Água cloretada cálcica, classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Tucunaré. ....	413
<b>Figura 6.32</b> – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Tucunaré no período chuvoso segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff. ....	414
<b>Figura 6.33</b> – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Tucunaré no período de estiagem segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff.....	415
<b>Figura 6.34</b> – Classificação das águas do Aquífero Tucunaré para fins de irrigação – Abril de 2012.....	416
<b>Figura 6.35</b> – Classificação das águas do Aquífero Tucunaré para fins de irrigação – Outubro de 2012.....	417

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Foto 1.1</b> – Kit's de coletas usados em campo para as amostragens de água dos aquíferos da PHA, nas duas campanhas. ....	<b>49</b>
<b>Foto 4.1</b> - Lavoura na área onde se localiza o poço RBR14 na zona rural do aquífero Rio Branco. ....	<b>199</b>
<b>Foto 4.2</b> - Culturas na área onde se localiza o poço RBR01 na região do aquífero Rio Branco. ....	<b>209</b>
<b>Foto 4.3</b> – Poço RBR19 em área próxima ao Corpo de Bombeiros, onde é comum a utilização de tintas a base de metais para manutenção da sinalização dos veículos.	<b>220</b>
<b>Foto 6.1</b> – Lançamento de esgoto <i>in natura</i> , em frente à residência situada a cerca de 85 m de distância do poço MPA29, no aquífero Tucunaré.....	<b>355</b>
<b>Foto 6.2</b> – Descarte de resíduos sólidos em frente à propriedade, onde está localizado o poço MPA14. ....	<b>393</b>
<b>Foto 6.3</b> – Galpão de oficina mecânica, onde está localizado o poço MPA28. ....	<b>393</b>

# **1 - Introdução**

## 1.1 – Objetivo do Estudo

A qualidade da água segundo Gonçalves & Giampá (2006) refere-se à composição de uma amostra, cuja classificação, a depender do objetivo a ser alcançado, é feita utilizando-se vários critérios. Uma simples classificação, relacionando a concentração de alguns constituintes presentes, pode ser suficiente para avaliar a qualidade da água para determinado uso. Entretanto, considerar as interações geoquímicas naturais é fundamental para a interpretação dos processos que controlam o quimismo da água. Na avaliação da qualidade, as impurezas presentes são retratadas por suas características físicas, químicas e biológicas, que são traduzidas em termos de parâmetros que permitem classificar a água por seu conteúdo mineral, caracterizar a sua potabilidade e apontar as anomalias de substâncias tóxicas.

A Resolução CONAMA 396/2008 considera que os aquíferos se apresentam em diferentes contextos hidrogeológicos e podem ultrapassar os limites de bacias hidrográficas, e que as águas subterrâneas possuem características físicas, químicas e biológicas intrínsecas, com variações hidrogeoquímicas, sendo necessário que o seu enquadramento em classes de qualidade seja pautado nessas especificidades.

A caracterização geoquímica das águas subterrâneas visa conhecer a composição das águas a partir dos tipos e quantidades de íons dissolvidos, para estabelecer relações com a geologia do ambiente e da atmosfera. De modo geral, a composição das águas apresenta variabilidade espacial e temporal, o que ressalta a importância do monitoramento contínuo ou sazonal (Enzweiler, 2010).

Desse modo, com o intuito de avaliar a potabilidade das águas subterrâneas de alguns dos aquíferos que compõe a Província Hidrogeológica Amazonas (PHA), bem como, a presença dos elementos nela dissolvidos, foram realizadas duas campanhas de amostragem, uma no período chuvoso (abril de 2012) e outra no período de estiagem (outubro de 2012), com seis meses de intervalo, nas cidades de Almeirim, Barcelos, Belém, Coari, Cruzeiro do Sul, Eirunepé, Fonte Boa, Humaitá, Itaituba, Lábrea, Macapá, Manaus, Parintins, Porto Velho, Rio Branco, Santarém, Tabatinga e Tefé (**figura 1.1**).

O monitoramento em ambas as campanhas de amostragem foi composto de análises físico-químicas, por meio dos parâmetros: cor, turbidez, condutividade elétrica (CE), temperatura, sólidos totais dissolvidos (STD), pH *in situ*, pH a 20°C, potencial redox (Eh), alcalinidade, dureza, sódio, potássio, cálcio, magnésio, cloreto, sulfato, carbonato, bicarbonato, nitrito, nitrato, amônia, nitrogênio orgânico, nitrogênio total kjeldahl, nitrogênio total, ferro e manganês; e análises bacteriológicas, através dos parâmetros Coliformes Totais e Termotolerantes (*E. Coli*). O quantitativo de poços analisados nas duas campanhas de amostragem, as cidades e seus respectivos aquíferos podem ser verificados na **tabela 1.1**.

Na segunda campanha de amostragem, além dos exames supracitados, também foram realizadas análises dos metais pesados: arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel e zinco; BTEX formado pelo benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (orto, meta e para); Fenóis; e Isótopos ambientais: deutério, oxigênio-18, trício e carbono-14.

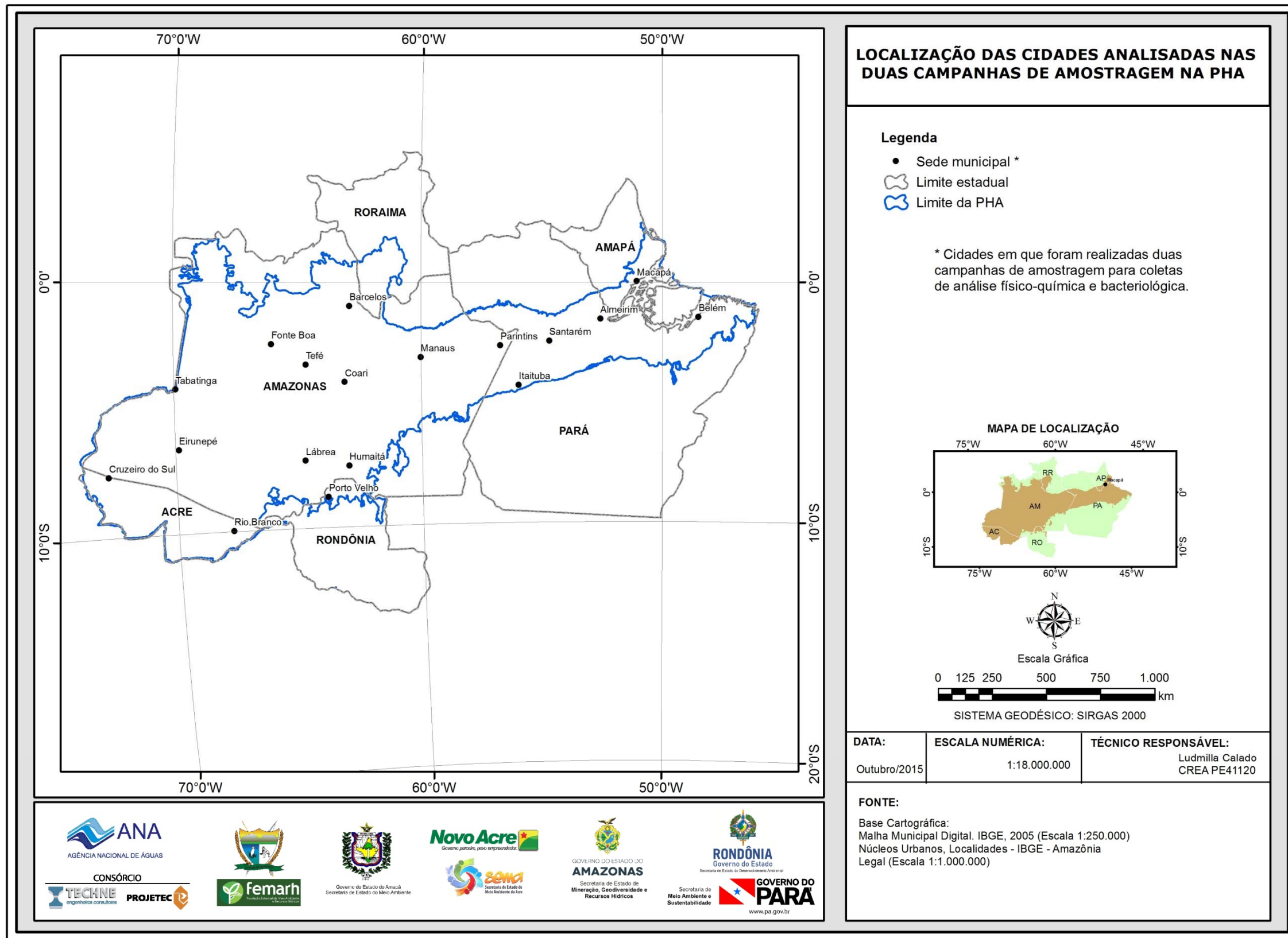


Figura 1.1 – Localização das cidades analisadas nas duas campanhas de amostragem na PHA.

**Tabela 1.1** – Quantitativos de poços analisados, cidades e seus respectivos aquíferos nas duas campanhas de amostragem na PHA.

Aquífero	Cidades	UF	Quantidade de poços analisados						
			Análise Físico-química e bacteriológica		Btex, Fenóis e Metais pesados *	Isótopos Ambientais *			
			Coleta 1	Coleta 2		Trítio	Deutério	Oxigênio-18	Carbono-14
Aluvial	Belém	PA	2	2	-	-	-	-	-
	Itaituba	PA	2	2	-	1	1	1	1
	Eirunepé	AM	5	5	-	2	2	2	-
	Tabatinga	AM	15	15	5	6	3	3	1
<b>Total</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>2</b>
Rio Branco	Rio Branco	AC	30	30	10	7	4	4	-
<b>Total</b>			<b>30</b>	<b>30</b>	<b>10</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>0</b>
Içá	Barcelos	AM	5	5	-	2	2	2	1
	Coari	AM	5	5	-	2	1	1	1
	Lábrea	AM	5	5	-	2	2	2	-
	Tefé	AM	5	5	-	2	2	2	-
	Fonte Boa	AM	5	5	-	2	2	2	-
	Humaitá	AM	5	5	-	2	2	2	1
<b>Total</b>			<b>30</b>	<b>30</b>	<b>0</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>3</b>
Tucunará	Macapá	AP	30	30	10	7	4	4	2
<b>Total</b>			<b>30</b>	<b>30</b>	<b>10</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>2</b>
Alter do Chão	Almeirim	PA	5	5	-	2	2	2	-
	Manaus	AM	30	30	-	2	3	3	4
	Parintins	AM	5	5	-	2	2	2	-
	Santarém	PA	30	30	10	7	4	4	4
<b>Total</b>			<b>70</b>	<b>70</b>	<b>10</b>	<b>13</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>8</b>
Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	Porto Velho	RO	30	30	11	4	1	1	1
<b>Total</b>			<b>30</b>	<b>30</b>	<b>11</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Barreiras	Belém	PA	18	18	-	1	1	1	1
<b>Total</b>			<b>18</b>	<b>18</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Pirabas	Belém	PA	10	10	0	1	1	1	2
<b>Total</b>			<b>10</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Monte Alegre	Itaituba	PA	1	1	0	-	-	-	-
<b>Total</b>			<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Itaituba	Itaituba	PA	2	2	0	1	1	1	1
<b>Total</b>			<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Inominado	Cruzeiro do Sul	AC	5	5	-	2	2	2	-
<b>Total</b>			<b>5</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0</b>

\* Realizada apenas na segunda coleta.

Em atendimento aos itens 6.4.2.1 e 6.4.3 dos Termos de Referência (TDRs), foram selecionados 250 (duzentos e cinquenta) poços para análises com o objetivo de realizar uma caracterização hidrogeoquímica dos aquíferos Aluvial,



Rio Branco, Içá, Tucunaré, Alter do Chão, Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, Barreiras, Pirabas, Monte Alegre, Itaituba e Inominado (Cruzeiro do Sul) inseridos na Província Hidrogeológica Amazonas no Brasil, visando, sobretudo proposições para a elaboração de projeto para proteção ambiental e gestão sustentável das águas subterrâneas na Região Amazônica nos 6 (seis) países que compõem as províncias hidrogeológicas Amazonas e Orinoco: Bolívia, Brasil, Equador, Colômbia, Peru e Venezuela.

Além dos aquíferos analisados neste relatório sob o ponto de vista hidrogeoquímico existem vários outros na PHA que não foram estudados, tais como: o aquífero confinado Javari, que ocorre em profundidade na bacia do Solimões; e o aquífero Divisor, também confinado, presente em plataformas na bacia do Acre. Esses importantes aquíferos, de extensão regional estão inseridos no Sistema Aquífero Amazonas no Brasil (SAAB) em profundidades até 1.000 m.

Na região de estudo também são encontradas unidades aquíferas, sobretudo intercalações areníticas de importância local na sequência paleozoica aflorante e que se distribuem pelos grupos: Trombetas (Formações Autás-Mirim, Nhamundá e Pitinga), Urupadi (Formações Maecuru e Ererê), Curuá (Formações Nambi e Panacu) e Tapajós (Formações Monte Alegre, Itaituba e Nova Olinda).

As sequências arenosas das formações cretácicas da bacia do Acre (Capanaua, Moa, Rio Azul, Divisor e Ramon) se encontram em profundidades superiores a 1.400 m ou afloram na Serra do Divisor, onde as suas águas subterrâneas escoam para o Peru.

## **1.2 – Critérios de seleção para as amostragens**

Como resultado do levantamento dos dados previsto no **item 6.2.1** dos TDRs, foram selecionados pela Consultora em comum acordo com a CTAF - Comissão Técnica de Acompanhamento e Fiscalização do Projeto PHA, os poços para as análises quantitativa e qualitativa dos aquíferos da PHA.

Para a seleção dos poços foram adotadas as 07 (sete) condições apresentadas no **item 6.4.2.1** dos TDRs, quais sejam:

1. Devem ser predominantemente poços produtores;
2. Deve-se ter a anuência do proprietário para a coleta no poço;
3. Deve captar prioritariamente um sistema aquífero único;
4. Deve estar distribuído o mais uniformemente possível em relação aos demais, de modo a constituírem uma amostragem representativa da região estudada;
5. Os poços devem possuir perfil construtivo e litológico;
6. Os poços devem ser georreferenciados com GPS com altímetro barométrico (precisão planimétrica mínima de 1,0 metro; precisão altimétrica mínima de 3,0 metros);
7. Os poços devem ser equipados com bomba e ligados a rede de energia.

A seleção propriamente dita para as 18 cidades inseridas na PHA foi feita através de consulta a uma macro em VBA Excel, aplicada à matriz do cadastro

geral (SIG ANA PHA 2013), através da qual foram selecionados todos os poços com o maior número de critérios atendidos, na área de estudo.

Em relação às análises de metais pesados, BTEX e Fenóis também se observou o critério do poço estar situado em locais próximos de potenciais fontes de contaminação como, por exemplo, indústrias de transformação, postos de combustível, estabelecimentos comerciais, entre outros, em consonância com o **item 6.4.3.2** dos TDRs.

Quanto à seleção dos poços para as análises de isótopos ambientais estáveis e radioativos foram feitas pela Consultora em definição conjunta com a CTAF, conforme consta no **item 6.4.3.2** dos TDRs, sempre com a preocupação de não coletar amostras em poços equipados com sistemas de bombeamento *air-lift* para evitar possíveis alterações nos resultados das análises, devido à presença de bolhas de ar.

### 1.3 – Procedimentos de Coleta

Para a coleta em campo nas 18 cidades da PHA, o Laboratório Bioagri forneceu aos grupos, acondicionados em caixas de isopor, cinco kit's de coletas, cada um deles para a amostragem de um poço, contendo: quatro frascos para coletas das análises físico-químicas, um frasco para a coleta das análises bacteriológicas, uma esponja dupla face, dois pares de luvas, uma fita crepe, três sacos plásticos grandes, as fichas do laboratório para as informações das coletas e dois kit's extras para um eventual problema durante a amostragem, como pode ser observado na **foto 1.1**.



**Foto 1.1** – Kit's de coletas usados em campo para as amostragens de água dos aquíferos da PHA, nas duas campanhas.

Nas coletas das análises físico-químicas e bacteriológicas foram utilizados cinco frascos de polietileno para cada poço, sendo um de 500 mL, dois de 250 mL, um de 150 mL e um de 100 mL. Todos os frascos foram abertos somente

no ato da coleta, preenchidos com as amostras de água e imediatamente preservados em refrigeração e suas análises realizadas no prazo de 48 horas. Nos frascos para as análises químicas da série nitrogenada (nitrogênio amoniacal e nitrogênio Kjeldahl Total), além das preservações das amostras em refrigeração, foram adicionados volumes de ácido sulfúrico.

Para as análises bacteriológicas, todos os frascos foram autoclavados, contendo uma partilha de tiosulfato de sódio, sendo acondicionado em isopor com gelo para preservação, logo após a coleta, pelo prazo de 24 horas, até a realização da análise.

Para as análises isotópicas de  $^{18}\text{O}$  e  $^2\text{H}$ , as amostras foram armazenadas em frascos plásticos (100 mL) de polipropileno, tendo-se o cuidado de não deixar qualquer bolha permanecer no recipiente para evitar alterações nos resultados.

#### **1.4 – Métodos de Análise**

As metodologias de análise utilizadas pelo laboratório Bioagri Ambiental para os parâmetros físico-químicos e bacteriológicos foram os seguintes:

**Cor** - POP PA 012 (Rev.02) / SMWW 2120 C;

**Condutividade Elétrica** - POP PA. 014 (Rev.00) / SMEWW 2510;

**Dureza** - POP PA 027 / SMWW 2340 A, B, C;

**Turbidez** - POP PA 013 (Rev.03) / SMWW 2130 B;

**Sólidos Totais Dissolvidos (STD)** - POP PA 009 (Rev.04) / SMWW 2540C;

**pH** - POP PA 011 (Rev.03) / SMWW 4500 – H+ B;

**Alcalinidade** - POP PA 026 / SMWW 2320B;

**Bicarbonato** - SMEWW 4500-CO<sub>2</sub>;

**Ânions** - POP PA 032 / USEPA SW 846 – 300.1. *Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography*;

**Metais** (ICP-MS) - POP PA 038 (Rev.01) / SMWW 3125 B, *Inductively Coupled Plasma/Mass Spectrometry/USEPA 6020*;

**Nitrogênio Total** - Soma do NTK, NO<sub>3</sub> e NO<sub>2</sub>;

**Nitrogênio Total Kjeldahl** - POP PA 007 / SMEWW 4500 Norg C;

**Nitrogênio Amoniacal** - POP PA 005 /SMEWW 4500 - NH<sub>3</sub>- D- *Ammonia - Selective Electrode Method*;

**Coliformes** - POP PA 040 (Ver. 05) / SMEWW 9223 B;

**Carbono 14** - *Accelerate Mass Spectrometry (AMS)*.

O controle de qualidade do laboratório se baseou na Resolução CONAMA 396/2008 para o limite quantitativo praticável padrão para todas as amostras das águas subterrâneas que foram submetidas às análises físico-químicas e bacteriológicas. O controle de qualidade dos metais totais das amostras foi realizado pelo Branco de Análise para sódio, potássio, cálcio e magnésio, todos com limites quantificáveis de 10 µg/L; e manganês e ferro nos limites quantificáveis de 0,1 µg/L; e os resultados analisados por *Inductively Coupled*

Plasma (ICP/MS) foram ( $< 10 \mu\text{g/L}$ ) para sódio, potássio, cálcio e magnésio e ( $< 0,1 \mu\text{g/L}$ ) para manganês e ferro.

No ensaio do Branco de Análise, à amostra controle e às amostras dos 30 poços foram adicionados 50% de ítrio e recuperados por análise de (ICP/MS) e todos ficaram na faixa do limite aceitável que é de 70 a 130%. Enquanto que para os ensaios de recuperação analisados por ICP/MS foram adicionados  $10 \mu\text{g/L}$  dos metais (lítio, vanádio, cobalto, zinco, molibdênio, antimônio e chumbo) e foram recuperados para cada metal 80% das alíquotas adicionadas que fica na faixa aceitável de recuperação que está o intervalo de (80 a 120%).

O Limite de Quantificação da Amostra (LQ) pode variar no mesmo parâmetro, pois consiste no resultado obtido entre o Limite de Quantificação do Método (LQM), multiplicado pelo fator de preparo da amostra, multiplicado pela correção da base seca, quando aplicável.

No ensaio de Carbono-14 os resultados são apresentados no padrão convencional de radiocarbono Idade Anos BP (*before present*), que representa o "radiocarbono medido Idade BP", de duas maneiras: Percentual de Carbono Moderno (pMC), que indica a média do resultado de biomassa (expressa em %), para menos de 200 anos BP; e Fração de Carbono Moderno (Fmdn).

## 1.5 – Modelagem Geoestatística

Nas ciências da terra os dados são tipicamente distribuídos no espaço e/ou no tempo. O conhecimento do valor de um atributo (por exemplo, o teor de sódio), é de pouco ou nenhum interesse a menos que a data e o local da medida sejam conhecidos e possam ser incorporados à análise dos dados.

A interpretação dos dados hidrogeoquímicos obtidos através das análises realizadas pelo Laboratório da Bioagri Ambiental nas duas campanhas de amostragem sazonal levadas a efeito no ano de 2012, com intervalo de 6 (seis) meses, utilizará apenas estatísticas *univariadas*, sendo numa primeira etapa a *univariada temporal* e em seguida a *univariada espacial*, sendo essa última aplicada na elaboração dos mapas de zoneamento. Antes, porém, julga-se conveniente apresentar alguns conceitos geoestatísticos, segundo Goovaerts (1997), nos quais essa análise se baseia:

### Terminologia

- **Atributo** - É uma propriedade física que pode ser um atributo *contínuo*, simbolizado por letras minúsculas, tais como, *z* ou *s*. Um exemplo é a concentração de uma substância dissolvida na água, medida numa escala quantitativa de valores (teor de sulfato). O atributo também pode ser de *categoria*, caso em que somente assume um limitado número de estados, por exemplo, tipos de rocha (sedimentar, metamórfica, etc) ou usos do solo (agricultura, pecuária, etc).
- **Variável** - Simbolizada por letras maiúsculas, tais como *Z* ou *S*, é definida como o conjunto de possíveis valores ou estados que o atributo *z* ou *s* pode assumir numa região  $A$  (área de estudo) em um local com vetor de posição ou de coordenadas  $\mathbf{u}$ . Nesse último caso, a variável é expressa por  $Z(\mathbf{u})$  ou  $S(\mathbf{u})$ .

- **Indivíduo** - O valor do atributo é medido em uma amostra física, por exemplo, uma amostra de água subterrânea coletada em um poço durante um estudo de campo. Na estatística univariada um atributo contínuo medido nessa amostra (teor de cálcio) é um indivíduo, interpretado como *um ponto*, sem levar em conta a sua localização no espaço.
- **População** - É definida como o conjunto das (infinitas) medidas do atributo de interesse, passíveis de serem realizadas na área de estudo. Já a coleção ou conjunto finito de valores (por exemplo, 30 valores) medidos do atributo (teor de cálcio) é designado conjunto amostral ou simplesmente *amostra*.
- **Parâmetro** - Parâmetros são quantidades constantes de um modelo, por exemplo, o parâmetro ou estatística "*média*" de uma função de distribuição lognormal que modela um histograma.

### ***Estatística Descritiva***

Feições importantes de uma distribuição de frequência são o seu valor central e as medidas de seu desvio ou espalhamento e simetria. O valor central, nas distribuições ditas Normais (ou simétricas) é a média aritmética. Nas distribuições muito assimétricas o valor central é a mediana, que é o valor correspondente a uma frequência acumulada de 50%, isto é, o valor que separa a distribuição em duas metades: uma de valores mais baixos e uma de valores mais altos em relação à média.

### ***Distribuição de frequência***

Seja  $\{z(\alpha), \alpha = 1, \dots, n\}$  o conjunto de medidas do atributo contínuo  $z$  nos  $n$  indivíduos  $\alpha$ . Nesse contexto a posição real desses dados não é levada em conta. A distribuição de valores contínuos é tipicamente revelada por um histograma com a faixa de valores dos dados discretizada em certo número de classes de igual largura e a proporção relativa dos dados dentro de cada classe expressa pela altura das barras. Essas proporções relativas definem as frequências de classe e, portanto, o histograma reflete a distribuição de frequência dos  $z$ -valores para uma dada definição de classes.

Assim sendo, a modelagem dos histogramas de frequência dos conjuntos amostrais dos atributos medidos nas duas campanhas de coleta de água (período chuvoso e período seco), através de funções de distribuição de probabilidade permite avaliar com risco calculado os valores esperados de cada atributo de acordo com o período de coleta. Caso sejam constatadas diferenças, admite-se que elas seguramente serão indicativas de influências da sazonalidade. Detalhes complementares são fornecidos no texto que segue, visando justificar o procedimento adotado neste trabalho.

### ***Descrição Espacial e Temporal Univariada***

Na estatística clássica os valores de dados observados são supostos aleatórios e não existe correlação entre eles. Na geoestatística admite-se que o campo das medidas (região  $A$ ) é *estatisticamente estacionário*, o que equivale a dizer que a diferença entre os valores medidos entre dois pontos só depende da distância entre eles, tendo-se como paradigma que valores de atributos em

pontos mais próximos são mais semelhantes do que valores em pontos mais afastados.

Este é o paradigma da técnica de inferência conhecida por *krigagem*, que permite modelar a autocorrelação em função da distância. Assim, dentro de uma região  $A$  para cada posição  $\mathbf{u} \in A$ , o valor do atributo ambiental  $Z(\mathbf{u})$  é modelado como uma variável aleatória (Deutsch & Journel, 1998; Felgueiras, 1999). Na modelagem geoestatística a variável aleatória  $Z(\mathbf{u})$  pode assumir diferentes valores para o atributo e, cada um deles, com uma probabilidade de ocorrência associada. Nas posições amostradas  $\mathbf{u}_\alpha, \alpha = 1, 2, \dots, n$  os valores  $Z(\mathbf{u}_\alpha)$  são considerados determinísticos ou, ainda, podem ser considerados como variáveis aleatórias cujo valor medido tem uma probabilidade de 100% de ocorrer. Nas posições não amostradas a incerteza associada aos valores de  $Z(\mathbf{u})$  é modelada pela função de distribuição de probabilidade da variável aleatória  $Z(\mathbf{u})$ . Da mesma maneira os valores determinísticos  $Z(\mathbf{u}_\alpha)_t$  medidos nas duas campanhas, nos tempos  $t_1$  (abril de 2012) e  $t_2$  (outubro de 2012), estão associados aos valores desconhecidos  $Z(\mathbf{u}, t)$ , em uma data qualquer, cuja incerteza é modelada a partir dos respectivos histogramas de  $Z(\mathbf{u}_\alpha, t)$  pela função de distribuição de probabilidade da variável aleatória  $Z(\mathbf{u}, t)$ . Assim é possível comparar com o mesmo nível de risco os valores esperados em ambos os conjuntos de dados correspondentes, respectivamente, ao período chuvoso e ao período seco.

### **1.6 – Modelagem Estatística de Parâmetros Físico-Químicos com Valores Abaixo do Limite de Detecção**

Sem dados numéricos não é possível descrever a estatística nem construir histogramas de frequência para modelagem geoestatística da lei de distribuição de probabilidade de um atributo. Na **tabela 1.2** se encontram os parâmetros físico-químicos analisados nas 18 cidades da PHA, os limites de detecção (LD) e os valores numéricos ligeiramente menores adotados como aproximação dos LD, para permitir a descrição estatística e a modelagem geoestatística dos resultados obtidos.

**Tabela 1.2** – Parâmetros analisados, limites de detecção (LD) e valores numéricos adotados para estatística descritiva dos resultados das coletas nos Aquíferos da PHA nas duas campanhas.

Parâmetros analisados	Unidade	LD (mg/L)	Valor Numérico Adotado
Cor	uH	< 5	4,9
Turbidez	NTU	< 0,1	0,09
Condutividade elétrica	µS/cm	-	-
Temperatura	°C	-	-
STD	mg/L	< 5	4,9
Alcalinidade Total	mg/L	< 5	4,9
pH	-	-	-
Eh	mV	-	-
Sódio	mg/L	< 0,01	0,009
Potássio	mg/L	< 0,001	0,0009
Cálcio	mg/L	< 0,01 < 0,001	0,009 0,0009
Magnésio	mg/L	-	-
Cloreto	mg/L	< 0,5	0,49
		< 1	0,9
		< 2	1,9
Sulfato	mg/L	< 0,5	0,49
		< 1	0,9
Bicarbonato	mg/L	< 0,5	0,49
Dureza	mg/L	< 5,0	4,9
Nitrato	mg/L	< 0,1	0,09
		< 0,2	0,19
Nitrito	mg/L	< 0,02	0,019
		< 0,01	0,009
		< 0,04	0,039
Amônia (Nitrogênio Amoniacal)	mg/L	< 0,1	0,09
Nitrogênio Orgânico	mg/L	< 0,1	0,09
Nitrogênio Total Kjeldahl	mg/L	< 0,1	0,09
Nitrogênio Total	mg/L	< 0,5	0,49
Ferro	mg/L	< 0,001	0,0009
		< 0,0001	0,00009
Manganês	mg/L	< 0,001	0,0009
		< 0,0001	0,00009
Índice de fenóis	mg/L	< 0,001	0,0009
Bário	mg/L	< 0,001	0,0009
Níquel	mg/L	< 0,001	0,0009
Zinco	mg/L	< 0,001	0,0009
Cádmio	mg/L	< 0,001	0,0009

**Tabela 1.2** – Parâmetros analisados, limites de detecção (LD) e valores numéricos adotados para estatística descritiva dos resultados das coletas nos Aquíferos da PHA nas duas campanhas (Continuação).

Parâmetros analisados	Unidade	LD (mg/L)	Valor Numérico Adotado
Chumbo	mg/L	< 0,001	0,0009
Cobre	mg/L	< 0,001	0,0009
Cromo	mg/L	< 0,001	0,0009
Mercurio	mg/L	< 0,0001	0,00009
Arsênio	mg/L	< 0,001	0,0009
Benzeno	mg/L	< 0,001	0,0009
Tolueno	mg/L	< 0,001	0,0009
Etilbenzeno	mg/L	< 0,001	0,0009
o-Xileno	mg/L	< 0,001	0,0009
m,p-Xilenos	mg/L	< 0,002	0,0019
E.Coli	Presente = 1 e Ausente = 0	-	-
C. Totais		-	-

No que se refere, por exemplo, ao parâmetro Cor, os resultados obtidos no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso mostraram em 100% (30/30) das amostras coletadas, valores de cor < 5 uH, ou seja, inferiores ao LD. Dessa forma, para fins de realização da estatística descritiva o resultado desconhecido (< 5) foi substituído por um valor numérico próximo (no caso, 4,9), que atende matematicamente a condição apresentada na análise, embora o verdadeiro valor do parâmetro seja desconhecido.

Com 100% de valores de cor abaixo do LD, os parâmetros média, mediana, mínimo, máximo, são todos iguais a 4,9 uH. A rigor, o erro amostral é nulo, ou seja,  $(\bar{X} - \mu = 0)$  indicando que a média da amostra é igual à média da população. O desvio padrão, o erro padrão e a assimetria são nulos. Não obstante, essa amostra pode ter a sua estatística descritiva, como se vê na **tabela 1.3**, caracterizada de forma aproximada, com um desvio padrão de 2,71 E-15, isto é, um desvio muito pequeno, próximo de zero, capaz de assegurar que todos os valores tenham a mesma probabilidade (**tabela 1.4**). Notar que, como só existe um valor, não se dispõe de um histograma de frequência para ajuste da lei de distribuição, mas apenas de um gráfico de barra ou histograma fictício construído com a aproximação usada, ao qual não há como ajustar uma lei de frequência. Havendo, porém, um único valor quantificado, já se pode caracterizar um histograma e uma lei de distribuição de probabilidade.

**Tabela 1.3** – Estatística descritiva com 100% de valores abaixo do limite de detecção da cor, substituídos por um valor numérico.

Cor	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
Cor-1	30	4,9	4,9-1,01E-15	4,9+1,01E-15	4,9	4,9	4,9	2,7E-15	4,9E-16	-1,05



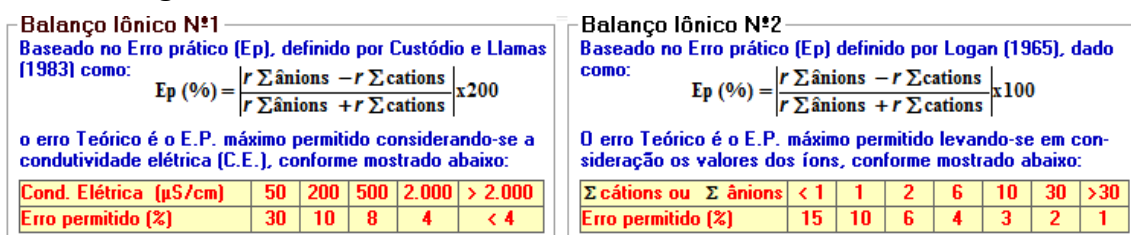
**Tabela 1.4** – Distribuição de probabilidade da cor para 100% de valores abaixo do limite de detecção, substituídos por um valor numérico.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Cor-1	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9

A modelagem geoestatística concebida para avaliar o efeito da sazonalidade apresentou em alguns parâmetros um viés ou bias estatístico, que se caracteriza pela indicação de duas tendências de sazonalidade (seco e chuvoso), com diferentes riscos. Por exemplo, a CE no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho apresentou com 50 e 20% de risco, maior valor no período chuvoso e com riscos de 10, 5, 2 e 1%, maior valor no período seco. Nesses casos, onde a modelagem não é conclusiva a respeito da sazonalidade, considerou-se como sazonal o período indicado pela maior média e mediana na estatística descritiva.

### 1.7 - Balanço Iônico

Os resultados das análises físico-químicas das duas campanhas de amostragem foram submetidos a avaliações, pelo cálculo do balanço de cátions e ânions, por meio do *software Qualigraf* desenvolvido pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME, 2010), o qual determina o Erro Prático (Ep) segundo as metodologias de Custodio & Llamas (1983) no balanço iônico nº 1 e Logan (1965) no balanço iônico nº 2, como mostra a **figura 1.2**.



**Figura 1.2** – Equações utilizadas no *software Qualigraf* para estimativa do erro prático no balanço iônico, segundo as metodologias de Custodio & Llamas (1983) e Logan (1965).

Segundo essas referências, a metodologia do balanço iônico nº 1 estabelece Ep máximo de 30%, levando em consideração o valor de condutividade elétrica, ao passo que a metodologia do balanço iônico nº 2 define Ep limite de 15% observando os valores de íons.

Altos valores de Ep podem indicar erro analítico, erro de cálculo, presença de certos íons não analisados na água em concentrações apreciáveis, ou águas muito poucas mineralizadas, tais como água da chuva.

### 1.8 - Índice de Troca de Bases (ITB)

O Índice de Troca de Bases (ITB), também chamado Índice de Desequilíbrio, permite avaliar o grau de troca iônica ocorrido numa água com base nas relações entre os seus íons. Esse índice foi definido por meio da equação de Schoeller (1962), onde o símbolo *r* representa os valores em meq/L, como pode ser observado abaixo:

$$itb = \frac{rCl - r(Na + K)}{rCl}$$

Nas águas subterrâneas o ITB pode tomar valores positivos ou negativos, em geral, próximos de zero. Quando há abrandamento, ou seja, troca de  $\text{Ca}^{++}$  e  $\text{Mg}^{++}$  por  $\text{Na}^+$ , o seu valor tende a diminuir enquanto que, se existe endurecimento, tende a crescer.

### 1.9 - Razões Iônicas

As razões iônicas são as relações entre os íons dissolvidos em uma água que podem guardar certa ligação com o terreno do qual procede à água indicando a ação de fenômenos modificadores, ou sugerindo alguma característica específica.

De acordo com Hem (1985), o estudo de razões iônicas é importante para a classificação e interpretação hidrogeoquímica das águas subterrâneas, para tanto, estabelece as principais razões iônicas e seus significados. Algumas dessas razões (adimensionais) entre íons são expressas em meq/L como indica o símbolo **r** nas equações apresentadas na **tabela 1.5**.

**Tabela 1.5** – Principais razões iônicas e seus significados segundo Hem (1985).

Razões Iônicas	Variações Teóricas	Significado
$\frac{r\text{Mg}^{2+}}{r\text{Ca}^{2+}}$	0,25 a 0,33	Água de circulação em rocha de composição granítica
	0,33 a 1,5	Águas continentais
	> 0,9	Contato com água do mar ou fluxo através de rocha básica; possível influência de terrenos dolomíticos
	> 1	Relações com litotipos ricos em silicatos magnesianos
	± 5	Água do mar
$\frac{r\text{Na}^+}{r\text{Cl}^-}$	< 0,0876	Água do mar; substituição de $\text{Na}^+$ por $\text{Ca}^{+2}$ e $\text{Mg}^{+2}$
	< 0,7	Precipitações de sais de $\text{Na}^+$
	> 0,7	Fluxo através de rochas cristalinas ou vulcânicas
$\frac{r\text{Cl}^-}{r\text{HCO}_3^-}$	0,5	Fluxo normal para rochas cristalinas
	0,1 a 0,5	Águas continentais
	20 a 50	Água do mar

### 1.10 - Índice de Langelier

O índice de Langelier, também conhecido como índice de saturação (IS), é utilizado para verificar se uma água está ou não em equilíbrio com a calcita (carbonato de cálcio sólido)  $\text{CaCO}_{3(s)}$ , dependendo de o seu valor ser positivo ou negativo.

O IS é definido como a diferença entre o pH real (medido) da água e o pH hipotético  $\text{pH}_s$  (pH de saturação) que a água teria se estivesse em equilíbrio com a calcita  $\text{CaCO}_{3(s)}$ . A determinação do pH de saturação ( $\text{pH}_s$ ) é feita a partir dos parâmetros de temperatura, sólidos totais dissolvidos (STD), dureza e alcalinidade total.

O IS pode ser obtido por meio da seguinte equação:

$$\text{IS} = \text{pH} - \text{pH}_s$$

O pH de saturação é calculado pela seguinte equação:

$$pH_s = 9,3 + A + B - C - D, \text{ sendo:}$$

$A = 0,1 \times \log(\text{STD}) - 1$	$B = -13,12 \times \log(T + 273) + 34,55$
$C = \log(\text{dureza}) - 0,4$	$D = \log(\text{alcalinidade})$

A classificação da tendência das águas de acordo com o IS é apresentada na **tabela 1.6**.

**Tabela 1.6 – Faixas do IS segundo Snoeyink & Jenkins (1980).**

IS	Possível tendência da água
>0	Água supersaturada - tende a precipitar calcita $\text{CaCO}_{3(s)}$
0	Estável - água em equilíbrio com o $\text{CaCO}_{3(s)}$
<0	Água subsaturada - tende a dissolver a calcita $\text{CaCO}_{3(s)}$

### 1.11 - Correlação entre Variáveis Hidrogeológicas

Os parâmetros físico-químicos, sódio (Na), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), cloreto (Cl), sulfato ( $\text{SO}_4$ ), condutividade elétrica (CE), sólidos totais dissolvidos (STD), pH *in situ* (pH), potencial redox (Eh), alcalinidade total (Alc), nitrito ( $\text{NO}_2$ ), nitrato ( $\text{NO}_3$ ), amônia ( $\text{NH}_3$ ), ferro (Fe), carbonato ( $\text{CO}_3$ ) e bicarbonato ( $\text{HCO}_3$ ) analisados nas duas campanhas de amostragem foram submetidos a avaliações de correlação, por meio do *software Assistat* desenvolvido no Departamento de Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG (Silva, 2012), o qual aplica o Teste t aos níveis de 5 e 1% de significância e fornece o coeficiente de correlação ( $\rho$ ).

Quanto ao nível de significância, as correlações são classificadas como:

- Não Significativas (“ns” ao nível superior a 5%)
- Significativas (“\*” ao nível de 5%)
- Muito Significativas (“\*\*\*” ao nível de 1%)

As correlações podem ser positivas ( $0 < \rho < 1$ ); ou negativas ( $-1 < \rho < 0$ ). A qualidade das correlações foi classificada em 5 (cinco) categorias, de acordo com as seguintes faixas de valores de  $\rho$ :

- Correlação Muito Fraca: positiva ( $0 < \rho < 0,2$ ) ou negativa ( $-0,2 < \rho < 0$ )
- Correlação Fraca: positiva ( $0,2 < \rho < 0,4$ ) ou negativa ( $-0,4 < \rho < -0,2$ )
- Correlação Moderada: positiva ( $0,4 < \rho < 0,7$ ) ou negativa ( $-0,7 < \rho < -0,4$ )
- Correlação Forte: positiva ( $0,7 < \rho < 0,9$ ) ou negativa ( $-0,9 < \rho < -0,7$ )
- Correlação Muito Forte: positiva ( $\rho > 0,9$ ) ou negativa ( $\rho < -0,9$ )

## 1.12 – Influência do Intemperismo Químico Regional na Qualidade das Águas Subterrâneas da Província Hidrogeológica Amazonas - PHA

As considerações a seguir, derivadas de Snoeyink & Jenkins (1980), ajudam a entender a formação da composição química dos tipos de águas naturais oriundas de precipitações e, por esse motivo, são úteis para a interpretação dos resultados das análises físico-químicas realizadas na PHA.

Como parte do ciclo hidrológico a água que evapora dos oceanos é transportada para o interior dos continentes. O vapor d'água, durante a sua passagem através da baixa atmosfera, tem a possibilidade de entrar em equilíbrio com os gases ali existentes, cuja composição média está sujeita a variações consideráveis, principalmente de alguns constituintes menores, tais como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), etc. que são produtos de processos de combustão e estão associados com a poluição do ar, em comunidades urbanas e industriais.

Quando precipita sobre a superfície do terreno, a água da chuva entra em contato com rochas, sedimentos, solos, áreas urbanas, animais e plantas. Desse contato decorrem reações químicas que posteriormente modificam a composição da água. As reações químicas dos ácidos da água da chuva ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  e  $\text{NO}_x$ ) com os minerais constituintes das rochas alteram esses minerais através de um processo chamado de **intemperismo químico**. Trata-se de um processo que depende exclusivamente da água.

Os fatores condicionantes deste processo são inúmeros, começando pelo clima, marcado por altas temperaturas e alta pluviosidade associadas a uma vasta cobertura vegetal, incluindo ainda relevo, circulação de água, condições de Eh e pH, variações no nível freático e, sobretudo, tempo de atuação desses fatores.

Na PHA esse processo vem atuando sobre as formações cenozoicas, nas quais se encontram os principais aquíferos, desde o Neomioceno até os dias atuais, ou seja, há milhões de anos, e dele resultaram como produtos: resíduos e solutos.

- **Resíduos:** são elementos “insolúveis” em água, tais como  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{Fe}^{3+}$  que dão origem a depósitos de bauxita e laterita, respectivamente, além do quartzo que resulta em areia;
- **Solutos:** são elementos móveis em solução: Na, K, Ca, Mg, Cl,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{HCO}_3$ , que são lixiviados no processo de intemperismo e quase totalmente (99%) transportados pelos rios, daí porque é de se esperar que na PHA esses íons não mais existam em quantidade significativa nos sedimentos e que hoje estes provenham, sobretudo, da água da chuva e de influências antrópicas, já que todas as amostras foram coletadas em zonas urbanas na PHA.

Portanto, a origem desses solutos nas águas subterrâneas dos aquíferos da PHA, nos quais predominam materiais arenosos, provavelmente pouco se deve ao processo de intemperismo, que praticamente já está consumado. As baixas concentrações se devem ao fato de os íons provêm quase totalmente da chuva.

Em praticamente toda a PHA, as águas subterrâneas apresentam baixos teores de STD, CE, Ca, Mg, K, Na, CO<sub>3</sub> e HCO<sub>3</sub>, mas possuem altos teores de ferro, que afetam 29% das amostras na primeira campanha e 27% na segunda, de forma a ultrapassar o VMP de potabilidade da Portaria MS 2914/2011.

Por outro lado, a presença desses teores de ferro na água subterrânea não se deve diretamente ao intemperismo, pois este não gera ferro solúvel e sim à dissolução do Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> existente na laterita (39,34% em peso) pela água de infiltração oriunda da chuva, que possui pH ácido e conforme avaliação de Forti & Moreira-Nordemann (1991) variável na região de floresta de terra firme de 4 a 5,3 na região Amazônica. Santos *et al.* (1981) também verificaram que nas águas dos caules das árvores o pH variou de 5 a 7 e do lençol freático de 3 a 4.

Isso ocorre porque a água da chuva rica em O<sub>2</sub>, em interação com o CO<sub>2</sub> da atmosfera, adquire caráter ácido e em contato com o solo, onde a respiração das plantas pelas raízes e a oxidação da matéria orgânica (processos redox) enriquecem o ambiente em CO<sub>2</sub>, diminuindo ainda mais o seu pH (Teixeira *et al.*, 2000).

## **2 – Parâmetros Usados na Avaliação Hidrogeoquímica das Águas dos Sistemas Aquíferos da PHA**

## 2.1 - Cor

A cor de uma amostra de água está associada ao grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la. Esta redução se dá por absorção de parte da radiação eletromagnética, devido à presença de sólidos dissolvidos, principalmente material em estado coloidal orgânico e inorgânico. Dentre os colóides orgânicos, podem ser mencionados os ácidos húmico e fúlvico, substâncias naturais resultantes da decomposição parcial de compostos orgânicos presentes em folhas, dentre outros substratos. Os esgotos domésticos também se caracterizam por apresentarem predominantemente matéria orgânica em estado coloidal (CETESB, 2009).

Do total de compostos inorgânicos capazes de causar cor na água, os principais são os óxidos de ferro e manganês, que são abundantes em diversos tipos de solo.

Para consumo humano, segundo a Portaria do Ministério da Saúde - MS 2914/2011, o valor máximo permitido (VMP) para cor é 15 uH – *Unidade Hazen* (mgPt-Co/L).

## 2.2 - Turbidez

A turbidez está relacionada com a presença de argila, silte, substâncias orgânicas (por exemplo: húmus) ou inorgânicas (por exemplo: óxidos) finamente divididas, plâncton e algas, indicando o risco de entupimentos de filtros e tubulações. A água subterrânea nas condições em que circula no ambiente subterrâneo é praticamente isenta de turbidez. Valores altos de turbidez em águas subterrâneas coletadas por bombeamento, geralmente ocorrem em poços mal desenvolvidos e são devidos ao carreamento de partículas finas da formação geológica através dos filtros.

As unidades utilizadas para expressar a turbidez são: NTU (*Nefelometric Turbidity Unit*), FTU (*Formazin Turbidity Unit*) ou uT (Unidade de Turbidez), sendo essas unidades correspondentes 1:1 (Celligoi, 1999; Szikszay, 1993).

O VMP da turbidez para consumo humano, segundo a Portaria MS 2914/2011 é de 5 uT (unidade de Turbidez).

## 2.3 – Condutividade Elétrica (CE)

A condutividade é a expressão numérica da capacidade de uma água conduzir a corrente elétrica. Depende das concentrações iônicas e da temperatura e indica a quantidade de sais existentes na coluna d'água e, portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes. Em geral, níveis superiores a 100  $\mu\text{S/cm}$  indicam ambientes impactados (CETESB, 2009).

A condutividade também fornece uma boa indicação das modificações na composição de uma água, especialmente na sua concentração mineral, mas não fornece nenhuma indicação das quantidades relativas dos vários componentes. A condutividade da água aumenta à medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados, portanto, a sua medição permite estimar rapidamente a quantidade de sólidos totais dissolvidos (STD) presentes na água, usando (por exemplo) uma relação do tipo  $STD = aCE$ , sendo "a" um coeficiente angular variável de aproximadamente 0,55 a 0,75.

## 2.4 – Temperatura

Variações de temperatura é parte do regime climático normal e corpos de água naturais apresentam variações sazonais e diurnas, bem como estratificação vertical. A temperatura superficial é influenciada por fatores tais como latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade (CETESB, 2009).

As águas subterrâneas têm uma amplitude térmica pequena, isto é, de modo geral sua temperatura não é influenciada pelas mudanças da temperatura atmosférica, exceto quando os aquíferos freáticos são pouco profundos. Em profundidades maiores a temperatura da água é influenciada pelo grau geotérmico local (em média 1°C a cada 30 m).

A temperatura influencia e condiciona uma série de variáveis físico-químicas. Em geral, à medida que a temperatura aumenta de 0 a 30°C, viscosidade, tensão superficial, compressibilidade, calor específico, constante de ionização e calor latente de vaporização diminuem, enquanto a condutividade térmica e a pressão de vapor aumentam.

## 2.5 – Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

Os sólidos totais dissolvidos (STD) correspondem à massa total dos constituintes minerais presentes na água por unidade de volume. Na maioria das águas naturais, a condutividade elétrica (CE) da água, multiplicada por um fator que varia entre 0,55 e 0,75, gera uma boa estimativa de STD (Suassuna, 2007).

Analiticamente, o STD corresponde a toda matéria que permanece como resíduo, após evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma temperatura de 110 °C. As operações de secagem, calcinação e filtração são as que definem as diversas frações de sólidos presentes na água, sólidos totais, em suspensão, dissolvidos, fixos e voláteis. Os valores de STD variam entre 10 mg/L na chuva e menos que 25 mg/L na água em regiões úmidas e rochas pouco solúveis (Celligoi, 1999).

De acordo com Mcneely *et al.* (1979), as águas subterrâneas podem ser classificadas com base nos valores de STD, em doce, ligeiramente salobra e moderadamente salobra (**tabela 2.1**).

**Tabela 2.1** - Classificação das águas subterrâneas quanto ao STD, segundo Mcneely *et al.* (1979).

Tipo de água	STD (mg/L)
Doce	> 1.000
Ligeiramente Salobra	> 1.000 - 3.000
Moderadamente Salobra	> 3.000 - 10.000

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabeleceu na Resolução CONAMA 357/2005 a classificação das águas para enquadramento em doces (STD ≤ 500 mg/L), salobras (500 < STD ≤ 1.500 mg/L) e salinas (STD > 1.500 mg/L).



A Portaria MS 2914/2011 e a Resolução CONAMA 396/2008 definem como padrão organoléptico de potabilidade para consumo humano o valor máximo de 1.000 mg/L de STD.

## 2.6 – Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH (potencial hidrogeniônico) é o logaritmo negativo da atividade do íon hidrogênio, que varia de 0 a 14 e indica a intensidade da acidez ( $\text{pH} < 7$ ), neutralidade ( $\text{pH} = 7$ ) ou alcalinidade ( $\text{pH} > 7$ ) de uma solução aquosa. É uma das ferramentas mais importantes e frequentes utilizadas na análise da água. As águas naturais, frequentemente, possuem pH na faixa de 4 a 9, e a maioria é ligeiramente básica, devido à presença de bicarbonatos e carbonatos dos metais alcalinos e alcalinos terrosos. O pH é controlado pelo sistema  $\text{CO}_2$  -  $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{CO}_3^{2-}$  e em determinadas condições pode contribuir para a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados (Celligoi, 1999; Parron *et al.*, 2011).

Segundo a Resolução CONAMA 396/2008 e a Portaria MS 2914/11 não há um limite máximo de pH definido para o consumo humano. Contudo, a Portaria MS 2914/11, no art. 39, § 1º, recomenda que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5 para atender aos padrões organolépticos de potabilidade.

## 2.7 – Potencial Redox (Eh)

De acordo com CETESB (2009), a condição biogeoquímica nos sedimentos está, muitas vezes, associada à transferência de elétrons entre as espécies químicas. Tais processos podem definir condições de deficiência de elétrons (meio redutor) ou transferência de elétrons (meio oxidante) e podem ser avaliados por meio de medidas *in situ*, denominadas medidas de potencial redox (Eh).

O equilíbrio de oxidação e redução de um meio é descrito através do conceito de atividade do elétron por pE (ou Eh) definido como:

$$pE = -\log a_{(e)} = -\log \{e\}$$

No diagrama de classificação das águas naturais sob diferentes condições Eh/pH, a água da superfície ou da zona de aeração em contato com a atmosfera apresenta pE alto, onde o meio é oxidante e o ambiente aeróbico. Esse ambiente fica, portanto, na parte mais superior da zona de estabilidade da água. Nele se encontram: a água da chuva e a água dos oceanos. À medida que a água se afasta da superfície em direção ao subsolo, o pE diminui, caracterizando um aumento da atividade eletrônica do meio, até alcançar, na base da zona de estabilidade da água, um ambiente redutor e anaeróbico (Lenzi *et al.*, 2009). Nesse ambiente são encontradas as águas sem circulação em solos saturados; as águas estagnadas de lagos; as águas salgadas ricas em matéria orgânica. Nos aquíferos, a água subterrânea em movimento constitui um ambiente de transição entre esses dois extremos da zona de estabilidade da água (Merkel & Friedrich, 2008).

Segundo Merkel & Friedrich (2008), os diagramas pH-Eh podem ser utilizados como uma primeira aproximação para caracterizar as águas naturais. Todavia, é preciso que se esteja atento para as incertezas inerentes às medidas de Eh em campo, com equipamentos portáteis. Na prática essas medidas,

independente do eletrodo de referência, são bastante problemáticas, pois são afetadas por contaminação e efeitos de memória em todos os tipos de eletrodos.

## **2.8 – Cátions**

### **2.8.1 - Sódio**

O sódio é um elemento químico quase sempre presente nas águas subterrâneas, ocorre em plagioclásio, principalmente albita ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ) e é liberado durante o intemperismo destes silicatos (Celligoi, 1999). Os sais formados nestes processos são muito solúveis. Nas águas subterrâneas o teor de sódio varia entre 0,1 e 100 mg/L, sendo que há um enriquecimento gradativo deste metal a partir das zonas de recarga. A quantidade de sódio presente na água é um elemento limitante de seu uso na agricultura. Em aquíferos litorâneos, a presença de sódio na água poderá estar relacionada à intrusão da água do mar (Pedrosa & Caetano, 2002).

As águas naturais contêm sódio devido à sua abundância e alta solubilidade de seus sais em água, encontrados na forma iônica ( $\text{Na}^+$ ). Concentrações de sódio em corpos d'água variam consideravelmente, dependendo das condições geológicas do local e das descargas de efluentes (Parron *et al.*, 2011).

A Portaria MS 2914/2011 estabelece como padrão organoléptico de potabilidade para consumo humano 200 mg/L de sódio.

A Resolução CONAMA 396/2008 define nos usos preponderantes da água para consumo humano e recreação, respectivamente, os valores máximos de 200 mg/L e 300 mg/L de sódio.

### **2.8.2 - Potássio**

O potássio ocorre na forma de vários minerais, como microclina, ortoclásio ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ), muscovita, biotita, entre outros. Os íons do potássio ( $\text{K}^+$ ) são liberados pelo intemperismo, entretanto, após migração mais ou menos prolongada, eles tendem a fixar-se, adsorvidos em minerais de argila, entre os espaços da illita, formando minerais secundários. Têm pouca mobilidade geoquímica nas águas doces e é raramente encontrado em concentrações iguais ou maiores que o sódio (Celligoi, 1999).

O potássio é um elemento essencial tanto na nutrição das plantas quanto na dos humanos, e ocorre em águas subterrâneas como resultado da dissolução mineral de material vegetal em decomposição, e escoamento agrícola. As concentrações de potássio em águas superficiais variam de 1 a 3 mg L<sup>-1</sup>, enquanto que nas águas subterrâneas apresentam teores abaixo de 10 mg L<sup>-1</sup>, sendo mais frequente entre 0,5 e 5 mg L<sup>-1</sup> (Parron *et al.*, 2011).

De acordo com a Resolução CONAMA 396/2008 e com a Portaria MS 2914/11, não há restrição quanto às concentrações de potássio para o consumo humano, ou seja, não é definido um valor máximo permitido.

### **2.8.3 - Cálcio**

O cálcio é encontrado nos plagioclásios cálcicos ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ), calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), dolomita ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ), anidrita ( $\text{CaSO}_4$ ), entre outros. O cátion ( $\text{Ca}^{++}$ ) é o mais comum em águas doces e sua solubilidade é determinada pelo sistema de equilíbrio  $\text{CaCO}_3 - \text{CO}_2 - \text{H}_2\text{CO}_3 - \text{HCO}_3^- - \text{CO}_3^{2-}$ , conhecido como equilíbrio

carbonato de cálcio-dióxido de carbono, que depende da temperatura, pH e da pressão, fatores que vão determinar a solubilidade do bicarbonato de cálcio (Celligoi, 1999; Pedrosa & Caetano, 2002).

O cálcio pode ser encontrado em corpos d'água em concentrações em torno de 15 mg L<sup>-1</sup> e, em águas subterrâneas, em teores que variam de 10 a 100 mg L<sup>-1</sup>. Elevadas concentrações de cálcio podem provocar formação de pedras nos rins, hipercalcemia. No uso industrial, em sistemas de refrigeração, elevadas concentrações produzem entupimento através da produção de incrustações. O cálcio contribui para o aumento da dureza na água (Parron *et al.*, 2011).

De acordo com a Resolução CONAMA 396/2008 e com a Portaria MS 2914/11, não há restrição quanto às concentrações de cálcio para o consumo humano, ou seja, não é definido um valor máximo permitido.

#### **2.8.4 - Magnésio**

Devido à sua solubilidade, o magnésio é geralmente encontrado em águas naturais, mas em concentrações menores do que a do cálcio, de 1 a 40 mg/L; o íon magnésio (Mg<sup>2+</sup>) tem propriedades similares às do íon cálcio, porém ele é mais solúvel e difícil de precipitar. Águas armazenadas em rochas ricas em magnésio têm concentrações que podem atingir 100 mg/L; concentrações maiores que 100 mg/L são raramente encontradas, exceto em águas do mar e salmouras.

O excesso de magnésio reduz a frequência cardíaca em pessoas com problemas do coração; no entanto, em dosagens adequadas, trata a tensão pré-menstrual e a hipertensão, previne cálculos renais e biliares e ajuda os músculos a trabalhar; o magnésio também contribui para a dureza da água.

De acordo com a Resolução CONAMA 396/2008 e com a Portaria MS 2914/11 não há restrição quanto às concentrações de magnésio para o consumo humano, ou seja, não é definido um valor máximo permitido.

### **2.9 – Ânions**

#### **2.9.1 - Cloreto**

As águas dos oceanos constituem a maior fonte de cloreto, visto que intemperismo das rochas ígneas colabora com poucas quantidades. Entretanto, a presença de cloreto em águas subterrâneas pode ser atribuída à dissolução de depósitos salinos, descargas de efluentes de indústrias químicas, intrusões salinas, etc. Os íons cloreto são altamente móveis e não são retidos em rochas permeáveis. Em argilitos, cristais de NaCl ou soluções de NaCl podem ser contidos em poros. Os íons cloreto normalmente em águas subterrâneas são presentes em baixas concentrações (<10 mg/L). Altas concentrações podem indicar poluição antrópica (Celligoi, 1999).

Os cloretos (Cl<sup>-</sup>) são muito solúveis e formam compostos muito estáveis, associados aos íons de sódio, que possuem uma tendência de se enriquecer a partir das zonas de recarga das águas subterrâneas (Pedrosa & Caetano, 2002).

De acordo com CETESB (2009), o cloreto é o ânion Cl<sup>-</sup> que se apresenta nas águas subterrâneas oriundo da percolação da água através de solos e rochas. A sua concentração em águas de abastecimento público constitui um padrão

de aceitação, já que provoca sabor “salgado” na água em altas concentrações. A Portaria MS 2914/11 estabelece como valor máximo permitido (VMP) de padrão organoléptico de potabilidade para consumo humano, o valor de 250 mg/L.

A Resolução CONAMA 396/2008 define nos usos preponderantes da água o limite máximo de 250.000  $\mu\text{g.L}^{-1}$ , 100.000 a 700.000  $\mu\text{g.L}^{-1}$  e 400.000  $\mu\text{g.L}^{-1}$  de cloro, respectivamente para consumo humano, irrigação e recreação.

### **2.9.2 - Sulfato**

O enxofre pode se apresentar de diversas formas, tais como sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), sulfito ( $\text{SO}_3^{2-}$ ), sulfeto ( $\text{S}^{2-}$ ), sulfeto de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{S}$ ), dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4^{2-}$ ), enxofre molecular ( $\text{S}^0$ ) e associado a metais, como sulfeto de ferro ( $\text{FeS}$ ). Dentre essas várias formas, o sulfato e o sulfeto de hidrogênio são as mais frequentes. O sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) é um dos íons mais abundantes na natureza. Em águas naturais, a fonte de sulfato ocorre através da dissolução de solos e rochas e pela oxidação de sulfeto (Parron *et al.*, 2011; CETESB, 2009).

Segundo Celligoi (1999), o enxofre ocorre principalmente em gases magmáticos. A maior parte do elemento nas rochas ocorre em minerais como o gipso ( $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) e a anidrita ( $\text{CaSO}_4$ ). Consideráveis quantidades de sulfato são adicionadas ao ciclo hidrológico com as precipitações da atmosfera. Vem do “spray” do mar, da poeira dos continentes e da oxidação de gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), bem como das substâncias orgânicas do solo. Nas águas subterrâneas circulantes em rochas ígneas, a concentração de sulfato é baixa (< 30 mg/L).

Em águas para consumo humano, a Portaria do Ministério da Saúde 2914/2011 recomenda que as concentrações de sulfato não excedam 250 mg/L, pois acima deste valor, a sua ingestão provoca efeito laxativo.

A resolução CONAMA 396/2008 estabelece como padrões de cloro para consumo humano, dessedentação animal e recreação os valores máximos de 250.000  $\mu\text{g.L}^{-1}$ , 1.000.000  $\mu\text{g.L}^{-1}$  e 400.000  $\mu\text{g.L}^{-1}$ , respectivamente.

### **2.9.3 - Bicarbonato**

A maioria dos íons bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) e carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) em águas subterrâneas são derivados do dióxido de carbono na atmosfera e no solo e de soluções de rochas carbonatadas. Águas bicarbonatadas sódicas podem ser concentradas nos solos por evaporação, mas se muito cálcio estiver presente, o bicarbonato é retirado da água através da precipitação de carbonato de cálcio.

A concentração de bicarbonato em águas subterrâneas varia normalmente de 10 a 800 mg/L, sendo mais comuns concentrações entre 50 e 400 mg/L. Existe uma forte relação entre o pH da água e as concentrações do gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), dos bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) e dos carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ); estes dois últimos íons definem a alcalinidade das águas.

De acordo com a Resolução CONAMA 396/2008 e com a Portaria MS 2914/11, não há restrição quanto às concentrações de bicarbonato para o consumo humano, ou seja, não é definido um valor máximo permitido.

## 2.10 - Dureza

A dureza da água mede o grau de impedimento da ação do sabão e pode ser expressa como dureza temporária, dureza permanente e dureza total. A dureza temporária é ocasionada pela combinação dos íons cálcio e magnésio com os íons bicarbonato e carbonato na presença de aquecimento; os compostos formados podem ser eliminados através de fervura (Pedrosa & Caetano, 2002).

A dureza permanente é ocasionada pela combinação dos íons cálcio e magnésio com os íons sulfato, cloreto, nitrato e outros, dando origem a compostos solúveis que não podem ser retirados pelo aquecimento. A dureza total é a soma da dureza temporária com a dureza permanente é usualmente expressa em mg/L de CaCO<sub>3</sub> e dada pela equação:

$$\text{Dureza total} = 2,5 [\text{Ca}^{2+}] + 4,1[\text{Mg}^{2+}]$$

De acordo com Von Sperling (2005), em termos de tratamento e abastecimento público, as águas podem ser classificadas de acordo com seu grau de dureza, conforme descreve a **tabela 2.2**.

**Tabela 2.2** – Classificação das águas segundo a sua faixa de valor de dureza (Von Sperling, 2005).

Dureza (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Tipo de Água
< 50	Mole
50 - 150	Moderada
150 - 300	Dura
> 300	Muito Dura

O VMP recomendável pela Portaria MS 2914/2011 é de 500 mg/L de CaCO<sub>3</sub> para consumo humano.

## 2.11 - Compostos Nitrogenados

O nitrogênio é um componente importante no ciclo biogeoquímico, onde pode ser encontrado na matéria orgânica, como espécie dissolvida e gases. Os minerais contendo nitrogênio são, em geral, muito solúveis; por isso, são raros na natureza (Appelo & Postma, 1993).

O nitrogênio circula na atmosfera onde ocorrem reações redox catalisadas microbiologicamente; são as reações de oxidação do NH<sub>4</sub><sup>+</sup> para NO<sub>2</sub><sup>-</sup> e para NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (nitrificação) e reações redox do NO<sub>3</sub><sup>-</sup> para NO<sub>2</sub><sup>-</sup> e para NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (redução do nitrato e redução do nitrito), redução do NO<sub>3</sub><sup>-</sup> para o N<sub>2(g)</sub> (denitrificação) e redução do N<sub>2(g)</sub> para NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (fixação de nitrogênio).

Os esgotos sanitários constituem geralmente a principal fonte de nitrogênio nas águas naturais, lançando nitrogênio orgânico devido à presença de proteínas e nitrogênio amoniacal, devido à hidrólise da ureia na água (Tchobanoglous *et al.*, 1991).

A quantidade de nitrogênio na água pode indicar poluição recente ou remota. O nitrogênio pode estar presente sob as suas diversas formas compostas: orgânica, amoniacal, nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) e nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>); ele segue um ciclo desde o organismo vivo até à mineralização total, onde está presente sob a forma de nitrato.

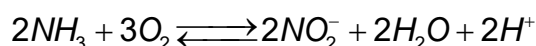
Assim, é possível avaliar o grau e a distância a uma fonte de poluição através das concentrações e das formas dos compostos nitrogenados presentes na água. Águas com predominância de nitrogênio orgânico e amoniacal são poluídas por descargas de esgotos próximos. Águas com concentrações de nitrato predominantes sobre nitrito e amônia indicam uma poluição remota, porque os íons nitratos são produtos finais de oxidação do nitrogênio.

Os nitratos são muito solúveis e por isso dificilmente precipitam. Eles tendem a estabilidade em meios redutores, podendo passar a  $N_2$  ou  $NH_4^+$  e, excepcionalmente, a nitrito ( $NO_2^-$ ). Esta redução é um fenômeno biológico produzido principalmente pelas bactérias Nitrossomas. A maioria dos compostos nitrogenados passa a  $NO_3^-$  em meio oxidante, enquanto o íon amônio ( $NH_4^+$ ) pode transformar-se parcialmente em  $N_2$ . O solo pode fixar nitrato ( $NO_3^-$ ), em especial através da vegetação.

A nitrificação é um processo de oxidação biológica da amônia sob a forma do íon amônio ( $NH_4^+$ ) para nitrato (Snoeyink & Jenkins, 1980).



Caso a amônia esteja sob a forma gasosa ( $NH_3$ ), a nitrificação ou oxidação biológica a converterá em nitrito, através da reação:



As concentrações de nitrato nas águas naturais estão na faixa de 0,1 a 10 mg/L; porém, em águas muito poluídas, podem chegar a 200 mg/L; em alguns casos, em áreas influenciadas por aplicações excessivas de fertilizantes, as concentrações podem ser maiores que 600 mg/L.

Independente da sua origem, que também pode ser mineral, os nitratos em concentrações acima de 45 mg/L provocam em crianças a cianose ou methemoglobinemia, condições mórbidas associadas à descoloração da pele, em consequência de alterações no sangue.

Dessa forma, a Portaria MS 2914/2011 estabeleceu limites máximos de padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde humana, como 1,5 mg/L para Amônia, 1 mg/L para Nitrito e 10 mg/L para Nitrato.

A Resolução CONAMA 396/2008 também estabeleceu limites máximos aceitáveis para esses parâmetros, de acordo com os usos considerados preponderantes, como pode ser observado na **tabela 2.3**.

**Tabela 2.3** - Valores Máximos Permitidos (VMP) de nitrato e nitrito para os usos preponderantes (Resolução CONAMA 396/2008).

Parâmetro	Usos Preponderantes da Água			
	Consumo Humano ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	Dessedentação Animal ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	Irrigação ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	Recreação ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )
Nitrato (expresso em N)	10.000	90.000	-	10.000
Nitrito (expresso em N)	1.000	10.000	1.000	1.000

Nitrogênio inorgânico pode existir no estado livre como gás, nitrito, nitrato e amônia. Com exceção de algumas ocorrências como sais evaporíticos, o nitrogênio e seus compostos não são encontrados nas rochas da crosta terrestre. Nas águas subterrâneas os nitratos ocorrem em teores em geral abaixo de 5 mg/L e nitritos e amônia são ausentes, pois são rapidamente convertidos a nitrato pelas bactérias. Elevado teor de nitrito e amônia é sinal de poluição orgânica recente.

No sistema digestivo o nitrato é transformado em nitrosaminas, que são substâncias carcinógenas. Crianças com menos de três meses de idade possuem, em seu aparelho digestivo, bactérias que reduzem o nitrato a nitrito. Este se liga muito fortemente a moléculas de hemoglobina, impedindo-as de transportarem oxigênio para as células do organismo. A deficiência em oxigênio leva a danos neurológicos permanentes, dificuldade de respiração (falta de ar) e em casos mais sérios à morte por asfixia. Aos seis meses de idade, a concentração de ácido hidrocloreto aumenta no estômago, matando as bactérias redutoras de nitrato.

## 2.12 - Ferro e Manganês

Ferro e manganês são elementos que apresentam comportamento químico muito parecido na natureza, e em virtude de afinidades geoquímicas, quase sempre ocorrem juntos.

As fontes de ferro são minerais escuros (máficos) portadores de Fe: magnetita, biotita, pirita, piroxênios e anfibólios. No estado ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) forma compostos solúveis, principalmente hidróxidos. Em ambientes oxidantes o  $\text{Fe}^{2+}$  passa a  $\text{Fe}^{3+}$ , dando origem ao hidróxido férrico, que é insolúvel e se precipita, tingindo fortemente a água. Não apresentam inconveniente à saúde nas concentrações normalmente encontradas, mas águas com altas concentrações desses metais lhe conferem coloração amarelada, acarretando sabor amargo e adstringente. Nas águas subterrâneas podem ocorrer concentrações abaixo de 0,3  $\text{mg.L}^{-1}$ . (Parron *et al.*, 2011).

A presença do manganês se deve a óxidos e hidróxidos, tais como hornblenda e biotita. Elemento principal da rodocrosita. É detectável em pequenas quantidades na água subterrânea, concentrações acima de 1 mg/L são raras, mas valores como 0,05 mg/L terão efeito adverso na potabilidade da água (Celligoi, 1999).

O ferro e o manganês estão presentes nas formas insolúveis numa grande quantidade de solos. Na ausência de oxigênio dissolvido como, por exemplo, água subterrânea ou fundo de lagos, eles se apresentam na forma solúvel. Caso a água contendo as formas reduzidas de ferro e manganês seja exposta

ao ar atmosférico, o ferro e o manganês voltam a se oxidar às suas formas insolúveis (Schwarzbach & Morandi, 2000).

A Portaria MS 2914/2011 estabeleceu limites máximos de padrão organoléptico de potabilidade para ferro e manganês, como sendo o de 0,3 mg/L e 0,1 mg/L, respectivamente.

A Resolução CONAMA 396/2008 também estabeleceu limites máximos aceitáveis para esses parâmetros, de acordo com os usos considerados preponderantes, como pode ser observado na **tabela 2.4**.

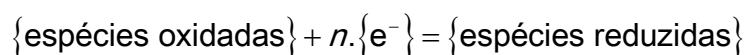
**Tabela 2.4** – Valores Máximos Permitidos (VMP) de ferro e manganês para os usos preponderantes (Resolução CONAMA 396/2008).

Parâmetro	Usos Preponderantes da Água			
	Consumo Humano ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	Dessedentação Animal ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	Irrigação ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	Recreação ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )
Ferro	300	-	5.000	300
Manganês	100	50	200	100

### **Os altos teores de ferro dissolvido nas águas subterrâneas da PHA**

Em primeiro lugar convém fazer uma distinção entre os “processos de intemperismo” das rochas na região amazônica, que ocorrem desde, pelo menos, do Neomioceno até o presente, e respondem pela formação de depósitos de concentração residual (por exemplo, laterita, bauxita), e os “processos redox”, graças aos quais, o alumínio e o ferro residuais do intemperismo (insolúveis em água) podem ser transportados em solução. Ou seja, os altos teores de ferro dissolvido na água subterrânea não resultam do processo de intemperismo químico das rochas, mas das condições de pH e Eh em águas ácidas reduzidas.

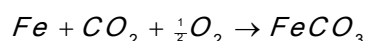
Segundo Merkel & Friedrich (2008) as equações de oxi-redução ou redox desempenham um papel importante em todas as interações presentes em sistemas aquosos. Uma reação redox é considerada como uma transferência de elétrons e obedece à seguinte reação geral:



$n$  = número de elétrons ( $e^{-}$ ).

Na Amazônia as águas superficiais são ácidas e constituem um dos principais agentes do intemperismo químico. A acidez dessas águas pode resultar da oxidação de sulfetos (pirita), gerando  $H_2SO_4$  (ácido sulfúrico); da dissolução do dióxido de carbono da atmosfera, formando  $H_2CO_3$  (ácido carbônico) diluído; da presença de ácidos húmicos gerados por processos biológicos de degradação da matéria orgânica nos solos.

O ferro aparece principalmente em águas subterrâneas devido à dissolução do minério (resíduo do intemperismo das rochas) pelo gás carbônico da água, conforme a equação:



O carbonato ferroso é solúvel e frequentemente encontrado em águas de poços contendo elevados níveis de concentração (CETESB, 2009).

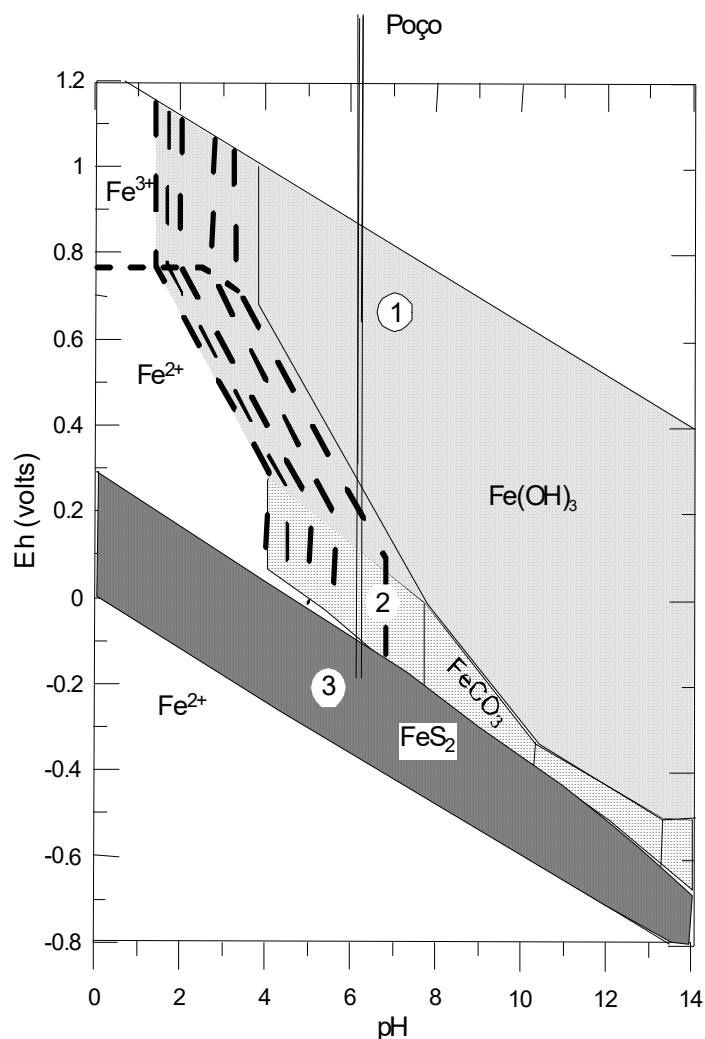


Portanto, a explicação para os elevados teores de ferro dissolvido nas águas subterrâneas dos aquíferos da PHA é que eles resultam de reações de oxirredução, como fica demonstrado pela modelagem do equilíbrio do ferro nas águas subterrâneas (Snoeyink & Jenkins, 1980), através de um diagrama pH-Eh incluindo a interação de espécies do ferro com sulfeto e bicarbonato. Esse diagrama também é chamado de diagrama de estabilidade ou diagrama de espécies predominantes para cada sistema redox.

A solubilidade do ferro em relação a pH e Eh a 25°C e 1 atm é ilustrada no diagrama da **figura 2.1**, segundo Hem (1960). A figura foi desenhada para uma concentração molar especificada de carbono inorgânico total ( $C_{T,CO_3} = 10^{-3} M$ ) e um teor de enxofre inorgânico total ( $C_{T,S} = 10^{-4} M$ ). Notar que a região do hidróxido ferroso ( $Fe(OH)_2$ ) foi reduzida de tamanho pelas espécies  $FeS_2(s)$  (dissulfeto de ferro) e  $FeCO_3(s)$  (carbonato ferroso). Outra feição desse particular diagrama é a apresentação de diversos limites entre fases sólidas e em solução, cada uma representando uma concentração diferente de ferro permissível. Esses limites variam de 10 M (570 g de Fe/litro) a  $10^{-5} M$  (0,57 mg de Fe/litro).

Para um dado pH constante, o diagrama revela uma região superior de  $Fe(OH)_3$  (hidróxido férrico), uma região intermediária de  $FeCO_3$  (carbonato ferroso) e uma região inferior de  $FeS_2$  (dissulfeto de ferro).

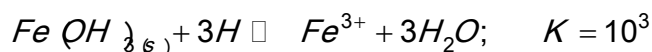
Esse diagrama e suas regiões pode ser visualizado, ao longo da vertical, como um “poço virtual” tendo 3 (três) entradas de água, indicadas como 1, 2 e 3 (**figura 2.1**).



**Figura 2.1** – Diagrama pH-Eh ilustrando a solubilidade do ferro em relação a pH, em 3 (três) zonas, para  $C_{T,S} = 10^{-4} M$ ;  $C_{T,CO_3} = 10^{-3} M$ , segundo Hem (1960). Adaptado de Snoeyink & Jenkins (1980).

### Região Superior

A primeira entrada seria equivalente à de um poço raso que tivesse a sua fonte de água na zona de aeração ou insaturada. Nessa zona, o ferro está quase em equilíbrio com o oxigênio da atmosfera e o seu teor na água é governado pela reação da mesma com o óxido de ferro sólido,  $Fe(OH)_3(s)$ . O teor de ferro na água é, portanto, governado pelo equilíbrio:



A equação para o teor de ferro (mol/L) em função do pH é dada por:

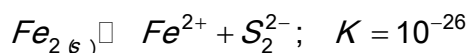
$$\log[Fe^{3+}] = 4 - 3pH$$

Logo, nessa região, para um pH de 5, a concentração de ferro em equilíbrio na solução será de apenas  $10^{-11} M$  ( $0,0057 \mu g$  de  $Fe^{3+}/L$ ). Aí as águas têm baixo

pH porque elas se encontram na zona biologicamente ativa do solo, onde existe uma considerável produção de CO<sub>2</sub>.

### **Região Inferior**

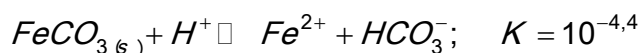
A terceira entrada seria para um poço profundo que capta água que está em equilíbrio com o mineral pirita FeS<sub>2(s)</sub>. Nessa zona aquífera o ferro se encontra na forma de ferroso e o enxofre na forma de sulfeto, precipitando dissulfeto de ferro. O teor de ferro da água do poço seria controlado pela reação:



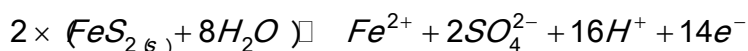
Essa reação, caso o S<sub>2</sub><sup>2-</sup> seja a única espécie, produzirá um teor de ferro em solução inferior a 1 µg de Fe<sup>2+</sup>/L. Ou seja, águas desse tipo apresentam baixo teor de ferro e de sulfato.

### **Região Intermediária**

A segunda entrada de água do poço se encontra numa zona intermediária entre as regiões do óxido de ferro III e do dissulfeto de ferro. Essa zona é a do carbonato ferroso (FeCO<sub>3(s)</sub>) e o mineral que controla a concentração de ferro dissolvido é geralmente o mineral siderita.



As águas nessa região apresentam altos teores de ferro dissolvido em comparação com as duas outras zonas para um dado pH. Além disso, nessa zona ocorre um aumento na concentração de sulfato na água do poço porque a formação dessa região pode ser tratada como uma oxidação do sulfeto de ferro (FeS<sub>2(s)</sub>) para sulfato ferroso.



No que concerne à qualidade da água, essa modelagem traz importante contribuição para o projeto e construção de poços. Por exemplo, a água de poços na zona de Fe(OH)<sub>3(s)</sub> apresenta altos teores de CO<sub>2</sub> e baixos valores de pH, sendo potencialmente corrosiva. Em poços perfurados que penetram na zona de FeS<sub>2(s)</sub> o revestimento deve se estender até abaixo da mesma, para evitar o contato com o oxigênio. Além disso, o próprio revestimento nessa zona deve ser cimentado para evitar a corrosão.

## **2.13 – Metais Pesados**

### **Arsênio**

Presente na matéria orgânica, em quase todos os sulfetos metálicos e ainda dissolvido nas águas naturais. Ocorre na natureza em quantidades reduzidas, aproximadamente 0,00005%. As fontes naturais de arsênio são principalmente, as jazidas de metais, onde o elemento se encontra na forma de arsenita (AsO<sub>4</sub><sup>3-</sup>). Nas águas subterrâneas, as concentrações de arsênio são comumente abaixo de 0,1 mg/L, porém, em águas de poços petrolíferos e em águas minerais, ocorrem concentrações de até 4 mg/L. O arsênio é muito perigoso à saúde pública, basta uma pequena ingestão de 100 mg para envenenar

seriamente o organismo humano, por ser carcinógeno o seu limite de aceitação é de 0,01 mg/L (Feitosa *et al.*, 2008).

### **Bário**

O bário é um elemento químico tóxico, raro nas águas naturais, normalmente encontrado em teores que variam entre 0,0007 a 0,9 mg/L. As principais fontes naturais são intemperismo e erosão de depósitos naturais, onde ocorre na forma de barita ( $\text{BaSO}_4$ ), ou feldspatos ricos em bário. Entre as atividades humanas que introduzem bário no meio ambiente, pode ser citada a perfuração de poços, onde é empregado em lamas de perfuração, e a produção de pigmentos, fogos de artifício, vidros e defensivos agrícolas (CETESB, 2007).

Sua ingestão em concentrações elevadas provoca aumento da pressão sanguínea, por vasoconstrição e bloqueio do sistema nervoso. Todos os seus compostos que são solúveis em água são venenosos. Entretanto, o sulfato de bário pode ser usado em medicina, por via oral, como contraste porque não se dissolve e por ser eliminado rapidamente pelo trato digestivo.

### **Cádmio**

Metal relativamente raro na natureza, encontrado principalmente nos minerais de zinco, tais como blenda, calamina, smithsonita e hidrozincita, em porcentagens que variam de 0,1 a 0,3%. Nas águas subterrâneas exibe teores inferiores a 20 mg/L. É muito tóxico para a saúde do homem, tendo ação cumulativa sobre o organismo humano. Seu excesso pode provocar hipertensão arterial, anemia, retardamento de crescimento e morte (Feitosa *et al.*, 2008).

### **Chumbo**

Metal encontrado em pequenas quantidades na natureza sendo a sua principal fonte o mineral galena (sulfeto de chumbo). A maioria do chumbo que ingressa diariamente no organismo humano tem origem em alimentos, sujeiras e poeira contendo o metal. As águas subterrâneas tem quantidades médias em torno de 20 mg/L. Altos teores de chumbo podem provocar intoxicação, podendo ocasionar até danos cerebrais ou levar a morte em casos extremos (Feitosa *et al.*, 2008).

### **Cobre**

Os principais minerais de cobre são calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ), calcosita ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), covelita ( $\text{CuS}$ ), malaquita ( $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ ) e azurita ( $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ ). O cobre tem baixa solubilidade e elevada persistência na água. Ocorre nas águas subterrâneas com teores inferiores a 1 mg/L, contudo em águas que percolam jazidas de cobre ocorrem em maiores concentrações. Quase todo o cobre ingerido pelo homem é eliminado, no entanto, altas concentrações podem provocar hemocromatose (Feitosa *et al.*, 2008).

### **Cromo**

Metal relativamente raro na crosta terrestre, aproximadamente 0,03%. Não é encontrado no estado livre, ocorrendo geralmente associado ao ferro e ao chumbo. Entre os minerais de cromo destacam-se a cromita ( $\text{FeOCr}_2\text{O}_3$ ) e a crocoíta ( $\text{PbCrO}_4$ ). Entre os vários estados de oxidação, o  $\text{Cr}^{3+}$  e o  $\text{Cr}^{6+}$  são estáveis em água. O cromo é relativamente bem distribuído, mas com baixa

solubilidade. Os níveis em água são geralmente baixos, inferiores a 1 mg/L. Entretanto, existem exemplos de contaminação de água por cromatos e dicromatos, superiores a 25 mg/L (Celligoi, 1999; Feitosa *et al.*, 2008).

### **Mercúrio**

Único metal líquido, volátil em pequena intensidade, seus vapores são extremamente tóxicos, podendo causar cansaço, dificuldade de concentração e perda de memória. O mais importante composto de mercúrio é o sulfeto mercúrico (HgS). Os estados de oxidação que o mercúrio pode assumir são  $Hg^{+1}$  e  $Hg^{+2}$ . Apesar da toxicidade dos sais de mercúrio, o cloreto mercurioso ( $Hg_2Cl_2$ ), conhecido como calomelano, encontra aplicação na medicina como estimulante de órgãos de secreção (Feitosa *et al.*, 2008).

### **Níquel**

O níquel é um metal prateado, razoavelmente duro, dúctil e maleável. Apresenta um fraco brilho amarelado devido, em parte, à existência de uma camada protetora de óxido. Forma compostos inorgânicos solúveis, como os hidróxidos, sulfatos, cloretos e nitratos, e insolúveis, como os óxidos e sulfetos. Também pode formar carbonila de níquel, um composto orgânico volátil e incolor. O níquel possui diferentes estados de oxidação e o mais frequente é o  $Ni^{2+}$ , que tem a capacidade de formar vários complexos. O níquel está presente no solo, água, ar e biosfera em concentrações traço. O níquel emitido no ambiente por fontes naturais ou antropogênicas circula por todos os compartimentos ambientais por meio de processos químicos e físicos, além de ser biologicamente transportado por organismos vivos (CETESB, 2012).

### **Zinco**

Metal brilhante encontrado na crosta terrestre e que pode se combinar com outros elementos formando compostos de zinco. O zinco e seus compostos têm muitos usos na indústria automobilística, de construção civil e de eletrodomésticos. É usado na fabricação de ligas resistentes à corrosão e na galvanização de produtos de ferro e aço. Os principais compostos de zinco são os óxidos (ZnO), utilizados nas indústrias de cerâmica, borracha e tintas; o sulfato de zinco ( $ZnSO_4$ ) com aplicação na indústria têxtil e no enriquecimento de solos pobres em zinco; e o cloreto de zinco ( $ZnCl_2$ ) usado para preservar madeiras e em pilhas secas e tintas. A principal emissão natural de zinco é por erosão. As fontes antropogênicas são mineração, produção de zinco, produção de ferro e aço, corrosão de estruturas galvanizadas, combustão de carvão e outros combustíveis, eliminação e incineração de resíduos e uso de fertilizantes e agrotóxicos contendo zinco. A concentração de zinco em água superficial geralmente é menor que 10  $\mu g/L$ , na água do mar está entre 0,002 e 0,1  $\mu g/L$  e na água subterrânea de 10 a 40  $\mu g/L$  (CETESB, 2012).

Todos os metais pesados citados anteriormente foram analisados nas águas de aquíferos que compõem a PHA, e como esses parâmetros apresentam risco à saúde humana, a Portaria MS 2914/2011 estabeleceu limites máximos de padrão de potabilidade (**tabela 2.5**).

**Tabela 2.5** - Valores Máximos Permitidos (VMP) de Arsênio, Bário, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Mercúrio, Níquel e Zinco, segundo a Portaria MS 2914/2011.

Parâmetro	VMP (mg/L)
Arsênio	0,01
Bário	0,7
Cádmio	0,005
Chumbo	0,01
Cobre	2,0
Cromo	0,05
Mercúrio	0,001
Níquel	0,07
Zinco	5,0

A Resolução CONAMA 396/2008 também estabeleceu limites máximos aceitáveis para esses parâmetros de acordo com os usos considerados preponderantes, como pode ser observado na **tabela 2.6**.

**Tabela 2.6** - Valores Máximos Permitidos (VMP) de Arsênio, Bário, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Mercúrio, Níquel e Zinco para os usos preponderantes (Resolução CONAMA 396/2008).

Parâmetro	Usos Preponderantes da Água			
	Consumo Humano ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	Dessedentação Animal ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	Irrigação ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	Recreação ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )
Arsênio	10	200	-	50
Bário	700	-	-	1000
Cádmio	5	50	10	5
Chumbo	10	100	5000	50
Cobre	2000	500	200	1000
Cromo	50	1000	100	50
Mercúrio	1	10	2	1
Níquel	20	1000	200	100
Zinco	5000	24000	2000	5000

## 2.14 – BTEX e Fenóis

### 2.14.1 - BTEX

O grupo de compostos BTEX formado pelo **B**enzeno, **T**olueno, **E**tilbenzeno e **X**ilenos (orto, meta e para) são extremamente tóxicos à saúde humana, apresentando toxicidade crônica mesmo em pequenas concentrações, podendo levar a lesões do sistema nervoso central. O benzeno é reconhecidamente o mais tóxico de todos os BTEX, pois se trata de uma substância comprovadamente carcinogênica (podendo causar leucemia, ou seja, câncer dos tecidos que formam os linfócitos do sangue). Uma exposição aguda (altas concentrações em curtos períodos) por inalação ou ingestão pode causar até mesmo a morte de uma pessoa. O BTEX e outros alquilbenzenos perfazem cerca de 10 a 59% da gasolina (massa/massa) enquanto os hidrocarbonetos alifáticos compreendem 41 a 62% (Brito *et al.*, 2005).

Devido ao risco potencial a saúde humana que esse grupo de compostos oferece, a Portaria MS 2914/2011 estabeleceu limites para que a água seja considerada potável, como pode ser observada na **tabela 2.7**.

**Tabela 2.7** - Valores Máximos Permitidos (VMP) de Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos (BTEX), segundo a Portaria MS 2914/2011.

Parâmetro	VMP (mg/L)
Benzeno	0,005
Tolueno	0,17
Etilbenzeno	0,2
Xilenos	0,3

A Resolução CONAMA 396/2008 também estabeleceu limites máximos aceitáveis para esses parâmetros de acordo com os usos considerados preponderantes, como pode ser observado na **tabela 2.8**.

**Tabela 2.8** - Valores Máximos Permitidos (VMP) de Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos (BTEX) para os usos preponderantes (Resolução CONAMA 396/2008).

Parâmetro	Usos Preponderantes da Água			
	Consumo Humano ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	Dessedentação Animal ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	Irrigação ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	Recreação ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )
Benzeno	5	-	-	10
Tolueno	170	24	-	-
Etilbenzeno	200	-	-	-
Xileno Total (o,m,p xilenos)	300	-	-	-

### 2.14.2 - Fenóis

O fenol ( $\text{CH}_6\text{H}_5\text{OH}$ ) é um sólido branco cristalino em seu estado puro. Geralmente é vendido e utilizado na forma líquida, possui odor forte, levemente doce e irritante. Apresenta diversas aplicações, como reagente na produção de resinas, plásticos, medicamentos, herbicidas e desinfetantes (CETESB, 2010). Os fenóis foram muito utilizados como germicidas e desinfetantes. Atacam o sistema nervoso central, podendo levar à morte com pouco tempo de exposição (Schmidt, 2010). Considerando os efeitos toxicológicos do fenol, a Resolução CONAMA 396/2008 estabeleceu limites máximos aceitáveis para a água subterrânea de acordo com os usos considerados preponderantes, como pode ser observado na **tabela 2.9**.

**Tabela 2.9** - Valores Máximos Permitidos (VMP) de Fenóis para os usos preponderantes (Resolução CONAMA 396/2008).

Parâmetro	Usos Preponderantes da Água			
	Consumo Humano ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	Dessedentação Animal ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	Irrigação ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	Recreação ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )
Fenóis	3	2	-	2

## 2.15 – Isótopos Ambientais

### 2.15.1 – Oxigênio-18 e Deutério

A composição dos isótopos estáveis da água ( $^{18}\text{O}$  e  $^2\text{H}$ ) é modificada por processos meteóricos e por esta razão as águas de recarga dos aquíferos possuem uma *assinatura isotópica* característica, que serve como um traçador natural da *origem* das mesmas (Clark & Fritz, 1997).

O hidrogênio e o oxigênio fazem parte da molécula da água e apresentam cada um deles, três formas diferentes; o hidrogênio:  $^1\text{H}$ , D ( $^2\text{H}$ ) e T ( $^3\text{H}$ ) e o oxigênio  $^{16}\text{O}$ ,  $^{17}\text{O}$  e  $^{18}\text{O}$ . Por isso, a água pode ser encontrada em formas isotópicas diferentes, sendo as mais abundantes  $\text{H}_2^{16}\text{O}$ ,  $\text{H}_2^{18}\text{O}$  e  $\text{HD}^{16}\text{O}$ , cujas abundâncias relativas médias são, respectivamente, 99%, 0,2% e 0,032%.

Portanto, a quantidade de moléculas  $\text{H}_2^{18}\text{O}$  e  $\text{HD}^{16}\text{O}$ , é muito pequena em relação à quantidade de moléculas  $\text{H}_2^{16}\text{O}$  e varia dependendo da origem da água, de processos que ocorrem durante o seu deslocamento e de seu armazenamento superficial. Assim, estas moléculas marcam a água e são utilizadas como traçadores para pesquisar sua história.

Os resultados das medidas destes isótopos são expressos em termos de  $\delta\text{‰}$ , definido por:

$$\delta\text{‰} = [(R_a - R_p) / R_p] \times 10^3$$

Onde,  $R_a$  é a razão isotópica  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  ou D/H, respectivamente, para o oxigênio e para o hidrogênio na amostra e  $R_p$  seu valor para uma água padrão "VSMOW" (*Vienna Standard Mean Ocean Water*) da IAEA (Agência Internacional de Energia Atômica) em Viena/Áustria. O padrão SMOW originalmente era água do oceano, escolhido por Craig (1961).

O valor de  $\delta$  mede, portanto, o enriquecimento (ou empobrecimento, quando  $\delta < 0$ ) no isótopo pesado da amostra em relação ao padrão. É importante que, devido à grande predominância do isótopo mais leve ( $^1\text{H}$  ou  $^{16}\text{O}$ ),  $\delta$  comporta-se como uma concentração numa mistura de águas de valores de  $\delta$  diferentes (i.e. segue uma reta de mistura) (Craig, 1961).

Em virtude da complexidade do ciclo hidrológico é surpreendente que  $^{18}\text{O}$  e  $^2\text{H}$  tenham um comportamento perfeitamente previsível (Clark & Fritz, 1997). De fato, Craig (1961) descobriu que  $^{18}\text{O}$  e  $^2\text{H}$  em águas doces se correlacionam em escala global. A **Linha de Água Meteórica Global** (sigla em inglês GMWL) de Craig define a relação entre  $^{18}\text{O}$  e  $^2\text{H}$  através da **equação 2.1**.

$$\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O} + 10\text{‰ SMOW} \quad (2.1)$$

O monitoramento subsequente da composição isotópica estável da chuva em escala global (IAEA – Rede Global para Isótopos na Precipitação) resultou, dez anos depois, no estabelecimento do padrão VSMOW e na substituição da **equação 2.1** pela **equação 2.2**.

$$\delta^2\text{H} = 8,13\delta^{18}\text{O} + 10,8\text{‰ VSMOW} \quad (2.2)$$

Na verdade essa relação (2.2) é "global" apenas na aplicação, sendo de fato uma média de muitas linhas de água meteórica regional e local, que diferem da global devido à variação dos parâmetros climáticos e geográficos envolvidos (Clark & Fritz, 1997). Em hidrologia isotópica, a **equação (2.2)**, que define a linha de água meteórica global (GMWL) de Harmon Craig é uma referência para a interpretação da origem das águas subterrâneas.

Desse modo, a fim de identificar a origem das águas dos aquíferos da PHA foram elaborados diagramas contendo a Linha de Água Subterrânea (LAS) ou Reta de Água Subterrânea (RAS) e Linha de Água Meteórica Mundial (LAMM), também chamada de Reta de Água Meteórica (RMM).



## 2.15.2 – Trício

### **Trício na Precipitação**

Os testes atmosféricos de armas nucleares realizados entre os anos de 1952 e 1962 produziram uma quantidade formidável de trício atmosférico. Essa tremenda entrada de  $^3\text{H}$  na atmosfera criou na estratosfera um reservatório desse isótopo que literalmente contaminou o sistema global de precipitação durante 40 anos. Em 1963 um tratado Americano-Soviético suspendeu os testes de armas termonucleares, embora alguns testes franceses e chineses tenham sido realizados até 1980 (Clark & Fritz, 1997). O ano de 1962, quando foram encerrados os testes nucleares, gerou um imenso pico de  $^3\text{H}$ , que apareceu na primavera de 1963 e se tornou uma marca usada em muitos estudos hidrológicos. As concentrações de  $^3\text{H}$  nas precipitações estão agora praticamente de volta aos níveis cosmogênicos naturais (Clark & Fritz, 1997).

### **Datação de Água Subterrânea com Trício**

O trício ( $^3\text{H}$ ) é provavelmente o radioisótopo mais frequentemente empregado para identificar a presença de recarga moderna (Clark & Fritz, 1997).

Kaufman & Libby (1954) foram os primeiros a reconhecer o potencial do  $^3\text{H}$  cosmogênico para a datação de águas subterrâneas e existem vários métodos *quantitativos* e *qualitativos* com uso desse isótopo. A atenuação dos níveis de trício na atmosfera associada com a presença de águas novas e paleoáguas, em alguns aquíferos, afetam a confiabilidade das interpretações quantitativas. Uma interpretação qualitativa significa que os tempos de trânsito ou de residência não podem ser determinados (Clark & Fritz, 1997).

Uma proposta de interpretação qualitativa de dados de  $^3\text{H}$ , feita por Clark & Fritz (1997) para dados de regiões de baixa latitude, relaciona os valores de Unidades de Trício (U.T.) com a idade das águas subterrâneas (**tabela 2.10**).

**Tabela 2.10** – Relação entre unidades de trício (U.T.) e idade das águas subterrâneas.

Unidade de trício (U.T.)	Interpretação qualitativa da idade
< 0,8	Água submoderna, recarga anterior a 1952
0,8 a 2	Mistura de água submoderna com recarga recente
2 a 8	Água moderna (< 5 a 10 anos)
10 a 20	Água com presença de $^3\text{H}$ residual da "bomba"
>20	Água com uma componente significativa de recarga dos anos 1960 e 1970

## 2.15.3 – Carbono-14

O carbono-14 embora não pertencendo à molécula d'água é um excelente traçador das águas subterrâneas, onde está presente na forma de bicarbonato dissolvido proveniente do  $\text{CO}_2$  do ar, trazido pelas precipitações, do  $\text{CO}_2$  existente no solo, vindo principalmente pela respiração das raízes e dissolução dos calcários. O uso deste isótopo no estudo das águas subterrâneas foi proposto por Münnich (1957). De acordo com os valores de carbono-14, as águas subterrâneas podem ser classificadas como: águas modernas (tempo de

residência inferior a 200 anos), e paleoáguas (tempo de residência superior a 200 anos).

## 2.16 – Parâmetros Biológicos

A qualidade bacteriológica de uma água para avaliar a contaminação por dejetos humanos e de outros animais de sangue quente é feita através de bactérias do grupo coliformes, principalmente os Coliformes Totais e *Escherichia Coli* ou Coliformes Termotolerantes. Por serem considerados indicadores microbiológicos de contaminação fecal da água são mundialmente utilizados, podendo indicar eventuais perigos para a saúde humana. Vale ressaltar que nem toda água que contenha coliformes é contaminada por microorganismos patogênicos (Feitosa *et al.*, 2008).

### **Coliformes Totais**

Bacilos gram-negativos, aeróbicos ou anaeróbicos facultativos, não formadores de esporos, capazes de se desenvolver na presença de sais biliares ou agentes tensoativos que fermentam a lactose com produção de ácido, gás e aldeído a  $35 \pm 0,5$  °C em 24-48 horas, e que podem apresentar atividade da enzima  $\beta$ -galactosidase (Feitosa *et al.*, 2008). Os coliformes totais, dada a sua possível incidência em águas e solos não contaminados, representam, portanto, outros organismos de vida livre, e não intestinal. No caso específico de abastecimento de água potável, a água tratada não deve conter coliformes totais, os quais, caso encontrado, sugere tratamento inadequado, contaminação posterior ou nutriente em excesso (Von Sperling, 2005).

A Portaria MS 2914/2011 estabelece como padrão microbiológico da água para consumo humano a ausência de coliformes totais em 100 mL de água.

### **Escherichia Coli**

É uma bactéria não patogênica, do grupo de coliformes fecais (termotolerantes), que normalmente habita os intestinos dos animais superiores. É encontrada em esgotos, efluentes tratados e águas naturais sujeitas à contaminação recente por seres humanos, atividades agropecuárias, animais selvagens e pássaros. A sua presença indica que poderão estar presentes microorganismos causadores ou transmissores de doenças patogênicas. Diferentemente dos coliformes totais, *E. coli* é a única que dá garantia de contaminação exclusivamente fecal (Von Sperling, 2005; Feitosa *et al.*, 2008).

A Portaria MS 2914/2011 estabeleceu como padrão biológico para consumo humano a ausência de *E. coli* em 100 mL de água. A Resolução CONAMA estabelece padrões de microorganismos de acordo com os usos preponderantes da água subterrânea, como pode ser observado na **tabela 2.11**.

**Tabela 2.11** - Valores Máximos Permitidos (VMP) de microorganismos para os usos preponderantes (Resolução CONAMA 396/2008).

Parâmetro	Usos Preponderantes da Água			
	Consumo Humano	Dessedentação Animal	Irrigação	Recreação
<i>E. coli</i>	Ausentes em 100 mL	100 / 200 mL	-	800 / 100 mL

## **3 – Hidrogeoquímica do Aquífero Aluvial**

### 3.1 - Introdução

No contexto regional, o aquífero Aluvial está localizado na Província Amazonas que representa uma das bacias sedimentares fanerozoicas do Brasil (CPRM, 2003).

O aquífero Aluvial se caracteriza pela presença de depósitos de planícies aluvionares. Segundo CPRM (2006), os principais rios que integram as bacias Solimões e Amazonas denotam expressivas áreas de planícies aluvionares, chegando a atingir dezenas de quilômetros de largura e de extensão. Têm destaque as bacias dos rios Madeira, Purus, Solimões, Japurá, Juruá, Jutai, Amazonas, Uatumã e Jatapu. Revelam uma morfologia característica de planície sedimentar onde é comum o padrão de canais fluviais meandrantos, lagos de variada conformação e meandros abandonados que registram a migração lateral do curso dos rios.

A planície encontra-se representada por sedimentos arenosos a argilosos inconsolidados a semiconsolidados, associando-lhes níveis de cascalho e matéria orgânica. Os depósitos inconsolidados compõem-se predominantemente por areia de composição quartzo-feldspática e granulometria variável, normalmente revelando granodecrescência ascendente. Os depósitos semiconsolidados são representados por camadas argilosas, maciças, com subordinados níveis arenosos e de espessura variável.

Apresentam estratificações plano-paralelas, cruzadas tabulares e acanaladas. Estes depósitos registram quantidades variáveis de troncos, matéria orgânica imatura e níveis de material vegetal (folhas).

Com o intuito de avaliar a qualidade das águas subterrâneas do Aquífero Aluvial nas cidades de Belém, Itaituba, Eirunepé e Tabatinga foram realizadas duas campanhas de amostragem: uma no período chuvoso (abril de 2012) e outra no período seco (outubro de 2012), com defasagem de 6 (seis) meses.

Ambas as campanhas seguiram as metodologias recomendadas por Barcelona *et al.* (1985), Puls & Barcelona (1989), Keith (1996), Feitosa & Manoel Filho (2000) e Nielsen & Nielsen (2007). Além dessas referências, também foi utilizado o Protocolo de Guia de Coleta de Amostra (GCA), elaborado pelo laboratório Bioagri Ambiental, que pode ser visualizado no **Anexo 8.5**.

Os Laboratórios responsáveis pelas análises no aquífero Aluvial, juntamente com os poços avaliados, o quantitativo de amostras, os tipos de análises e os parâmetros analisados, encontram-se listados abaixo:

#### **Laboratório da Bioagri Ambiental:**

- 24 (vinte e quatro) Análises Físico-Químicas e Bacteriológicas - cor, turbidez, condutividade elétrica (CE), temperatura, sólidos totais dissolvidos (STD), pH, sódio, potássio, cálcio, magnésio, dureza, cloreto, sulfato, Eh, bicarbonato, nitrogênio (amoniaco, orgânico e total), nitrito, nitrato, ferro e manganês, Coliformes Totais e Termotolerantes (*E. Coli*), sendo 02 (duas) em Belém - PA, 02 (duas) em Itaituba - PA, 05 (cinco) em Eirunepé - AM e 15 (quinze) em Tabatinga - AM;
- 05 (cinco) Análises de Metais Pesados - arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel e zinco, nos poços de Tabatinga - AM;

- 05 (cinco) Análises de BTEX e Fenóis - benzeno, tolueno, etilbenzeno, o-Xileno e m,p-Xileno, nos poços de Tabatinga - AM.

**Laboratório de Geocronologia do Instituto de Geociências da UnB:**

- 06 (seis) Análises de Isótopos Ambientais Estáveis - deutério e oxigênio-18, sendo 02 em Eirunepé - AM, 01 em Itaituba - PA e 03 em Tabatinga - AM.

**Laboratório do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CTDN), da UFMG:**

- 09 (nove) Análises do Isótopo Ambiental Radioativo - trício, sendo 02 em Eirunepé - AM, 01 em Itaituba - PA e 06 em Tabatinga - AM.

**Laboratório Beta Analytic, da Flórida - USA:**

- 02 (duas) Análises do Isótopo Ambiental - carbono 14, sendo 01 poço em Itaituba - PA e 01 em Tabatinga - AM.

Os resultados dessas análises para as duas campanhas podem ser verificados no **Anexo 8.1**.

### **3.2 - Balanço Iônico**

Os resultados das análises físico-químicas das duas campanhas de amostragem do aquífero Aluvial foram submetidos a avaliações pelo cálculo do balanço de cátions e ânions, conforme metodologia descrita no **item 1.7**.

#### **Período Chuvoso**

De acordo com os resultados obtidos verifica-se que no período chuvoso (abril de 2012), 50% (12/24) das amostras coletadas no aquífero Aluvial apresentaram Ep dentro dos critérios da metodologia do balanço iônico nº 1 e nº 2. Cerca de 50% (12/24) das amostras apresentam Ep superiores aos limites definidos, não sendo considerados válidos em ambos os balanços iônicos (**tabela 3.1**).

**Tabela 3.1** – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf para as amostras coletadas no aquífero Aluvial – abril de 2012.

Poço	CE (µS/cm)	Soma Cátions (meq/L)	Soma Ânions (meq/L)	Erro Prático - Ep (%)	
				Balanço Iônico nº 1	Balanço Iônico nº 2
BEL027	338	3,65	3,22	12,42	6,21
BEL028	179	1,38	1,01	30,75	15,38
EIR01	127	1,28	0,79	47,71	23,86
EIR02	16	0,17	0,04	127,50	63,75
EIR03	30	0,33	0,22	40,53	20,27
EIR04	27	0,31	0,22	34,63	17,31
EIR05	115	0,86	0,80	7,06	3,53
ITB001	215	2,23	2,33	4,64	2,32
ITB004	653	2,78	5,98	73,00	36,50
TBT01	35	0,29	0,27	6,08	3,04
TBT02	49	0,25	0,63	85,03	42,52
TBT03	172	0,92	0,86	6,80	3,40
TBT04	65	0,43	0,40	6,54	3,27
TBT05	44	0,25	0,23	8,00	4,00
TBT06	26	0,16	0,19	15,52	7,76
TBT07	146	0,98	0,66	38,82	19,41
TBT08	40	0,25	0,44	53,44	26,72
TBT09	20	0,04	0,04	6,39	3,20
TBT10	36	0,20	0,12	54,84	27,42
TBT11	36	0,23	0,34	37,27	18,63
TBT12	112	0,87	0,94	7,86	3,93
TBT13	81	0,46	0,53	14,11	7,06
TBT14	73	0,52	0,62	17,70	8,85
TBT15	45	0,31	0,34	9,08	4,54

Legenda:

Valores destacados em vermelho possuem os maiores Ep de acordo com os critérios estabelecidos nas metodologias do balanço iônico nº 1 e nº 2, respectivamente.

### **Período de Estiagem**

Segundo os dados coletados no período seco (outubro de 2012), observa-se que 58% (14/24) das amostras obtiveram resultados dentro dos padrões de Ep na metodologia do balanço iônico nº 1 e nº 2. Na segunda campanha, 42% (10/24) das amostras não foram consideradas corretas pelo balanço iônico nº 1 e nº 2, haja vista que apresentaram Ep fora dos limites permissíveis estabelecidos (**tabela 3.2**).

**Tabela 3.2** – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf para as amostras coletadas no aquífero Aluvial – outubro de 2012.

Poço	CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Soma Cátions (meq/L)	Soma Ânions (meq/L)	Erro Prático - Ep (%)	
				Balanço Iônico nº 1	Balanço Iônico nº 2
BEL027	348	3,58	3,24	10,03	5,02
BEL028	343	3,75	3,12	18,55	9,27
EIR01	31	0,23	0,2	11,47	5,73
EIR02	17	0,12	0,02	130,86	65,43
EIR03	274	1,18	1,17	0,54	0,27
EIR04	27	0,15	0,16	3,76	1,88
EIR05	131	0,74	0,82	10,11	5,05
ITB001	126	0,6	0,28	72,36	36,18
ITB004	257	1,51	1,15	26,72	13,36
TBT01	32	0,2	0,17	13,08	6,54
TBT02	69	0,29	0,3	2,56	1,28
TBT03	19	0,05	0,02	75,82	37,91
TBT04	137	0,94	0,73	24,69	12,34
TBT05	47	0,36	0,38	4,47	2,24
TBT06	67	0,46	0,34	29,19	14,6
TBT07	123	0,9	1,09	19,25	9,63
TBT08	47	0,45	0,43	3,16	1,58
TBT09	48	0,44	0,32	32,27	16,14
TBT10	39	0,31	0,34	9,74	4,87
TBT11	167	0,87	0,76	12,36	6,18
TBT12	107	0,76	0,82	8,83	4,41
TBT13	66	0,47	0,3	43,96	21,98
TBT14	31	0,28	0,36	23,65	11,82
TBT15	97	0,53	0,46	14,28	7,14

Legenda:

Valores destacados em vermelho possuem os maiores Ep de acordo com os critérios estabelecidos nas metodologias do balanço iônico nº 1 e nº 2, respectivamente.

Os resultados de Ep superiores a 30% podem indicar erro analítico ou de cálculo, presença de certos íons não analisados na água em concentrações apreciáveis e/ou águas pouco mineralizadas, tais como água da chuva.

Os métodos analíticos padrões para baixas concentrações iônicas podem levar a valores elevados de erros (Ep %), sem que isso indique necessariamente um erro de análise ou de cálculo (Schoeller, 1955 *apud* Feitosa & Manoel Filho, 2000). As águas do aquífero Aluvial se enquadram como pouco mineralizadas, uma vez que, 75% (18/24) dos poços, em cada uma das campanhas de amostragem, apresentaram teores de STD até 100 mg/L. Ademais, os valores máximos de STD alcançados respectivamente na primeira e segunda campanha foram de 371 mg/L e 249 mg/L, ou seja, concentrações muito baixas quando comparadas ao VMP desse parâmetro para consumo humano, segundo a Portaria MS 2914/2011, que é de 1.000 mg/L. Convém destacar

ainda que as concentrações de STD, assim como dos íons sódio ( $Na^+$ ), Cloreto ( $Cl^-$ ) e sulfato ( $SO_4^{2-}$ ) foram expressas em partes por bilhão (ppb) ou  $\mu g/L$ . Além disso, alguns valores situados abaixo do limite de detecção, indicados, por exemplo, como (<1) foram considerados no cálculo do erro, como 1  $\mu g/L$  (o valor pode ser qualquer outro abaixo de 1) e para a base de cálculo a concentração foi convertida para  $mg/L$  (ppm).

Conclui-se, assim, que os erros detectados não comprometem os resultados analíticos obtidos.

### 3.3 - Índice de Troca de Bases (ITB)

O ITB das duas campanhas de amostragem do aquífero Aluvial foi estimado conforme metodologia descrita no **item 1.8**.

De acordo com os resultados de ITB calculados verifica-se que apenas 25% (6/24) das amostras forneceram valores positivos, indicando o predomínio de cátions nas águas que ali circulam, enquanto que 75% (18/24) apresentaram valores negativos na coleta de abril de 2012 (**tabela 3.3 e figura 3.1**). Isto revela maior presença dos íons alcalinos (sódio e potássio) em relação ao íon cloreto em solução, o que sugere o abrandamento das águas subterrâneas, ou seja, troca de  $Ca^{++}$  e  $Mg^{++}$  por  $Na^+$ .

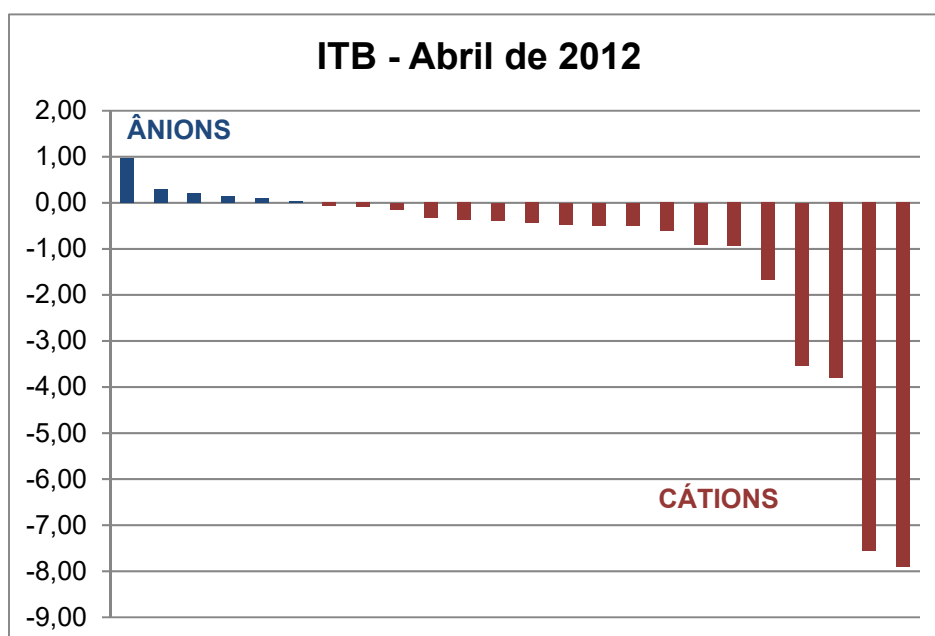
**Tabela 3.3** – Resultado do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no Aquífero Aluvial nas duas campanhas.

Período chuvoso - abril de 2012		Período seco - outubro de 2012	
Poço	ITB (meq/L)	Poço	ITB (meq/L)
BEL027	-0,90	BEL027	-6,04
BEL028	-0,47	BEL028	-4,32
EIR01	-0,49	EIR01	-9,41
EIR02	-3,53	EIR02	-3,07
EIR03	-7,91	EIR03	0,20
EIR04	-7,56	EIR04	-5,44
EIR05	-0,32	EIR05	0,14
ITB001	-0,07	ITB001	-0,62
ITB004	0,96	ITB004	-0,93
TBT01	-0,15	TBT01	-0,52
TBT02	0,29	TBT02	-4,59
TBT03	0,04	TBT03	-0,97
TBT04	0,09	TBT04	-0,33
TBT05	-0,44	TBT05	-2,51
TBT06	-0,61	TBT06	-0,90



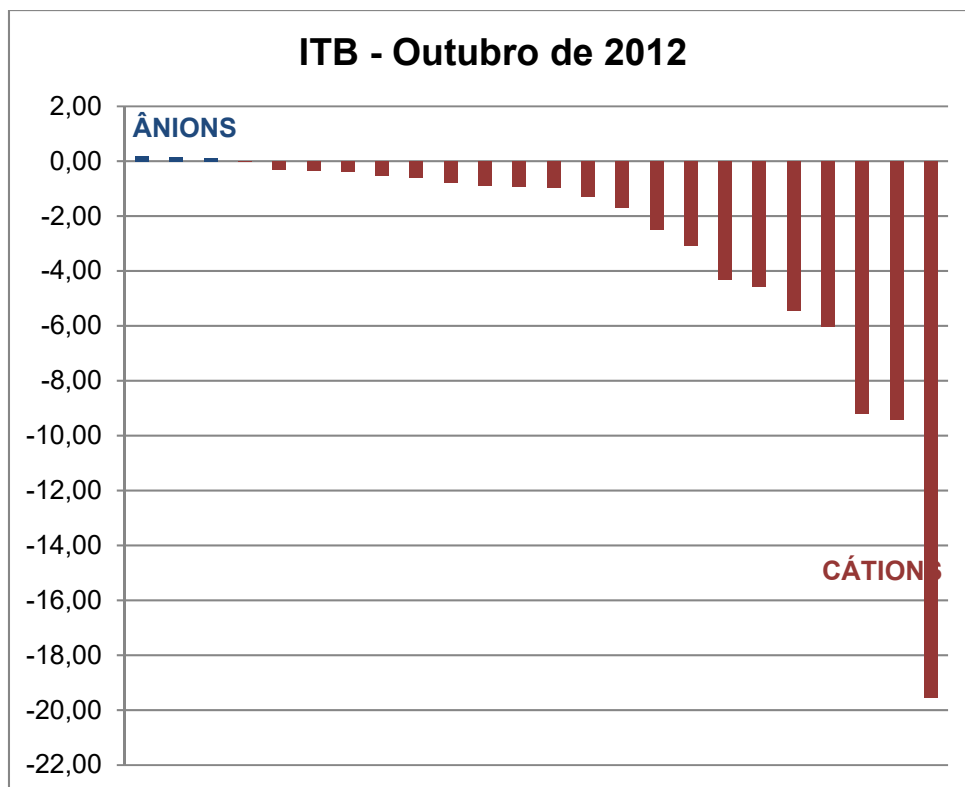
**Tabela 3.3** – Resultado do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no Aquífero Aluvial nas duas campanhas (Continuação).

Período chuvoso - abril de 2012		Período seco - outubro de 2012	
Poço	ITB (meq/L)	Poço	ITB (meq/L)
TBT07	-0,37	TBT07	0,13
TBT08	-0,93	TBT08	-19,54
TBT09	0,13	TBT09	-1,29
TBT10	-0,38	TBT10	-1,70
TBT11	-3,80	TBT11	-0,03
TBT12	-0,09	TBT12	-0,34
TBT13	0,21	TBT13	-0,39
TBT14	-0,50	TBT14	-9,21
TBT15	-1,67	TBT15	-0,78



**Figura 3.1** – Ilustração dos resultados de ITB calculados para as amostras coletadas no Aquífero Aluvial, no período chuvoso, com o predomínio de cátions.

Na coleta de outubro de 2012, 12,5% (3/24) das amostras apresentaram valores positivos, ao passo que 87,5% (21/24) obtiveram resultados negativos, como pode ser visualizado na **tabela 3.3**. Tais resultados refletem a maior presença de cátions nas águas (**figura 3.2**).



**Figura 3.2** – Ilustração dos resultados de ITB calculados para as amostras coletadas no Aquífero Aluvial, no período de estiagem, com o predomínio de cátions.

Os valores de ITB obtidos nas águas do Aquífero Aluvial nas duas campanhas estão coerentes, pois segundo Teixeira (2002), o enriquecimento em alcalinos, aumenta a diferença  $Cl - (Na + K)$ , numerador na equação de Schoeller (1962), o que torna mais negativos os valores de ITB.

Na **tabela 3.4** é apresentada a estatística descritiva dos resultados de ITB calculados, onde se verifica que os valores mínimo e máximo obtidos foram de -7,91 e 0,96; -19,54 e 0,20 para as coletas de abril e outubro de 2012, respectivamente.

**Tabela 3.4** – Parâmetros estatísticos dos resultados do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no Aquífero Aluvial nas duas campanhas.

Parâmetros Estatísticos	ITB (Abril de 2012)	ITB (Outubro de 2012)
Média	-1,19	-2,90
Erro padrão	0,47	0,89
Mediana	-0,41	-0,93
Desvio padrão	2,29	4,45
Variância da amostra	5,22	19,81
Curtose	4,46	7,62
Assimetria	-2,24	-2,54
Intervalo	8,87	19,74
Mínimo	-7,91	-19,54

**Tabela 3.4** – Parâmetros estatísticos dos resultados do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no Aquífero Aluvial nas duas campanhas (Continuação).

Parâmetros Estatísticos	ITB (Abril de 2012)	ITB (Outubro de 2012)
Máximo	0,96	0,20
Soma	-28,48	-72,51
Contagem	24	25
Nível de confiança (95%)	0,96	1,84

Os resultados de ITB negativos obtidos em ambas as campanhas são justificáveis por conta dos elevados índices pluviométricos da região amazônica, que favorecem a diluição dos compostos químicos em solução na água, o que implica no abrandamento das águas com troca de cálcio e magnésio por sódio, tanto no período chuvoso quanto na estiagem.

### 3.4 - Razões Iônicas

De acordo com a metodologia de Hem (1985), descrita no **item 1.9**, foi possível estimar as razões iônicas em meq/L para as águas do aquífero Aluvial nas duas campanhas de amostragem, de modo a avaliar a sua composição hidrogeoquímica.

A **tabela 3.5** mostra os resultados das principais razões iônicas para as duas campanhas, realizadas no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012).

A razão  $rMg^{2+}/rCa^{2+}$  indica que 62,5% e 50% dos poços, nas campanhas de abril e outubro de 2012, respectivamente possuem águas continentais. Tal razão também mostrou que 66,7% dos poços nas duas campanhas contêm águas continentais que possivelmente sofrem influência de terrenos dolomíticos.

A razão  $rNa^+/rCl^-$  sugere que 91,7% dos poços na primeira campanha e 41,7% dos poços na segunda campanha contêm águas que possuem fluxo através de rochas cristalinas ou vulcânicas. Essa razão também sugere que 16,7% e 66,7% dos poços, respectivamente para a primeira e segunda coleta contêm águas oriundas de precipitações de  $Na^+$ .

A razão iônica  $rCl^-/rHCO_3^-$  mostrou que 25% e 20,8% dos poços no período chuvoso e de estiagem, respectivamente, contêm águas com ausência de íon bicarbonato.

Excetuando, talvez, a sugestão de que as águas do aquífero Aluvial são continentais, tudo indica que as demais conclusões não se aplicam a área de estudo, onde as águas subterrâneas, oriundas, sobretudo, de infiltrações de águas de chuva, são muito diluídas e dificilmente podem ter sofrido influências de trocas iônicas com as rochas regionais. Provavelmente, os valores mais altos, inclusive os anômalos dos constituintes iônicos maiores, seguramente resultam de contaminação pela ausência de esgotamento sanitário e produzem desvios muito fortes nos dados, particularmente na razão iônica  $rCl^-/rHCO_3^-$ .

**Tabela 3.5** – Resultado das razões iônicas para as amostras coletadas no Aquífero Aluvial nas duas campanhas.

Poço	Razões Iônicas - Período chuvoso			Razões Iônicas - Período seco		
	$\frac{rMg^{2+}}{rCa^{2+}}$	$\frac{rNa^+}{rCl^-}$	$\frac{rCl^-}{rHCO_3^-}$	$\frac{rMg^{2+}}{rCa^{2+}}$	$\frac{rNa^+}{rCl^-}$	$\frac{rCl^-}{rHCO_3^-}$
BEL027	0,36	1,27	0,05	0,29	2,08	0,02
BEL028	0,34	1,25	2,74	0,24	1,40	0,02
EIR01	1,47	1,10	4,26	1,29	3,11	0,08
EIR02	2,20	0,75	-	1,63	0,52	-
EIR03	1,13	6,48	0,16	1,14	0,27	3,25
EIR04	0,70	2,56	0,16	0,80	1,11	0,11
EIR05	0,76	1,10	1,19	0,56	0,29	1,36
ITB001	0,66	1,03	0,08	0,43	0,56	-
ITB004	0,74	0,00	1,17	0,47	0,64	0,91
TBT01	2,54	0,79	0,78	4,81	0,44	0,97
TBT02	3,94	0,60	0,96	3,41	1,16	0,10
TBT03	2,20	0,85	-	2,08	0,44	-
TBT04	2,17	0,69	1,37	1,63	0,44	2,37
TBT05	8,24	1,16	1,20	1,35	1,07	0,24
TBT06	3,68	1,06	0,36	4,17	0,60	1,24
TBT07	2,61	1,22	2,62	2,35	0,29	1,70
TBT08	1,14	1,42	0,16	1,00	6,72	0,03
TBT09	1,60	0,69	-	6,85	0,79	1,36
TBT10	0,95	1,22	-	1,27	0,92	0,42
TBT11	0,79	3,22	0,10	4,14	0,33	-
TBT12	0,09	0,95	0,44	0,10	0,47	0,88
TBT13	4,45	0,74	-	5,36	0,49	-
TBT14	1,42	1,27	0,53	0,74	2,68	0,05
TBT15	1,37	2,07	0,28	2,51	0,51	0,61

Legenda:

Os valores simbolizados com (-) são indefinidos (divisão por zero), pois se referem a ausência de bicarbonato na razão iônica cloreto/bicarbonato.

### 3.5 - Índice de Langelier

Com base na metodologia de Snoeyink & Jenkins (1980), descrita no **item 1.10**, foi possível estimar o índice de saturação (IS) para as águas do aquífero Aluvial nas duas campanhas de amostragem, para verificar se a água está ou não em equilíbrio com a calcita e classificá-la de acordo com a tendência de IS apresentada na **tabela 1.5**.

Os valores de IS calculados com base nas amostras de água subterrânea coletadas no aquífero Aluvial, no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012), podem ser observados na **tabela 3.6**.

Nas duas campanhas de amostragem 92% dos poços apresentaram resultados de IS negativos, o que sugere que as águas do aquífero Aluvial não possuem características incrustantes.

Os resultados mostram que no período chuvoso o IS variou de -7,04 a 0,53 e no período seco de -5,26 a 1,04, indicando águas subsaturadas em relação à calcita e com tendência a dissolver  $\text{CaCO}_{3(s)}$ . Isto ocorre porque as águas do aquífero Aluvial são ácidas, com pH médio de 5,3 em ambas as campanhas, o que tende a dissolver a calcita, caso ela esteja presente.

**Tabela 3.6** – Resultado do Índice de Saturação (IS) para as amostras coletadas no aquífero Aluvial, nas duas campanhas.

Poço	IS (Abril de 2012)	IS (Outubro de 2012)
BEL027	0,25	1,04
BEL028	-2,61	0,91
EIR01	-3,68	-1,83
EIR02	-4,46	-4,81
EIR03	-3,38	-3,61
EIR04	-3,72	-4,78
EIR05	-1,24	-3,41
ITB001	-0,48	-4,22
ITB004	0,53	-1,02
TBT01	-4,03	-4,51
TBT02	-4,73	-4,24
TBT03	-5,75	-5,26
TBT04	-3,64	-2,89
TBT05	-4,78	-4,08
TBT06	-7,04	-4,87
TBT07	-3,90	-3,54
TBT08	-3,18	-2,49
TBT09	-5,66	-5,00
TBT10	-4,08	-4,39
TBT11	-3,58	-4,69
TBT12	-1,99	-3,14
TBT13	-5,02	-2,53
TBT14	-2,96	-4,97
TBT15	-3,79	-4,32

### 3.6 - Correlação entre Variáveis Hidrogeoquímicas

Alguns parâmetros físico-químicos analisados nas duas campanhas de amostragem foram submetidos a avaliações de correlação, conforme metodologia descrita no **item 1.11**, a qual aplica o Teste t aos níveis de 5 e 1% de significância e fornece o coeficiente de correlação ( $\rho$ ).

#### **Período Chuvoso**

De acordo com os resultados obtidos o panorama das correlações no período chuvoso (abril de 2012), conforme **tabela 3.7**, é o seguinte:

- A grande maioria das correlações (89/136), ou seja, 65,4% são Não Significativas, dos tipos muito fracas (66/136) e fracas (22/136);

- As correlações Significativas satisfazem apenas 5,1% (7/136), sendo todas moderadas;
- As correlações Muito Significativas correspondem a 29,4% (40/136), sendo 1 muito fraca, 14 moderadas, 16 fortes e 9 muito fortes.

**Tabela 3.7 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Aluvial – abril de 2012.**

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
Alcalinidade	NO <sub>3</sub>	-0,3503	ns
Alcalinidade	NH <sub>3</sub>	-0,0508	ns
Alcalinidade	NO <sub>2</sub>	0	ns
Alcalinidade	CO <sub>3</sub>	0	ns
Alcalinidade	Fe	0,0489	ns
Alcalinidade	HCO <sub>3</sub>	0,9988	**
Ca	NO <sub>3</sub>	-0,25	ns
Ca	NO <sub>2</sub>	-0,922	**
Ca	CO <sub>3</sub>	0	ns
Ca	Eh	-0,7529	**
Ca	pH	0,5717	**
Ca	Fe	0,0293	ns
Ca	CE	0,7877	**
Ca	STD	0,7929	**
Ca	Mg	0,9016	**
Ca	SO <sub>4</sub>	0,4858	*
Ca	HCO <sub>3</sub>	0,9504	**
Ca	Alcalinidade	0,9505	**
Ca	NH <sub>3</sub>	0,1548	ns
Ca	Cl	0,3873	ns
CE	NO <sub>3</sub>	-0,0104	ns
CE	NO <sub>2</sub>	0	ns
CE	CO <sub>3</sub>	0	ns
CE	Eh	-0,6448	**
CE	pH	0,5477	**
CE	Fe	0,0386	ns
CE	HCO <sub>3</sub>	0,8187	**
CE	Alcalinidade	0,8227	**
CE	NH <sub>3</sub>	0,1631	ns
CE	STD	0,9798	**

**Tabela 3.7 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Aluvial – abril de 2012 (Continuação).**

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
Cl	Eh	-0,3534	ns
Cl	NO <sub>2</sub>	0	ns
Cl	CO <sub>3</sub>	0	ns
Cl	SO <sub>4</sub>	0,4549	*
Cl	Fe	0,009	ns
Cl	HCO <sub>3</sub>	0,4806	*
Cl	NH <sub>3</sub>	0,0693	ns
Cl	STD	0,8108	**
Cl	CE	0,865	**
Cl	NO <sub>3</sub>	0,0887	ns
Cl	Alcalinidade	0,4892	*
Cl	pH	0,3609	ns
CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	0	ns
Eh	NH <sub>3</sub>	-0,31	ns
Eh	Fe	-0,2948	ns
Eh	Alcalinidade	-0,7433	**
Eh	HCO <sub>3</sub>	-0,7403	**
Eh	CO <sub>3</sub>	0	ns
Eh	NO <sub>3</sub>	0,4207	*
Eh	NO <sub>2</sub>	-	-
Fe	CO <sub>3</sub>	0	ns
Fe	HCO <sub>3</sub>	0,0576	ns
K	Eh	-0,2351	ns
K	CO <sub>3</sub>	0	ns
K	NH <sub>3</sub>	0,0564	ns
K	Alcalinidade	0,0671	ns
K	Fe	0,0686	ns
K	HCO <sub>3</sub>	0,0691	ns
K	NO <sub>3</sub>	0,0711	ns
K	Ca	0,1076	ns
K	SO <sub>4</sub>	0,1378	ns
K	Mg	0,1662	ns
K	pH	0,2295	ns
K	STD	0,2722	ns
K	CE	0,2768	ns
K	Cl	0,3316	ns
K	NO <sub>2</sub>	-	-

**Tabela 3.7 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Aluvial – abril de 2012 (Continuação).**

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
Mg	NO <sub>3</sub>	-0,1831	ns
Mg	CO <sub>3</sub>	0	ns
Mg	Eh	-0,7258	**
Mg	pH	0,5553	**
Mg	SO <sub>4</sub>	0,431	*
Mg	Fe	0,0278	ns
Mg	Cl	0,634	**
Mg	NH <sub>3</sub>	0,0494	ns
Mg	STD	0,8988	**
Mg	CE	0,9079	**
Mg	Alcalinidade	0,9522	**
Mg	HCO <sub>3</sub>	0,9525	**
Mg	NO <sub>2</sub>	-	-
Na	Alcalinidade	-0,2172	ns
Na	HCO <sub>3</sub>	-0,2083	ns
Na	Ca	-0,1004	ns
Na	Mg	-0,0878	ns
Na	pH	-0,0198	ns
Na	NO <sub>2</sub>	0	ns
Na	CO <sub>3</sub>	0	ns
Na	NO <sub>3</sub>	0,687	**
Na	Eh	0,0569	ns
Na	SO <sub>4</sub>	0,0677	ns
Na	CE	0,0701	ns
Na	Cl	0,1042	ns
Na	NH <sub>3</sub>	0,2099	ns
Na	STD	0,2195	ns
Na	Fe	0,2701	ns
Na	K	0,4009	ns
NH <sub>3</sub>	Fe	-0,0863	ns
NH <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	-0,0479	ns
NH <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	0	ns
NO <sub>2</sub>	Fe	-0,8018	**
NO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	-0,1059	**
NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	0	ns
NO <sub>2</sub>	CO <sub>3</sub>	0	ns
NO <sub>2</sub>	HCO <sub>3</sub>	0	ns



**Tabela 3.7 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Aluvial – abril de 2012 (Continuação).**

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
NO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	-0,3373	ns
NO <sub>3</sub>	Fe	-0,1695	ns
NO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	0	ns
NO <sub>3</sub>	NH <sub>3</sub>	0,1779	ns
pH	NO <sub>3</sub>	-0,3612	ns
pH	Eh	-0,8872	**
pH	Fe	0,403	*
pH	NO <sub>2</sub>	-0,6909	**
pH	CO <sub>3</sub>	0	ns
pH	HCO <sub>3</sub>	0,5876	**
pH	Alcalinidade	0,5956	**
pH	NH <sub>3</sub>	0,1291	ns
SO <sub>4</sub>	Fe	-0,1149	ns
SO <sub>4</sub>	CO <sub>3</sub>	0	ns
SO <sub>4</sub>	Eh	-0,5266	**
SO <sub>4</sub>	STD	0,5373	**
SO <sub>4</sub>	CE	0,5783	**
SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	0,0501	ns
SO <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>	0,8765	**
SO <sub>4</sub>	Alcalinidade	0,3398	ns
SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	0,3399	ns
SO <sub>4</sub>	pH	0,3458	ns
SO <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	-	-
STD	NO <sub>2</sub>	0	ns
STD	CO <sub>3</sub>	0	ns
STD	Eh	-0,631	**
STD	pH	0,5365	**
STD	HCO <sub>3</sub>	0,8053	**
STD	Alcalinidade	0,8067	**
STD	Fe	0,0903	ns
STD	NO <sub>3</sub>	0,1141	ns
STD	NH <sub>3</sub>	0,161	ns

Legenda:

\*\* = significativo ao nível de 1% de significância ( $p < 0,01$ )

\* = significativo ao nível de 5% de significância ( $0,01 \leq p < 0,05$ )

ns = não significativo ( $p \geq 0,05$ )

### Período de Estiagem

Segundo os dados coletados no período seco (outubro de 2012), observa-se, como demonstra a **tabela 3.8**, que:

- A maioria das correlações (82/136), o que equivale a 60,3% são Não Significativas, classificadas como muito fracas (66) e fracas (16);
- As correlações Significativas equivalem a 11,8% (16/136), sendo todas moderadas;
- Existem 27,9% (38/136) correlações Muito Significativas, das quais 1 é do tipo fraca, 21 são moderadas, 9 fortes e 7 muito fortes.

**Tabela 3.8** – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Aluvial – outubro de 2012.

Correlação - Outubro de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação ( $\rho$ )	Significância
Alcalinidade	NO <sub>3</sub>	-0,2562	ns
Alcalinidade	Fe	-0,0295	ns
Alcalinidade	NO <sub>2</sub>	0	ns
Alcalinidade	CO <sub>3</sub>	0	ns
Alcalinidade	NH <sub>3</sub>	0,0027	ns
Alcalinidade	HCO <sub>3</sub>	0,999	**
Ca	Eh	-0,5317	**
Ca	NO <sub>3</sub>	-0,1978	ns
Ca	Cl	-0,1427	ns
Ca	Fe	-0,0508	ns
Ca	pH	0,6008	**
Ca	STD	0,6956	**
Ca	NO <sub>2</sub>	0	ns
Ca	CO <sub>3</sub>	0	ns
Ca	SO <sub>4</sub>	0,4937	*
Ca	CE	0,7911	**
Ca	NH <sub>3</sub>	0,0397	ns
Ca	Mg	0,9408	**
Ca	HCO <sub>3</sub>	0,9856	**
Ca	Alcalinidade	0,9886	**
CE	Eh	-0,4239	*
CE	Fe	-0,0235	ns
CE	NO <sub>2</sub>	0	ns
CE	CO <sub>3</sub>	0	ns
CE	Alcalinidade	0,7569	**
CE	HCO <sub>3</sub>	0,7569	**

**Tabela 3.8 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Aluvial – outubro de 2012 (Continuação).**

Correlação - Outubro de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação ( $\rho$ )	Significância
CE	pH	0,5062	*
CE	NO <sub>3</sub>	0,1939	ns
CE	STD	0,9694	**
CE	NH <sub>3</sub>	0,2891	ns
Cl	Alcalinidade	-0,1838	ns
Cl	HCO <sub>3</sub>	-0,1821	ns
Cl	pH	-0,0837	ns
Cl	CE	0,4238	*
Cl	Fe	-0,0332	ns
Cl	NO <sub>3</sub>	0,4489	*
Cl	CO <sub>3</sub>	0	ns
Cl	STD	0,5151	*
Cl	Eh	0,0454	ns
Cl	NH <sub>3</sub>	0,2034	ns
Cl	SO <sub>4</sub>	0,2889	ns
Cl	NO <sub>2</sub>	-	-
CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	0	ns
Eh	HCO <sub>3</sub>	-0,5679	**
Eh	Alcalinidade	-0,558	**
Eh	Fe	-0,0696	ns
Eh	NH <sub>3</sub>	-0,0508	ns
Eh	NO <sub>2</sub>	0	ns
Eh	CO <sub>3</sub>	0	ns
Eh	NO <sub>3</sub>	0,1846	ns
Fe	HCO <sub>3</sub>	-0,0205	ns
Fe	CO <sub>3</sub>	0	ns
K	Eh	-0,3939	ns
K	NO <sub>3</sub>	0,4081	*
K	Mg	0,5677	**
K	STD	0,6549	**
K	NO <sub>2</sub>	0	ns
K	CO <sub>3</sub>	0	ns
K	CE	0,7169	**
K	Cl	0,4983	*
K	SO <sub>4</sub>	0,5119	*
K	Fe	0,0444	ns
K	pH	0,1833	ns

**Tabela 3.8 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Aluvial – outubro de 2012 (Continuação).**

Correlação - Outubro de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
K	NH <sub>3</sub>	0,2928	ns
K	Alcalinidade	0,3927	ns
K	Ca	0,3963	ns
K	HCO <sub>3</sub>	0,3969	ns
Mg	Eh	-0,5769	**
Mg	NO <sub>3</sub>	-0,1428	ns
Mg	pH	0,5531	**
Mg	NO <sub>2</sub>	0	ns
Mg	CO <sub>3</sub>	0	ns
Mg	SO <sub>4</sub>	0,484	*
Mg	STD	0,8035	**
Mg	CE	0,8798	**
Mg	Fe	0,0111	ns
Mg	NH <sub>3</sub>	0,0221	ns
Mg	Alcalinidade	0,9446	**
Mg	Cl	0,0702	ns
Mg	HCO <sub>3</sub>	0,9452	**
Na	Fe	-0,1502	ns
Na	SO <sub>4</sub>	0,5272	**
Na	CE	0,5521	**
Na	Eh	-0,0592	ns
Na	STD	0,5854	**
Na	K	0,5954	**
Na	NO <sub>3</sub>	0,6368	**
Na	Alcalinidade	-0,0095	ns
Na	HCO <sub>3</sub>	-0,0056	ns
Na	NO <sub>2</sub>	0	ns
Na	CO <sub>3</sub>	0	ns
Na	NH <sub>3</sub>	0,4895	*
Na	Cl	0,8597	**
Na	Ca	0,0202	ns
Na	Mg	0,1856	ns
Na	pH	0,1876	ns
NH <sub>3</sub>	Fe	-0,0853	ns
NH <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	0	ns
NH <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	0,0076	ns
NO <sub>2</sub>	Fe	-0,4536	**

**Tabela 3.8 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Aluvial – outubro de 2012 (Continuação).**

Correlação - Outubro de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	-0,4029	**
NO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	-0,3158	**
NO <sub>2</sub>	CO <sub>3</sub>	0	ns
NO <sub>2</sub>	HCO <sub>3</sub>	0	ns
NO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	-0,2683	ns
NO <sub>3</sub>	Fe	-0,2165	ns
NO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	0	ns
NO <sub>3</sub>	NH <sub>3</sub>	0,3528	ns
pH	Eh	-0,4238	*
pH	Fe	-0,1366	ns
pH	NO <sub>3</sub>	-0,0526	ns
pH	HCO <sub>3</sub>	0,5801	**
pH	Alcalinidade	0,5826	**
pH	NO <sub>2</sub>	0	ns
pH	CO <sub>3</sub>	0	ns
pH	NH <sub>3</sub>	0,3143	ns
SO <sub>4</sub>	Eh	-0,2818	ns
SO <sub>4</sub>	Fe	-0,0497	ns
SO <sub>4</sub>	STD	0,6028	**
SO <sub>4</sub>	Alcalinidade	0,4505	*
SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	0,4561	*
SO <sub>4</sub>	pH	0,4643	*
SO <sub>4</sub>	CO <sub>3</sub>	0	ns
SO <sub>4</sub>	CE	0,7048	**
SO <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>	0,8417	**
SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	0,1924	ns
SO <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	-	-
STD	Eh	-0,3077	ns
STD	pH	0,4065	*
STD	Fe	-0,0307	ns
STD	HCO <sub>3</sub>	0,6503	**
STD	Alcalinidade	0,6517	**
STD	NO <sub>2</sub>	0	ns
STD	CO <sub>3</sub>	0	ns
STD	NH <sub>3</sub>	0,1957	ns
STD	NO <sub>3</sub>	0,2588	ns

Legenda:

\*\* = significativo ao nível de 1% de significância ( $p < 0,01$ )

\* = significativo ao nível de 5% de significância ( $0,01 \leq p < 0,05$ )

ns = não significativo ( $p \geq 0,05$ )

### **Conclusão sobre as correlações nas duas campanhas**

Das 136 correlações de parâmetros químicos apresentadas em cada uma das campanhas, conforme **tabelas 3.7 e 3.8**, verifica-se que em termos médios 62,9% (65,4% no período chuvoso e 60,3% no período de estiagem) são Não Significativas. As correlações Significativas representam apenas 8,5% do total (5,1% no período chuvoso e 11,8% no período seco), enquanto que as correlações Muito Significativas, resultantes do Teste t ao nível de 1%, correspondem a 28,7% do total (29,4% no período chuvoso e 27,9% na estiagem).

As correlações existentes entre Ca (cálcio), Mg (magnésio), CE (condutividade elétrica) e STD (sólidos totais dissolvidos) indicam influência do intemperismo químico, por conta da baixa presença de íons, haja vista que os seus teores foram encontrados em poucas quantidades, o que corrobora com a ideia de que esses elementos foram liberados há anos ao longo da interação água x rocha, e que se apresentam extremamente diluídos devido a elevada precipitação associada a constante renovação das águas na planície amazônica.

Os parâmetros Na (sódio), K (potássio), Cl (cloreto), NO<sub>3</sub> (nitrato) e SO<sub>4</sub> (sulfato) apresentaram correlação entre si, o que sugere poluição nas águas subterrâneas oriundas de atividade antrópica, principalmente lançamento de esgoto *in natura*, haja vista que tais constituintes representam uma medida indireta de concentração de poluentes. Além disso, as correlações altamente significativas envolvendo o nitrato se deve principalmente ao contato das águas subterrâneas com as fossas negras, vazamento nas redes coletoras de esgoto e influência de rios próximos à área de captação dos poços. Tal justificativa é plausível nas localidades urbanizadas da área de estudo, haja vista a ausência de esgotamento sanitário e a falta de proteção sanitária na instalação dos poços.

### **3.7 – Interpretação dos Resultados Analíticos das Águas Subterrâneas do Aquífero Aluvial**

#### **3.7.1 – Cor**

A estatística descritiva da cor, realizada seguindo a metodologia definida no **item 1.6**, é apresentada na **tabela 3.9**. Os resultados obtidos no aquífero Aluvial na primeira campanha mostraram em 96% (23/24) das amostras coletadas, valores de cor < 5, ou seja, inferiores ao LD (limite de detecção). Apenas um poço apresentou valor detectável de 5 uH.

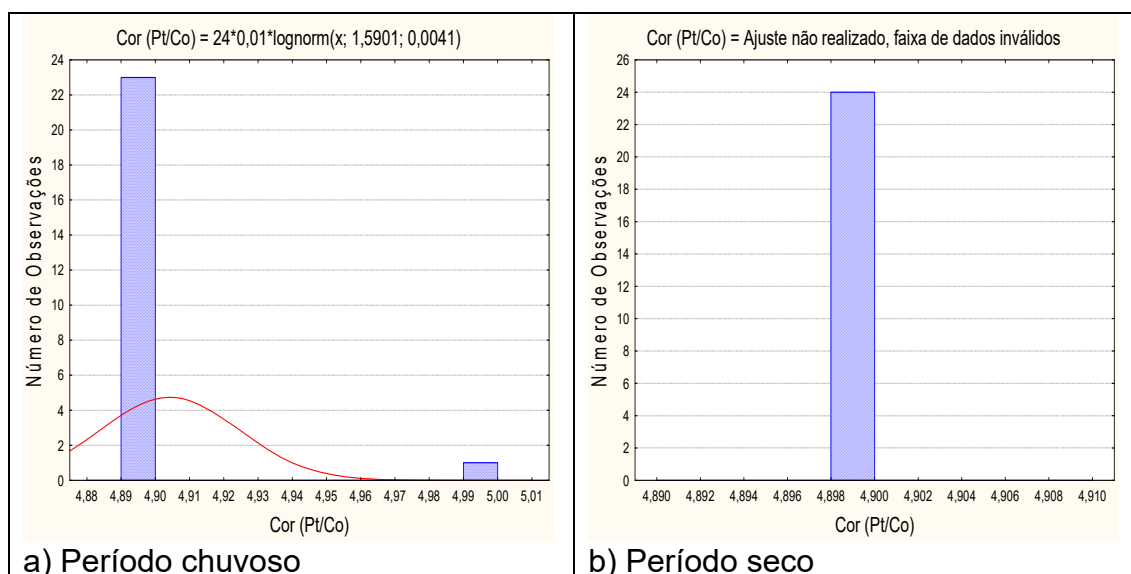
Na segunda campanha todos os poços, ou seja, 100% (24/24) das amostras apresentaram valores de cor < 5.

Em ambas as campanhas de amostragem, os teores de cor não ultrapassam o VMP da Portaria MS 2914/2011, descrita no **item 2.1**.

**Tabela 3.9** – Estatística descritiva da Cor do Aquífero Aluvial no período chuvoso (Cor-1) - abril de 2012 e no período seco (Cor-2) – outubro de 2012.

Cor	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
Cor-1	24	4,90	4,89	4,90	4,90	4,9	5,0	0,02	0,004	4,90
Cor-2	24	4,90	-7,7E-16	+7,7E-16	4,90	4,9	4,9	1,81E-15	3,70396E-16	-1,07

O histograma de frequência modelado por uma função de distribuição de probabilidade (fdp) lognormal, apresentado na **figura 3.3** mostra que no período chuvoso, 96% dos valores são inferiores a 5,0 uH, ou seja, inferiores ao LD; enquanto que no período seco, o erro amostral é praticamente nulo  $\bar{X} - \mu = 0$ , pois todos os valores são constantes, iguais a 4,9 uH, e portanto todos tem a mesma probabilidade.



**Figura 3.3** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Cor do Aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

O modelo de fdp ajustado ao histograma do período de estiagem sugere que o parâmetro cor tende a ser maior quando comparado ao período chuvoso (**tabela 3.10**). Entende-se que tal resultado não condiz com a realidade, pois quase todas as amostras, em ambas as campanhas, apresentaram valores abaixo do limite de detecção. Portanto, admite-se que o parâmetro cor das águas subterrâneas no aquífero Aluvial não sofre influência da sazonalidade, haja vista que isso é o comum na maioria das águas subterrâneas.

**Tabela 3.10** – Distribuição de probabilidade da Cor do Aquífero Aluvial no período chuvoso (Cor-1) - abril de 2012 e no período seco (Cor-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Cor-1	4,90	4,89	4,88	4,87	4,86	4,87
Cor-2	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90
Razão	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

### 3.7.2 – Turbidez

As amostras de água do aquífero Aluvial apresentaram respectivamente, na primeira e segunda campanha de amostragem, 16,7% (4/24) e 45,8% (11/24) valores de turbidez abaixo do LD (limite de detecção) de 0,1 uT.

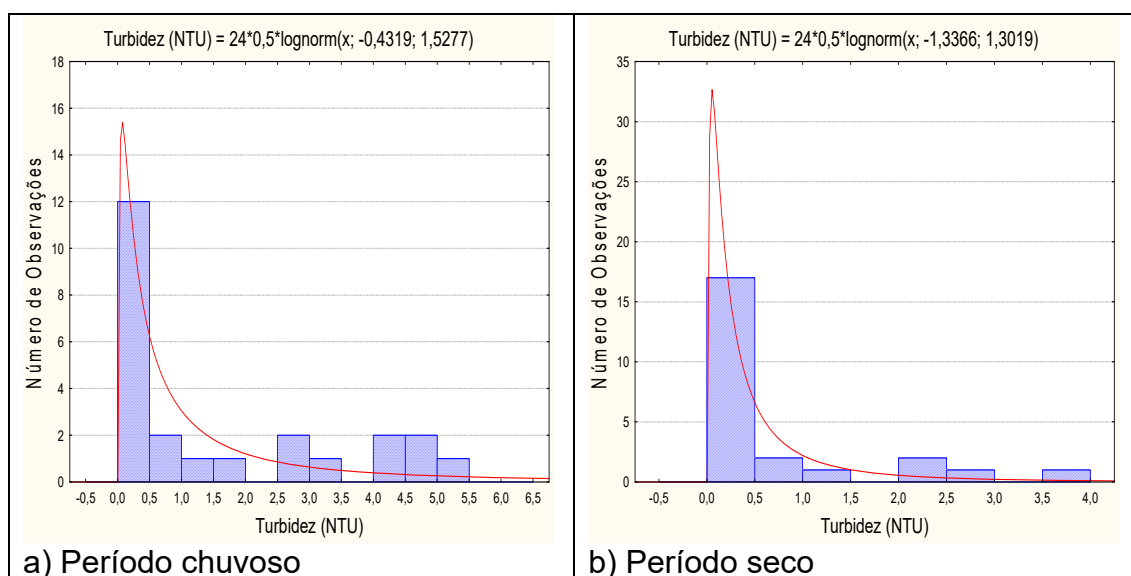
A estatística descritiva apresentada na **tabela 3.11** mostra que os valores de turbidez no período chuvoso variaram de 0,09 a 5,5 uT, com média de 1,62 uT e mediana de 0,46 uT; enquanto que no período seco, os valores se distribuíram entre 0,09 a 3,6 uT, com média igual a 0,66 uT e mediana igual a 0,15 uT.

Apenas 4,2% (1/24) dos poços na primeira campanha apresentou valor de turbidez acima do VMP de potabilidade da Portaria MS 2914/2011 (**item 2.2**). Os demais poços, em ambas as campanhas, apresentaram valores de turbidez dentro dos padrões da referida Portaria.

**Tabela 3.11** – Estatística descritiva da Turbidez do Aquífero Aluvial no período chuvoso (Tu-1) - abril de 2012 e no período seco (Tu-2) – outubro de 2012.

Tu	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Tu-1	24	1,62	0,84	2,40	0,46	0,09	5,5	1,86	0,38	0,92
Tu-2	24	0,66	0,23	1,08	0,15	0,09	3,6	1,00	0,20	1,93

Os histogramas de frequência da turbidez nos dois períodos de amostragem (**figura 3.4**) foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal. Esse modelo de fdp permite concluir com risco calculado (**tabela 3.12**) que os valores de turbidez estimados para o período chuvoso são maiores quando comparados ao período de estiagem, o que sugere influência da sazonalidade, haja vista que a razão entre os valores das campanhas é superior a 1 (um). Isto, provavelmente, se deve ao fato de que no período chuvoso, as águas são mais ricas em sedimentos em suspensão.



**Figura 3.4** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Turbidez do Aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.



Isso ocorre principalmente na época de cheias, onde a água da chuva que escoar pelo solo, carrega consigo sedimentos que permanecem em suspensão na água tornando-a mais turva, a qual entra em contato com as águas subterrâneas por meio dos poços mal protegidos.

**Tabela 3.12** – Distribuição de probabilidade da Turbidez do Aquífero Aluvial no período chuvoso (Tu-1) - abril de 2012 e no período seco (Tu-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Tu-1	0,65	0,18	0,09	0,05	0,03	0,02
Tu-2	0,26	0,09	0,05	0,03	0,02	0,01
Razão	2,47	2,04	1,85	1,70	1,55	1,46

### 3.7.3 – Condutividade Elétrica (CE)

A condutividade elétrica (CE) das águas do aquífero Aluvial, de acordo com a estatística descritiva (**tabela 3.13**), variou no ano de 2012, de 16 a 653  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no período chuvoso, com média de 111,67 e mediana de 57  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . No período seco a variação entre o mínimo e o máximo foi de 17 a 348  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , com média de 110,42 e mediana de 68  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Vale ressaltar que os valores de CE no aquífero Aluvial, em sua maioria, são baixos, haja vista que 88% dos pontos amostrados no período chuvoso e 83% dos poços no período de estiagem são inferiores a 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Isso provavelmente é reflexo do clima chuvoso e da frequência das chuvas na região, que assegura uma quase permanente renovação das águas dos aquíferos e dos rios na Amazônia.

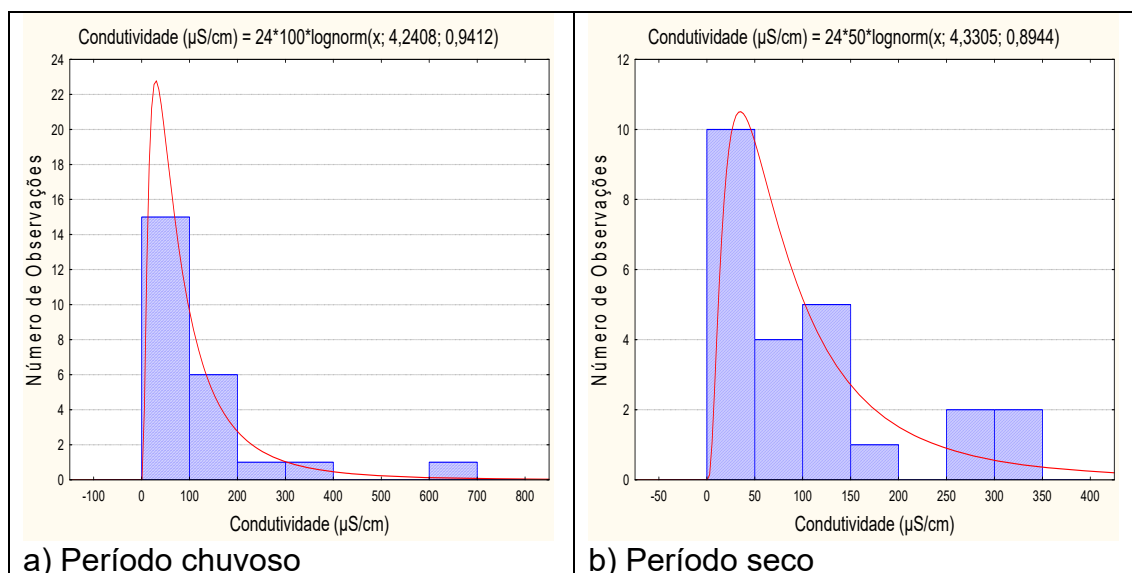
Os valores de CE acima de 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  encontrados no período chuvoso em 13% (3/24) das amostras e 17% (4/24) no período seco são coerentes, pois, segundo Esteves (1998), a condutividade elétrica depende da composição iônica dos corpos d'água e pode ser influenciado também pelo volume de chuvas, o que é bastante frequente na região estudada.

**Tabela 3.13** – Estatística descritiva da Condutividade Elétrica do Aquífero Aluvial no período chuvoso (CE-1) - abril de 2012 e no período seco (CE-2) – outubro de 2012.

CE	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
CE-1	24	111,67	53,04	170,29	57,0	16,0	653,0	138,83	28,34	2,94
CE-2	24	110,42	68,27	152,56	68,0	17,0	348,0	99,81	20,37	1,37

De acordo com Celligoi (1999), quanto à condutividade elétrica, as águas subterrâneas podem ser classificadas em água destilada, quando a CE varia de 0,5 a 2  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; água potável, quando a CE varia de 50 a 1.500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; e água poluída, quando a CE é  $> 10.000 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Nesse caso, as águas do aquífero Aluvial, em ambos os períodos de coleta, podem ser classificadas como potáveis.

Os histogramas de frequência da condutividade elétrica nos dois períodos de amostragem (**figura 3.5**) foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal. Esse modelo de fdp permite concluir com risco calculado (**tabela 3.14**) que os valores de CE estimados para o período de estiagem são maiores do que os do período chuvoso, o que sugere influência da sazonalidade, haja vista que a razão entre os valores das campanhas é inferior a 1 (um).



**Figura 3.5** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Condutividade Elétrica do Aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Segundo Custodio & Llamas (1983), a condutividade elétrica da água constitui um parâmetro físico que corresponde à quantidade de íons dissolvidos em seu meio e varia com a temperatura, mobilidade e valência dos íons presentes. Este parâmetro está intrinsecamente correlacionado à geologia de cada localidade, ou seja, o arcabouço de rochas, minerais e sedimentos que constituem uma determinada região, os quais influenciarão diretamente os íons que vão compor as águas superficiais e subterrâneas.

**Tabela 3.14** – Distribuição de probabilidade da Condutividade Elétrica do Aquífero Aluvial no período chuvoso (CE-1) - abril de 2012 e no período seco (CE-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
CE-1	69,46	31,46	20,79	14,77	10,05	7,78
CE-2	75,98	35,79	24,15	17,45	12,11	9,49
Razão	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8

Na região amazônica, segundo Campos (2003), valores de condutividade elétrica compreendidos entre 10 a 40  $\mu\text{S/cm}$  são considerados como *background* regional das águas subterrâneas, de modo que valores acima deste padrão indicam influência antrópica na qualidade das águas subterrâneas.

De acordo com Andrade *et al.* (2012), valores elevados de condutividade elétrica sinalizam que na área ocorre concentração de sais, tanto no solo quanto na água subterrânea.

Desse modo, é possível dizer que os valores de CE mais elevados no aquífero Aluvial no período de estiagem se devem provavelmente a maior presença de sódio e potássio, tanto no solo quanto na água subterrânea, haja vista que tais elementos se apresentaram em maiores quantidades na segunda campanha de amostragem.

Aliado a isso, Silva *et al.* (2000) destacam que a condutividade elétrica de uma solução é proporcional à concentração de todos os íons presentes e se eleva com a temperatura. Dessa forma, observa-se que as maiores medições de condutividade elétrica ocorreram no período seco, onde as temperaturas foram mais elevadas.

### 3.7.4 – Temperatura

A estatística descritiva da temperatura das águas subterrâneas do aquífero Aluvial (**tabela 3.15**) indica que no período chuvoso a temperatura das águas coletadas no aquífero variou de 24°C a 30°C, apresentando uma amplitude térmica de 6°C. No período de estiagem as temperaturas foram mais altas, variando de 26°C a 33,5°C, com uma amplitude térmica bem maior, de 7,5°C. A média e a mediana no período chuvoso assumem praticamente o mesmo valor, respectivamente com 27,19°C e 27,20°C, enquanto que no período seco, os respectivos valores são igualmente muito próximos 29,12°C e 28,75°C, caracterizando uma distribuição normal. Os valores máximos encontrados em ambos os períodos de coleta possivelmente decorrem da influência da temperatura ambiente sobre as águas subterrâneas, uma vez que as águas do aquífero Aluvial são pouco profundas e influenciadas pelas águas superficiais.

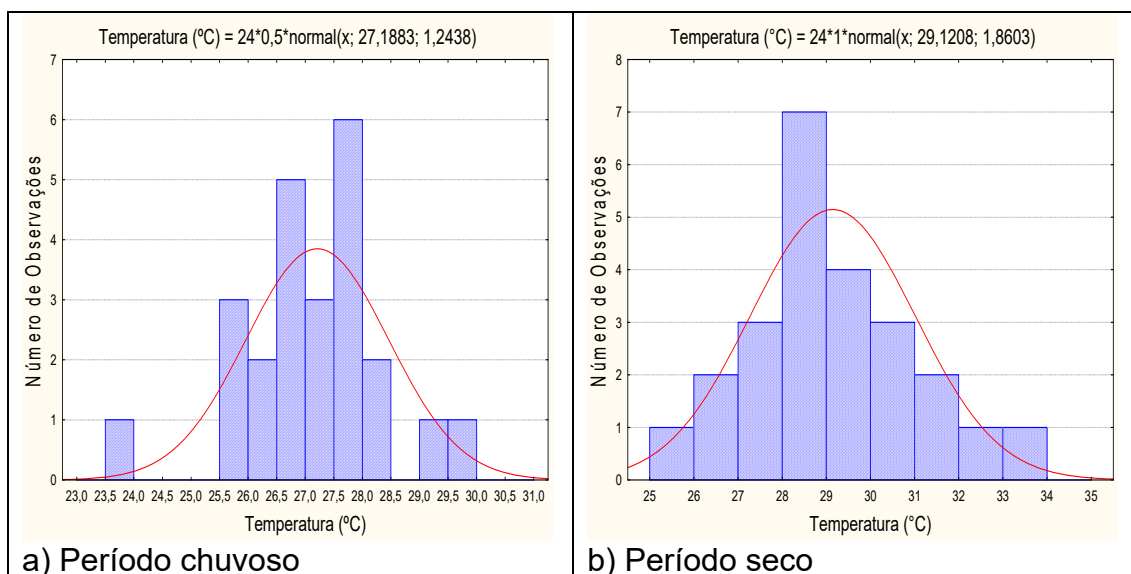
**Tabela 3.15** – Estatística descritiva da Temperatura (°C) do Aquífero Aluvial no período chuvoso (T-1) - abril de 2012 e no período seco (T-2) – outubro de 2012.

T (°C)	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
T-1	24	27,19	26,66	27,71	27,20	24,0	30,0	1,24	0,25	-0,17
T-2	24	29,12	28,33	29,90	28,75	26,0	33,5	1,86	0,38	0,45

Os histogramas de frequência da temperatura das águas subterrâneas do aquífero Aluvial, modelados por curvas normais de distribuição de probabilidade na amostragem do período chuvoso (abril de 2012) e do período de estiagem (outubro de 2012), são mostrados na **figura 3.6**.

Os resultados da **tabela 3.16** permitem concluir que as temperaturas das águas subterrâneas do aquífero Aluvial são muito próximas em ambos os períodos de coleta, mas com um leve aumento da temperatura no período de estiagem, sugerindo que há influência da sazonalidade.

Os valores máximos encontrados em ambos os períodos de coleta, possivelmente decorrem da influência da temperatura ambiente sobre as águas subterrâneas, uma vez que as águas do aquífero Aluvial são pouco profundas e influenciadas pelas águas superficiais.



**Figura 3.6** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Temperatura (°C) do Aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

**Tabela 3.16** – Distribuição de probabilidade da Temperatura (°C) do Aquífero Aluvial no período chuvoso (T-1) - abril de 2012 e no período seco (T-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
T-1	27,19	26,14	25,59	25,14	24,63	24,29
T-2	29,12	27,56	26,74	26,06	25,30	24,79
Razão	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0

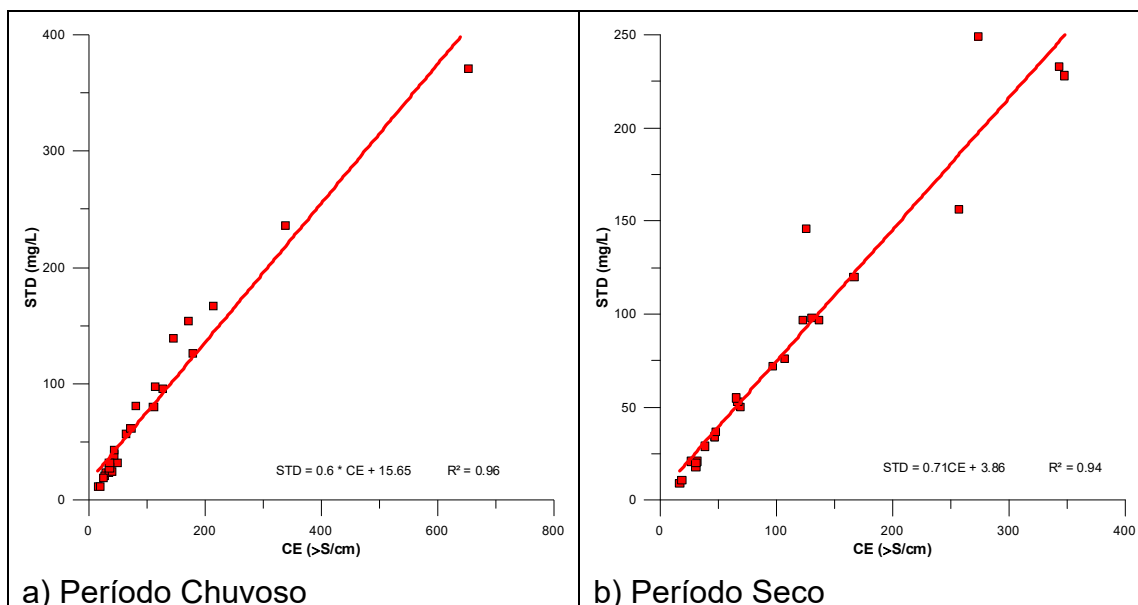
### 3.7.5 – Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

De acordo com Suassuna (2007), na maioria das águas naturais, os sólidos totais dissolvidos (STD) se relacionam com a condutividade elétrica (CE) através de uma equação linear com coeficiente angular situado na faixa de 0,55 a 0,75. No caso do aquífero Aluvial, os dados desses parâmetros são apresentados na **tabela 3.17**.

**Tabela 3.17** – Valores de condutividade elétrica CE ( $\mu\text{S/cm}$ ) e sólidos totais dissolvidos STD (mg/L) no aquífero Aluvial nas duas campanhas de amostragem.

Poço	Abril de 2012		Outubro de 2012	
	CE ( $\mu\text{S/cm}$ )	STD (mg/L)	CE ( $\mu\text{S/cm}$ )	STD (mg/L)
BEL027	338	236	348	228
BEL028	179	126	343	233
EIR01	127	96	31	18
EIR02	16	12	17	9
EIR03	30	24	274	249
EIR04	27	21	27	21
EIR05	115	98	131	98
ITB001	215	167	126	146
ITB004	653	371	257	156
TBT01	35	24	32	21
TBT02	49	32	69	50
TBT03	172	154	19	11
TBT04	65	57	137	97
TBT05	44	39	47	34
TBT06	26	19	67	53
TBT07	146	139	123	97
TBT08	40	25	47	34
TBT09	20	12	48	37
TBT10	36	28	39	29
TBT11	36	32	167	120
TBT12	112	80	107	76
TBT13	81	81	66	55
TBT14	73	62	31	20
TBT15	45	43	97	72

Na correlação linear estabelecida com os dados da **tabela 3.17**, os coeficientes angulares encontrados são, respectivamente, iguais a 0,6 no período chuvoso e 0,71 no período seco, como ilustrado na **figura 3.7**. Isso demonstra que nas águas do aquífero Aluvial existe uma forte correlação linear entre STD e CE, conforme revelam os valores dos coeficientes de determinação da regressão ( $R^2$ ), respectivamente iguais a 0,96 no período chuvoso e 0,94 no período de estiagem.



**Figura 3.7** – Relações entre a condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos no aquífero Aluvial, no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012).

Os teores de STD nas águas subterrâneas do aquífero Aluvial, segundo a estatística descritiva mostrada na **tabela 3.18**, variam no período chuvoso de 12 a 371 mg/L, com média de 82,42 mg/L e mediana de 50 mg/L. No período de estiagem, o mínimo observado foi de 9 mg/L e o máximo de 249 mg/L, com média de 81,85 mg/L e mediana de 54 mg/L.

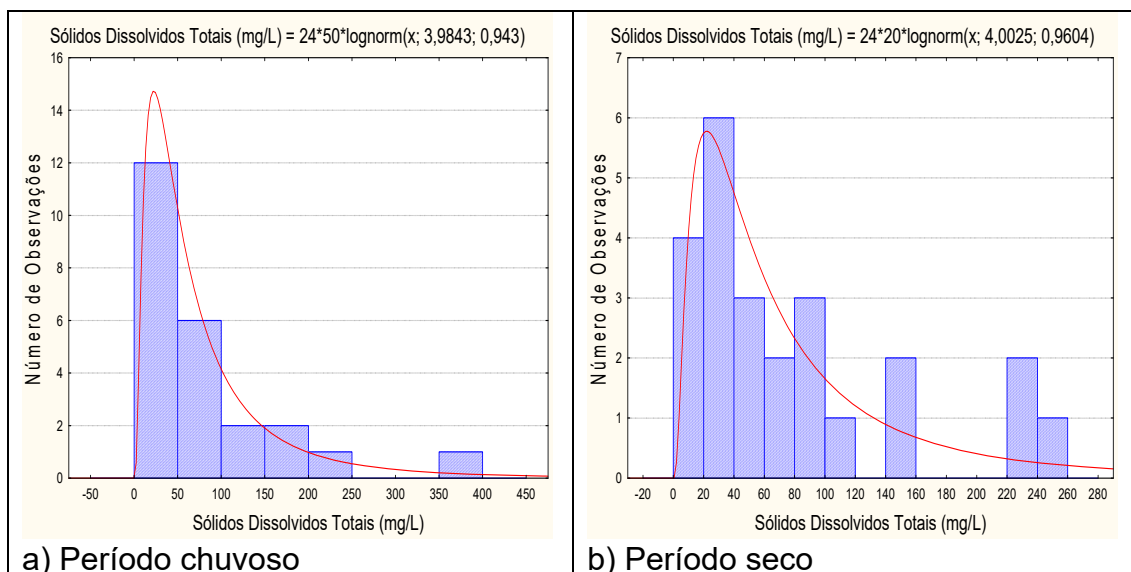
Os valores de STD obtidos nas duas campanhas estão abaixo do VMP da Portaria MS 2914/2011 e da Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.5**), que recomenda o valor de 1.000 mg/L como padrão organoléptico de potabilidade para consumo humano.

De modo geral, os valores de STD obtidos nas águas do aquífero Aluvial são baixos, o que pode ser justificado pela constante renovação das águas associada à elevada precipitação na região, típica da floresta amazônica, e da influência do intemperismo químico, conforme descreve o **item 1.12**.

**Tabela 3.18** – Estatística descritiva dos Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero Aluvial no período chuvoso (STD-1) - abril de 2012 e no período seco (STD-2) – outubro de 2012.

STD	N	Média	Confiância 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
STD-1	24	82,42	46,64	118,18	50,0	12,0	371,0	84,71	17,29	2,07
STD-2	24	81,85	51,13	112,55	54,0	9,0	249,0	72,72	14,84	1,20

Os histogramas de frequência de STD ilustrados na **figura 3.8** nos dois períodos de amostragem foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal. Esse modelo de fdp revela um viés estatístico para STD com diferentes riscos, não sendo possível avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade por meio da modelagem geoestatística (**tabela 3.19**).



**Figura 3.8** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade dos Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Dessa forma, com base nos dados de STD obtidos nas duas campanhas de amostragem, observa-se que os valores são muito próximos e, portanto, considera-se que não há influência da sazonalidade para este parâmetro nas águas do aquífero Aluvial.

**Tabela 3.19** – Distribuição de probabilidade dos Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero Aluvial no período chuvoso (STD-1) - abril de 2012 e no período seco (STD-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
STD-1	53,75	24,30	16,05	11,40	7,75	5,99
STD-2	54,73	24,39	15,99	11,28	7,61	5,86
Razão	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

### 3.7.6 – Potencial Hidrogeniônico (pH)

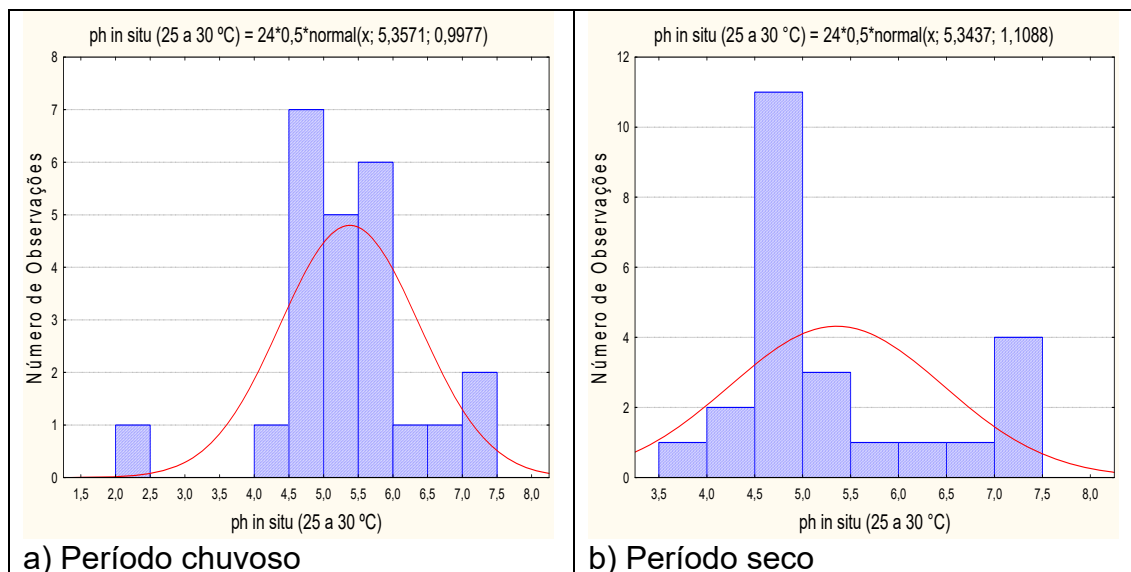
Segundo a Resolução CONAMA 396/2008 e a Portaria MS 2914/11 não há um limite máximo de pH definido para o consumo humano. Contudo, a Portaria MS 2914/11, no art. 39, § 1º, recomenda que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5 para atender aos padrões organolépticos de potabilidade (**item 2.6**). No caso específico do aquífero Aluvial, para os 24 poços cujas águas foram analisadas quimicamente, o pH é ácido no momento da coleta, mas tão logo sofre aeração no reservatório ou até mesmo dentro do próprio poço, tende a atingir a neutralidade e ao final normalmente se enquadra na faixa prescrita pela Portaria MS 2914/11.

De acordo com a estatística descritiva mostrada na **tabela 3.20**, nas águas subterrâneas do aquífero Aluvial, os valores de pH *in situ* encontrados no período chuvoso ficaram compreendidos entre 2,3 e 7,2, com média de 5,36 e mediana igual a 5,38. No período seco, os valores oscilaram entre um mínimo de 3,9 e um máximo de 7,5, apresentando média de 5,34 e mediana de 4,85.

**Tabela 3.20** – Estatística descritiva do pH *in situ* do Aquífero Aluvial no período chuvoso – abril de 2012 (pH-1) e no período seco – outubro de 2012 (pH-2).

pH	N	Média	Confiança 95%	Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
pH-1	24	5,36	4,93	5,77	2,3	7,2	1,00	0,20	-0,69
pH-2	24	5,34	4,87	5,81	3,9	7,5	1,11	0,23	1,01

Os histogramas de frequência e respectivas curvas ajustadas à lei normal de distribuição de probabilidade para o período chuvoso de abril 2012 e para o período seco de outubro de 2012 são apresentados na **figura 3.9**.



**Figura 3.9** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do pH do Aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Na **tabela 3.21** são indicados, com risco calculado, os valores estimados do pH *in situ* no período chuvoso e no período seco. Os resultados mostram que em ambas as campanhas, as águas se caracterizam essencialmente como ácidas, e que não há influência da sazonalidade, haja vista que a razão dos valores medidos nas coletas são muito próximas a 1 (um).

**Tabela 3.21** – Distribuição de probabilidade do pH *in situ* do Aquífero Aluvial no período chuvoso – abril de 2012 (pH-1) e no período seco – outubro de 2012 (pH-2).

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
pH-1	5,36	4,52	4,08	3,72	3,31	3,04
pH-2	5,34	4,41	3,92	3,52	3,07	2,76
Razão	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1

Os resultados obtidos no aquífero Aluvial se devem a alta pluviosidade da região amazônica, pois a água da chuva é o principal agente do intemperismo químico, que infiltra e percola as rochas. De acordo com Teixeira *et al.* (2000), isso ocorre, pois a água da chuva é rica em O<sub>2</sub>, que interage com o CO<sub>2</sub> da atmosfera e adquire caráter ácido, e em contato com o solo, onde a respiração das plantas pelas raízes e a oxidação da matéria orgânica enriquecem o ambiente em CO<sub>2</sub>, diminuem ainda mais o seu pH.



### 3.7.7 – Potencial Redox (Eh)

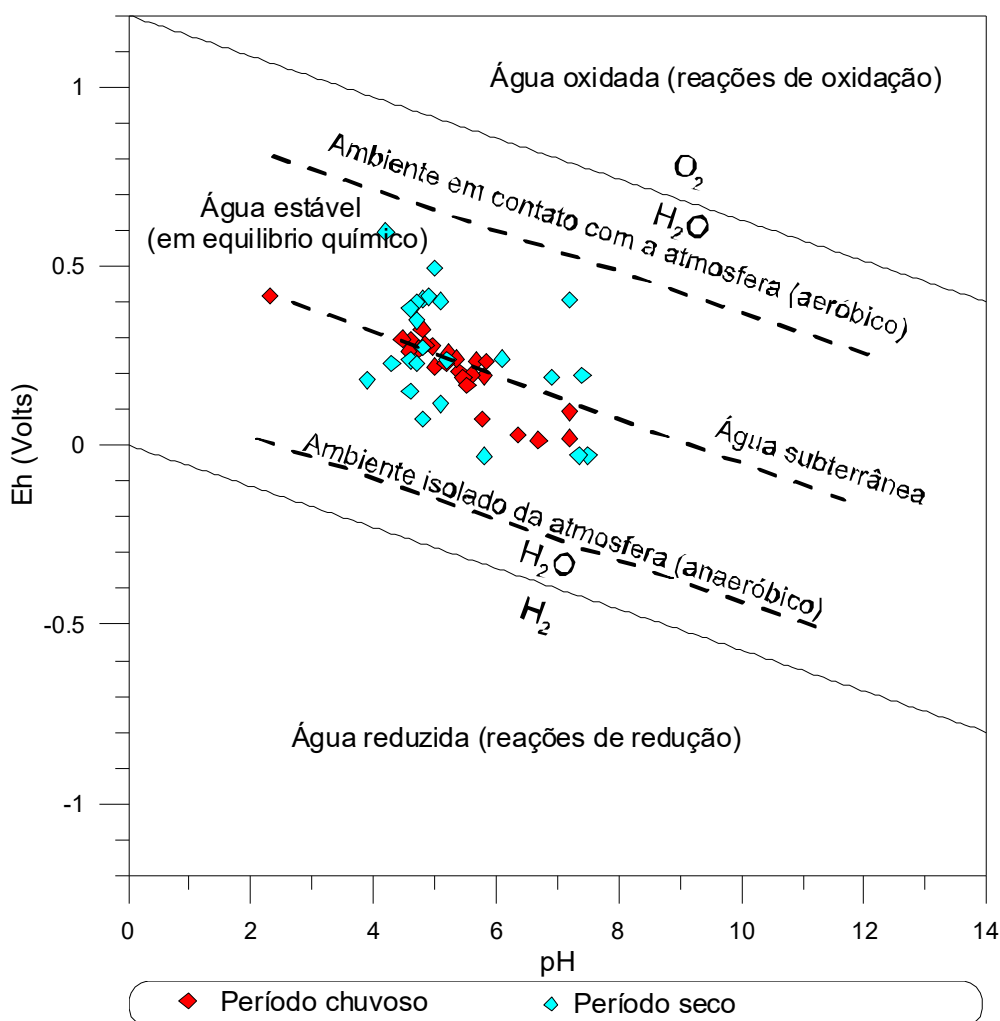
No aquífero Aluvial, os diagramas pH-Eh elaborados usando os conceitos descritos no **item 2.7** revelam os ajustes lineares (**figura 3.10**) feitos a partir dos dados medidos em campo, que foram os seguintes:

No período chuvoso:  $\text{pH} = -0,0898\text{Eh} + 0,690$   $R^2 = 0,79$

No do período seco:  $\text{pH} = -0,0639\text{Eh} + 0,596$   $R^2 = 0,18$

O coeficiente de determinação do ajuste do período chuvoso indicou que existe uma correlação significativa entre as medidas de pH e Eh. Isto provavelmente ocorre, pois no período chuvoso, a região é constantemente inundada pelas águas dos rios da região Amazônica, ricas em sedimento e  $\text{O}_2$  proveniente da água da chuva.

No período de estiagem, o coeficiente de determinação do ajuste se mostrou insignificante, indicando que não existe correlação significativa entre as medidas de pH e Eh efetuadas em campo. Isto sugere que, para fins de modelagem termodinâmica, a distribuição das espécies químicas não pode ser deduzida da concentração total de elementos via potencial redox medido.



**Figura 3.10** – Diagrama pH versus Eh (mV), de amostras de águas subterrâneas dos poços monitorados no aquífero Aluvial (temperatura *in situ* variou de 24 a 33,5°C) nas duas campanhas de amostragem.

O potencial redox é, por definição, a energia ganha na transferência de 1 mol de elétrons de um oxidante para  $H_2$ . O  $h$  em  $Eh$  indica que o potencial é na escala do hidrogênio e o  $E$  simboliza a força eletromotriz (Freeze & Cherry, 1979).

A estatística descritiva do  $Eh$  no aquífero Aluvial, expressa na **tabela 3.22**, mostra que no período chuvoso os valores de  $Eh$  oscilaram entre 14 e 417 mV, com uma média de 209,51 mV e mediana de 232,85 mV. No período de estiagem, os valores oscilaram entre -30 e 596 mV, com média de 254,92 mV e mediana de 237,5 mV.

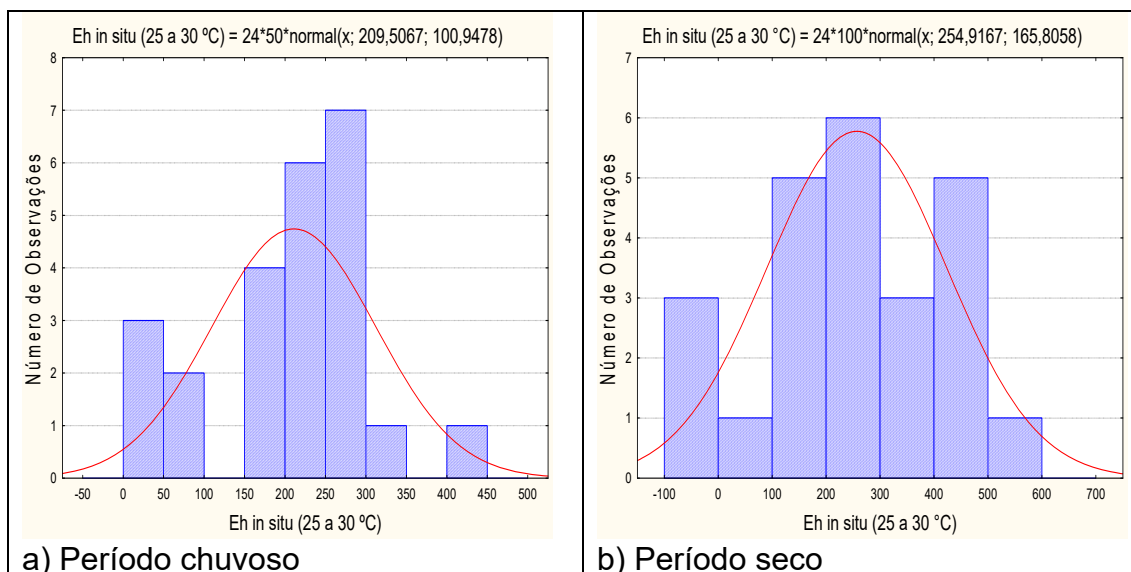
**Tabela 3.22** – Estatística descritiva do  $Eh$  (mV) do Aquífero Aluvial no período chuvoso ( $Eh-1$ ) - abril de 2012 e no período seco ( $Eh-2$ ) – outubro de 2012.

$Eh$ (mV)	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
$Eh-1$	24	209,51	166,88	252,13	232,85	14,0	417,0	100,95	20,61	-0,53
$Eh-2$	24	254,92	184,90	324,93	237,50	-30,0	596,0	165,81	33,84	-0,06

No período chuvoso, 100% (24/24) das amostras apresentaram resultados de  $Eh$  positivo, enquanto que no período de estiagem, 88% (21/24) das amostras obtiveram valores de  $Eh$  positivos, indicando que as águas do aquífero Aluvial se encontram em condições oxidantes.

De acordo com Bohn (1970) *in* Lima *et al.* (2005), o potencial redox ou atividade de elétrons influencia o estado de oxidação do hidrogênio, carbono, nitrogênio, oxigênio, enxofre, manganês, ferro, cobalto e cobre no sistema aquoso e representa uma medida quantitativa da tendência de um dado sistema oxidar ou reduzir substâncias ou elementos susceptíveis a esses fenômenos. Valores altos e positivos do potencial indicam uma baixa atividade de elétrons e, portanto, condições oxidantes; enquanto valores baixos e negativos do potencial, condições redutoras. Dessa forma, um sistema natural raramente alcançará o equilíbrio entre oxidação e redução, em razão da contínua adição de doadores de elétrons, isto é, compostos orgânicos oxidáveis, o que acarreta, no caso do aquífero Aluvial, as diferenças de valores de  $Eh$  nas duas campanhas.

Os histogramas de frequência de  $Eh$  ilustrados na **figura 3.11** nos dois períodos de amostragem foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal.



**Figura 3.11** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Eh (mV) do Aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

O modelo de fdp revela um viés estatístico para Eh com diferentes riscos, não sendo possível avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade por meio da modelagem geoestatística (**tabela 3.23**). Dessa forma, com base nos dados de média e mediana considera-se que os valores de Eh no período de estiagem são superiores aos do período chuvoso, o que sugere influência da sazonalidade.

**Tabela 3.23** – Distribuição de probabilidade do Eh (mV) do Aquífero Aluvial no período chuvoso (Eh-1) - abril de 2012 e no período seco (Eh-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Eh-1	209,51	124,55	80,14	43,46	2,19	-25,33
Eh-1	254,92	115,37	42,43	-17,81	-85,61	-130,81
Razão	0,8	1,1	1,9	-2,4	-0,026	0,2

Os resultados de Eh obtidos no aquífero Aluvial são coerentes, pois de acordo com Costa & Ávila (2010), na zona não saturada há, geralmente, oxigênio suficiente na fase gasosa para garantir elevados valores de potencial redox (500 a 800 mV) na água. Apesar disso, condições redutoras ou parcialmente redutoras podem ocorrer em pequenos poros (micro-meios). Nos aquíferos perto da superfície as condições de oxidação prevalecem, assim, potenciais redox baixos nestes aquíferos podem indicar contaminação antropogênica. No caso do aquífero Aluvial os valores de Eh mais elevados na estiagem são consistentes com a ideia acima apresentada, pois a zona de aeração, que no período chuvoso se encontra quase totalmente saturada por águas de infiltração em movimento, volta a ter espaços vazios preenchidos por oxigênio, o que conseqüentemente eleva o valor de Eh.

### 3.7.8 – Cátions

#### 3.7.8.1 – Sódio

A estatística descritiva (**tabela 3.24**) indica que os teores de sódio nas águas do aquífero Aluvial variam entre 0,009 e 16,5 mg/L no período chuvoso, com média de 5,26 mg/L e mediana de 3,73 mg/L. No período de estiagem, os teores ficaram compreendidos entre 0,38 e 17,3 mg/L, com média de 6,93 mg/L e mediana de 6,25 mg/L.

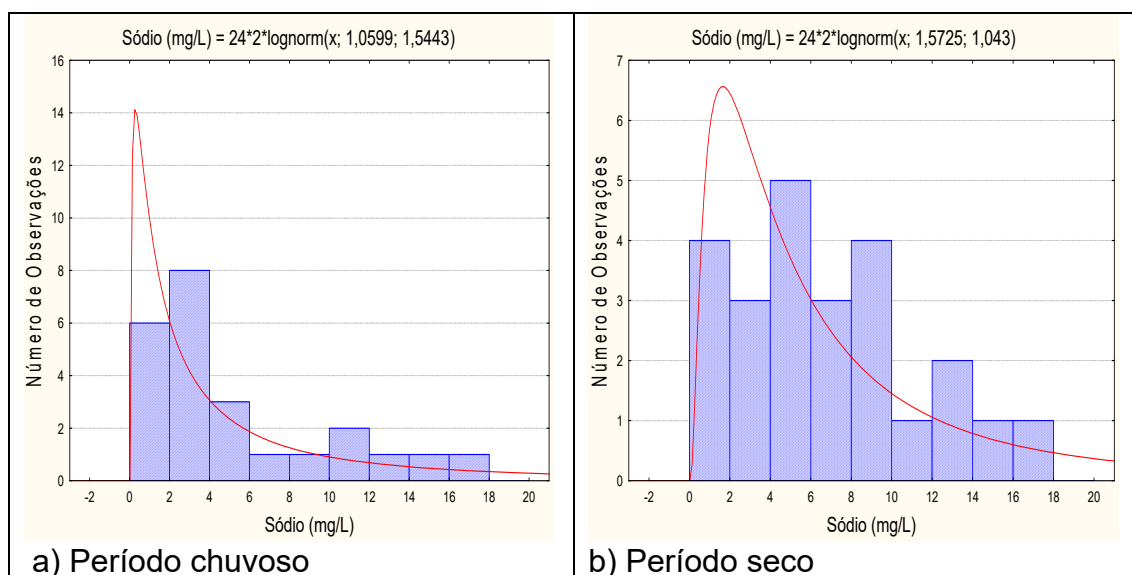
De acordo com a Portaria MS 2914/2011, todos os valores de sódio encontrados nas duas campanhas estão abaixo do VMP de 200 mg/L, padrão definido como de potabilidade para consumo humano, conforme descrito no **item 2.8.1**.

**Tabela 3.24** – Estatística descritiva do Sódio do Aquífero Aluvial no período chuvoso (Na-1) - abril de 2012 e no período seco (Na-2) – outubro de 2012.

Na	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Na-1	24	5,26	3,22	7,28	3,73	0,009	16,5	4,80	0,98	1,22
Na-2	24	6,93	4,91	8,95	6,25	0,38	17,3	4,78	0,98	0,51

Em ambas as campanhas, todas as amostras apresentaram resultados abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.8.1**), indicando que as águas podem ser usadas para consumo humano e recreação.

O modelo de distribuição probabilidade lognormal ajustado aos histogramas da **figura 3.12** permitiu estimar, com risco calculado, os valores de sódio para o período chuvoso e para o período de estiagem.



**Figura 3.12** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Sódio do Aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Os baixos teores de sódio encontrados em ambas as campanhas de amostragem no aquífero Aluvial estão ligados ao intemperismo químico da

região, conforme descrito no **item 1.12**, bem como à constante renovação das águas subterrâneas devido à elevada precipitação regional.

Os valores de sódio revelados pelo modelo (**tabela 3.25**) mostram que os valores do período de estiagem são maiores quando comparados aos do período chuvoso, haja vista que a razão dos valores medidos nas coletas são inferiores a 1 (um).

**Tabela 3.25** – Distribuição de probabilidade do Sódio do Aquífero Aluvial no período chuvoso (Na-1) - abril de 2012 e no período seco (Na-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Na-1	2,89	0,79	0,40	0,23	0,12	0,08
Na-2	4,82	2,00	1,27	0,87	0,57	0,43
Razão	0,6	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2

De acordo com Santos *et al.* (1981), na Amazônia Central, parte dos nutrientes são transportados até o solo pela queda de detritos (folhas, galhos, etc.) da serrapilheira, onde após a sua decomposição eles são incorporados ao sistema radicular da vegetação; enquanto que outra fração de nutrientes bastante significativa é transferida para o solo através da água de lavagem da floresta, a qual se torna mais importante, devido o potencial de precipitação pluviométrica na região, visto que o solo local é arenoso e pobre em bases trocáveis.

Tal premissa pode ser ratificada com base nos resultados obtidos no **item 3.3**, onde a maioria das amostras apresentou resultados de ITB negativos, fato que acontece quando o terreno fornece os metais alcalinos. De acordo com Szikszay (1993), isso é possível, pois as argilas e o húmus dão colóides eletronegativos que são capazes de fixar e trocar cátions.

Segundo Moraes (1999), o solo da floresta amazônica é em geral bastante arenoso e possui uma fina camada de nutrientes que é rica em húmus, o produto resultante da matéria orgânica decomposta.

Madari *et al.* (2009) relatam que os teores de matéria orgânica é que regulam a capacidade de troca de cátions (CTC), principalmente em solos tropicais cuja fase mineral é dominada por minerais de baixa atividade química, quando comparadas à fase mineral dos solos encontrados em regiões de clima temperado. Em solos brasileiros, a matéria orgânica pode contribuir para até 80% das cargas negativas do solo, e isso explica o fato de a CTC desses solos estar, em grande parte, associada à matéria orgânica do solo.

Sendo assim, verifica-se que os teores mais elevados de sódio no período de estiagem no aquífero Aluvial provavelmente se devem aos nutrientes transportados até o solo pela decomposição da matéria orgânica.

### 3.7.8.2 – Potássio

A **tabela 3.26** mostra a estatística descritiva dos teores de potássio no aquífero Aluvial. No período chuvoso as concentrações de potássio medidas nos 24 poços oscilaram entre 0,2 e 9,6 mg/L, com média de 2,54 mg/L e mediana de 1,78 mg/L. No período de estiagem, a variação foi de 0,4 a 4,6 mg/L, com média de 2,11 mg/L e mediana de 1,9 mg/L.

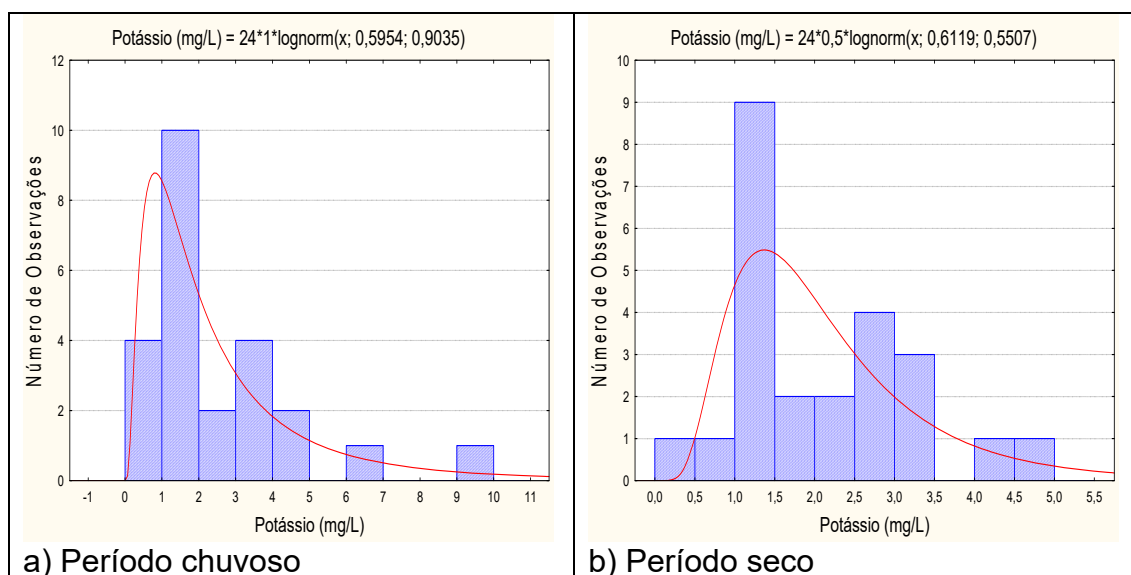
**Tabela 3.26** – Estatística descritiva do Potássio do Aquífero Aluvial no período chuvoso (K-1) - abril de 2012 e no período seco (K-2) – outubro de 2012.

K	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
K-1	24	2,54	1,63	3,44	1,78	0,2	9,6	2,15	0,44	1,86
K-2	24	2,11	1,65	2,56	1,90	0,4	4,6	1,08	0,22	0,73

Os baixos teores de potássio podem ser justificados pela alta pluviosidade na região amazônica, a qual favorece a constante renovação das águas, e consequentemente, a diluição dos elementos ali presentes, associado ao intemperismo químico (**item 1.12**).

Segundo Pereira *et al.* (2008), o potássio nas águas subterrâneas ocorre em pequena quantidade, normalmente valores de até 10 mg/L, pois é facilmente absorvido pelo solo através dos compostos do húmus, por intermédio de argilas ou de zeólitos naturais. Na área de estudo, os valores mínimo e máximo de potássio encontrados em ambas as campanhas foi de 0,2 e 9,6 mg/L.

A modelagem dos histogramas de frequência da **figura 3.13** por funções de distribuição de probabilidade permitiu avaliar com risco calculado os valores estimados das concentrações de potássio para o período chuvoso e para o período de estiagem.



**Figura 3.13** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Potássio do Aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Os valores apresentados na **tabela 3.27** mostram que os teores de potássio no aquífero Aluvial são maiores no período de estiagem, o que sugere influência da sazonalidade, haja vista que a razão dos valores medidos nas coletas são inferiores a 1 (um).

**Tabela 3.27** – Distribuição de probabilidade do Potássio do Aquífero Aluvial no período chuvoso (K-1) - abril de 2012 e no período seco (K-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
K-1	1,81	0,85	0,57	0,41	0,28	0,22
K-2	1,84	1,16	0,91	0,75	0,60	0,51
Razão	0,98	0,73	0,63	0,55	0,48	0,43

De acordo com Santos *et al.* (1981), na Amazônia Central, parte dos nutrientes são transportados até o solo pela queda de detritos (folhas, galhos, etc.) da serrapilheira, onde após a sua decomposição eles são incorporados ao sistema radicular da vegetação; enquanto que outra fração de nutrientes bastante significativa é transferida para o solo através da água de lavagem da floresta, a qual se torna mais importante, devido o potencial de precipitação pluviométrica na região, visto que o solo local é arenoso e pobre em bases trocáveis.

Tal premissa pode ser ratificada com base nos resultados obtidos no **item 3.3**, onde a maioria das amostras apresentou resultados de ITB negativos, fato que acontece quando o terreno fornece os metais alcalinos. De acordo com Szikszay (1993), isso é possível, pois as argilas e o húmus dão colóides eletronegativos que são capazes de fixar e trocar cátions.

Segundo Moraes (1999), o solo da floresta amazônica é em geral bastante arenoso e possui uma fina camada de nutrientes que é rica em húmus, o produto resultante da matéria orgânica decomposta.

Madari *et al.* (2009) relatam que os teores de matéria orgânica é que regulam a capacidade de troca de cátions (CTC) principalmente, em solos tropicais cuja fase mineral é dominada por minerais de baixa atividade química, quando comparadas à fase mineral dos solos encontrados em regiões de clima temperado. Em solos brasileiros, a matéria orgânica pode contribuir para até 80% das cargas negativas do solo, e isso explica o fato de a CTC desses solos estar, em grande parte, associada à matéria orgânica do solo.

Sendo assim, verifica-se que os teores mais elevados de potássio no período de estiagem no aquífero Aluvial provavelmente se devem aos nutrientes transportados até o solo pela decomposição da matéria orgânica.

### 3.7.8.3 – Cálcio

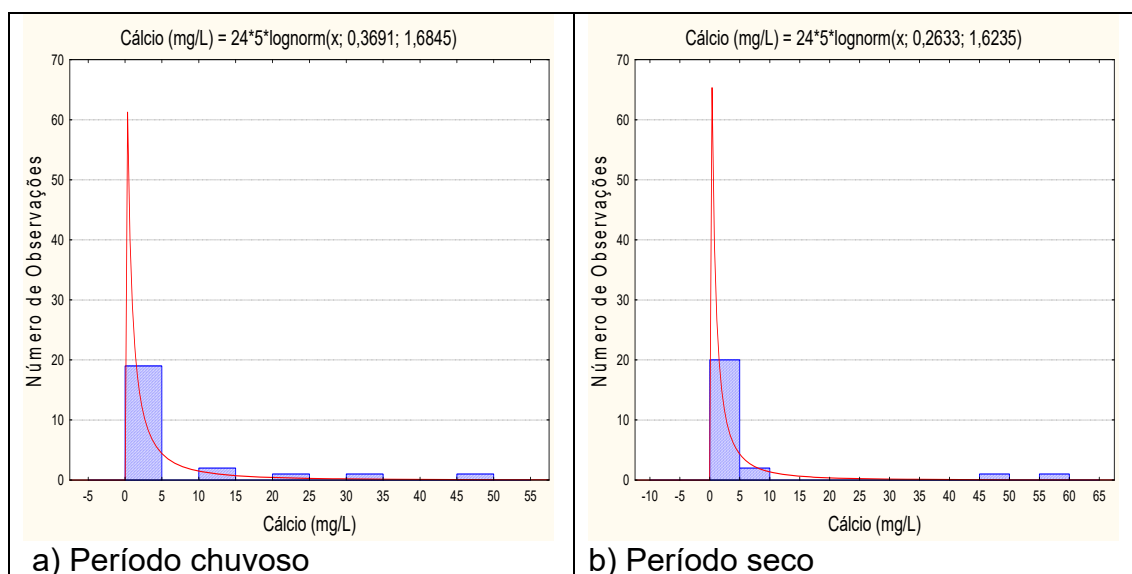
A **tabela 3.28** mostra a estatística descritiva dos teores de cálcio medidos no aquífero Aluvial. No período chuvoso, os valores medidos estão compreendidos entre 0,13 e 49,8 mg/L, com média de 6,18 mg/L e mediana de 1,07 mg/L. Na estiagem, as concentrações de cálcio variam de 0,09 a 56,3 mg/L, sendo a média igual a 6,04 mg/L e a mediana de 1,04 mg/L.

**Tabela 3.28** – Estatística descritiva do Cálcio do Aquífero Aluvial no período chuvoso (Ca-1) - abril de 2012 e no período seco (Ca-2) – outubro de 2012.

Ca	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Ca-1	24	6,18	1,03	11,33	1,07	0,13	49,8	12,20	2,49	2,65
Ca-2	24	6,04	-0,11	12,19	1,04	0,09	56,3	14,57	2,97	3,13

De modo geral, os baixos teores de cálcio no aquífero Aluvial se devem, sobretudo, a abundância de água associada com a exuberante cobertura vegetal e as altas temperaturas, os quais são os principais condicionantes do intemperismo químico, que ao longo do tempo geológico quebrou a estrutura química dos minerais componentes das rochas e dos sedimentos, deixando os terrenos lixiviados e lateritizados (**item 1.12**). Além disso, o alto índice pluviométrico da região Amazônica favorece que tanto as águas superficiais quanto as águas subterrâneas se renovem com muita frequência.

Os histogramas de frequência modelados pela lei lognormal de distribuição de probabilidade (**figura 3.14**) permitiram estimar, com nível de risco calculado, os teores de cálcio para o período chuvoso e para o período de estiagem.



**Figura 3.14** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Cálcio do Aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Na **tabela 3.29** são apresentados, com risco calculado, os valores estimados do cálcio no período chuvoso e no período seco. Os resultados mostram que em ambas as campanhas, os teores de cálcio são quase iguais e que não há influência da sazonalidade, haja vista que a razão dos valores medidos nas coletas são muito próximas ou iguais a 1 (um).

**Tabela 3.29** – Distribuição de probabilidade do Cálcio do Aquífero Aluvial no período chuvoso (Ca-1) - abril de 2012 e no período seco (Ca-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Ca-1	1,45	0,35	0,17	0,09	0,05	0,03
Ca-2	1,30	0,33	0,16	0,09	0,05	0,03
Razão	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0

#### 3.7.8.4 – Magnésio

A estatística descritiva na **tabela 3.30** mostra que os teores amostrados de magnésio nas águas do aquífero Aluvial no período chuvoso (abril de 2012) variam de 0,13 a 13,80 mg/L, com média de 2,38 mg/L e mediana de 0,89

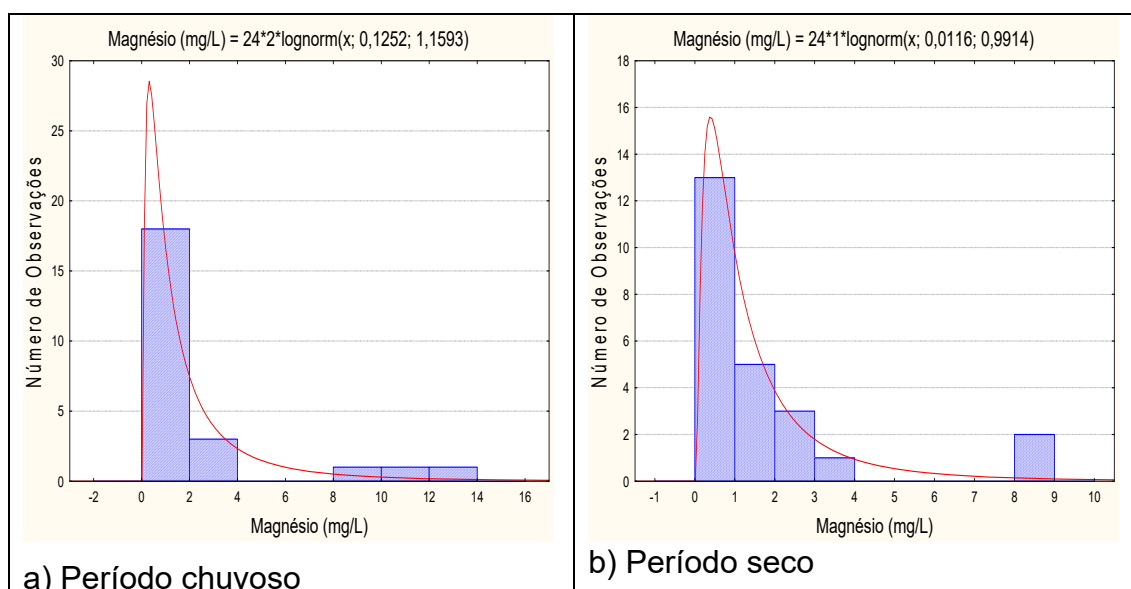


mg/L. Na estiagem (outubro de 2012), os valores oscilaram entre 0,22 e 8,64 mg/L, com média de 1,72 mg/L e mediana de 0,87 mg/L.

**Tabela 3.30** – Estatística descritiva do Magnésio do Aquífero Aluvial no período chuvoso (Mg-1) - abril de 2012 e no período seco (Mg-2) – outubro de 2012.

Mg	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Mg-1	24	2,38	0,83	3,92	0,89	0,13	13,80	3,66	0,75	2,36
Mg-2	24	1,72	0,78	2,65	0,87	0,22	8,64	2,22	0,45	2,51

Os histogramas de frequência de magnésio ilustrados na **figura 3.15** nos dois períodos de amostragem foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal. Esse modelo de fdp revela um viés estatístico para magnésio com diferentes riscos, não sendo possível avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade por meio da modelagem geoestatística (**tabela 3.31**). Dessa forma, com base nos dados obtidos nas duas campanhas, verifica-se que os teores de magnésio são muito próximos e que não há influência da sazonalidade.



**Figura 3.15** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Magnésio do Aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

De modo geral, os teores de magnésio no aquífero Aluvial são baixos. Isto se deve, sobretudo, ao clima chuvoso da Floresta Tropical Amazônica, onde a abundância de água associada com a exuberante cobertura vegetal e as altas temperaturas, são os principais condicionantes do intemperismo químico (**item 1.12**), que ao longo do tempo geológico quebrou a estrutura química dos minerais componentes das rochas e dos sedimentos deixando os terrenos lixiviados e lateritizados.

**Tabela 3.31** – Distribuição de probabilidade do Magnésio do Aquífero Aluvial no período chuvoso (Mg-1) - abril de 2012 e no período seco (Mg-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Mg-1	1,13	0,43	0,26	0,17	0,10	0,08
Mg-2	1,01	0,44	0,28	0,20	0,13	0,10
Razão	1,1	1,0	0,9	0,8	0,8	0,8

### 3.7.9 – Ânions

#### 3.7.9.1 – Cloreto

A **tabela 3.32** mostra a estatística descritiva dos teores de cloreto amostrados no ano de 2012 nas águas subterrâneas do aquífero Aluvial. No período chuvoso (abril de 2012) os valores de cloreto variaram de 0,9 a 108,37 mg/L, com média de 12,16 mg/L e mediana de 5,58 mg/L. No período de estiagem (outubro de 2012), a variação entre o mínimo e o máximo foi de 0,49 a 30,23 mg/L, com média de 8,18 mg/L e mediana de 4,73 mg/L.

**Tabela 3.32** – Estatística descritiva do Cloreto do Aquífero Aluvial no período chuvoso (CI-1) - abril de 2012 e no período seco (CI-2) – outubro de 2012.

CI	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
CI-1	24	12,16	2,91	21,39	5,58	0,9	108,37	21,88	4,47	4,01
CI-2	24	8,18	4,40	11,96	4,73	0,49	30,23	8,96	1,83	1,17

Na primeira campanha, 21% (5/24) das amostras apresentaram teores de cloreto abaixo do limite de detecção de 1 mg/L, e 4% (1/24) teor abaixo do limite de detecção de 2 mg/L. Na segunda campanha, 21% (5/24) dos poços apresentaram valores abaixo do limite de detecção de 0,5 mg/L. Os limites de detecção dependem do método utilizado e podem variar para o mesmo parâmetro (**item 1.4**).

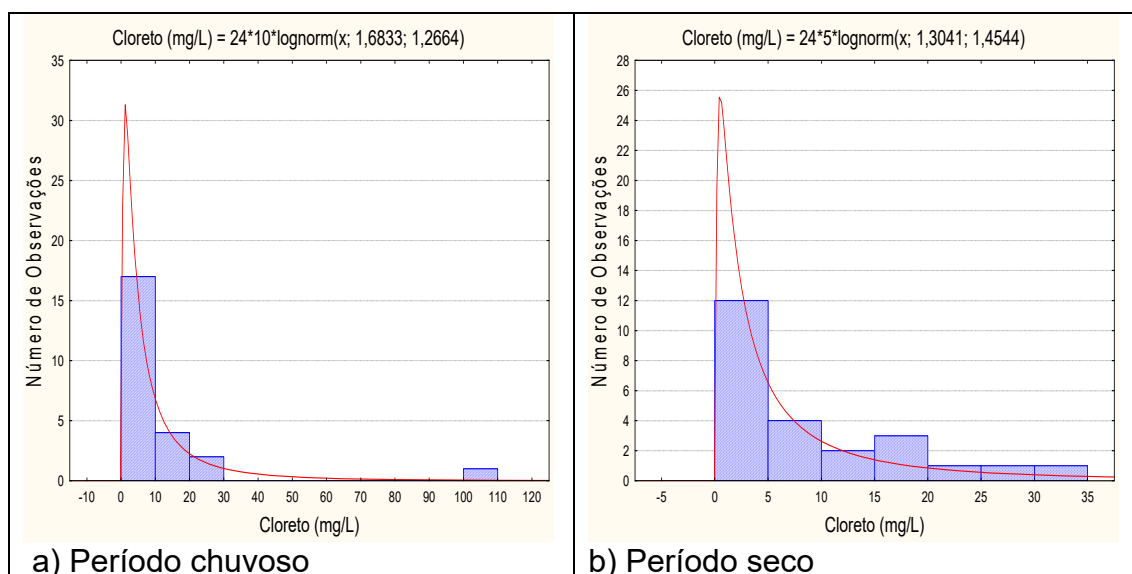
Todos os poços amostrados em ambas as campanhas apresentaram resultados de cloreto inferiores ao VMP de 250 mg/L estabelecido pela Portaria MS 2914/11 (**item 2.9.1**).

Do total de poços, apenas 4% (1/24) na primeira coleta apresentou água imprópria para irrigação, onde os teores de cloreto ultrapassaram o limite estabelecido pela Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.9.1**).

Em ambas as coletas, as demais amostras apresentaram teores de cloreto inferiores aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 396/2008, de 250 mg/L para consumo humano; 100 a 700 mg/L para irrigação; e de 400 mg/L para recreação, indicando que as águas do aquífero Aluvial podem ser empregadas para tais usos.

As funções lognormais de distribuição de probabilidade que modelam os histogramas de frequência do cloreto na primeira e na segunda campanha de amostragem de água no aquífero Aluvial (**figura 3.16**) permitiram avaliar, com risco calculado, que no período chuvoso a concentração de cloreto é maior do que no período de estiagem (**tabela 3.33**), indicando uma influência da

sazonalidade, haja vista que o valor da razão entre as duas campanhas é superior a 1 (um).



**Figura 3.16** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Cloreto do Aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Vale destacar que, no período chuvoso 96% (23/24) das amostras do aquífero Aluvial apresentaram valores de cloreto que variaram de 0,9 a 29,7 mg/L e 4% (1/24) um valor máximo de 108,37 mg/L, no poço ITB004.

Sendo assim, esse valor extremo de cloreto obtido sugere influência antrópica, pois segundo Hindi (2001), a presença de nitrato, cloreto e sódio podem ser indicativos de contaminação nas águas subterrâneas por efluentes domésticos. Isto provavelmente ocorre, pois as localidades estudadas são urbanizadas e quase totalmente desprovidas de esgotamento sanitário, de modo que principalmente na época da chuva pode haver infiltração de água contaminada, haja vista que a maioria dos poços é construída nas proximidades imediatas das fossas sépticas.

**Tabela 3.33** – Distribuição de probabilidade do Cloreto do Aquífero Aluvial no período chuvoso (CI-1) - abril de 2012 e no período seco (CI-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
CI-1	5,38	1,85	1,06	0,67	0,40	0,28
CI-2	3,68	1,08	0,57	0,34	0,19	0,13
Razão	1,5	1,7	1,9	2,0	2,1	2,3

De acordo com Pohling (2009), quando o teor de cloreto está elevado na água e não há influência de fatores geológicos, essa contaminação pode ser proveniente de efluentes domésticos ou industriais.

### 3.7.9.2 – Sulfato

A estatística descritiva apresentada na **tabela 3.34** indica que os teores de sulfato nas águas subterrâneas do aquífero Aluvial, no período chuvoso, variam de 0,49 a 25,03 mg/L, apresentando média de 2,78 mg/L e mediana de 0,50

mg/L. No período seco, os teores variaram de 0,49 a 10,26 mg/L, com média de 1,74 mg/L e mediana de 0,50mg/L.

Na primeira campanha, 54% (13/24) dos poços apresentaram teores de sulfato abaixo do limite de detecção de 0,5 mg/L; e 21% (5/24) das amostras apresentaram teores de sulfato abaixo do limite de detecção de 1 mg/L.

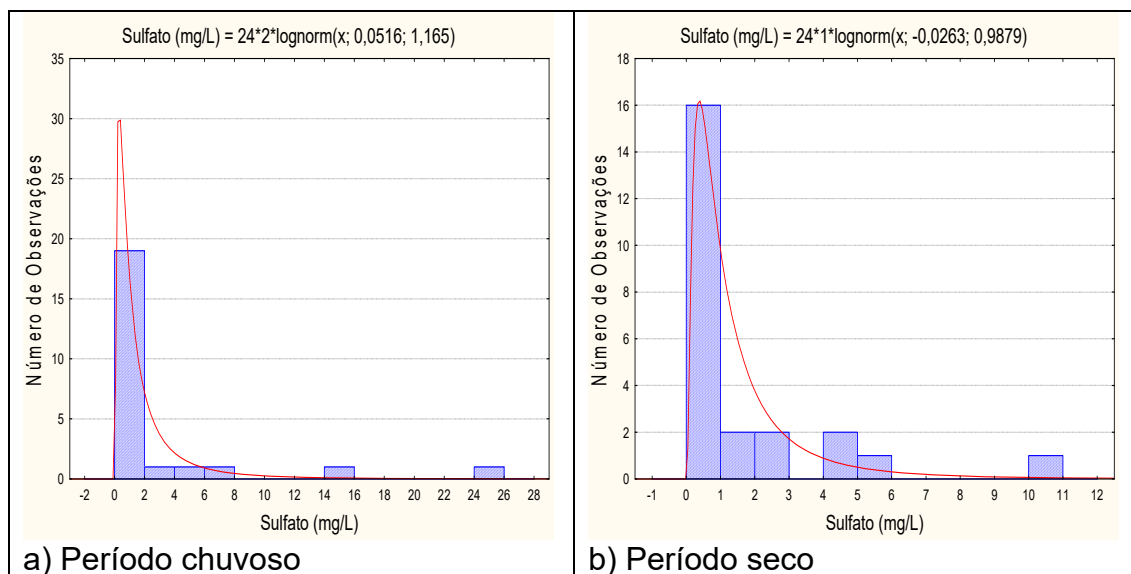
Na segunda campanha, 58% (14/24) das amostras apresentaram teores de sulfato abaixo do limite de detecção de 0,5 mg/L. Os limites de detecção dependem do método utilizado e podem variar para o mesmo parâmetro (**item 1.4**).

**Tabela 3.34** – Estatística descritiva do Sulfato do Aquífero Aluvial no período chuvoso (S-1) - abril de 2012 e no período seco (S-2) – outubro de 2012.

Sulfato	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
S-1	24	2,78	0,37	5,18	0,50	0,49	25,03	5,69	1,16	3,23
S-2	24	1,74	0,73	2,74	0,50	0,49	10,26	2,38	0,49	2,45

Todas as amostras analisadas apresentaram teores de sulfato inferiores aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 396/2008 para consumo humano (250.000 µg.L<sup>-1</sup>), dessedentação animal (1.000.000 µg.L<sup>-1</sup>) e recreação (400.000 µg.L<sup>-1</sup>), bem como dentro dos padrões organolépticos de potabilidade definidos pela Portaria MS 2914/2011 (**item 2.9.2**).

Os histogramas de frequência de sulfato ilustrados na **figura 3.17** nos dois períodos de amostragem foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal. Esse modelo de fdp revela um viés estatístico para sulfato com diferentes riscos, não sendo possível avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade por meio da modelagem geoestatística (**tabela 3.35**). Dessa forma, com base nos dados de média e valor máximo considera-se que os valores de sulfato no período chuvoso são superiores aos do período de estiagem, o que sugere influência da sazonalidade.



**Figura 3.17** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Sulfato do Aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Um fator que contribui para a presença de sulfatos nas águas do aquífero Aluvial é a proximidade dos poços com as fossas sanitárias, os quais em muitos casos não possuem a devida proteção sanitária, o que favorece a infiltração do esgoto *in natura* e conseqüentemente a contaminação das águas subterrâneas, especialmente no período de chuvas.

Fazzio *et al.* (2009) descrevem que o crescente aumento da população urbana tem ocasionado um somatório de contaminantes lançados nas águas subterrâneas, oriundos das mais diversas fontes, relacionadas com o espaço urbano, tais como, fossas sépticas, cemitérios, vazamentos em postos de combustível, lixões, agrotóxicos, poços profundos mal instalados ou abandonados, lançamento de resíduos domésticos e industriais, dentre outros.

**Tabela 3.35** – Distribuição de probabilidade do Sulfato do Aquífero Aluvial no período chuvoso (S-1) - abril de 2012 e no período seco (S-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
S-1	1,05	0,39	0,24	0,15	0,10	0,07
S-2	0,97	0,42	0,27	0,19	0,13	0,10
Razão	1,1	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7

### 3.7.9.3 – Bicarbonato

A estatística descritiva dos teores de bicarbonato nas águas do aquífero Aluvial (**tabela 3.36**) revela que em ambas as campanhas 21% (5/24) das amostras obtiveram valores iguais à zero.

No período chuvoso, as concentrações de bicarbonato oscilaram entre 0,0 e 180 mg/L, com média de 29,46 mg/L e mediana de 11 mg/L. No período de estiagem, as concentrações ficaram compreendidas entre 0,0 e 188 mg/L, com média de 26,92 mg/L e mediana igual a 15 mg/L.

O bicarbonato não possui VMP definido para o consumo humano, conforme descrito no **item 2.9.3**.

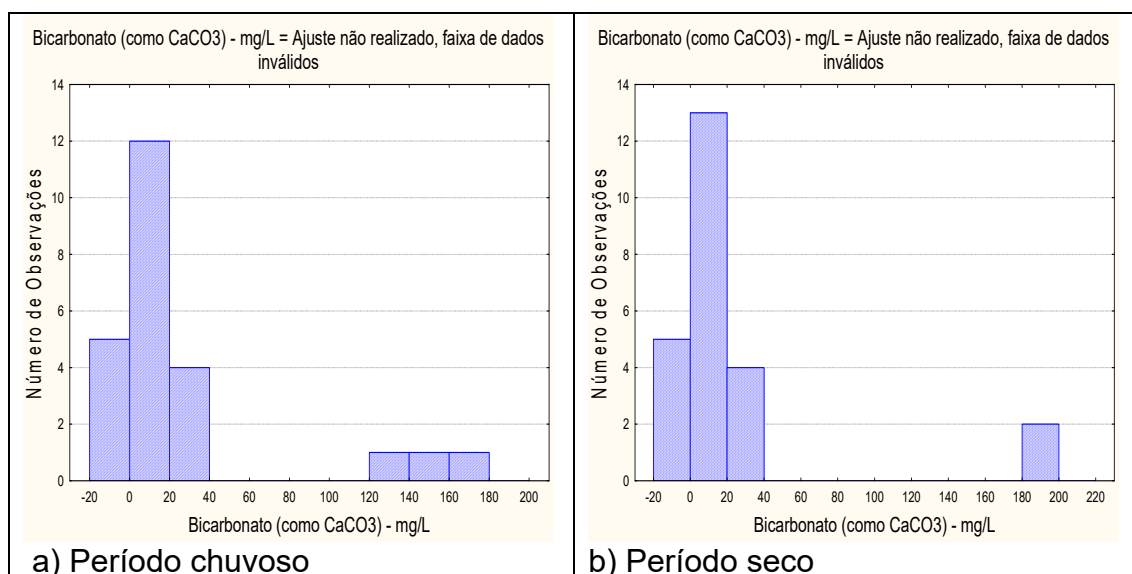
**Tabela 3.36** – Estatística descritiva do Bicarbonato do Aquífero Aluvial no período chuvoso (B-1) - abril de 2012 e no período seco (B-2) – outubro de 2012.

Bicarbonato	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
B-1	24	29,46	8,16	50,75	11,00	0,0	180,0	50,43	10,29	2,38
B-2	24	26,92	6,08	47,75	15,00	0,0	188,0	49,34	10,07	3,04

Devido à existência de amostras com teor de bicarbonato igual à zero nas duas campanhas (5/24), a modelagem geoestatística não pode ser realizada porque o ajuste dos histogramas lognormal não pode ser feita com a presença de zero (**figura 3.18**).

De acordo com a mediana e valores máximos obtidos nas duas campanhas, é possível concluir que os teores de bicarbonato são maiores no período de

estiagem quando comparados aos do período chuvoso, o que sugere influência da sazonalidade.



**Figura 3.18** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Bicarbonato do Aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Para Obiefuna & Sheriff (2011), a origem do bicarbonato nas águas subterrâneas está relacionada principalmente aos processos que produzem o gás carbônico no solo por meio da decomposição e oxidação da matéria orgânica e à respiração das raízes das plantas, que ocorre mais intensamente no período de estiagem.

Segundo Lopes *et al.* (2013), os valores extremamente baixos de bicarbonato podem estar relacionados com as variações da alcalinidade total, uma vez que uma alteração nas concentrações dos íons carbonato e bicarbonato provoca também alterações nos valores de pH de uma solução, já que esses três íons ( $H^+$ ,  $CO_3^{2-}$  e  $HCO_3^-$ ) constituem um verdadeiro sistema em equilíbrio. Assim, a reação entre os dois primeiros, com a formação do terceiro, provoca uma diminuição das concentrações do carbonato e um aumento das concentrações do bicarbonato, o que torna o processo dinâmico e faz com que um elemento seja facilmente convertido em outro por meio de reações que ocorrem no ambiente.

### 3.7.10 – Dureza

A estatística descritiva da dureza das águas subterrâneas do aquífero Aluvial (**tabela 3.37**) mostra que no período chuvoso os valores oscilaram entre 0,83 e 169,6 mg/L, com média de 25,22 mg/L e mediana de 6,64 mg/L. No período de estiagem, a dureza variou de 1,33 a 174,2 mg/L, com média de 22,14 mg/L e mediana de 6,49 mg/L.

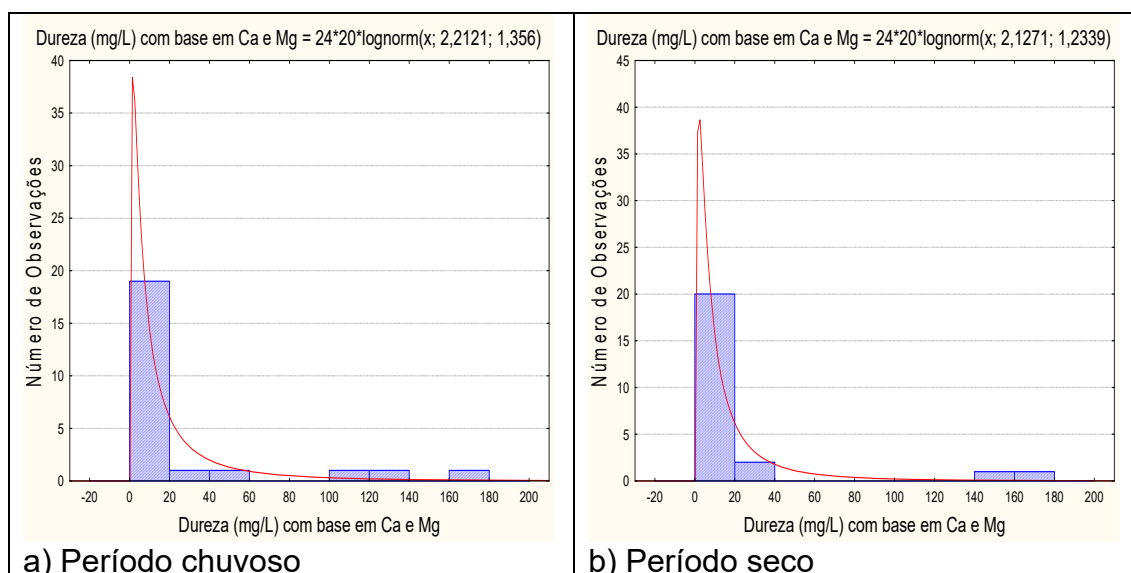
**Tabela 3.37** – Estatística descritiva da Dureza do Aquífero Aluvial no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) – outubro de 2012.

Dureza	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
D-1	24	25,22	6,42	44,01	6,64	0,83	169,6	44,51	9,09	2,46
D-2	24	22,14	3,10	41,18	6,49	1,33	174,2	45,10	9,21	3,08

Segundo a classificação de Von Sperling (2005), descrita no **item 2.10**, as águas do aquífero Aluvial no período chuvoso são 88% (21/24) do tipo mole, 8% (2/24) do tipo moderada e 4% (1/24) do tipo dura; enquanto que no período de estiagem as águas são 92% (22/24) do tipo mole e 8% (2/24) do tipo dura. Isto provavelmente se deve ao clima da região amazônica, no qual as chuvas são muito frequentes e há uma constante renovação das águas, o que favorece a baixa mineralização.

Os valores mais elevados de dureza apresentados são atribuídos a contaminações oriundas de atividades antrópicas. Nas duas campanhas, nenhum dos poços amostrados ultrapassou o VMP recomendável pela Portaria MS 2914/2011, de 500 mg/L de CaCO<sub>3</sub> (**item 2.10**).

Os histogramas de frequência de dureza ilustrados na **figura 3.19** nos dois períodos de amostragem foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal. Esse modelo de fdp revela um viés estatístico para dureza com diferentes riscos, não sendo possível avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade por meio da modelagem geoestatística (**tabela 3.38**). Dessa forma, com base nos dados de média e mediana considera-se que os valores de dureza no período chuvoso são superiores aos do período seco, o que sugere influência da sazonalidade. Isto se deve provavelmente a presença mais elevada de magnésio, pois como a dureza se baseia em teores de cálcio e de magnésio, é de se esperar que apresentasse o mesmo comportamento, principalmente porque o cálcio apresentou baixos teores.



**Figura 3.19** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Dureza do Aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2002), a água subterrânea é geralmente de boa qualidade, porém em alguns casos pode conter alta concentração de sais, entre eles os de cálcio e de magnésio, por estar intimamente em contato com materiais solúveis do solo e das rochas, no seu entorno e em áreas de recarga, e assim, apresentar elevado teor de dureza.

Aliado a isso, a baixa velocidade de fluxo, as maiores pressões e temperaturas, a fonte de recarga do aquífero e o clima da região contribuem para a maior mineralização da água subterrânea. Secundariamente, as características dessa água se relacionam com os produtos de atividades humanas desenvolvidas na superfície.

**Tabela 3.38** – Distribuição de probabilidade da Dureza do Aquífero Aluvial no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
D-1	9,13	2,92	1,61	0,98	0,56	0,39
D-2	8,39	2,97	1,73	1,10	0,67	0,48
Razão	1,1	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8

### 3.7.11 – Compostos Nitrogenados

#### 3.7.11.1 - Nitrato

A **tabela 3.39** mostra a estatística descritiva dos teores de nitrato presentes nas águas do aquífero Aluvial nas duas campanhas de coleta de água realizadas. No período chuvoso, as concentrações de nitrato variam de 0,09 a 6,66 mg/L, com média de 1,47 mg/L e mediana igual a 0,81 mg/L. No período seco, os teores variam de 0,09 a 8,33 mg/L, com média de 2,09 mg/L e mediana de 0,86 mg/L.

**Tabela 3.39** – Estatística descritiva do Nitrato do Aquífero Aluvial no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.

Nitrato	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
N-1	24	1,47	0,71	2,22	0,81	0,09	6,66	1,80	0,37	2,01
N-2	24	2,09	1,04	3,13	0,86	0,09	8,33	2,47	0,50	1,41

Na primeira campanha, 21% (5/24) das amostras apresentaram teores de nitrato abaixo do limite de detecção de 0,1 mg/L, e 4% (1/24) apresentaram teores de nitrato abaixo do limite de detecção de 0,2 mg/L.

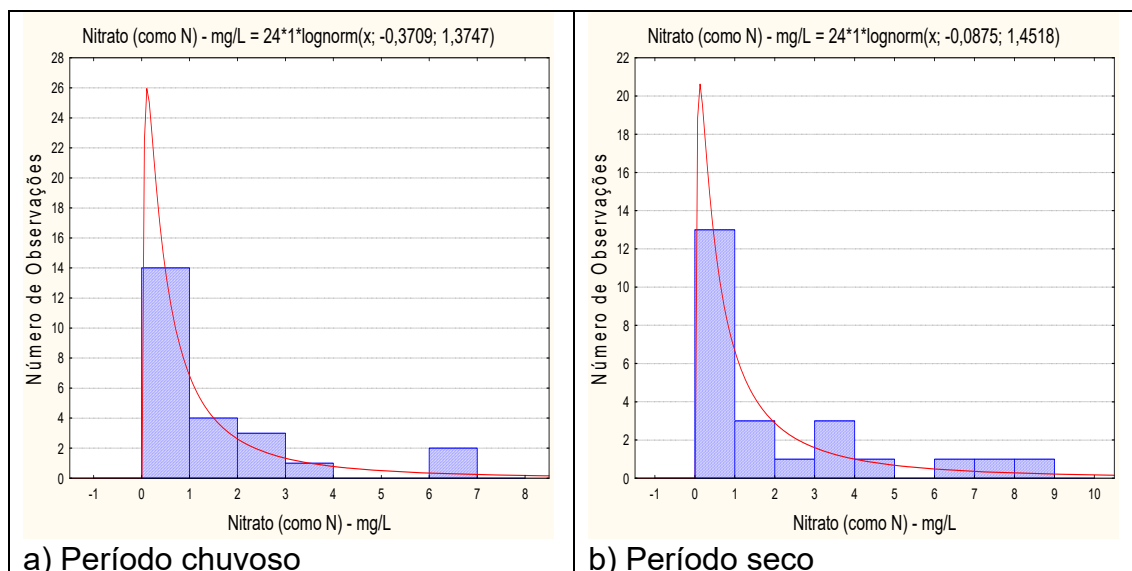
Na segunda campanha, 13% (3/24) das amostras apresentaram teores de nitrato abaixo do limite de detecção de 0,1 mg/L e 13% (3/24) apresentaram teores de nitrato abaixo do limite de detecção de 0,2 mg/L. Os limites de detecção dependem do método utilizado e podem variar para o mesmo parâmetro (**item 1.4**).

Nenhuma das amostras analisadas nas duas campanhas ultrapassou o VMP de potabilidade recomendável pela Portaria MS 2914/2011 (**item 2.11**), assim como estiveram dentro dos padrões indicados para consumo humano,



dessedentação animal e recreação segundo a Resolução CONAMA 396/2008 (item 2.11).

Os histogramas de frequência dos teores de nitrato ilustrados na **figura 3.20** nos dois períodos de amostragem foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal.



**Figura 3.20** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Nitrato do Aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Na **tabela 3.40** são indicados, com risco calculado, os valores estimados do nitrato no período chuvoso e no período seco. Os resultados mostram que não há influência da sazonalidade, haja vista que a razão dos valores das duas coletas são muito próximas ou iguais a 1 (um).

**Tabela 3.40** – Distribuição de probabilidade do Nitrato do Aquífero Aluvial no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
N-1	0,69	0,22	0,12	0,07	0,04	0,03
N-2	0,92	0,27	0,14	0,08	0,05	0,03
Razão	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8	1,0

A presença de nitrato nas águas do aquífero Aluvial, em ambas as campanhas, se deve provavelmente a proximidade dos poços com as fossas sanitárias, os quais em muitos casos não possuem a devida proteção sanitária, o que favorece a infiltração do esgoto *in natura* e conseqüentemente a contaminação das águas subterrâneas.

Segundo Mello *et al.* (1984), o nitrato e o nitrito são substâncias químicas derivadas do nitrogênio e são encontrados de forma natural na água e no solo em baixas concentrações. A deposição de matéria orgânica no solo, como acontece quando se utiliza fossas e sumidouros, aumenta drasticamente a quantidade de nitrogênio. Esse nitrogênio é biotransformado e por fim se transforma na substância inorgânica denominada nitrato, que possui grande mobilidade no solo, alcançando o manancial subterrâneo e ali se depositando.

O nitrato por possuir essas características, se torna um ótimo indicativo para avaliar se um dado manancial subterrâneo está sendo contaminado pela atividade antrópica sobre ele exercida.

### 3.7.11.2 – Nitrito

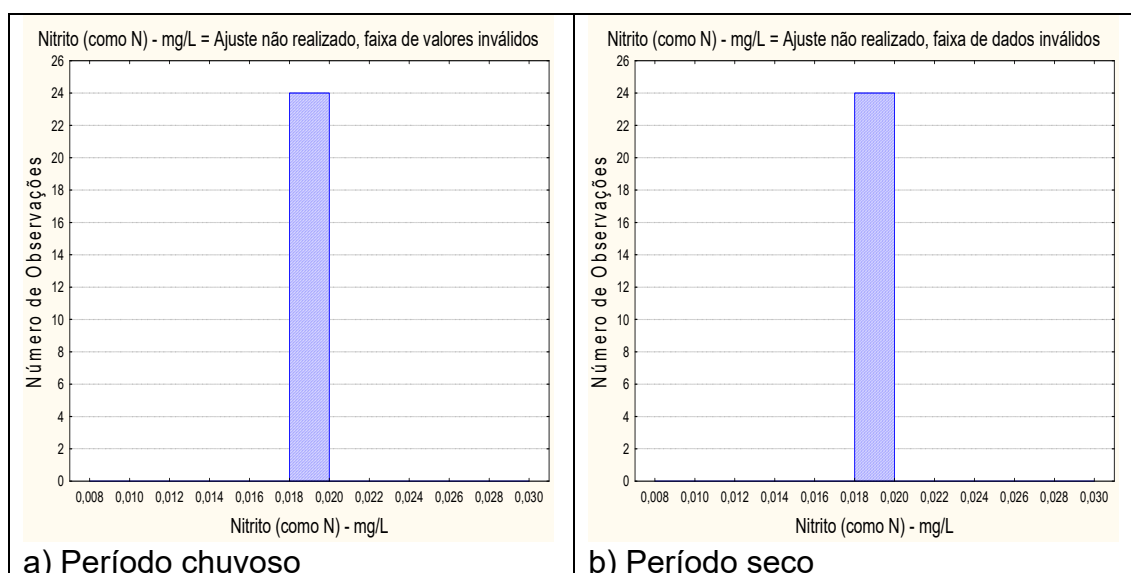
A **tabela 3.41** mostra a estatística descritiva dos teores de nitrito presentes nas águas do aquífero Aluvial nas duas campanhas de amostragem realizadas. No período chuvoso (abril de 2012) e no período de estiagem (outubro de 2012), todos os poços amostrados, ou seja, 100% (24/24) tiveram concentrações de nitrito abaixo do limite de detecção de 0,02 mg/L.

Em ambas as campanhas, todas as amostras analisadas apresentaram teores de nitrito dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria MS 2914/2011 de 1 mg/L, assim como, poderiam ser usadas para o consumo humano, dessedentação de animais, irrigação e recreação, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008, em relação a esse parâmetro (**item 2.11**).

**Tabela 3.41** – Estatística descritiva do Nitrito do Aquífero Aluvial no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.

Nitrito	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
N-1	24	0,019	-1,5E-18	+1,5E-18	0,019	0,019	0,019	7,09E-18	1,45E-18	-1,07
N-2	24	0,019	-1,5E-18	+1,5E-18	0,019	0,019	0,019	7,09E-18	1,45E-18	-1,07

Nos histogramas de frequência de nitrito (**figura 3.21**), representativos dos pontos amostrados nas coletas de abril e outubro de 2012, não houve necessidade de modelagem desse parâmetro por uma função de distribuição de probabilidade, pois todos os valores são constantes (abaixo do limite de detecção de 0,02 mg/L). Desse modo, observa-se que não há influência da sazonalidade nos teores de nitrito, haja vista que a razão entre as duas coletas é igual a 1 (um) como apresenta a **tabela 3.42**.



**Figura 3.21** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Nitrito do Aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Os baixos teores de nitrito encontrados nas águas do Aquífero Aluvial são coerentes, pois de acordo com Campos & Rohlfs (2010), nas águas subterrâneas, os nitratos ocorrem em teores geralmente abaixo de 5 mg/L, enquanto que nitritos e amônia são ausentes, devido à velocidade com que são convertidos em nitrato pelas bactérias.

**Tabela 3.42** – Distribuição de probabilidade do Nitrito do Aquífero Aluvial no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
N-1	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019
N-2	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019
Razão	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

### 3.7.11.3 - Amônia

A **tabela 3.43** mostra a estatística descritiva dos teores de amônia presentes nas águas subterrâneas do aquífero Aluvial nas duas campanhas de coleta de água realizadas. No período chuvoso, as concentrações de amônia variam de 0,09 a 3,0 mg/L, com média de 0,24 mg/L e mediana de 0,09 mg/L. No período seco, os teores ficaram compreendidos entre 0,09 a 3,9 mg/L, com média de 0,35 mg/L e mediana de 0,09 mg/L.

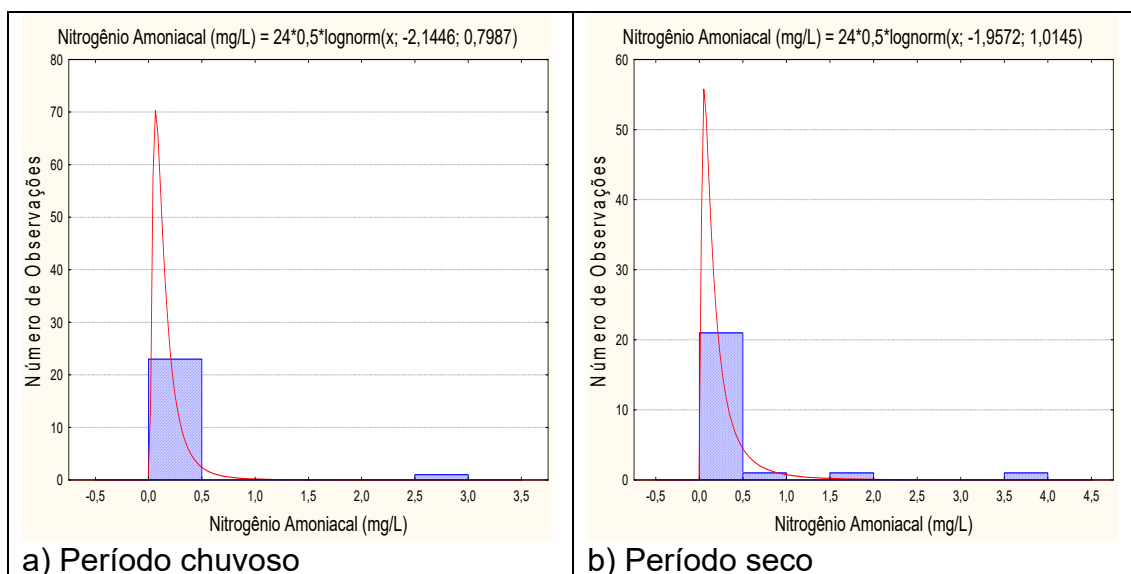
Na primeira coleta, 88% (21/24) das amostras apresentaram valores de amônia inferiores ao limite de detecção de 0,1 mg/L; enquanto que na coleta de outubro de 2012, 71% (17/24) dos poços tiveram resultados de amônia abaixo do limite de detecção.

**Tabela 3.43** – Estatística descritiva da Amônia do Aquífero Aluvial no período chuvoso (A-1) - abril de 2012 e no período seco (A-2) – outubro de 2012.

Amônia	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
A-1	24	0,24	-0,016	0,48	0,09	0,09	3,0	0,59	0,12	4,75
A-1	24	0,35	0,001	0,70	0,09	0,09	3,9	0,83	0,17	3,91

Na primeira e segunda campanha, respectivamente 4% (1/24) e 8% (2/24) das amostras analisadas apresentaram valores de amônia que ultrapassaram o VMP recomendável pela Portaria MS 2914/2011 para consumo humano de 1,5 mg/L (**item 2.11**).

As funções lognormais de distribuição de probabilidade que modelam os histogramas de frequência da amônia na primeira e na segunda campanha de amostragem de água no aquífero Aluvial (**figura 3.22**) permitiram avaliar, com risco calculado, que os teores de amônia são muito próximos em ambas as campanhas (**tabela 3.44**), indicando que não há influência da sazonalidade, haja vista que o valor da razão entre as duas campanhas é muito próximo ou igual a 1 (um).



**Figura 3.22** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Amônia do Aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

De acordo com Alaburda & Nishihara (1998), a amônia pode estar presente naturalmente em águas superficiais ou subterrâneas, sendo que usualmente sua concentração é bastante baixa devido a sua fácil adsorção por partículas do solo ou a oxidação a nitrito e nitrato. Entretanto, a ocorrência de concentrações elevadas pode ser resultante de fontes de poluição próximas, bem como da redução de nitrato por bactérias ou por íons ferrosos presentes no solo.

**Tabela 3.44** – Distribuição de probabilidade da Amônia do Aquífero Aluvial no período chuvoso (A-1) - abril de 2012 e no período seco (A-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
A-1	0,12	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
A-2	0,14	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01
Razão	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0

### 3.7.12 – Ferro e Manganês

#### 3.7.12.1 – Ferro

A estatística descritiva dos teores de ferro nas águas do aquífero Aluvial (**tabela 3.45**) mostra no período chuvoso valores compreendidos entre 0,00009 e 10,02 mg/L, com média de 0,74 mg/L e mediana de 0,05 mg/L. No período seco, os valores oscilaram entre 0,0009 a 16,69 mg/L, com média de 1,30 mg/L e mediana igual a 0,04 mg/L.

**Tabela 3.45** – Estatística descritiva do Ferro do Aquífero Aluvial no período chuvoso (Fe-1) - abril de 2012 e no período seco (Fe-2) – outubro de 2012.

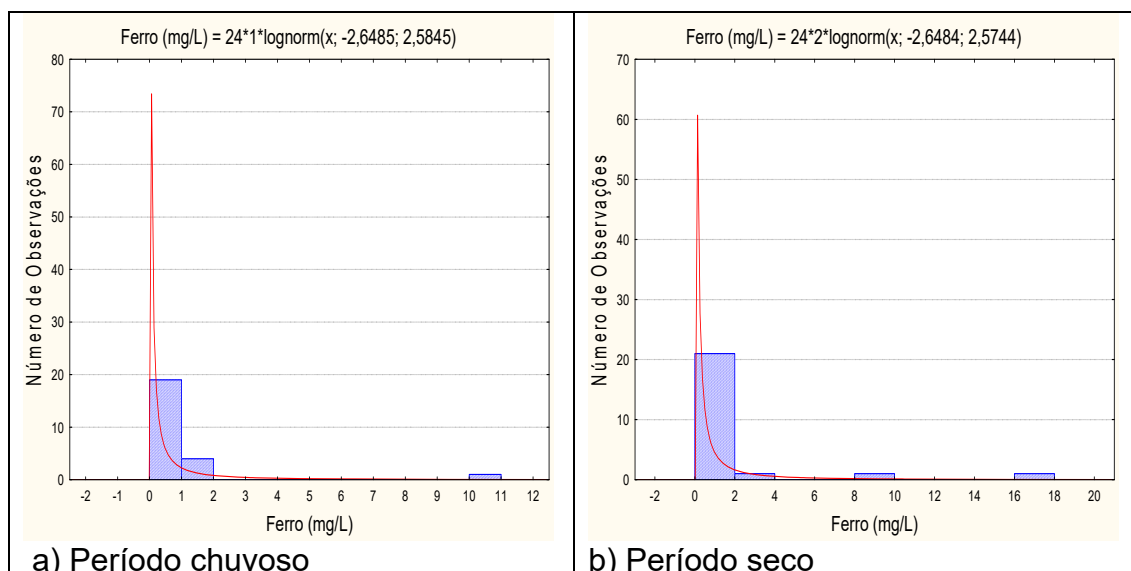
Fe	N	Média	Confiança 95%	Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Fe-1	24	0,74	-0,11	1,60	0,05	10,02	2,04	0,42	4,43
Fe-2	24	1,30	-0,29	2,89	0,04	16,69	3,78	0,77	3,61

Na primeira campanha, 4% (1/24) das amostras apresentaram teor de ferro abaixo do limite de detecção de 0,0001 mg/L; enquanto que na segunda campanha, 8% (2/24) das amostras apresentaram teor de ferro abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L. Os limites de detecção dependem do método utilizado e podem variar para o mesmo parâmetro (**item 1.4**).

Dentre o total de amostras analisadas nas duas campanhas, 38% (9/24) dos poços no período chuvoso e 29% (7/24) no período de estiagem apresentaram valores que ultrapassaram o VMP de potabilidade recomendável pela Portaria MS 2914/2011 (**item 2.12**), além de não serem indicadas para consumo humano e para recreação, segundo a Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.12**).

Além disso, 4% (1/24) dos poços amostrados na primeira campanha e 8% (2/24) dos poços na segunda campanha apresentaram teores de ferro que ultrapassaram os limites recomendados para irrigação, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.12**).

Os histogramas de frequência dos teores de ferro ilustrados na **figura 3.23** nos dois períodos de amostragem foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal.



**Figura 3.23** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Ferro do Aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Na **tabela 3.46** são indicados, com risco calculado, os valores estimados do ferro no período chuvoso e no período seco. Os resultados mostram que não há influência da sazonalidade, haja vista que a razão dos valores das duas coletas são iguais a 1 (um).

De modo geral, os aquíferos da PHA apresentam altos teores de ferro dissolvido na água subterrânea, os quais resultam principalmente das condições de pH e Eh em águas ácidas reduzidas, conforme descrito no **item 2.12**.

**Tabela 3.46** – Distribuição de probabilidade do Ferro do Aquífero Aluvial no período chuvoso (Fe-1) - abril de 2012 e no período seco (Fe-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Fe-1	0,0708	0,0080	0,0026	0,0010	0,0004	0,0002
Fe-2	0,0708	0,0081	0,0026	0,0010	0,0004	0,0002
Razão	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

### 3.7.12.2 – Manganês

A estatística descritiva das concentrações de manganês nas águas do aquífero Aluvial (**tabela 3.47**) revela que os teores de manganês no período chuvoso variam de 0,003 a 0,50 mg/L, com média de 0,10 mg/L e mediana igual a 0,04 mg/L. No período seco, os valores oscilam entre mínimo de 0,008 e máximo de 0,64 mg/L, com média de 0,09 mg/L e mediana igual a 0,04 mg/L.

Observou-se que 25% (6/24) e 8% (2/24) dos poços, respectivamente na primeira e segunda campanha, apresentaram teores de manganês acima do VMP de 0,1 mg/L estabelecido pela Portaria MS 2914/2011, bem como ultrapassaram os limites previstos na Resolução CONAMA 396/2008, no que se refere aos usos da água para consumo humano e recreação (**item 2.12**).

**Tabela 3.47** – Estatística descritiva do Manganês do Aquífero Aluvial no período chuvoso (Mn-1) - abril de 2012 e no período seco (Mn-2) – outubro de 2012.

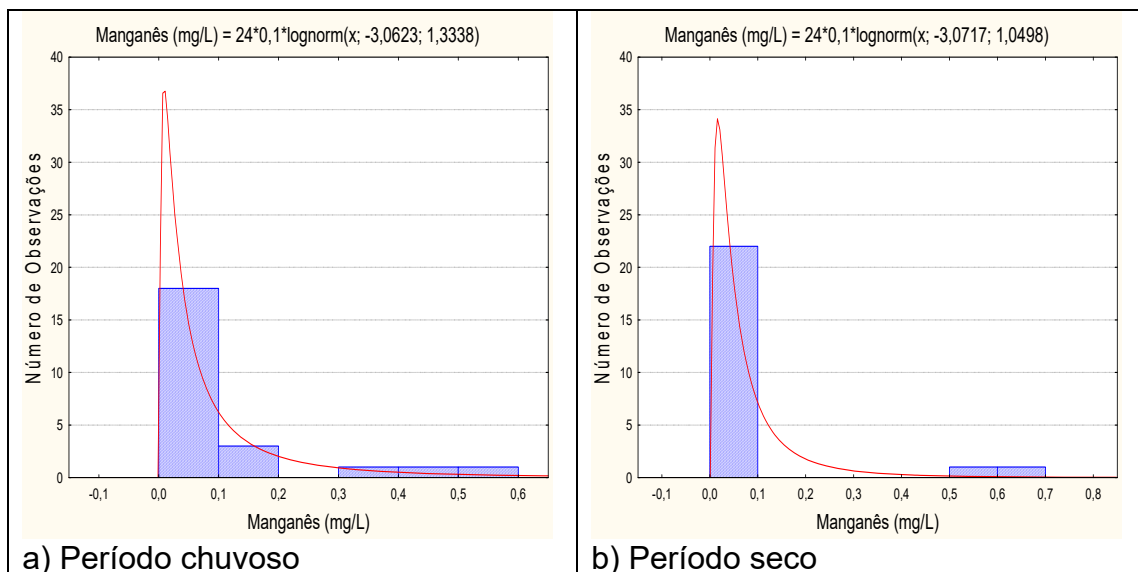
Mn	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Mn-1	24	0,10	0,04	0,16	0,04	0,003	0,50	0,14	0,03	2,14
Mn-2	24	0,09	0,02	0,15	0,04	0,008	0,64	0,16	0,03	3,10

Além disso, 42% (10/24) dos poços amostrados em ambas as campanhas apresentaram teores de manganês que ultrapassaram os limites recomendados para dessedentação animal, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.12**).

Cerca de 13% (3/24) dos poços no período chuvoso e 8% (2/24) no período seco ultrapassaram o limite recomendado para irrigação, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.12**).

Os histogramas de frequência de manganês ilustrados na **figura 3.24** nos dois períodos de amostragem foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal. Esse modelo de fdp revela um viés estatístico para manganês com diferentes riscos, não sendo possível avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade por meio da modelagem geoestatística (**tabela 3.48**). Dessa forma, com base nos dados de média e valores máximos considera-se que os valores de manganês no período de estiagem são superiores aos do período chuvoso, o que sugere influência da sazonalidade.

Isso é justificável, pois a maior presença de oxigênio na zona não saturada no período de estiagem dá lugar a oxidações do manganês, aumentando a sua concentração na zona saturada.



**Figura 3.24** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Manganês do Aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

De acordo com Feitosa *et al.* (2008), o manganês frequentemente está presente com baixos teores, <0,2 mg/L em quase todas as águas naturais, sendo mais abundante nas águas ácidas, o que é plausível na área de estudo, haja vista que as águas do aquífero Aluvial se caracterizam essencialmente como ácidas, com pH médio de 5,4.

**Tabela 3.48** – Distribuição de probabilidade do Manganês do Aquífero Aluvial no período chuvoso (Mn-1) - abril de 2012 e no período seco (Mn-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Mn-1	0,047	0,015	0,008	0,005	0,003	0,002
Mn-2	0,046	0,019	0,012	0,008	0,005	0,004
Razão	1,0	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5

### 3.7.13 – Metais Pesados

Os resultados analíticos de metais pesados das amostras de água do aquífero Aluvial, coletadas durante a segunda campanha de amostragem, realizada em outubro de 2012, podem ser observados no **anexo 8.1.3**. Os metais pesados analisados foram: Arsênio, Bário, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Mercúrio, Níquel e Zinco. Como esses parâmetros apresentam risco à saúde humana, a Portaria MS 2914/2011 e a Resolução CONAMA 396/2008 estabeleceram limites máximos de padrão de potabilidade, conforme descrito no **item 2.13**.

### **Arsênio**

Todos os 05 (cinco) poços amostrados no aquífero Aluvial na segunda campanha, realizada em outubro de 2012, apresentaram valores de arsênio abaixo do limite de detecção, ou seja, resultados <0,001 mg/L.

### **Bário**

As 05 (cinco) análises de amostras de água do aquífero Aluvial realizadas apresentaram teor de bário que variou de 0,09 a 0,16 mg/L. Nenhuma das amostras analisadas ultrapassou o limite organoléptico de potabilidade estabelecido pela Portaria MS 2914/2011 (**tabela 2.5**), bem como poderia ser indicada para consumo humano e recreação, segundo os padrões definidos na resolução CONAMA 396/2008 (**tabela 2.6**).

### **Cádmio**

No período de estiagem (outubro de 2012), as 05 (cinco) análises realizadas no aquífero Aluvial apresentaram teores de cádmio abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L.

### **Chumbo**

Todas as amostras analisadas na segunda campanha, ou seja, 100% (5/5) apresentaram teores de chumbo inferiores ao limite de detecção de 0,001 mg/L.

### **Cobre**

As análises de metais pesados realizadas nas águas subterrâneas do aquífero Aluvial indicaram que 60% (3/5) das amostras apresentaram teores de cobre abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L, enquanto que os 40% (2/5) restantes obtiveram resultados de cobre que variaram de 0,001 a 0,008 mg/L. Os teores encontrados em todos os poços estão abaixo do VMP estabelecido pela Portaria MS 2914/2011 (**tabela 2.5**), assim como dentro dos padrões definidos pela Resolução CONAMA 396/2008 (**tabela 2.6**), indicando que as águas podem ser usadas para consumo humano, dessedentação de animais, irrigação e recreação.

### **Cromo**

Na segunda campanha, realizada em outubro de 2012, as 05 (cinco) amostras analisadas apresentaram teores de cromo abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L.

### **Mercúrio**

Todas as 05 (cinco) amostras analisadas na segunda campanha do aquífero Aluvial apresentaram teores de mercúrio abaixo do limite de detecção de 0,0001 mg/L.

### **Níquel**

As análises de metais pesados realizadas nas águas subterrâneas do aquífero Aluvial indicaram que 80% (4/5) das amostras apresentaram teores de níquel abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L; e 20% (1/5) apresentaram teor igual a 0,004 mg/L. Os teores encontrados em todos os poços estão abaixo do VMP estabelecido pela Portaria MS 2914/2011 (**tabela 2.5**), assim como dentro dos padrões definidos pela Resolução CONAMA 396/2008 (**tabela 2.6**),



indicando que as águas podem ser usadas para consumo humano, dessedentação de animais, irrigação e recreação.

### **Zinco**

No aquífero Aluvial, verificou-se que foi detectada a presença de zinco em 100% (5/5) das análises, com teores que ficaram compreendidos entre 0,0067 e 0,05 mg/L. Apesar das 05 (cinco) amostras apresentarem presença de zinco, todas estavam com valores abaixo do VMP de potabilidade definido pela Portaria MS 2914/2011 (**tabela 2.5**), bem como, dentro dos limites da Resolução CONAMA 396/2008 (**tabela 2.6**), indicando que as águas do aquífero Aluvial poderiam ser utilizadas para todos os usos nela prescritos sem restrições.

### **3.7.14 – BTEX e Fenóis**

#### **3.7.14.1 – BTEX**

O grupo de compostos BTEX formado pelo Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos (orto, meta e para) são extremamente tóxicos à saúde humana, apresentando toxicidade crônica mesmo em pequenas concentrações, podendo levar a lesões do sistema nervoso central.

Devido ao risco potencial a saúde humana que esse grupo de compostos oferece, a Portaria MS 2914/2011 e a Resolução CONAMA 396/2008 estabeleceram limites para que a água seja considerada potável, como pode ser observado no **item 2.14.1**.

Na segunda campanha de amostragem das águas do aquífero Aluvial, realizada em outubro de 2012, verificou-se que todas as 05 (cinco) amostras de Benzeno, Tolueno e Etilbenzeno apresentaram teores abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L. Todas as 05 (cinco) análises de Xilenos composta por o,xilenos e m,p xilenos apresentaram valores abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L e de 0,002 mg/L, respectivamente.

Todas as amostras coletadas no aquífero Aluvial apresentaram teores de BTEX abaixo do VMP estabelecido pela Portaria MS 2914/2011 (**tabela 2.7**), bem como, dentro dos limites da Resolução CONAMA 396/2008, indicando que as águas subterrâneas poderiam ser utilizadas para os usos nela prescritos (**tabela 2.8**).

#### **3.7.14.2 – Fenóis**

O fenol ( $\text{CH}_6\text{H}_5\text{OH}$ ) é um sólido branco cristalino em seu estado puro. Geralmente é vendido e utilizado na forma líquida, possui odor forte, levemente doce e irritante.

Considerando os efeitos toxicológicos do fenol, a Resolução CONAMA 396/2008 estabeleceu limites máximos aceitáveis para a água subterrânea, de acordo com os usos considerados preponderantes, como pode ser observado no **item 2.14.2**.

No período de estiagem (outubro de 2012), foram realizadas amostragens de água no aquífero Aluvial para avaliação dos teores de fenóis, onde se verificou que 100% (5/5) das amostras analisadas apresentaram resultados inferiores ao limite de detecção de 0,001 mg/L.

De acordo com a resolução CONAMA 396/2008, as águas dos poços amostrados podem ser aproveitadas para todos os usos nela prescritos (**tabela 2.9**), uma vez que não ultrapassaram o VMP de fenóis.

### 3.7.15 – Isótopos Ambientais

#### 3.7.15.1 – Oxigênio 18 e Deutério

Em hidrologia isotópica, a **equação 2.2** que define a linha de água meteórica global (GMWL) de Harmon Craig (1961) é uma referência para a interpretação da origem das águas subterrâneas, conforme pode ser observado no **item 2.15.1**.

Desse modo, a partir da referência supracitada e com base nos resultados das análises (**tabela 3.49**) para o aquífero Aluvial, foi elaborado o diagrama (**figura 3.25**) que mostra que a **Linha de Água Subterrânea (LAS)** ou **Reta de Água Subterrânea (RAS)** do aquífero Aluvial se desvia muito pouco da **Linha de Água Meteórica Mundial (LAMM)**, também chamada de **Reta Meteórica Mundial (RMM)**, conforme se deduz da menor declividade 10,155 da RAS, contra 8,13 da RMM. Comparando as ordenadas na origem das duas equações, (fazendo  $\delta^{18}\text{O} = 0$ ) verifica-se que:

$$\text{Para a RAS: } \delta^{18}\text{O} = - \frac{26,46}{10,155} = -2,606 \text{ ‰}$$

$$\text{Para a RMM: } \delta^{18}\text{O} = \frac{10,8}{8,13} = -1,328 \text{ ‰}$$

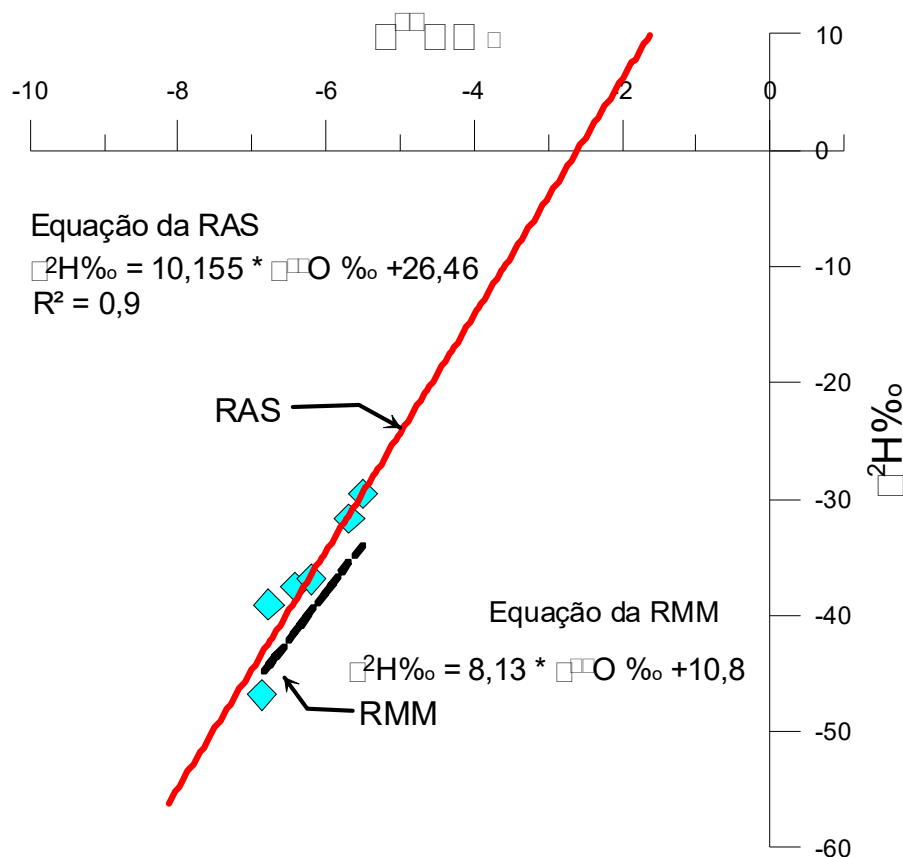
Ocorre uma variação de -1,278 na concentração isotópica de  $\delta^{18}\text{O} \text{ ‰}_{00}$  das precipitações, indicando que as águas subterrâneas possuem uma perda de 96,23% de  $\delta^{18}\text{O} \text{ ‰}_{00}$  por evaporação (-1,278/-1,328), ou seja, isto significa que a recarga do aquífero Aluvial possui quase todo o seu conteúdo de  $\delta^{18}\text{O} \text{ ‰}_{00}$  das águas da chuva e isto confirma que a recarga provém das precipitações.

Isto provavelmente se deve ao fato de que chuvas abundantes são mais leves, ou seja, possuem átomos mais leves, quando comparados a chuvas intensas que são mais pesadas, pois possuem valores mais elevados de  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta\text{D}$ . Sendo assim, águas que possuem átomos mais leves têm mais facilidade em sofrer evaporação do que as que possuem átomos pesados, que sofrem condensação mais facilmente (Feitosa *et al.*, 2008; Kehew, 2001).

Tal premissa é coerente na área de estudo, haja vista que o aquífero Aluvial está inserido na Região Amazônica, área fortemente influenciada pela abundância e frequência de chuvas, o que faz com que as águas que infiltram nos poços sejam mais leves e conseqüentemente possuem maior facilidade de evaporação.

**Tabela 3.49** – Valores de oxigênio-18 e deutério obtidos nas amostras coletadas no aquífero Aluvial no período seco (outubro de 2012).

Poço	$\delta^{18}\text{O}\text{‰}$	$\delta\text{D}\text{‰}$
EIR03	-5,5	-29,5
EIR04	-6,42	-37,6
ITB001	-6,20	-36,9
TBT08	-6,87	-46,8
TBT09	-5,69	-31,7
TBT15	-6,77	-39,1



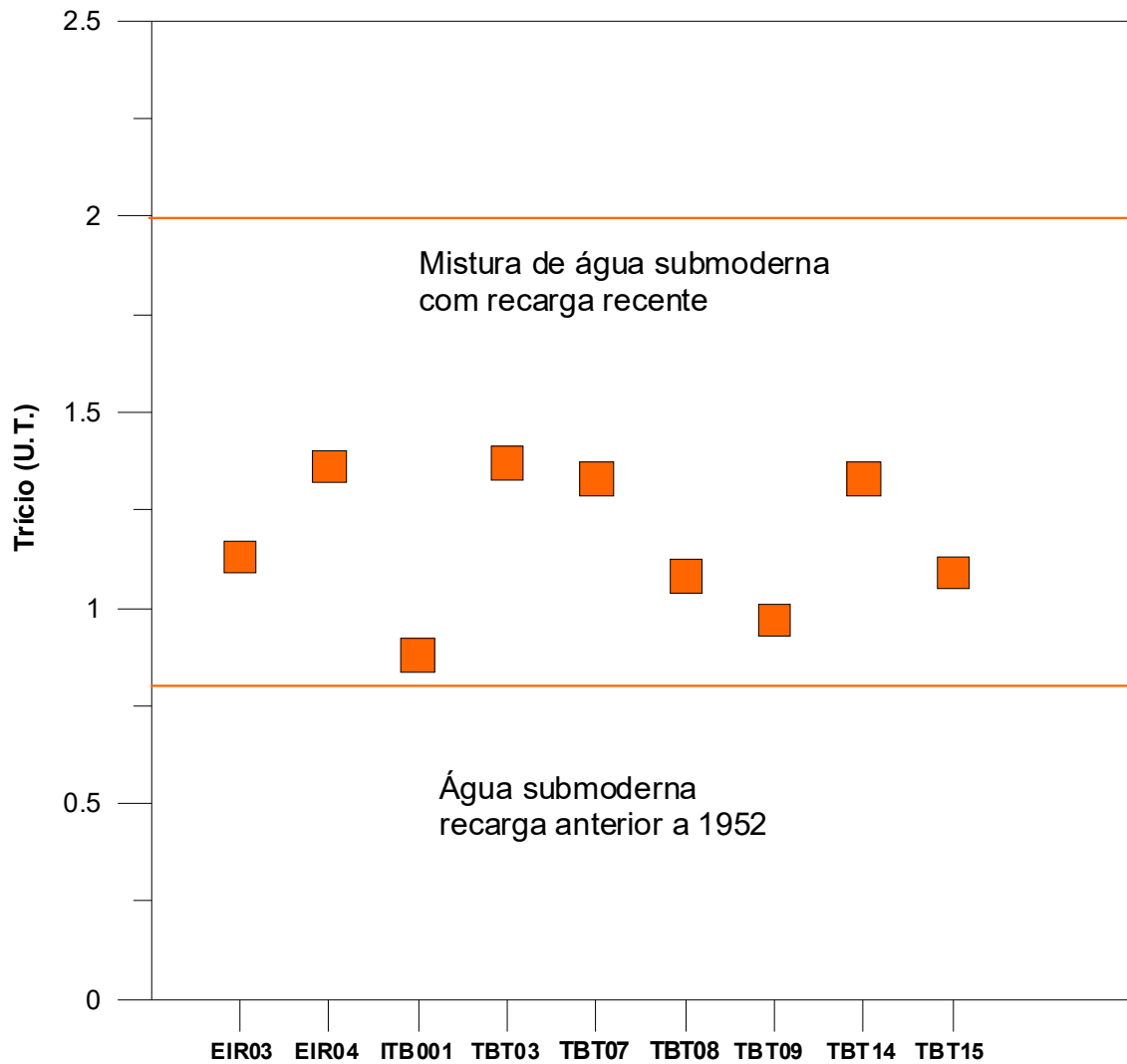
**Figura 3.25** – Diagrama mostrando a relação de oxigênio-18 e deutério das precipitações das águas do aquífero Aluvial.

### 3.7.15.2 – Trício

Clark & Fritz (1997) realizaram uma proposta de interpretação qualitativa de dados de  $^3\text{H}$  para dados de regiões costeiras e de baixa latitude, onde é feita uma relação entre os valores de unidades de trício (U.T.) com a idade das águas subterrâneas (**tabela 2.10**), conforme descrito no **item 2.15.2**.

Sendo assim, com base nessa relação e nos dados de  $^3\text{H}$  obtidos nas 09 (nove) amostras coletadas no aquífero Aluvial (**figura 3.26**), é possível verificar

que o aquífero Aluvial possui mistura de água submoderna com recarga recente.



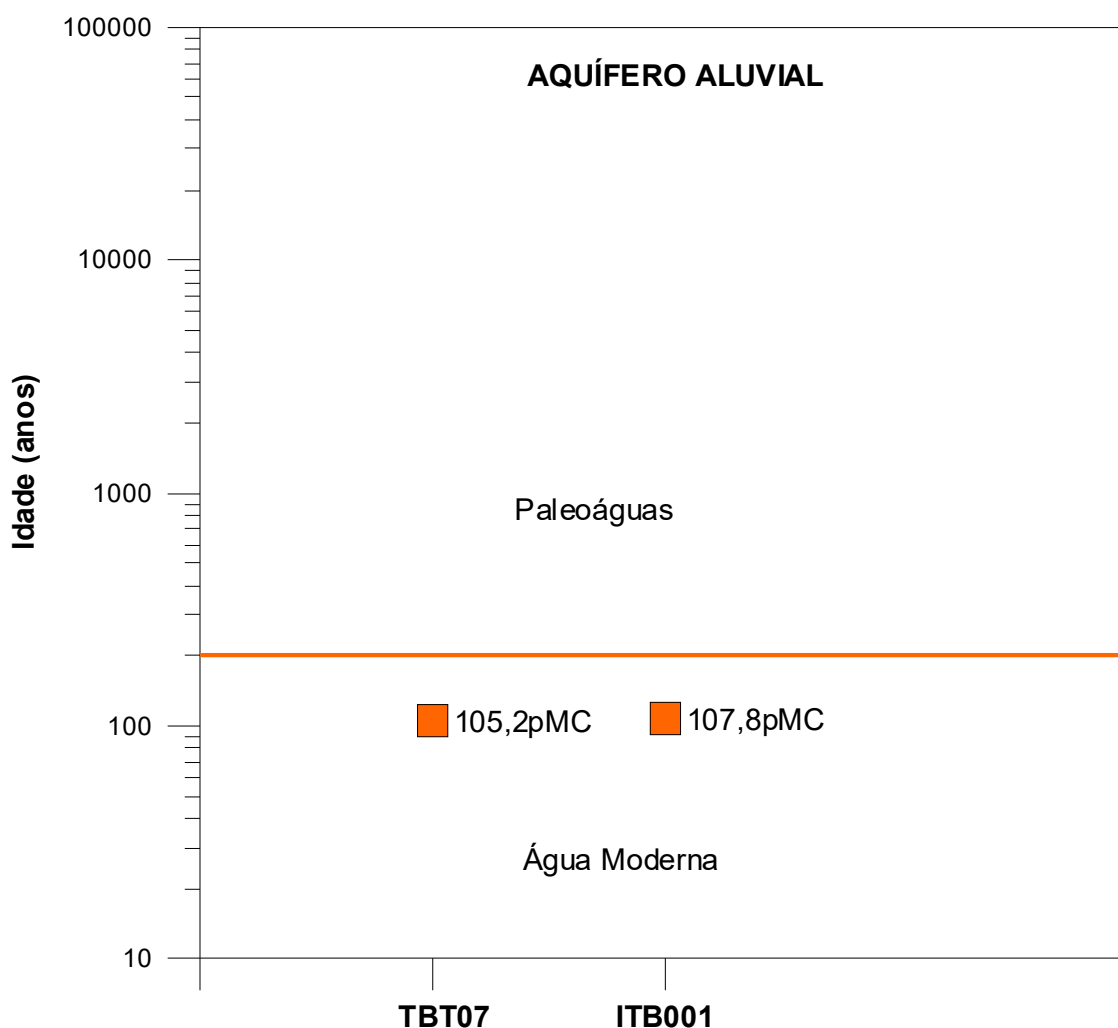
**Figura 3.26** – Idade qualitativa da recarga do aquífero Aluvial, segundo os dados de trítio de 09 (nove) amostras coletadas.

### 3.7.15.3 – Carbono 14

De acordo com a metodologia proposta por Münnich (1957), descrita no **item 2.15.3** e com base nos dados contidos na **tabela 3.50**, o diagrama da **figura 3.27** indica que no aquífero Aluvial ocorre a presença de água moderna nos poços TBT07 (105,2 pMC) e ITB001 (107,8 pMC), ou seja, água com tempo de residência inferior a 200 anos.

**Tabela 3.50** – Idade aparente ou convencional do radiocarbono ( $^{14}\text{C}$ ) em anos BP (*before present* – 1950) e, quando inferior a 200 anos, dita “Moderna” por convenção e expressa em %M ou pMC (*percent modern carbon*).

Resultado	TBT07	ITB001
Idade Aparente C14 (Fração Moderna)	105,2+/-0,4 pMC	1,0524 +/-0,0039
Fmdn - fração de carbono moderno	107,8+/-0,4 pMC	1,0776 +/-0,0040
Razão C13/C12 (‰)	930+/-30 BP	0,8907 +/-0,0033



**Figura 3.27** – Idade medida com carbono-14 de amostra de água do aquífero Aluvial.

#### 3.7.15.4 - Conclusão

Os estudos dos isótopos ambientais realizados no aquífero Aluvial permitiram alcançar os seguintes resultados:

- As análises de Oxigênio-18 e Deutério levaram a concluir que a recarga do aquífero Aluvial possuem 96,23% de perda de  $\delta^{18}\text{O}$  por evaporação, o que se deve a abundância da chuva na região, que gera águas mais leves propícias a evaporação;

- As datações efetuadas com Trício foram baseadas na proposta de interpretação qualitativa de Clark & Fritz (1997) e indicaram que as águas do aquífero Aluvial têm mistura de água submoderna com recarga recente;
- A datação radiométrica de Carbono-14 revelou a presença de água moderna, com menos de 200 anos BP.

### 3.7.16 – Parâmetros Biológicos

#### ***Coliformes Totais***

A qualidade bacteriológica de uma água para avaliar a contaminação por dejetos humanos e de outros animais de sangue quente é feita através de bactérias do grupo coliformes, principalmente os Coliformes Totais e *Escherichia Coli* ou Coliformes Termotolerantes, conforme descrito no **item 2.16**. A Portaria MS 2914/2011 estabelece como padrão microbiológico da água para consumo humano a ausência de coliformes totais em 100 mL de água.

No período chuvoso (abril de 2012), as águas do aquífero Aluvial apresentaram em 46% (11/24) dos casos a presença de coliformes totais, enquanto que no período de estiagem (outubro de 2012), a presença ocorreu em 50% (12/24) das amostras.

Com base nos padrões microbiológicos definidos pela Portaria MS 2914/2011, 54% (13/24) dos poços na primeira campanha e 50% (12/24) na segunda campanha apresentaram águas recomendadas para consumo humano, o que é extremamente preocupante, haja vista que a população da área de estudo utiliza a água dos poços para todos os usos, principalmente o doméstico.

Tais resultados ocorrem no aquífero Aluvial, pois as localidades de coleta de amostras são urbanizadas e não possuem sistema de esgotamento sanitário, o que segundo Zoby (2008) é extremamente preocupante, pois a falta de saneamento representa um risco direto à potabilidade das águas subterrâneas pela infiltração por fossas sépticas e pelo vazamento de redes de esgoto.

#### ***Escherichia Coli***

É uma bactéria não patogênica, do grupo de coliformes fecais (termotolerantes), que normalmente habita os intestinos dos animais superiores. É encontrada em esgotos, efluentes tratados e águas naturais sujeitas à contaminação recente por seres humanos, atividades agropecuárias, animais selvagens e pássaros, conforme descrito no **item 2.16**.

A Portaria MS 2914/2011 e a Resolução CONAMA 396/2008 estabeleceram como padrão biológico para consumo humano a ausência de *E. coli* em 100 mL de água. A Resolução CONAMA também estabelece limites para dessedentação animal e recreação, conforme pode ser observado na **tabela 2.11 (item 2.16)**.

No período chuvoso (abril de 2012), as águas do aquífero Aluvial apresentaram em 17% (4/24) dos casos a presença de *E. coli*, enquanto que no período de estiagem (outubro de 2012), não houve presença nas amostras.

Com base nos resultados das análises, verifica-se que 83% (20/24) dos poços na primeira campanha e 100% (24/24) na segunda campanha apresentaram

padrões biológicos recomendados pela Portaria MS 2914/2011, bem como nos limites definidos pela Resolução CONAMA 396/2008, indicando que as suas águas podem ser utilizadas para consumo humano, dessedentação animal e recreação (**tabela 2.11**).

De acordo com Colvara *et al.* (2009), vários fatores podem ser responsáveis pela contaminação da água de poços artesianos em uma propriedade, tanto rural quanto urbana, a exemplo, da falta de manutenção do reservatório, localização inadequada dos poços e falta de cuidado e higiene com a água antes do consumo.

Silva & Araújo (2003) relatam que o destino final do esgoto doméstico e industrial em fossas e tanques sépticos, a disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos e industriais, postos de combustíveis e de lavagem e a modernização da agricultura representam fontes de contaminação das águas subterrâneas por bactérias e vírus patogênicos, parasitas e substâncias orgânicas e inorgânicas.

Dessa forma, fica evidente que a presença de *E. coli* no aquífero Aluvial se deve provavelmente ao lançamento de esgoto *in natura*, que infiltra no solo e contribui para a contaminação do lençol freático, o que é extremamente preocupante, pois pode acarretar na população doenças de veiculação hídrica, tais como, amebíase, giardíase, gastroenterite, febres tifoide e paratifoide, hepatite infecciosa e cólera.

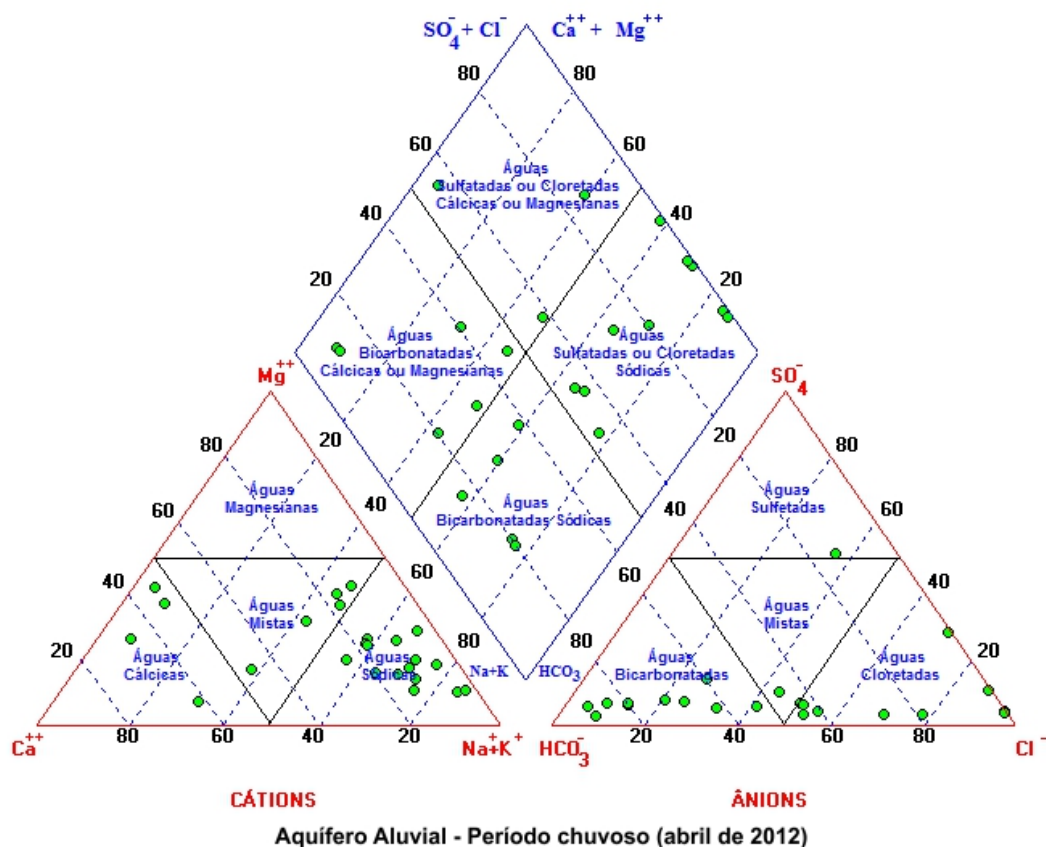
### **3.7.17 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquífero Aluvial Segundo a Composição Química**

Vários são os métodos existentes para a classificação das águas segundo a composição química. Todos eles se baseiam em representações gráficas dos percentuais ou frações dos cátions e ânions dominantes, normalmente expressos em meq/L. As representações são as mais diversas, incluindo diagramas colunares, circulares, triangulares e até polígonos irregulares. Dentre os mais utilizados, estão o diagrama triangular de Piper e o polígono de Stiff, a seguir apresentados para a classificação das águas subterrâneas do aquífero Aluvial, com base nos dados coletados na rede de 24 (vinte e quatro) poços de monitoramento, em duas campanhas: a primeira, no período chuvoso (abril de 2012) e a segunda no período de estiagem (outubro de 2012).

#### **3.7.17.1 – Diagrama Triangular de Piper**

##### ***Período chuvoso***

A classificação das águas por meio do Diagrama de Piper se baseia na identificação dos ânions e cátions predominantes. Mediante observação da **figura 3.28**, é possível identificar que as águas do aquífero Aluvial no período chuvoso de abril de 2012, no que se refere aos ânions são 4% (1/24) sulfatadas, 46% (11/24) bicarbonatadas, 46% (11/24) cloretadas e 4% (1/24) mistas (**tabela 3.51**). Já no que concerne a presença de cátions, as águas são 16,7% (4/24) cálcicas, 62,5% (15/24) sódicas e 20,8% (5/24) mistas, como demonstra a **tabela 3.51**.



**Figura 3.28** – Classificação das águas do aquífero Aluvial coletadas no período chuvoso (abril de 2012) segundo o diagrama Triangular de Piper.

De modo geral, as águas do aquífero Aluvial no período chuvoso (abril de 2012) são classificadas em quatro classes: sulfatadas e/ou cloretadas cálcicas (13%), bicarbonatadas cálcicas (25%), bicarbonatadas sódicas (21%) e cloretadas sódicas (42%), como pode ser observado na **tabela 3.51**.

**Tabela 3.51** - Classificação das Águas do Aquífero Aluvial segundo a composição química - Período Chuvoso (abril de 2012).

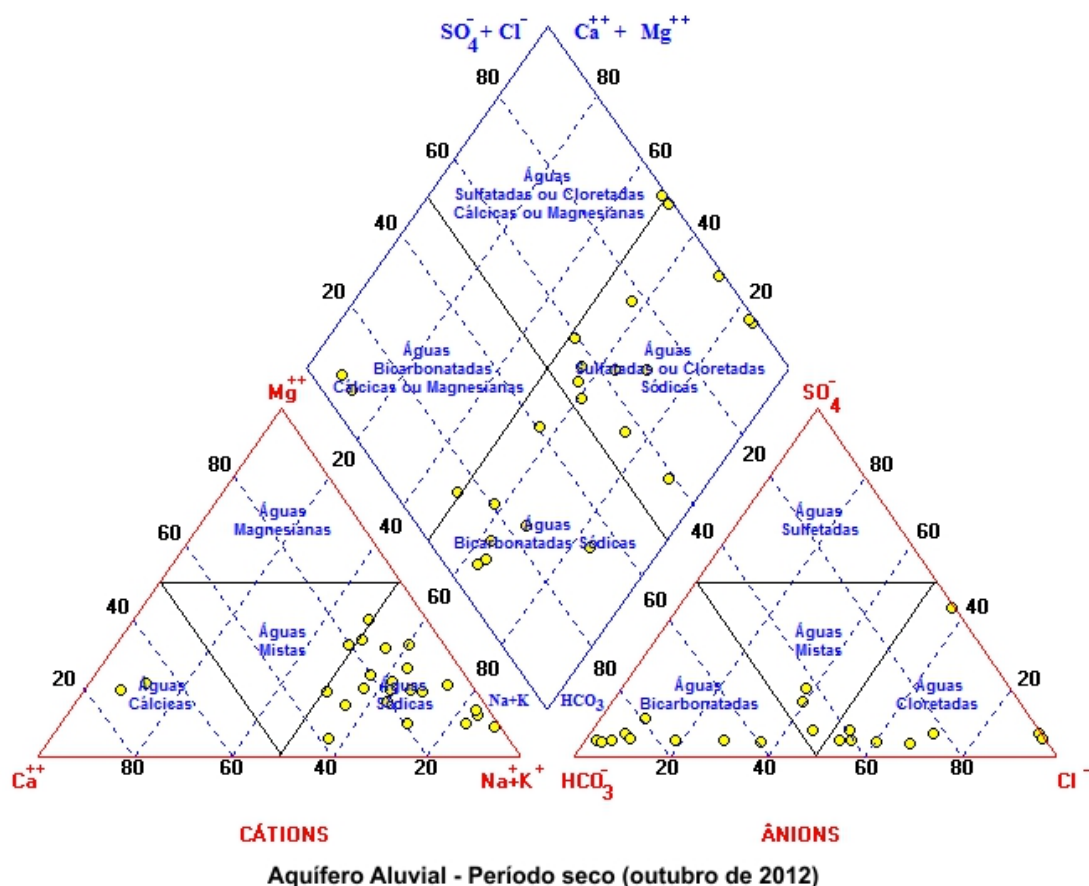
Cátions	Número de Poços	%	Anions	Número de Poços	%	Geral	Número de Poços	%
Águas Magnesíanas	0	0	Águas Sulfatadas	1	4	Águas Sulfatadas // Cloretadas Cálceas	3	13
Águas Cálceas	4	17	Águas Bicarbonatadas	11	46	Águas Bicarbonatadas Cálceas	6	25
Águas Sódicas	15	63	Águas Cloretadas	11	46	Águas Bicarbonatadas Sódicas	5	21
Águas Mistas	5	21	Águas Mistas	1	4	Águas Cloretadas Sódicas	10	42

### **Período de estiagem**

De acordo com a **figura 3.29** e a **tabela 3.52** verifica-se que as águas do aquífero Aluvial no período seco de outubro de 2012, quanto à presença de ânions, são 41,7% (10/24) bicarbonatadas, 45,8% (11/24) cloretadas e 12,5%



(3/24) mistas. Com relação aos cátions é possível identificar que 8% (2/24) das águas são cálcicas, 83% (20/24) são sódicas e 8% (2/24) são mistas.



**Figura 3.29** – Classificação das águas subterrâneas do aquífero Aluvial através do Diagrama de Piper, com base em amostras de água coletadas em outubro de 2012.

Mediante análise dos dados coletadas no período seco, em outubro de 2012 (**tabela 3.52**), é possível afirmar a existência de modo geral, de quatro classes de águas no aquífero Aluvial, cloretadas cálcicas (4%), bicarbonatadas cálcicas (13%), bicarbonatadas sódicas (29%) e cloretadas sódicas (54%).

**Tabela 3.52** - Classificação das Águas do Aquífero Aluvial, de acordo com a composição química - Período seco (outubro de 2012).

Cátions	Número de Poços	%	Anions	Número de Poços	%	Geral	Número de Poços	%
Águas Magnésianas	0	0	Águas Sulfatadas	0	0	Águas Cloretadas Cálcicas	1	4
Águas Cálcicas	2	8	Águas Bicarbonatadas	10	42	Águas Bicarbonatadas Cálcicas	3	13
Águas Sódicas	20	83	Águas Cloretadas	11	46	Águas Bicarbonatadas Sódicas	7	29
Águas Mistas	2	8	Águas Mistas	3	13	Águas Cloretadas Sódicas	13	54

Nas duas campanhas de amostragem, verificou-se que a composição química das águas subterrâneas do aquífero Aluvial apresenta na maioria das amostras, águas *Cloretadas Sódicas*, e que isso não se modifica com a sazonalidade.

### 3.7.17.2 – Diagrama de Stiff

Com base nos resultados das coletas realizadas nos meses de abril e outubro de 2012 em 24 poços situados no aquífero Aluvial, foram elaborados para fins de classificação das águas, segundo a composição química, Diagramas de Stiff, através dos quais é possível visualizar facilmente por meio de polígonos os íons predominantes no local.

#### **Período chuvoso**

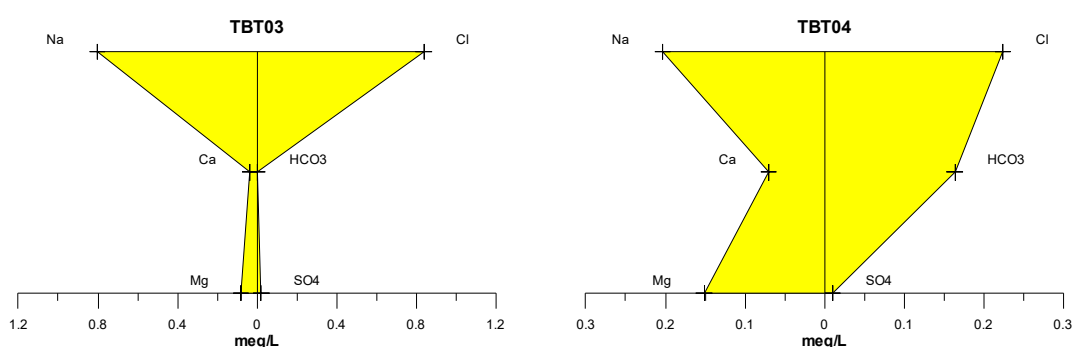
Os resultados da primeira campanha, assim como a classificação das águas do aquífero Aluvial segundo a predominância de íons, estão apresentados na **tabela 3.53**.

**Tabela 3.53** - Classificação das Águas do Aquífero Aluvial, de acordo com a predominância de íons - Período chuvoso (abril de 2012).

Classificação	Poços	%
Água Cloretada Sódica	10	42
Água Bicarbonatada Sódica	9	37,5
Água Bicarbonatada Cálcica	3	12,5
Água Sulfatada Cálcica	1	4
Água Cloretada Cálcica	1	4

Verificou-se que as amostras do aquífero Aluvial coletadas no período chuvoso (abril de 2012) são 42% (10/24) cloretadas sódicas (**figura 3.30a**); 37,5% (9/24) bicarbonatadas sódicas (**figura 3.30b**); 12,5% (3/24) bicarbonatadas cálcicas (**figura 3.30c**); 4% (1/24) sulfatada cálcica (**figura 3.30d**) e 4% (1/24) cloretada cálcica (**figura 3.30e**). Tais dados permitem classificar as águas do aquífero Aluvial, em abril de 2012, na sua maioria como *Cloretadas Sódicas*.

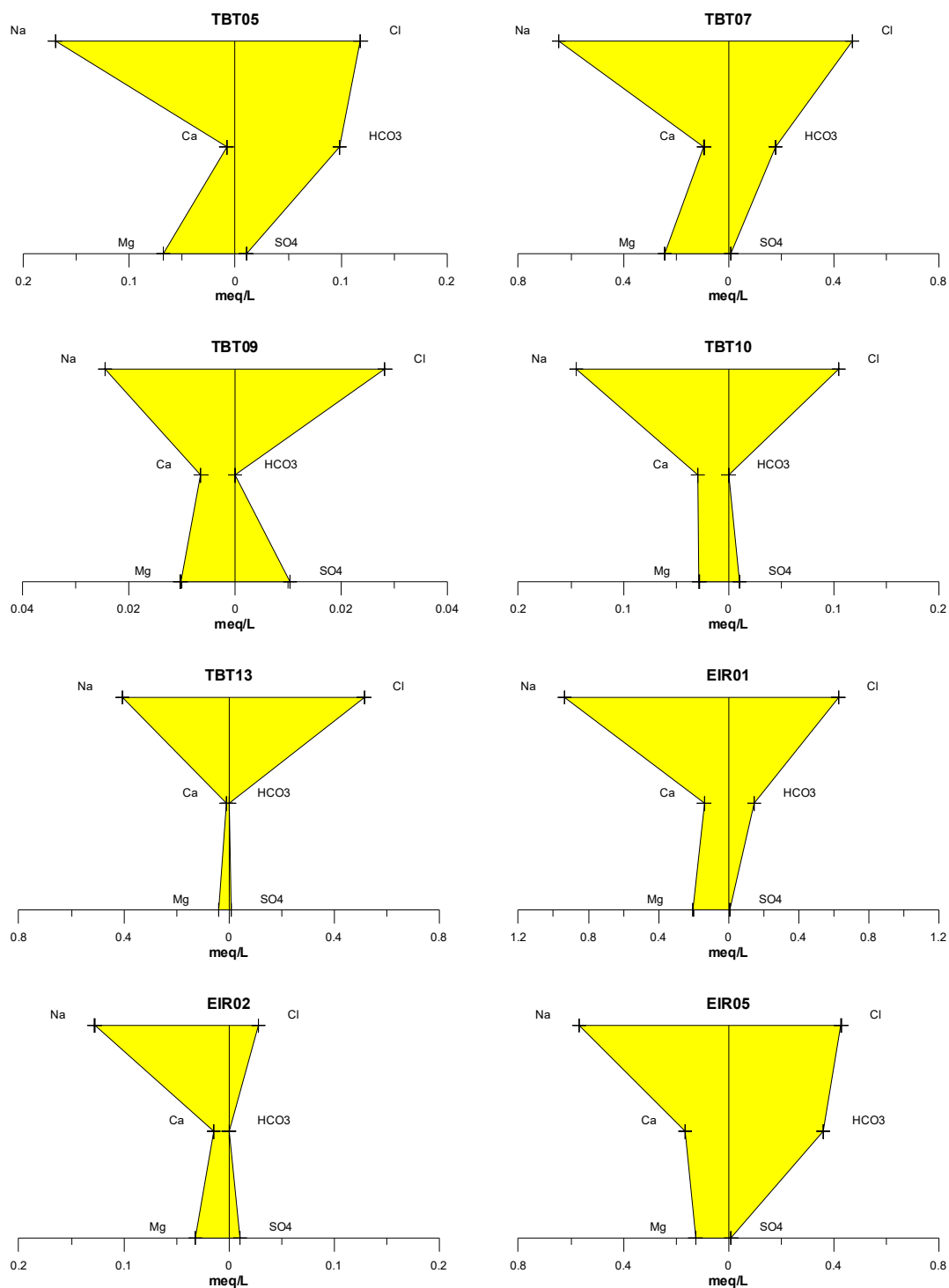
#### **Aquífero Aluvial (Águas Cloretadas Sódicas) – abril de 2012**



**Figura 3.30a** – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Aluvial.

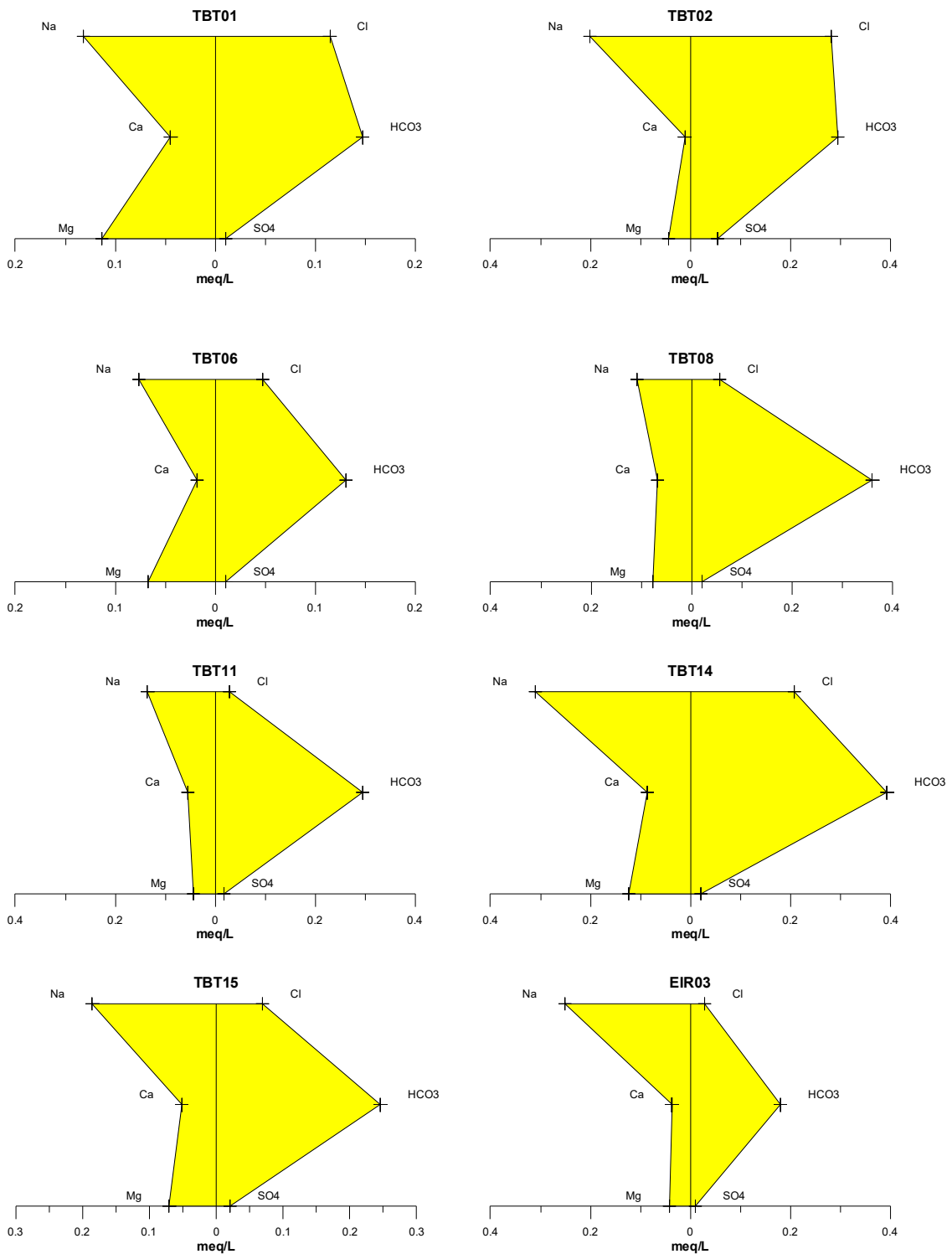
**Continuação**

**Aquífero Aluvial (Águas Cloretadas Sódicas) – abril de 2012**



**Figura 3.30a –** Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Aluvial (Continuação).

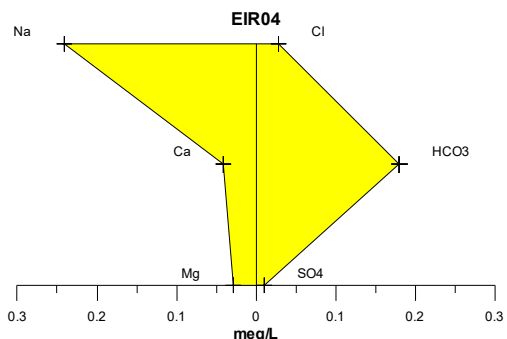
### Aquífero Aluvial (Águas Bicarbonatadas Sódicas) – abril de 2012



**Figura 3.30b** – Águas bicarbonatadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Aluvial.

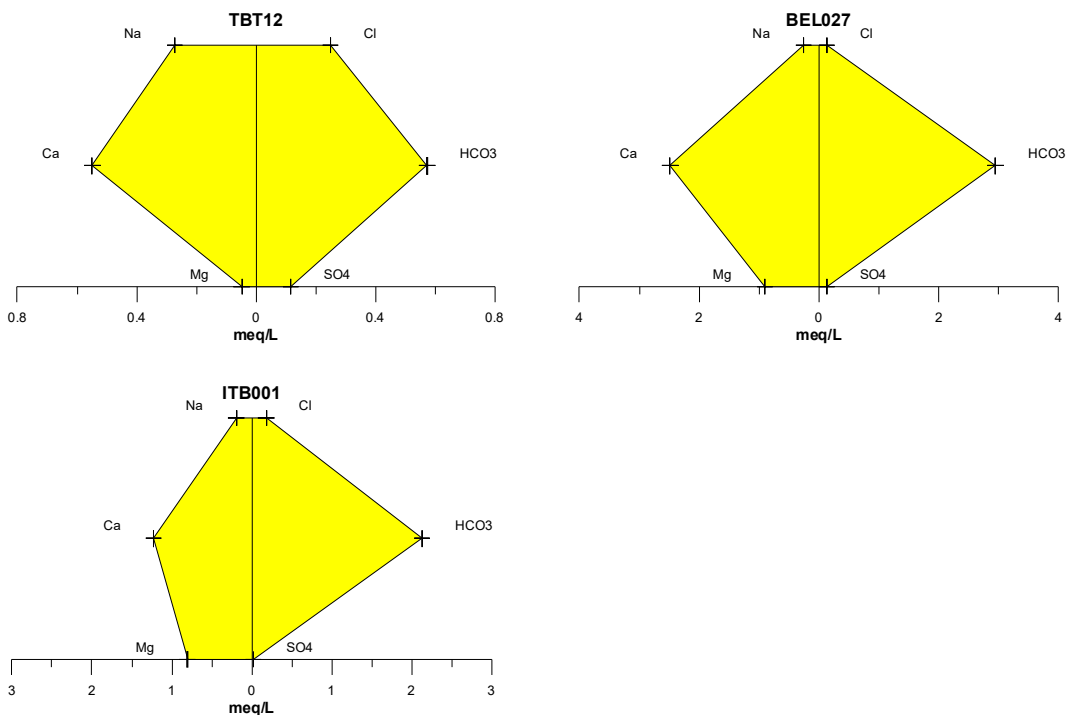
**Continuação**

**Aquífero Aluvial (Águas Bicarbonatadas Sódicas) – abril de 2012**



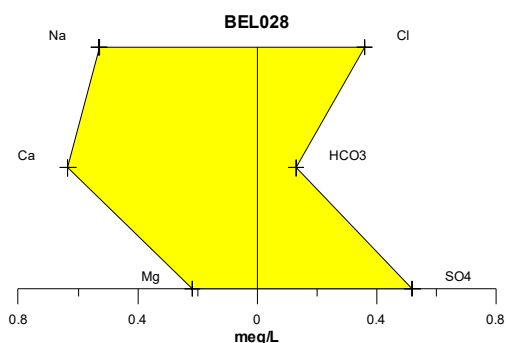
**Figura 3.30b** – Águas bicarbonatadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Aluvial (Continuação).

**Aquífero Aluvial (Águas Bicarbonatadas Cálcicas) – abril de 2012**



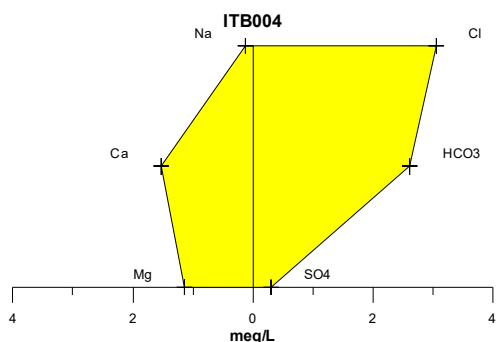
**Figura 3.30c** – Águas bicarbonatadas cálcicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Aluvial.

### Aquífero Aluvial (Água Sulfatada Cálcica) – abril de 2012



**Figura 3.30d** – Água sulfatada cálcica classificada segundo o Diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada em abril de 2012 no aquífero Aluvial.

### Aquífero Aluvial (Água Cloretada Cálcica) – abril de 2012



**Figura 3.30e** – Água cloretada cálcica classificada segundo o Diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada em abril de 2012 no aquífero Aluvial.

### Período de estiagem

Os resultados da segunda campanha, assim como a classificação das águas do aquífero Aluvial segundo a predominância de íons, estão apresentados na **tabela 3.54**.

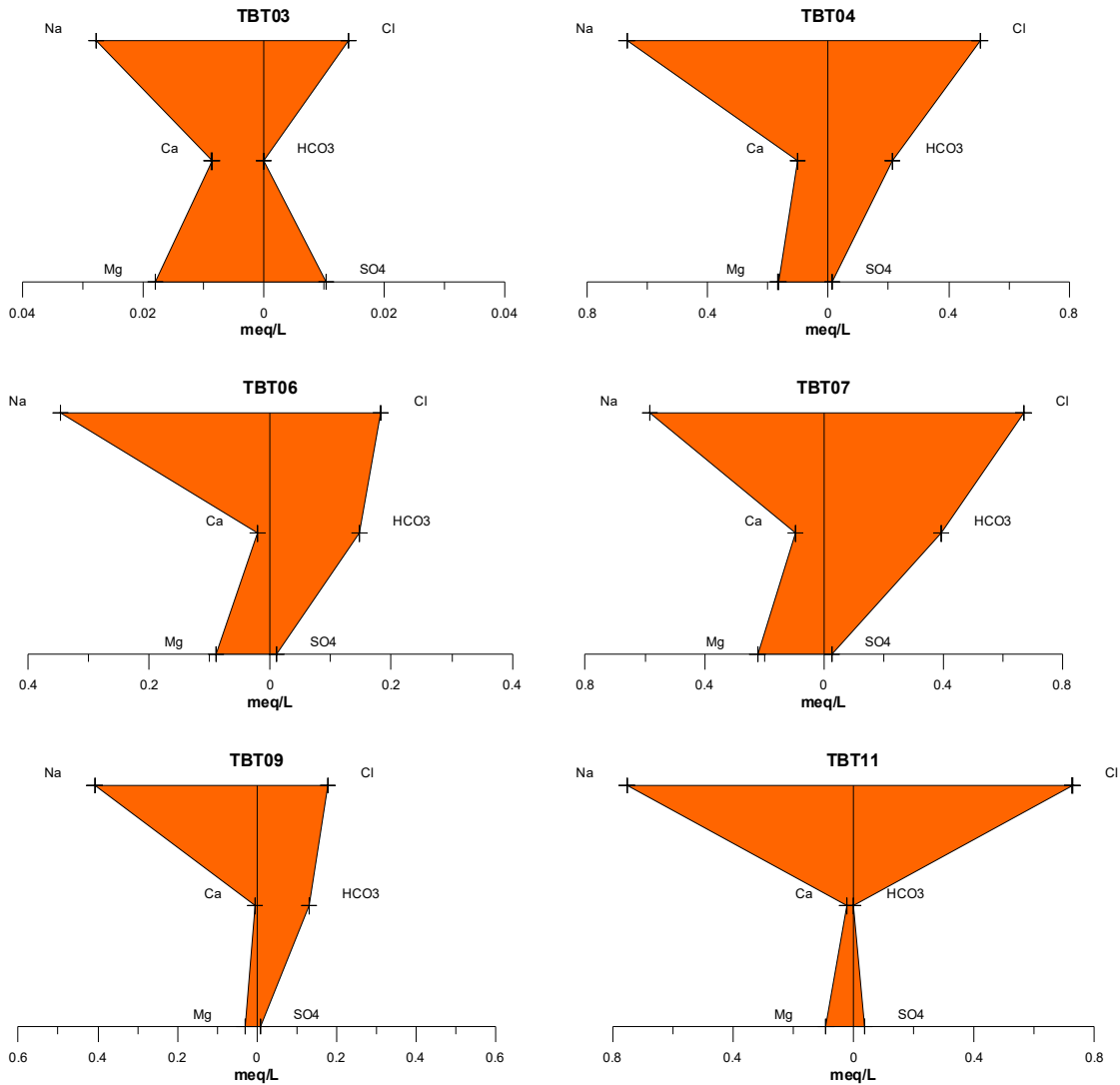
**Tabela 3.54** - Classificação das Águas do Aquífero Aluvial, de acordo com a predominância de íons - Período seco (outubro de 2012).

Classificação	Poços	%
Água Cloretada Sódica	11	46
Água Bicarbonatada Sódica	11	46
Água Bicarbonatada Cálcica	2	8

Analisando os resultados das amostras do aquífero Aluvial coletadas no período seco, em outubro de 2012, verificou-se que 46% (11/24) das águas são classificadas como cloretadas sódicas (**figura 3.31a**); 46% (11/24)

bicarbonatadas sódicas (**figura 3.31b**) e 8% (2/24) bicarbonatadas cálcicas (**figura 3.31c**). Tais dados indicam que as águas mais frequentes no aquífero Aluvial, em outubro de 2012, são dos tipos *Cloretadas Sódicas* e *Bicarbonatadas Sódicas*.

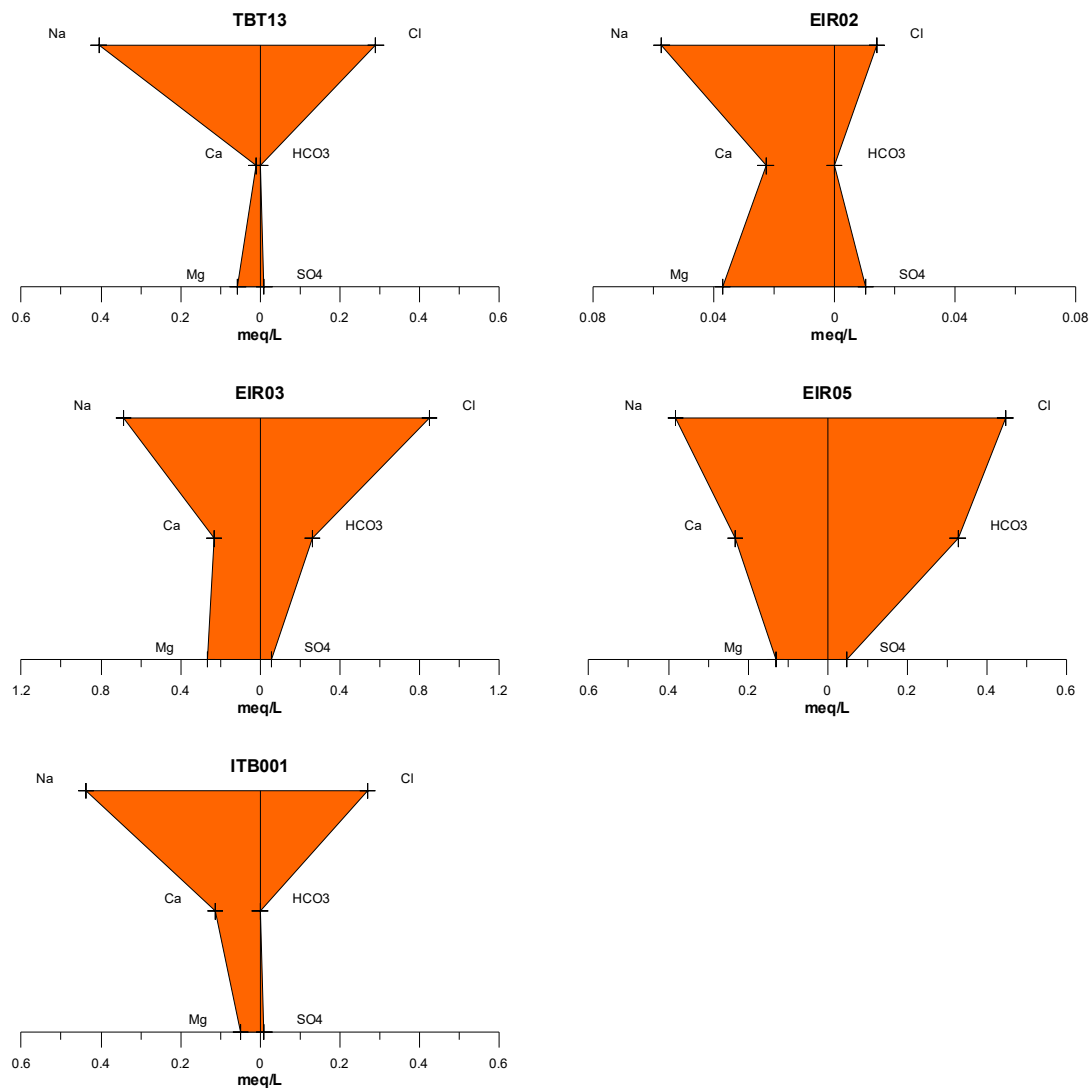
**Aquífero Aluvial (Águas Cloretadas Sódicas) - outubro de 2012**



**Figura 3.31a** – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Aluvial.

**Continuação**

**Aquífero Aluvial (Águas Cloretadas Sódicas) – outubro de 2012**



**Figura 3.31a** – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Aluvial (Continuação).



### Aquífero Aluvial (Águas Bicarbonatadas Sódicas) - outubro de 2012

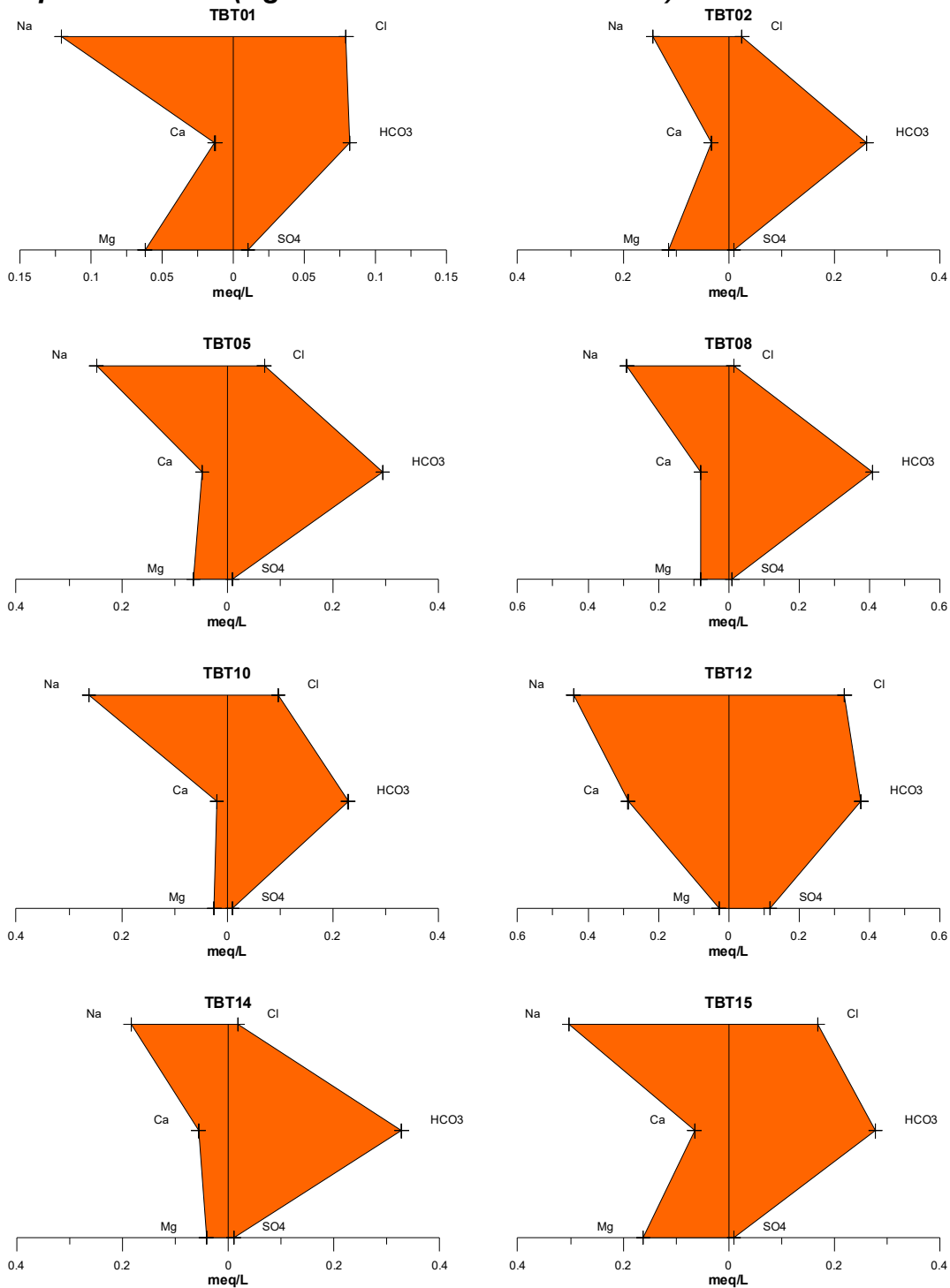
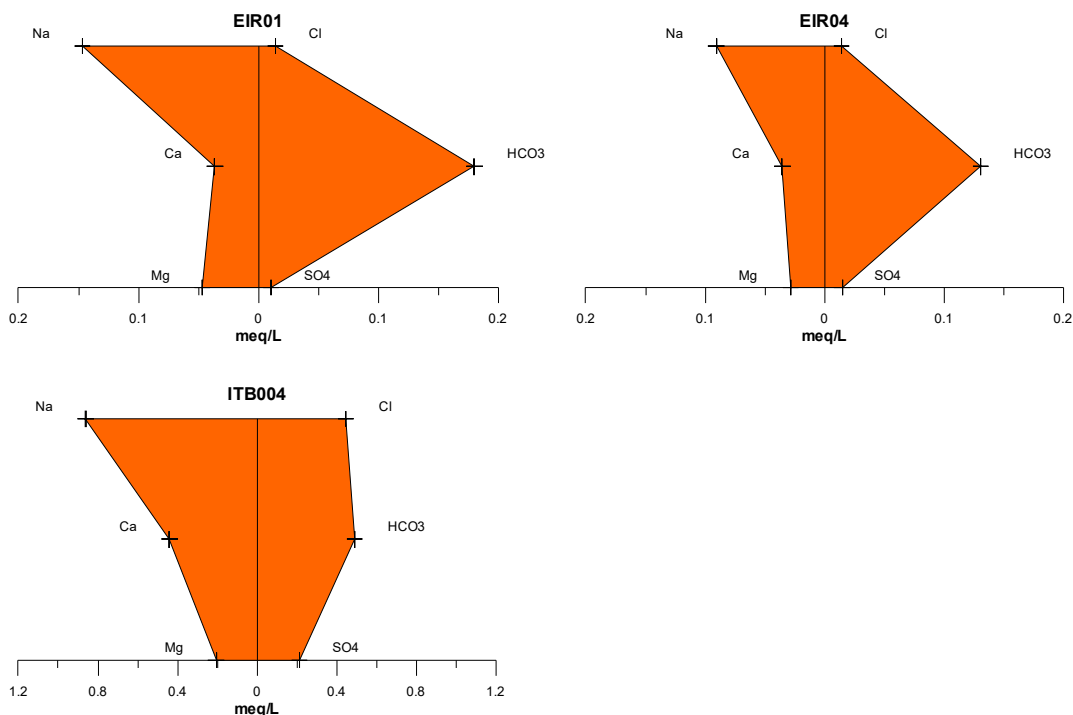


Figura 3.31b – Águas bicarbonatadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Aluvial.

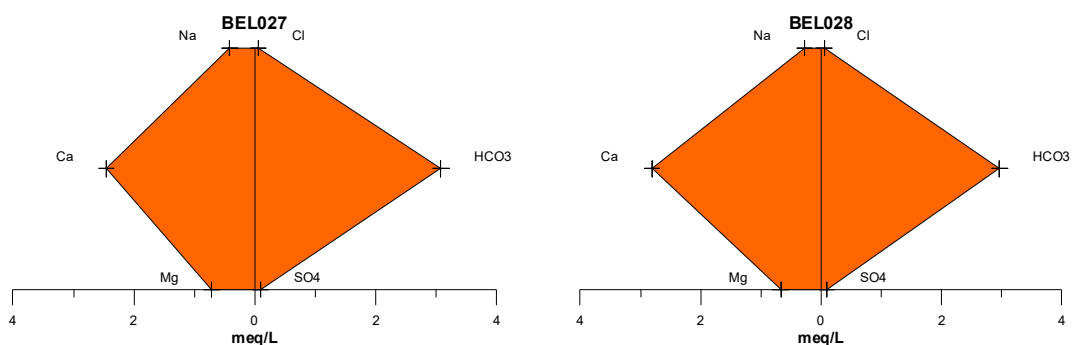
### Continuação

### Aquífero Aluvial (Águas Bicarbonatadas Sódicas) – outubro de 2012



**Figura 3.31b** – Águas bicarbonatadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Aluvial (Continuação).

### Aquífero Aluvial (Águas Bicarbonatadas Cálcicas) - outubro de 2012

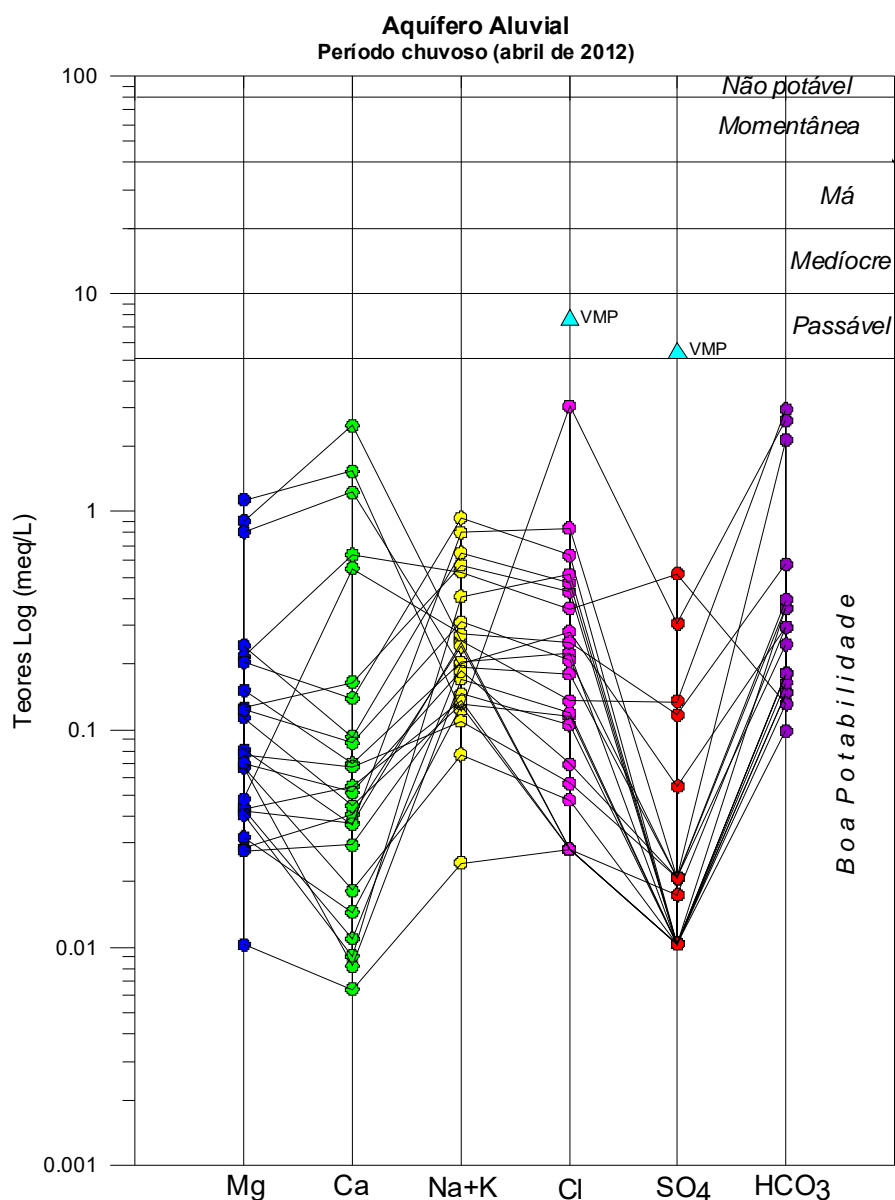


**Figura 3.31c** – Águas bicarbonatadas cálcicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Aluvial.

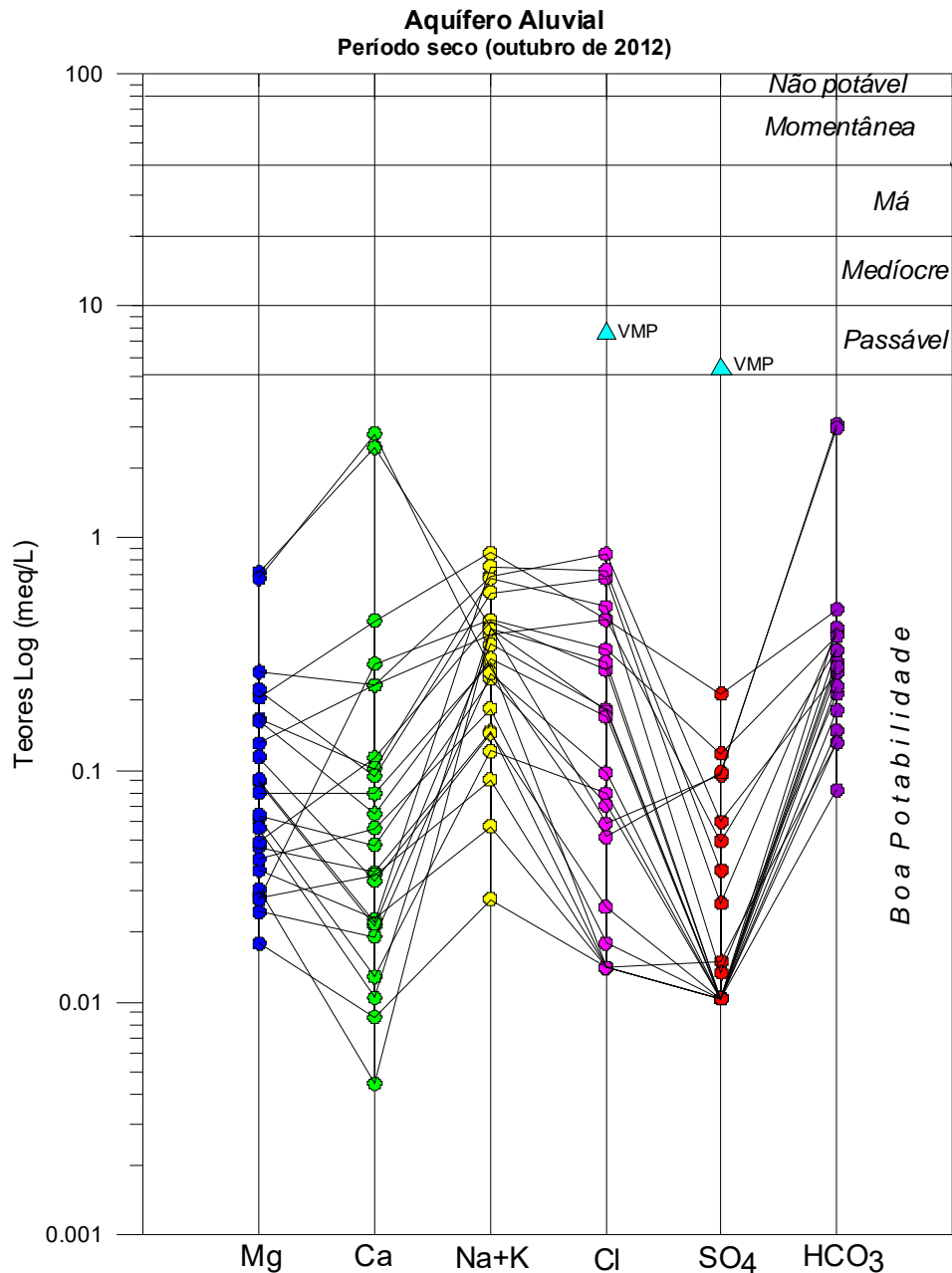
### 3.7.18 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquífero Aluvial Segundo o Uso

#### 3.7.18.1 – Diagramas de Schoeller-Berkaloff para o Consumo Humano

A partir da análise da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Aluvial para consumo humano, por meio do Diagrama de Schoeller-Berkaloff, em abril (figura 3.32) e outubro de 2012 (figura 3.33), é possível verificar que águas são classificadas como de boa potabilidade em ambas as campanhas. Além disso, é possível notar que os parâmetros cloreto e sulfato estão abaixo do VMP recomendado pela Portaria MS 2914/2011, indicando que as águas podem ser usadas para consumo humano.



**Figura 3.32** – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Aluvial, no período chuvoso, segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff.



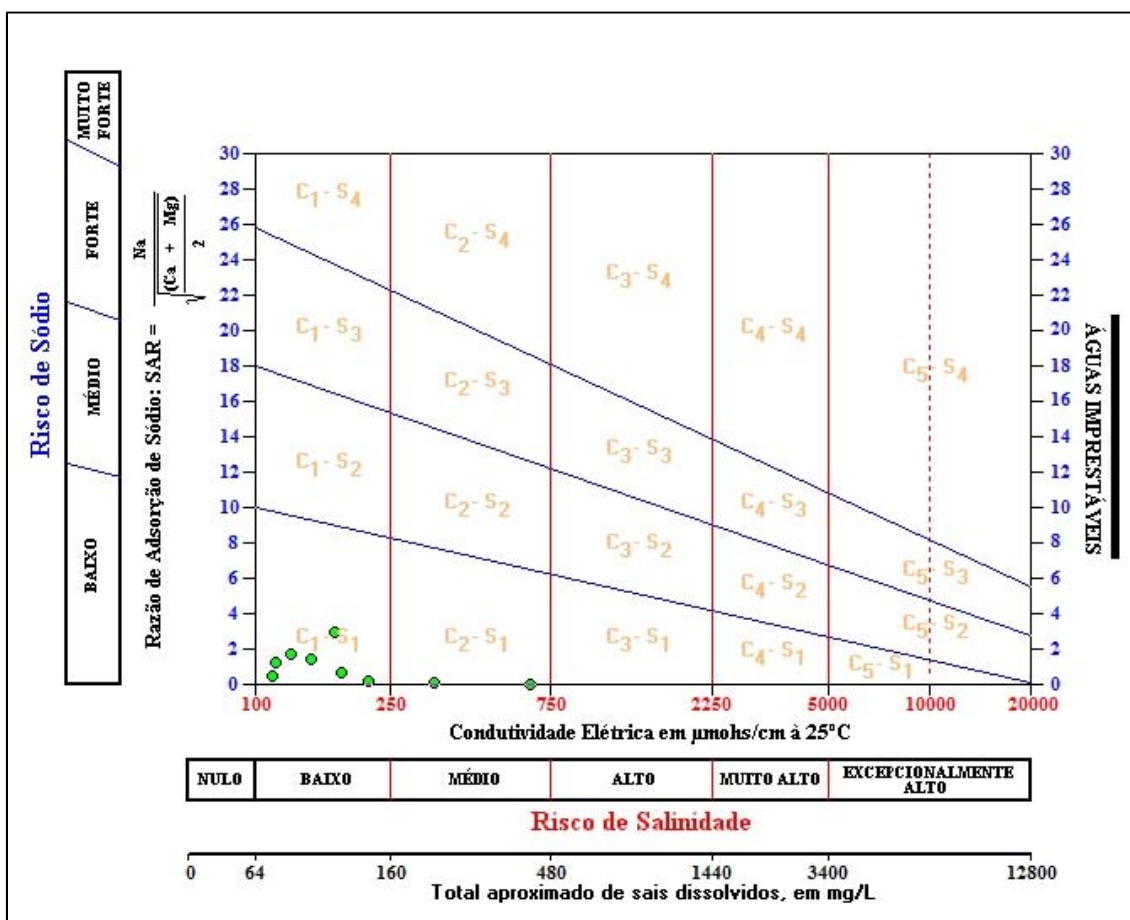
**Figura 3.33** – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Aluvial, no período de estiagem, segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff.

### 3.7.18.2 – Diagramas de Risco de Sódio e Salinidade para Irrigação

Para a avaliação quanto ao uso na irrigação das águas do aquífero Aluvial foi utilizada a classificação proposta pelo *United States Salinity Laboratory* (USSL), que se baseia na Razão de Adsorção de Sódio (SAR) e na condutividade elétrica da água para classificar as águas em categorias de acordo com a salinidade e o risco de sódio.

### Período Chuvoso

Com base na referida classificação, verificou-se que as amostras coletadas em abril de 2012 apresentaram risco de sódio baixo em 100% dos casos, ou seja, classificação S<sub>1</sub>, que significa águas fracamente sódicas, que podem ser utilizadas em quase todos os solos com fraco risco de formação de teores nocivos de sódio susceptível de troca, servindo para o cultivo de quase todos os vegetais, como pode ser observado na **figura 3.34**.

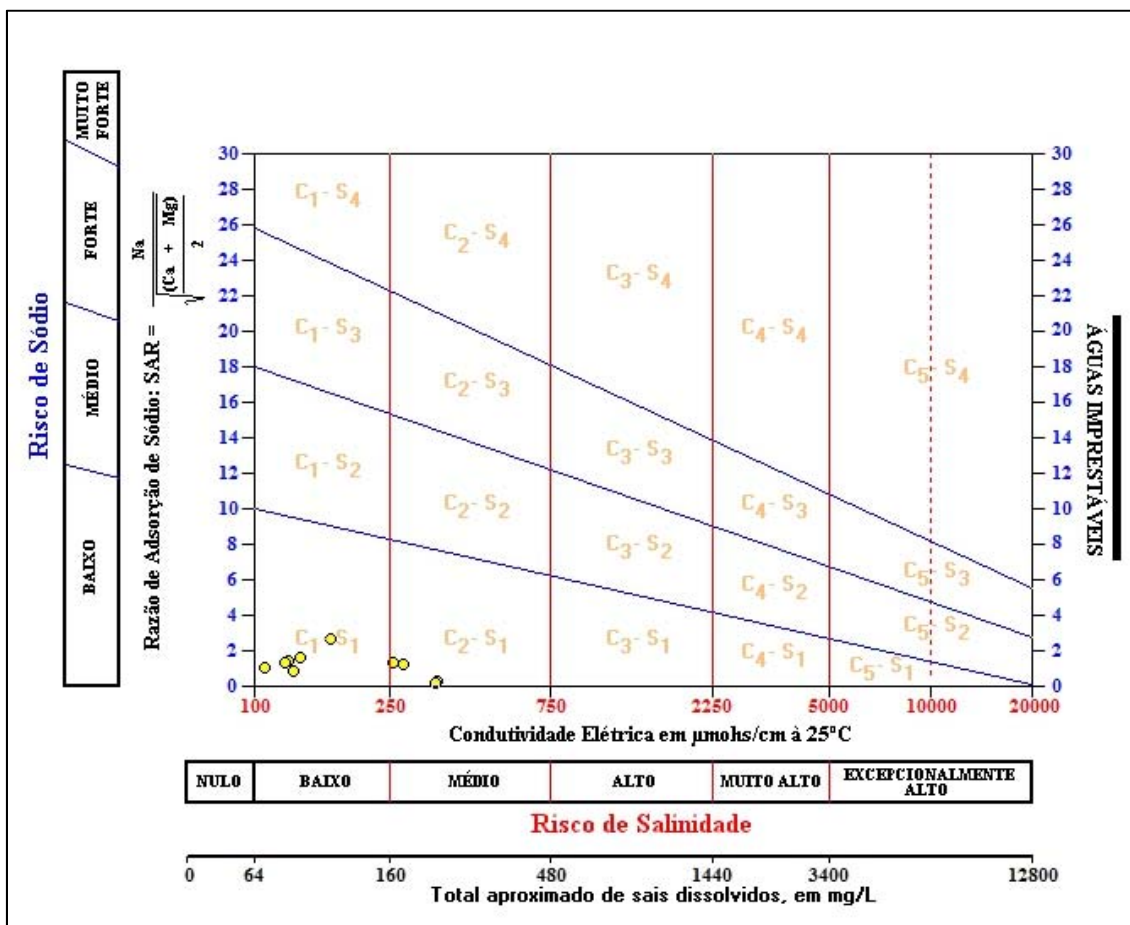


**Figura 3.34** – Classificação das águas do Aquífero Aluvial para fins de irrigação – Abril de 2012.

Quanto à salinidade, as amostras de abril de 2012 apresentaram em 62,5% dos casos classificação C<sub>0</sub>, que corresponde a águas de salinidade fraquíssima, que podem ser utilizadas sem restrições para irrigação; enquanto que 29,2% dos casos classificação C<sub>1</sub>, indicativa de que são águas de salinidade fraca, que podem ser utilizadas para irrigar a maioria das culturas, na maioria dos solos, com pequeno risco de salinização do solo, exceto se a permeabilidade do solo for extremamente fraca. Os 8,3% restantes apresentaram classificação C<sub>2</sub>, ou seja, águas de salinidade média, que devem ser usadas com precaução, podendo ser utilizadas em solos silte-arenosos, siltosos ou areno-argilosos quando houver uma lixiviação moderada do solo (**figura 3.34**).

### Período de Estiagem

Os resultados das amostras coletadas em outubro de 2012 revelaram que em 100% dos casos as águas apresentaram risco de sódio baixo, o que corresponde à classificação S<sub>1</sub>, águas fracamente sódicas que podem ser usadas em quase todos os solos e servem para cultivar boa parte dos vegetais, como indica a **figura 3.35**.



**Figura 3.35** – Classificação das águas do Aquífero Aluvial para fins de irrigação – Outubro de 2012.

Com relação à salinidade, as amostras de outubro de 2012 apresentaram em 58,3% dos casos a classificação C<sub>0</sub>, que corresponde a águas de salinidade fraquíssima, que podem ser utilizadas sem restrições para irrigação; em 25% dos casos a classificação C<sub>1</sub>, ou seja, águas de salinidade fraca, que podem ser utilizadas para irrigar a maioria das culturas; e nos 16,7% restantes, a classificação C<sub>2</sub>, ou seja, águas de salinidade média, que devem ser usadas com precaução (**figura 3.35**).

De modo geral, verifica-se que ambas as campanhas de amostragem apresentaram águas propícias para fins de irrigação, o que pode representar uma alternativa local de fonte de renda (**tabela 3.55**).

Algumas amostras nas duas campanhas de amostragem apresentaram águas de salinidade média, o que requer cuidado quanto a sua aplicação no solo, a fim de evitar processos de salinização.

**Tabela 3.55** - Classificação das águas coletadas nas duas campanhas de amostragem de acordo com o risco de salinidade e de sódio, segundo USSL.

Nome	Período chuvoso (abril de 2012)			Período seco (outubro de 2012)		
	Classe USSL	Risco		Classe USSL	Risco	
		Salinidade	Sódio		Salinidade	Sódio
BEL027	C2-S1	Médio	Baixo	C2-S1	Médio	Baixo
BEL028	C1-S1	Baixo	Baixo	C2-S1	Médio	Baixo
EIR01	C1-S1	Baixo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
EIR02	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
EIR03	C0-S1	Nulo	Baixo	C2-S1	Médio	Baixo
EIR04	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
EIR05	C1-S1	Baixo	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
ITB001	C1-S1	Baixo	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
ITB004	C2-S1	Médio	Baixo	C2-S1	Médio	Baixo
TBT01	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
TBT02	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
TBT03	C1-S1	Baixo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
TBT04	C0-S1	Nulo	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
TBT05	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
TBT06	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
TBT07	C1-S1	Baixo	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
TBT08	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
TBT09	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
TBT10	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
TBT11	C0-S1	Nulo	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
TBT12	C1-S1	Baixo	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
TBT13	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
TBT14	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
TBT15	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo

Legenda:

Poços destacados em vermelho possuem salinidade média, de acordo com a classificação do USSL.

### 3.7.18.3 – Pecuária

A fim de avaliar se as águas coletadas nos 26 poços distribuídos no aquífero Aluvial nos períodos de abril e outubro de 2012 servem para pecuária, empregou-se a metodologia adotada por McKee & Wolf (1963), os quais determinam os limites máximos admissíveis de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) na água para cada tipo de animal, como pode ser observado na **tabela 3.56**.

**Tabela 3.56** – Padrões de STD para uso animal, segundo McKee & Wolf (1963).

Animal	STD (mg/L)
Aves	2.860
Porcos	4.290
Cavalos	6.435

**Tabela 3.56** – Padrões de STD para uso animal, segundo McKee & Wolf (1963) (Continuação).

Animal	STD (mg/L)
Gado (leite)	7.180
Gado (corte)	10.000
Bodes e Carneiros	12.900

Sendo assim, com base na classificação acima é possível afirmar que as águas em ambos os períodos de coleta podem ser utilizadas para o consumo animal sem restrições, uma vez que os maiores teores encontrados de STD foram de 371 e 249 mg/L, respectivamente, para a 1ª e 2ª campanhas.

### **3.7.19 – Conclusões Gerais sobre a Qualidade das Águas Subterrâneas do Aquífero Aluvial**

O estudo hidrogeoquímico das águas do aquífero Aluvial indicou que, de forma geral, os teores analisados se encontram em baixíssimas concentrações, devido ao clima chuvoso da Floresta Tropical Amazônica, e que alguns poucos valores extremos encontrados, inclusive acima do VMP estabelecido como de potabilidade pela Portaria MS 2914/2011, assim como, os usos preponderantes da água subterrânea definidos pela Resolução CONAMA 396/2008, se devem as condições geológicas locais, como no caso dos parâmetros ferro e manganês. Os demais valores anômalos encontrados se devem em grande parte a fatores antrópicos, como foi o caso da amônia em três poços.

Em vários parâmetros físico-químicos a modelagem geoestatística apresentou um viés estatístico que não permitiu avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade. Sendo assim, nesses casos foram utilizados os dados de média, mediana e valor máximo para avaliar a influência da sazonalidade, como no caso do Eh, temperatura, sulfato, dureza e manganês.

A análise estatística dos parâmetros físico-químicos coletados em duas campanhas de amostragem, realizadas em abril e outubro de 2012, revelou efeito de sazonalidade sobre alguns parâmetros, tais como, turbidez e cloreto, cujos teores foram mais elevados no período chuvoso; enquanto que os parâmetros CE, temperatura, sódio, potássio e bicarbonato foram mais elevados no período de estiagem.

De acordo com a modelagem geoestatística, alguns parâmetros não apresentaram influência da sazonalidade, pois os resultados das duas campanhas de amostragem foram muito próximos, como ocorreu nos parâmetros STD, *pH in situ*, cálcio, magnésio, ferro e nitrato; ou apresentaram em sua maioria teores abaixo do limite de detecção, a exemplo da cor, nitrito e amônia.

A avaliação dos parâmetros biológicos indicou a presença de Coliformes totais, em ambas as campanhas, e de *E. Coli* apenas na primeira coleta, o que corresponde à contaminação das águas subterrâneas, devido à ausência de sistema de esgotamento sanitário na região, e também pelo fato de que os poços tubulares, em sua maioria, são pouco profundos e construídos com técnicas inapropriadas, que deixam os espaços anelares sem a devida proteção sanitária. A ocorrência desses parâmetros biológicos é extremamente preocupante, pois pode ocasionar doenças de veiculação hídrica nas



populações locais, que utilizam dessas águas para os mais diversos usos, incluindo consumo humano.

Os altos teores de ferro dissolvidos em alguns pontos isolados nas águas do aquífero Aluvial se devem a reações de oxi-redução, atuantes sobre o ferro insolúvel residual do intemperismo químico regional, resultante da alta pluviosidade associada a elevadas temperaturas e acidez das águas, as quais favoreceram a decomposição das rochas ao longo do tempo geológico.

Quanto ao pH *in situ*, os resultados mostram que em ambos os períodos as águas subterrâneas do aquífero Aluvial, se caracterizam como ácidas, pois a água da chuva é rica em O<sub>2</sub>, que interage com o CO<sub>2</sub> da atmosfera e adquire caráter ácido, e em contato com o solo, onde a respiração das plantas pelas raízes e a oxidação da matéria orgânica enriquecem o ambiente em CO<sub>2</sub>, diminuem ainda mais o seu pH (Teixeira *et al.*, 2000).

Todas as amostras analisadas para os metais pesados arsênio, cádmio, chumbo, cromo e mercúrio apresentaram teores abaixo do limite de detecção, ao passo que bário, cobre, níquel e zinco obtiveram teores abaixo do VMP definido pela Portaria MS 2914/2011 e Resolução CONAMA 396/2008.

No que se refere às análises de BTEX e fenóis todas as amostras apresentaram resultados abaixo do limite de detecção, assim como respeitaram os limites de potabilidade definidos pela Portaria MS 2914/2011 e Resolução CONAMA 396/2008.

As análises de Oxigênio-18 e Deutério levaram a concluir que a recarga do aquífero Aluvial possui 96,23% de perda de  $\delta^{18}\text{O}$  por evaporação, o que se deve a abundância da chuva na região, que gera águas mais leves propícias a evaporação.

Segundo as datações efetuadas com Trício as águas do aquífero estudado possuem mistura de água submoderna com recarga recente.

Quanto às idades convencionais de radiocarbono, há presença de água moderna, ou seja, água com tempo de residência inferior a 200 anos, o que é coerente com a natureza aluvial do aquífero.

No que se refere à classificação das águas subterrâneas de acordo com a composição química é possível verificar que as águas do aquífero Aluvial em sua maioria são Cloretadas Sódicas, e de boa potabilidade, segundo indicação dos diagramas de Piper e Schoeller-Berkaloff, respectivamente; e de acordo com os diagramas de Stiff se classificam em Cloretadas Sódicas e Bicarbonatas Sódicas.

No que concerne à avaliação das águas para irrigação, verifica-se que as águas do aquífero Aluvial possuem risco de sódio baixo e salinidade entre fraquíssima a média, indicando que as águas podem ser usadas para o cultivo de boa parte dos vegetais.

As águas podem ser utilizadas para a dessedentação animal sem restrições, haja vista que os teores de STD encontrados em ambas as campanhas foram baixos.

## **4 – Hidrogeoquímica do Aquífero Rio Branco**

#### 4.1 - Introdução

No contexto regional, o aquífero Rio Branco está localizado na Província Amazonas, que representa uma das bacias sedimentares fanerozoicas do Brasil (CPRM, 2003). No contexto local, o aquífero Rio Branco está situado na Bacia do Solimões, onde existem as Formações Javari, Solimões e Içá.

O aquífero Rio Branco pode ser definido como o pacote de sedimentos holocênicos e terraços fluviais pleistocênicos, que inclui leitos de argila siltosa, de argila siltico-arenosa, areia siltosa e areia fina, na planície aluvial do rio Acre, em repouso sobre uma base impermeável constituída pelos argilitos da Formação Solimões.

A Formação Solimões presente na cidade de Rio Branco, sobre a qual repousa o aquífero Rio Branco, pela sua natureza litológica (argilas, argilitos e folhelhos) é um típico *aquiclude* e pode ser interpretado como uma base impermeável.

Com o intuito de avaliar a qualidade das águas subterrâneas do aquífero Rio Branco, foram realizadas duas campanhas de amostragem na cidade de Rio Branco - AC, sendo uma no período chuvoso (abril de 2012) e outra no período seco (outubro de 2012), com defasagem de 6 (seis) meses.

Ambas as campanhas seguiram as metodologias recomendadas por Barcelona *et al.* (1985), Puls & Barcelona (1989), Keith (1996), Feitosa & Manoel Filho (2000) e Nielsen & Nielsen (2007). Além dessas referências, também foi utilizado o Protocolo de Guia de Coleta de Amostra (GCA), elaborado pelo laboratório Bioagri Ambiental, que pode ser visualizado no **Anexo 8.5**.

Os Laboratórios responsáveis pelas análises no aquífero Rio Branco, juntamente com os poços avaliados, o quantitativo de amostras, os tipos de análises e os parâmetros analisados, encontram-se listados abaixo:

##### **Laboratório da Bioagri Ambiental:**

- 30 (trinta) Análises Físico-Químicas e Bacteriológicas - cor, turbidez, condutividade elétrica (CE), temperatura, sólidos totais dissolvidos (STD), pH, sódio, potássio, cálcio, magnésio, dureza, cloreto, sulfato, Eh, bicarbonato, nitrogênio (amoniaco, orgânico e total), nitrito, nitrato, ferro e manganês, Coliformes Totais e Termotolerantes (*E. Coli*);
- 10 (dez) Análises de Metais Pesados, - arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel, zinco;
- 10 (dez) Análises de BTEX e Fenóis - benzeno, tolueno, etilbenzeno, o-Xileno e m,p-Xileno.

##### **Laboratório de Geocronologia do Instituto de Geociências da UnB:**

- 04 (quatro) Análises de Isótopo Ambiental Estável - deutério e oxigênio-18.

##### **Laboratório do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CTDN), da UFMG:**

- 07 (sete) Análises do Isótopo Ambiental Radioativo - trício.

Os resultados dessas análises para as duas campanhas podem ser verificados no **Anexo 8.2**.

## 4.2 - Balanço Iônico

Os resultados das análises físico-químicas das duas campanhas de amostragem do aquífero Rio Branco foram submetidos a avaliações pelo cálculo do balanço de cátions e ânions, conforme metodologia descrita no **item 1.7**.

### **Período Chuvoso**

De acordo com os resultados obtidos (**tabela 4.1**) verifica-se que no período chuvoso (abril de 2012), 47% (14/30) das amostras coletadas no aquífero Rio Branco apresentaram Ep dentro dos critérios da metodologia do balanço iônico nº 1 e do balanço hídrico nº 2.

Os 53% (16/30) restantes das amostras apresentam Ep superiores aos limites permissíveis e não são considerados válidos em ambos os balanços iônicos.

**Tabela 4.1** – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf para as amostras coletadas no aquífero Rio Branco – abril de 2012.

Poço	CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Soma Cátions (meq/L)	Soma Ânions (meq/L)	Erro Prático - EP (%)	
				Balanço Iônico nº 1	Balanço Iônico nº 2
RBR01	20	0,15	0,04	124,33	62,16
RBR02	21	0,1	0,04	78,64	39,32
RBR03	36	0,16	0,14	15,54	7,77
RBR04	21	0,03	0,04	21,02	10,51
RBR05	207	1,59	0,9	55,23	27,62
RBR06	100	0,23	0,1	78,81	39,41
RBR07	39	0,22	0,2	11,62	5,81
RBR08	50	0,32	0,2	48,1	24,05
RBR09	238	1,79	1,37	27	13,5
RBR10	25	0,19	0,21	7,94	3,97
RBR11	39	0,3	0,31	1,84	0,92
RBR12	47	0,76	0,49	43,32	21,66
RBR13	213	2,58	0,55	129,31	64,65
RBR14	688	7,31	7,56	3,33	1,66
RBR15	170	1,23	1,19	3,31	1,65
RBR16	194	1,39	1,17	16,54	8,27
RBR17	284	3,44	1,66	70,11	35,06
RBR18	213	1,69	1,54	9,35	4,68
RBR19	320	2,24	1,94	14,6	7,3
RBR20	117	1,18	0,49	82,52	41,26
RBR21	34	0,33	0,31	7,72	3,86
RBR22	233	1,24	1,57	23,64	11,82
RBR23	178	0,99	0,56	55,72	27,86
RBR24	44	0,25	0,29	15,03	7,52
RBR25	87	0,78	0,28	95,04	47,52

**Tabela 4.1** – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf para as amostras coletadas no aquífero Rio Branco – abril de 2012 (Continuação).

Poço	CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Soma Cátions (meq/L)	Soma Ânions (meq/L)	Erro Prático - EP (%)	
				Balanço Iônico nº 1	Balanço Iônico nº 2
RBR26	159	1,22	1,4	13,78	6,89
RBR27	197	1,38	1,82	27,52	13,76
RBR28	253	2,3	1,46	45,01	22,51
RBR29	108	0,79	0,86	8,06	4,03
RBR30	26	0,2	0,09	76,99	38,5

Legenda:

Valores destacados em vermelho possuem os maiores Ep de acordo com os critérios estabelecidos nas metodologias do balanço iônico nº 1 e nº 2, respectivamente.

### **Período de Estiagem**

Segundo os dados coletados no período seco (outubro de 2012), observa-se que 37% (11/30) das amostras obtiveram resultados dentro dos padrões de Ep considerados como apropriados na metodologia nº 1 de balanço iônico. Pela metodologia nº 2, apenas 20% (6/30) das amostras ficaram abaixo do limite de erro permitido. As amostras restantes 63% (19/30) pelo balanço iônico nº 1 e 80% (24/30) pelo balanço iônico nº 2 não foram consideradas corretas, haja vista que apresentaram Ep fora dos limites permissíveis estabelecidos, demonstra a **tabela 4.2**.

**Tabela 4.2** – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf, para as amostras coletadas no aquífero Rio Branco – outubro de 2012.

Poço	CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Soma Cátions (meq/L)	Soma Ânions (meq/L)	Erro Prático - EP (%)	
				Balanço Iônico nº 1	Balanço Iônico nº 2
RBR01	992	8,79	10,73	19,82	9,91
RBR02	726	5,38	5,56	3,3	1,65
RBR03	135	1,09	1,07	1,59	0,8
RBR04	62	0,6	0,51	16,92	8,46
RBR05	56	0,43	0,15	97,91	48,95
RBR06	30	0,36	0,16	76,87	38,44
RBR07	43	0,39	0,25	42,71	21,35
RBR08	180	1,64	1,48	10,49	5,24
RBR09	45	0,37	0,44	17,88	8,94
RBR10	32	0,21	0,15	35,48	17,74
RBR11	107	0,83	0,37	77,34	38,67
RBR12	161	1,39	1,26	9,98	4,99
RBR13	300	2,62	1,63	46,55	23,27
RBR14	265	1,55	1,31	16,82	8,41
RBR15	35	0,3	0,08	115,83	57,91
RBR16	124	0,74	0,87	16,73	8,37
RBR17	28	0,27	0,07	119,35	59,68
RBR18	25	0,14	0,06	81,63	40,81
RBR19	179	1,35	1,18	13,83	6,91
RBR20	146	1,09	1,24	13,2	6,6

**Tabela 4.2** – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf, para as amostras coletadas no aquífero Rio Branco – outubro de 2012 (Continuação).

Poço	CE ( $\mu\text{S/cm}$ )	Soma Cátions (meq/L)	Soma Ânions (meq/L)	Erro Prático - EP (%)	
				Balanço Iônico nº 1	Balanço Iônico nº 2
RBR21	126	0,79	0,84	7,16	3,58
RBR22	217	1,98	1,63	19,55	9,77
RBR23	44	0,43	0,23	63,06	31,53
RBR24	104	0,79	0,38	68,68	34,34
RBR25	19	0,13	0,02	136,77	68,38
RBR26	34	0,22	0,12	59,83	29,91
RBR27	53	0,34	0,31	9,51	4,76
RBR28	26	0,11	0,04	89,09	44,54
RBR29	44	0,26	0,39	38,84	19,42
RBR30	277	2,52	2,08	19,16	9,58

Legenda:

Valores destacados em vermelho possuem os maiores Ep de acordo com os critérios estabelecidos nas metodologias do balanço iônico nº 1 e nº 2, respectivamente.

Os resultados de Ep superiores a 30% podem indicar erro analítico ou de cálculo, presença de certos íons não analisados na água em concentrações apreciáveis e/ou águas pouco mineralizadas, tais como água da chuva.

Os métodos analíticos padrões para baixas concentrações iônicas podem levar a valores elevados de erros (Ep %), sem que isso indique necessariamente um erro de análise ou de cálculo (Schoeller, 1955 *apud* Feitosa & Manoel Filho, 2000). As águas do aquífero Rio Branco se enquadram como pouco mineralizadas, uma vez que os teores de STD alcançam no máximo 521 mg/L no período chuvoso e 815 mg/L no período de estiagem, quando o VMP desse parâmetro para consumo humano, segundo a Portaria MS 2914/2011, é de 1.000 mg/L.

Convém destacar ainda que as concentrações de STD, assim como dos íons sódio ( $\text{Na}^+$ ), Cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) e sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) foram expressas em partes por bilhão (ppb) ou  $\mu\text{g/L}$ . Além disso, alguns valores situados abaixo do limite de detecção, indicados, por exemplo, como (<1) foram considerados no cálculo do erro, como 1  $\mu\text{g/L}$  (o valor pode ser qualquer outro abaixo de 1) e para a base de cálculo a concentração foi convertida para mg/L (ppm).

Conclui-se, assim, que os erros detectados nas amostras do aquífero Rio Branco não comprometem os resultados analíticos obtidos, pois segundo Younger (1995), os maiores erros de balanço iônico estão associados a águas pouco mineralizadas (como a água da chuva), ou seja, muito diluídas e, também, a águas muito mineralizadas, cujo erro no balanço iônico pode ser reflexo das determinações de cloreto, pois para altas concentrações de ferro pode haver formação de complexos de ferro total que mascaram o ponto final da titulação. Tal premissa é plausível na área de estudo, haja vista que boa parte das amostras de águas dos aquíferos que compõem a PHA possuem altos teores de ferro, inclusive acima do VMP definido como padrão de potabilidade para consumo humano pela Portaria MS 2914/2011.

### 4.3 - Índice de Troca de Bases (ITB)

O ITB das duas campanhas de amostragem do aquífero Rio Branco foi estimado conforme metodologia descrita no **item 1.8**.

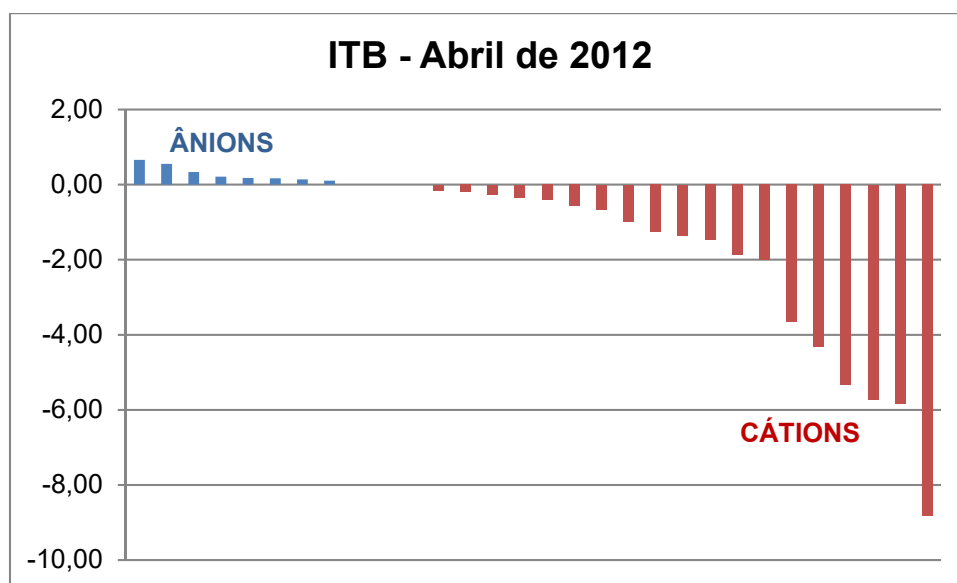
De acordo com os resultados de ITB calculados verifica-se que 37% (11/30) das amostras apresentaram valores positivos, que indicam uma diminuição de cátions nas águas que ali circulam, já que elas forneceram metais alcalinos ao terreno. Por outro lado, 63% (19/30) apresentaram valores negativos na coleta de abril de 2012 (**tabela 4.3 e figura 4.1**), o que sugere um aumento de cátions, pois a água recebeu mais metais alcalinos fornecidos pelo terreno. Isto revela maior presença de íons alcalinos (sódio e potássio) em relação ao íon cloreto em solução, o que implica no abrandamento das águas subterrâneas, no caso, por exemplo, da troca de  $\text{Ca}^{++}$  e  $\text{Mg}^{++}$  por  $\text{Na}^+$ .

**Tabela 4.3** – Resultado do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no aquífero Rio Branco nas duas campanhas.

Poço	ITB (Abril de 2012)	ITB (Outubro de 2012)
RBR01	-3,67	-5,50
RBR02	-0,67	-40,44
RBR03	0,00	-0,19
RBR04	0,33	-2,22
RBR05	-0,40	-1,14
RBR06	-0,57	-0,53
RBR07	0,21	0,04
RBR08	0,00	-0,15
RBR09	-0,15	-4,17
RBR10	-4,33	-0,21
RBR11	-2,00	-0,33
RBR12	-8,83	-0,96
RBR13	-5,73	0,06
RBR14	-5,85	0,00
RBR15	0,11	-2,14
RBR16	-0,26	0,09
RBR17	-1,87	-3,17
RBR18	-1,36	-4,00
RBR19	0,66	0,00
RBR20	-0,34	-1,10
RBR21	-5,33	0,29
RBR22	0,55	-0,43
RBR23	-0,20	-10,00
RBR24	0,00	-1,18

**Tabela 4.3** – Resultado do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no aquífero Rio Branco nas duas campanhas (Continuação).

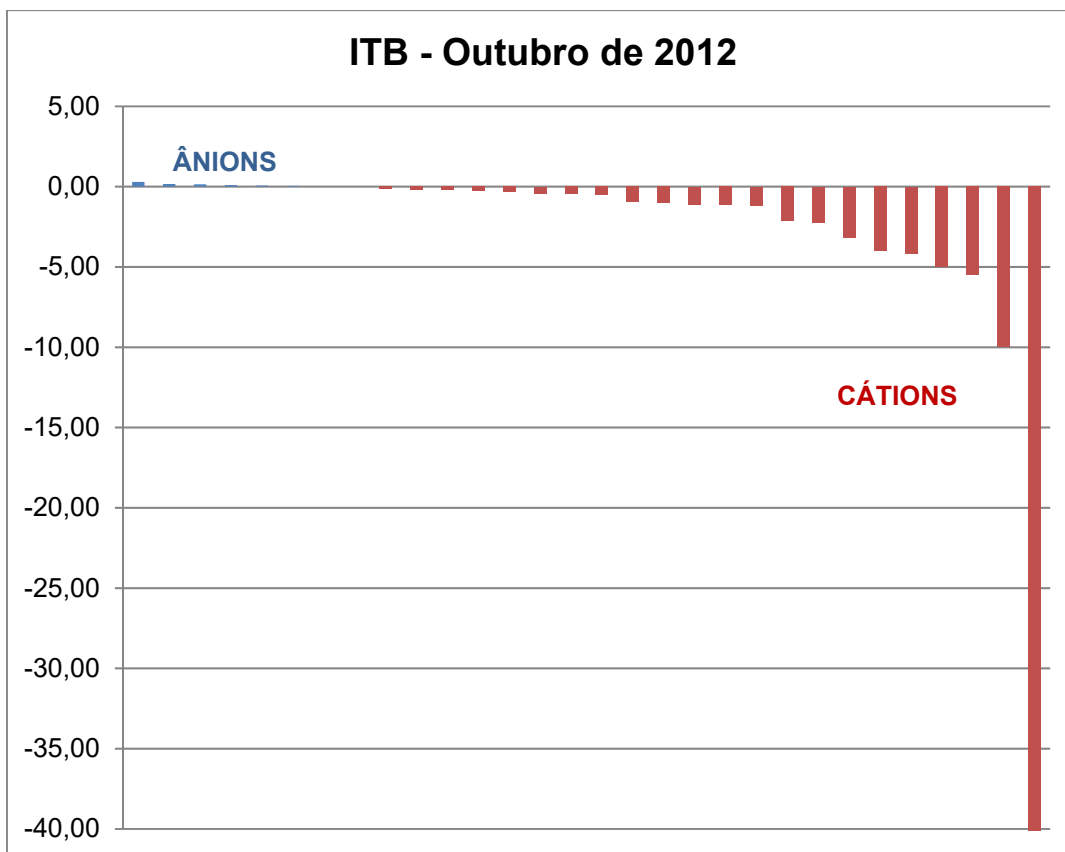
Poço	ITB (Abril de 2012)	ITB (Outubro de 2012)
RBR25	-1,26	-5,00
RBR26	-1,48	-0,27
RBR27	0,14	0,16
RBR28	-0,98	-1,00
RBR29	0,18	0,14
RBR30	0,17	-0,47



**Figura 4.1** – Ilustração dos resultados de ITB calculados para as amostras coletadas no Aquífero Rio Branco no período chuvoso, com o predomínio de cátions.

Na coleta de outubro de 2012, 27% (8/30) das amostras apresentaram valores positivos, ao passo que 73% (22/30) obtiveram resultados negativos, como pode ser visualizado na **tabela 4.3**. Tais resultados refletem a maior presença de cátions nas águas (**figura 4.2**).





**Figura 4.2** – Ilustração dos resultados de ITB calculados para as amostras coletadas no Aquífero Rio Branco no período de estiagem, com o predomínio de cátions.

Os valores de ITB obtidos nas águas do aquífero Rio Branco nas duas campanhas estão coerentes, pois segundo Teixeira (2002), o enriquecimento em alcalinos, aumenta a diferença  $rCl - r(Na + K)$ , numerador na equação de Schoeller (1962), o que torna mais negativos os valores de ITB.

Na **tabela 4.4** é apresentada a estatística descritiva dos resultados de ITB calculados, onde se verifica que os valores mínimo e máximo obtidos foram de -8,83 e 0,66 e de -40,44 e 0,29 para as coletas de abril e outubro de 2012, respectivamente.

Os resultados acima revelados em cada uma das campanhas são justificáveis por conta dos elevados índices pluviométricos da região, que favorecem a diluição dos compostos químicos em solução na água, o que implica no abrandamento das águas com troca de cálcio e magnésio por sódio, tanto no período chuvoso quanto na estiagem.

**Tabela 4.4** – Parâmetros estatísticos dos resultados do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no aquífero Rio Branco nas duas campanhas.

Parâmetros Estatísticos	ITB (Abril de 2012)	ITB (Outubro de 2012)
Média	-1,43	-2,79
Erro padrão	0,43	1,36
Mediana	-0,37	-0,50
Desvio padrão	2,35	7,47
Variância da amostra	5,53	55,74
Curtose	2,41	24,14
Assimetria	-1,72	-4,74
Intervalo	9,49	40,73
Mínimo	-8,83	-40,44
Máximo	0,66	0,29
Soma	-42,95	-83,83
Contagem	30	30
Nível de confiança (95%)	0,88	2,79

#### 4.4 - Razões Iônicas

De acordo com a metodologia de Hem (1985), descrita no **item 1.9**, foi possível estimar as razões iônicas em meq/L para as águas do aquífero Rio Branco nas duas campanhas de amostragem, de modo a avaliar a sua composição hidrogeoquímica.

A **tabela 4.5** mostra os resultados das principais razões iônicas para as duas campanhas, realizadas no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012). A razão  $rMg^{2+}/rCa^{2+}$  indica que 37% (11/30) e 53% (16/30) dos poços contêm águas continentais que possivelmente sofrem influência de terrenos dolomíticos, respectivamente, para a primeira e segunda campanha.

A razão  $rNa^+/rCl^-$  sugere que 87% (26/30) dos poços na primeira coleta e 93% (28/30) dos poços na segunda coleta contêm águas que possuem fluxo através de rochas cristalinas ou vulcânicas.

A razão iônica  $rCl^-/rHCO_3^-$  obtida na coleta de abril de 2012, em 10% (3/10) dos poços sugere água do mar, evidenciando que tais poços podem ter sofrido influência de intrusão marinha, enquanto que na coleta de outubro de 2012, esse comportamento não foi observado. Ademais, 40% (12/30) dos poços no período chuvoso e 53% (16/30) dos poços no período de estiagem apresentam águas com ausência de íons bicarbonato.

Excetuando, talvez, a sugestão de que as águas do aquífero Rio Branco são continentais, tudo indica que as demais conclusões não se aplicam a área de estudo, onde as águas subterrâneas, oriundas, sobretudo, de infiltrações de águas de chuva, são muito diluídas e dificilmente podem ter sofrido influências de trocas iônicas com as rochas regionais, que, aliás, são sedimentares e não cristalinas e menos ainda sofrem influência de intrusão marinha. Na verdade, os valores mais altos, inclusive os anômalos dos constituintes iônicos maiores,

seguramente resultam de contaminação pela ausência de esgotamento sanitário e produzem desvios muito fortes nos dados, particularmente na razão iônica  $rCl/rHCO_3^-$ .

**Tabela 4.5** – Resultado das razões iônicas para as amostras coletadas no aquífero Rio Branco nas duas campanhas.

Poço	Razões iônicas - Período chuvoso			Razões iônicas - Período seco		
	$\frac{rMg^{2+}}{rCa^{2+}}$	$\frac{rNa^+}{rCl^-}$	$\frac{rCl^-}{rHCO_3^-}$	$\frac{rMg^{2+}}{rCa^{2+}}$	$\frac{rNa^+}{rCl^-}$	$\frac{rCl^-}{rHCO_3^-}$
RBR01	0,98	1,08	3,44	0,62	6,32	0,47
RBR02	1,60	0,99	-	1,09	40,21	-
RBR03	5,23	5,00	-	2,29	1,15	2,12
RBR04	3,55	1,15	-	0,91	1,82	0,21
RBR05	0,59	1,20	-	2,86	1,67	-
RBR06	1,82	0,41	-	5,26	1,15	-
RBR07	2,67	1,19	57,39	0,95	0,84	-
RBR08	3,26	8,67	0,16	0,46	1,13	4,76
RBR09	1,71	0,85	3,83	10,45	5,22	0,16
RBR10	0,54	6,67	1,37	0,73	1,12	-
RBR11	2,30	5,20	0,17	1,69	1,20	-
RBR12	0,80	2,80	0,17	0,76	1,84	1,05
RBR13	18,65	0,28	23,46	4,12	0,90	13,04
RBR14	1,78	0,73	-	5,61	0,94	-
RBR15	1,78	0,59	-	1,59	2,86	-
RBR16	0,74	0,93	-	2,03	0,88	2,99
RBR17	10,15	1,07	-	1,90	4,21	-
RBR18	6,54	1,07	-	1,11	2,06	-
RBR19	0,78	0,79	20,65	2,38	0,93	8,89
RBR20	8,69	2,83	5,78	0,62	2,05	0,78
RBR21	0,87	2,23	0,73	3,03	0,61	-
RBR22	0,66	1,92	6,18	1,10	1,39	11,42
RBR23	0,95	6,58	1,55	0,35	6,25	-
RBR24	2,34	1,17	2,34	1,61	1,99	1,69
RBR25	1,04	0,87	2,89	0,62	2,62	-
RBR26	4,40	0,43	-	1,12	1,19	-
RBR27	1,24	2,45	1,71	0,63	0,62	1,96
RBR28	2,91	2,07	-	0,31	1,91	-
RBR29	2,24	0,80	4,37	1,19	0,72	-
RBR30	5,69	4,88	0,13	4,07	1,45	5,28

Legenda:

Os valores simbolizados com (-) são indefinidos (divisão por zero), pois se referem a ausência de bicarbonato na razão iônica cloreto/bicarbonato.

#### 4.5 - Índice de Langelier

Com base na metodologia de Snoeyink & Jenkins (1980), descrita no **item 1.10**, foi possível estimar o índice de saturação (IS) para as águas do aquífero Rio Branco nas duas campanhas de amostragem para verificar se a água está ou não em equilíbrio com a calcita e classificá-la de acordo com a tendência de IS apresentada na **tabela 1.6**.

Os valores de IS calculados com base nas amostras de água subterrânea coletadas no aquífero Rio Branco, no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012), podem ser observados na **tabela 4.6**. Todas as amostras, em ambas as coletas, apresentaram resultados de IS negativos, o que sugere que as águas não possuem características incrustantes.

Os resultados mostram que no período chuvoso o IS variou de -6,96 a -3,04 e no período seco de -7,92 a -4,07, indicando águas subsaturadas em relação à calcita e com tendência a dissolver  $\text{CaCO}_{3(s)}$ . Isto ocorre porque as águas do aquífero Rio Branco são ácidas, variando o pH *in situ* médio de 4,9 no período chuvoso a 4,7 no período de estiagem, o que tende a dissolver a calcita, caso ela esteja presente.

**Tabela 4.6** – Resultado do Índice de Saturação (IS) para as amostras coletadas no aquífero Rio Branco nas duas campanhas.

Poço	IS - 1 (Abril de 2012)	IS - 2 (Outubro de 2012)
RBR01	-4,58	-5,76
RBR02	-5,43	-7,92
RBR03	-3,04	-5,16
RBR04	-5,23	-5,39
RBR05	-6,71	-7,44
RBR06	-5,31	-5,94
RBR07	-5,54	-6,09
RBR08	-5,01	-5,13
RBR09	-6,52	-4,26
RBR10	-4,30	-5,44
RBR11	-4,94	-6,49
RBR12	-4,62	-4,82
RBR13	-5,40	-6,91
RBR14	-6,96	-6,71
RBR15	-4,62	-5,19
RBR16	-5,24	-5,63
RBR17	-5,38	-4,07
RBR18	-4,90	-5,65

**Tabela 4.6** – Resultado do Índice de Saturação (IS) para as amostras coletadas no aquífero Rio Branco nas duas campanhas (Continuação).

Poço	IS - 1 (Abril de 2012)	IS - 2 (Outubro de 2012)
RBR19	-6,84	-5,96
RBR20	-6,58	-4,85
RBR21	-5,98	-6,28
RBR22	-6,45	-5,61
RBR23	-5,67	-5,62
RBR24	-5,16	-5,61
RBR25	-6,66	-5,38
RBR26	-5,44	-5,53
RBR27	-5,37	-5,79
RBR28	-5,72	-5,94
RBR29	-5,45	-5,26
RBR30	-5,60	-5,66

#### 4.6 - Correlação entre Variáveis Hidrogeoquímicas

Alguns parâmetros físico-químicos analisados nas duas campanhas de amostragem foram submetidos a avaliações de correlação conforme metodologia descrita no **item 1.11**, a qual aplica o Teste t aos níveis de 5 e 1% de significância e fornece o coeficiente de correlação ( $\rho$ ).

##### **Período Chuvoso**

De acordo com os resultados obtidos, o panorama das correlações no período chuvoso (abril de 2012), conforme **tabela 4.7**, é o seguinte:

- A grande maioria das correlações (104/136), ou seja, 76,5% são Não Significativas, dos tipos muito fracas (84/136) e fracas (20/136);
- As correlações Significativas satisfazem apenas 5,9% (8/136), das quais 5 são fracas e 3 moderadas;
- As correlações Muito Significativas correspondem a 17,6% (24/136), sendo 12 moderadas, 9 fortes e 3 muito fortes.

**Tabela 4.7 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Rio Branco – abril de 2012.**

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação ( $\rho$ )	Significância
STD	CO <sub>3</sub>	-0,1661	ns
STD	NO <sub>2</sub>	-0,1539	ns
STD	Fe	0,5812	**
STD	pH	-0,0249	ns
STD	Alcalinidade	0,1761	ns
STD	Eh	0,1831	ns
STD	NH <sub>3</sub>	0,1977	ns
STD	HCO <sub>3</sub>	0,2076	ns
STD	NO <sub>3</sub>	0,3256	ns
SO <sub>4</sub>	Fe	0,4888	**
SO <sub>4</sub>	CO <sub>3</sub>	-0,0526	ns
SO <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	-0,0493	ns
SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	-0,0342	ns
SO <sub>4</sub>	pH	-0,0188	ns
SO <sub>4</sub>	CE	0,7944	**
SO <sub>4</sub>	STD	0,8123	**
SO <sub>4</sub>	Alcalinidade	0,1214	ns
SO <sub>4</sub>	Eh	0,1359	ns
SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	0,1582	ns
SO <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>	0,1627	ns
pH	Eh	-0,5248	**
pH	Fe	-0,1354	ns
pH	NO <sub>3</sub>	-0,1349	ns
pH	CO <sub>3</sub>	-0,1171	ns
pH	NO <sub>2</sub>	0,0044	ns
pH	NH <sub>3</sub>	0,1583	ns
pH	Alcalinidade	0,2322	ns
pH	HCO <sub>3</sub>	0,2418	ns
NO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	-0,1538	ns
NO <sub>3</sub>	Fe	-0,1425	ns
NO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	-0,1331	ns
NO <sub>3</sub>	NH <sub>3</sub>	0,0765	ns
NO <sub>2</sub>	HCO <sub>3</sub>	-0,1397	ns
NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	-0,134	ns
NO <sub>2</sub>	Fe	-0,0835	ns

**Tabela 4.7 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Rio Branco – abril de 2012 (Continuação).**

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação ( $\rho$ )	Significância
NO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	-0,0463	ns
NO <sub>2</sub>	CO <sub>3</sub>	-0,0351	ns
NH <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	-0,0441	ns
NH <sub>3</sub>	Fe	0,0025	ns
NH <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	0,2006	ns
Na	Ca	0,37	*
Na	SO <sub>4</sub>	0,3824	*
Na	Cl	0,4756	**
Na	NO <sub>2</sub>	-0,1749	ns
Na	Fe	0,399	*
Na	CO <sub>3</sub>	-0,1472	ns
Na	Mg	0,4054	*
Na	STD	0,696	**
Na	CE	0,7116	**
Na	pH	0,0563	ns
Na	NH <sub>3</sub>	0,071	ns
Na	NO <sub>3</sub>	0,2073	ns
Na	Eh	0,2779	ns
Na	Alcalinidade	0,3237	ns
Na	HCO <sub>3</sub>	0,3279	ns
Na	K	0,3473	ns
Mg	NO <sub>3</sub>	0,3719	*
Mg	CO <sub>3</sub>	-0,1226	ns
Mg	NO <sub>2</sub>	-0,0821	ns
Mg	pH	-0,0541	ns
Mg	Fe	0,4066	*
Mg	Cl	0,424	*
Mg	SO <sub>4</sub>	0,7398	**
Mg	STD	0,8541	**
Mg	Alcalinidade	0,05	ns
Mg	CE	0,8603	**
Mg	Eh	0,0665	ns
Mg	HCO <sub>3</sub>	0,0915	ns
Mg	NH <sub>3</sub>	0,1868	ns
K	pH	-0,2972	ns
K	CE	0,3916	*
K	CO <sub>3</sub>	-0,1513	ns
K	HCO <sub>3</sub>	-0,1481	ns

**Tabela 4.7 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Rio Branco – abril de 2012 (Continuação).**

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação ( $\rho$ )	Significância
K	Cl	0,5185	**
K	NO <sub>3</sub>	0,523	**
K	Alcalinidade	-0,1283	ns
K	NO <sub>2</sub>	-0,1103	ns
K	Fe	-0,087	ns
K	NH <sub>3</sub>	0,0295	ns
K	SO <sub>4</sub>	0,0338	ns
K	Ca	0,0522	ns
K	Mg	0,2944	ns
K	Eh	0,3156	ns
K	STD	0,3583	ns
Fe	CO <sub>3</sub>	-0,078	ns
Fe	HCO <sub>3</sub>	0,2064	ns
Eh	NO <sub>2</sub>	-0,1745	ns
Eh	NO <sub>3</sub>	0,0132	ns
Eh	CO <sub>3</sub>	0,0274	ns
Eh	Fe	0,0953	ns
Eh	HCO <sub>3</sub>	0,1129	ns
Eh	Alcalinidade	0,1296	ns
Eh	NH <sub>3</sub>	0,1668	ns
CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	-0,1503	ns
Cl	CO <sub>3</sub>	-0,1777	ns
Cl	NO <sub>2</sub>	-0,1651	ns
Cl	NO <sub>3</sub>	0,4937	**
Cl	STD	0,5098	**
Cl	CE	0,5226	**
Cl	pH	-0,0894	ns
Cl	SO <sub>4</sub>	-0,0218	ns
Cl	HCO <sub>3</sub>	0,0416	ns
Cl	Alcalinidade	0,051	ns
Cl	NH <sub>3</sub>	0,0633	ns
Cl	Eh	0,0759	ns
Cl	Fe	0,3382	ns
CE	CO <sub>3</sub>	-0,1718	ns
CE	NO <sub>2</sub>	-0,162	ns
CE	Fe	0,5505	**
CE	pH	-0,0132	ns
CE	Alcalinidade	0,1882	ns



**Tabela 4.7** – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Rio Branco – abril de 2012 (Continuação).

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação ( $\rho$ )	Significância
CE	Eh	0,1907	ns
CE	NH <sub>3</sub>	0,2027	ns
CE	STD	0,9977	**
CE	HCO <sub>3</sub>	0,2177	ns
CE	NO <sub>3</sub>	0,3446	ns
Ca	Fe	0,5015	**
Ca	CO <sub>3</sub>	-0,0619	ns
Ca	NO <sub>2</sub>	-0,0451	ns
Ca	Mg	0,7208	**
Ca	Cl	-0,0354	ns
Ca	CE	0,7888	**
Ca	STD	0,8067	**
Ca	NO <sub>3</sub>	-0,0131	ns
Ca	pH	0,0031	ns
Ca	Eh	0,0829	ns
Ca	Alcalinidade	0,1227	ns
Ca	SO <sub>4</sub>	0,9891	**
Ca	HCO <sub>3</sub>	0,1637	ns
Ca	NH <sub>3</sub>	0,1683	ns
Alcalinidade	NO <sub>3</sub>	-0,1845	ns
Alcalinidade	CO <sub>3</sub>	-0,1325	ns
Alcalinidade	NO <sub>2</sub>	-0,1213	ns
Alcalinidade	HCO <sub>3</sub>	0,986	**
Alcalinidade	NH <sub>3</sub>	0,1879	ns
Alcalinidade	Fe	0,2001	ns

Legenda:

\*\* = significativo ao nível de 1% de significância ( $p < 0,01$ )

\* = significativo ao nível de 5% de significância ( $0,01 \leq p < 0,05$ )

ns = não significativo ( $p \geq 0,05$ )

### **Período de Estiagem**

Segundo os dados coletados no período seco (outubro de 2012), observa-se, como demonstra a **tabela 4.8**, que:

- A maioria das correlações (74/136), o que equivale a 54%, são Não Significativas, classificadas como muito fracas (62) e fracas (12);
- As correlações Significativas equivalem a 10,3% (14/136), sendo 3 fracas e 11 moderadas;
- Existem 35,3% (48/136) correlações Muito Significativas, das quais 1 é do tipo fraca, 27 são moderadas, 10 fortes e 10 muito fortes.

**Tabela 4.8 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Rio Branco – outubro de 2012.**

Correlação - Outubro de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação ( $\rho$ )	Significância
STD	NH <sub>3</sub>	0,467	**
STD	Eh	-0,1828	ns
STD	Fe	0,5339	**
STD	NO <sub>2</sub>	0	ns
STD	CO <sub>3</sub>	0,7749	**
STD	pH	0,0773	ns
STD	NO <sub>3</sub>	0,1099	ns
STD	HCO <sub>3</sub>	0,4557	*
STD	Alcalinidade	0,4626	*
SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	-0,16	ns
SO <sub>4</sub>	Eh	-0,1555	ns
SO <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>	0,4896	**
SO <sub>4</sub>	Fe	0,594	**
SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	0,4123	*
SO <sub>4</sub>	CO <sub>3</sub>	0,8687	**
SO <sub>4</sub>	pH	0,1141	ns
SO <sub>4</sub>	Alcalinidade	0,4545	*
SO <sub>4</sub>	CE	0,9264	**
SO <sub>4</sub>	STD	0,9322	**
pH	NO <sub>3</sub>	-0,1555	ns
pH	Alcalinidade	0,473	**
pH	HCO <sub>3</sub>	0,497	**
pH	NO <sub>2</sub>	0	ns
pH	Eh	0,0294	ns
pH	NH <sub>3</sub>	0,0645	ns
pH	Fe	0,1447	ns
pH	CO <sub>3</sub>	0,2952	ns
NO <sub>3</sub>	Fe	-0,1883	ns
NO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	-0,1142	ns
NO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	-0,0882	ns
NO <sub>3</sub>	NH <sub>3</sub>	0,0056	ns
NO <sub>2</sub>	Fe	-0,8091	**
NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	-0,7707	**
NO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	-0,3587	**

**Tabela 4.8 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Rio Branco – outubro de 2012 (Continuação).**

Correlação - Outubro de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
NO <sub>2</sub>	CO <sub>3</sub>	0	ns
NO <sub>2</sub>	HCO <sub>3</sub>	0	ns
NH <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	0,3801	*
NH <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	0,5872	**
NH <sub>3</sub>	Fe	0,3376	ns
Na	Eh	-0,1965	ns
Na	pH	-0,0531	ns
Na	Cl	0,4961	**
Na	Mg	0,5723	**
Na	K	0,5949	**
Na	SO <sub>4</sub>	0,6134	**
Na	STD	0,8019	**
Na	Ca	0,4236	*
Na	CE	0,828	**
Na	NH <sub>3</sub>	0,1754	ns
Na	NO <sub>3</sub>	0,2385	ns
Na	Alcalinidade	0,2597	ns
Na	Fe	0,2756	ns
Na	CO <sub>3</sub>	0,2885	ns
Na	HCO <sub>3</sub>	0,2906	ns
Mg	HCO <sub>3</sub>	0,4708	**
Mg	Alcalinidade	0,4816	**
Mg	Eh	-0,1044	ns
Mg	NH <sub>3</sub>	0,5446	**
Mg	Fe	0,6213	**
Mg	CO <sub>3</sub>	0,8975	**
Mg	SO <sub>4</sub>	0,9103	**
Mg	pH	0,1462	ns
Mg	NO <sub>3</sub>	0,1509	ns
Mg	CE	0,914	**
Mg	Cl	0,1545	ns
Mg	STD	0,9271	**
K	pH	-0,4472	*
K	NO <sub>2</sub>	-0,4576	**
K	STD	0,4975	**
K	CE	0,5193	**

**Tabela 4.8 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Rio Branco – outubro de 2012 (Continuação).**

Correlação - Outubro de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação ( $\rho$ )	Significância
K	Fe	-0,0023	ns
K	Eh	0,033	ns
K	HCO <sub>3</sub>	0,049	ns
K	Alcalinidade	0,0522	ns
K	SO <sub>4</sub>	0,3985	*
K	NH <sub>3</sub>	0,0588	ns
K	CO <sub>3</sub>	0,0589	ns
K	Cl	0,1023	ns
K	NO <sub>3</sub>	0,1566	ns
K	Ca	0,194	ns
K	Mg	0,3367	ns
Fe	CO <sub>3</sub>	0,7054	**
Fe	HCO <sub>3</sub>	0,4166	*
Eh	NH <sub>3</sub>	-0,2051	ns
Eh	CO <sub>3</sub>	-0,0841	ns
Eh	Fe	-0,0443	ns
Eh	NO <sub>2</sub>	0	ns
Eh	HCO <sub>3</sub>	0,0101	ns
Eh	Alcalinidade	0,0197	ns
Eh	NO <sub>3</sub>	0,031	ns
CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	0,5159	**
Cl	SO <sub>4</sub>	-0,0937	ns
Cl	Eh	-0,0612	ns
Cl	CO <sub>3</sub>	-0,0531	ns
Cl	pH	0,0359	ns
Cl	NO <sub>3</sub>	0,662	**
Cl	NH <sub>3</sub>	0,0534	ns
Cl	Fe	0,0682	ns
Cl	Alcalinidade	0,0768	ns
Cl	HCO <sub>3</sub>	0,171	ns
Cl	STD	0,2395	ns
Cl	CE	0,2505	ns
CE	Eh	-0,1825	ns
CE	Fe	0,5286	**
CE	NO <sub>2</sub>	0	ns

**Tabela 4.8** – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Rio Branco – outubro de 2012 (Continuação).

Correlação - Outubro de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação ( $\rho$ )	Significância
CE	CO <sub>3</sub>	0,7497	**
CE	pH	0,0553	ns
CE	HCO <sub>3</sub>	0,4364	*
CE	Alcalinidade	0,4424	*
CE	NH <sub>3</sub>	0,4451	*
CE	NO <sub>3</sub>	0,1093	ns
CE	STD	0,998	**
Ca	Eh	-0,1166	ns
Ca	NO <sub>3</sub>	-0,095	ns
Ca	Cl	-0,0408	ns
Ca	HCO <sub>3</sub>	0,5207	**
Ca	Alcalinidade	0,5558	**
Ca	NH <sub>3</sub>	0,5653	**
Ca	Fe	0,6688	**
Ca	CE	0,8428	**
Ca	STD	0,8625	**
Ca	SO <sub>4</sub>	0,9371	**
Ca	Mg	0,9411	**
Ca	pH	0,2637	ns
Ca	CO <sub>3</sub>	0,9816	**
Alcalinidade	NO <sub>3</sub>	-0,1878	ns
Alcalinidade	NH <sub>3</sub>	0,3805	*
Alcalinidade	CO <sub>3</sub>	0,5556	**
Alcalinidade	NO <sub>2</sub>	0	ns
Alcalinidade	Fe	0,4453	*
Alcalinidade	HCO <sub>3</sub>	0,9862	**

Legenda:

\*\* = significativo ao nível de 1% de significância ( $p < 0,01$ )

\* = significativo ao nível de 5% de significância ( $0,01 \leq p < 0,05$ )

ns = não significativo ( $p \geq 0,05$ )

### **Conclusão sobre as correlações nas duas campanhas**

Das 136 correlações de parâmetros químicos apresentadas em cada uma das campanhas, conforme **tabelas 4.7 e 4.8**, verifica-se que em termos médios 65,4% (76,5% no período chuvoso e 54% no período de estiagem) são Não Significativas. As correlações Significativas representam apenas 8,1% do total (5,9% no período chuvoso e 10,3% no período seco), enquanto que as correlações Muito Significativas, resultantes do Teste t ao nível de 1%, correspondem a 26,5% do total (17,6% no período chuvoso e 35,3% na estiagem).

As correlações existentes entre Na (sódio), K (potássio), Ca (cálcio), Mg (magnésio), Cl (cloreto), CE (condutividade elétrica) e STD (sólidos totais dissolvidos) indicam influência do intemperismo químico, por conta da baixa presença de íons, haja vista que os seus teores foram encontrados em poucas quantidades, o que corrobora com a ideia de que esses elementos foram liberados há anos ao longo da interação água x rocha, e que se apresentam extremamente diluídos devido a elevada precipitação associada a constante renovação das águas na planície amazônica.

Os parâmetros Na (sódio), K (potássio), Cl (cloreto), CE (condutividade elétrica), STD (sólidos totais dissolvidos), NO<sub>3</sub> (nitrato), NH<sub>3</sub> (amônia) e SO<sub>4</sub> (sulfato) apresentaram correlação entre si, o que sugere poluição nas águas subterrâneas oriunda de atividade antrópica, principalmente lançamento de esgoto *in natura*, haja vista que tais constituintes representam uma medida indireta de concentração de poluentes. Além disso, as correlações altamente significativas envolvendo as variáveis nitrato e amônia se devem principalmente ao contato das águas subterrâneas com as fossas negras, vazamento nas redes coletoras de esgoto e influência de rios próximos à área de captação dos poços. Tal justificativa é plausível na área de estudo, haja vista a ausência de esgotamento sanitário e a falta de proteção sanitária na instalação dos poços.

#### **4.7 – Interpretação dos Resultados Analíticos das Águas Subterrâneas do Aquífero Rio Branco**

##### **4.7.1 – Cor**

A estatística descritiva da cor, realizada seguindo a metodologia definida no **item 1.6**, é apresentada na **tabela 4.9**.

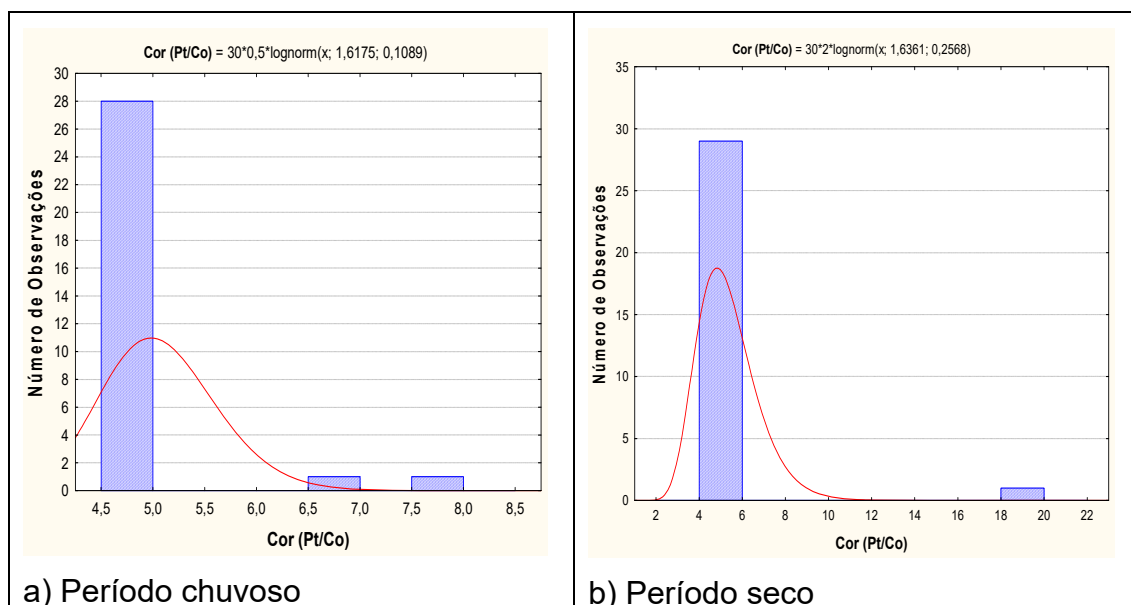
Os resultados obtidos no aquífero Rio Branco na primeira campanha mostraram em 93% (28/30) das amostras coletadas, valores de cor < 5, ou seja, inferiores ao LD (limite de detecção).

Na segunda campanha foram 97% (29/30) de valores de cor < 5. Os dois valores quantificáveis encontrados no período chuvoso foram 7 e 8 uH, respectivamente nos poços RBR01 e RBR08, enquanto que o valor encontrado no período seco foi de 20 uH, no poço RBR21, estando esse último acima do VMP. Tal resultado é atribuído aos elevados teores de turbidez (9,5 uT) e ferro (1,3 mg/L), que ultrapassam o VMP da Portaria MS 2914/2011.

**Tabela 4.9** – Estatística descritiva da cor das águas do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (Cor-1) - abril de 2012 e no período seco (Cor-2) - outubro de 2012.

Cor	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
Cor-1	30	5,1	4,8	5,3	4,9	4,9	8,0	0,7	0,1	3,9
Cor-2	30	5,4	4,4	6,4	4,9	4,9	20,0	2,8	0,5	5,5

Os histogramas de frequência modelados por uma Função de Distribuição de Probabilidade (fdp) lognormal são mostrados na **figura 4.3**.



**Figura 4.3** – Histogramas de frequência e curvas lognormais ajustadas de distribuição de probabilidade da Cor no Aquífero Rio Branco, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

A razão entre as estimativas feitas com diferentes níveis de risco através do modelo proposto (**tabela 4.10**) mostra um bias estatístico na média. Considerando o fato que 93% e 97%, respectivamente, na primeira e segunda campanha ficaram abaixo do LD, esse bias estatístico provavelmente não pode ser atribuído à influência da sazonalidade. Dentre os valores quantificáveis, o poço RBR21 apresentou resultado anômalo (20 uH) quando comparado aos demais, o que sugere influência antrópica, pois no aquífero Rio Branco predominam poços rasos, mal construídos e vulneráveis à penetração de águas superficiais no período chuvoso.

**Tabela 4.10** – Distribuição de probabilidade da cor no Aquífero Rio Branco no período chuvoso (Cor-1) - abril de 2012 e no período seco (Cor-2) - outubro de 2012.

P(x≥a)	0,5	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99
Cor-1	5	4,6	4,4	4,2	4	3,9
Cor-2	5,1	4,1	3,7	3,4	3	2,8
Razão	0,98	1,12	1,19	1,24	1,33	1,39

#### 4.7.2 – Turbidez

No período chuvoso a turbidez variou de um mínimo de 0,09 até um máximo de 89 uT, que desvia fortemente os parâmetros da estatística descritiva (**tabela 4.11**), produzindo uma média de 7,3 e mediana de 1,4 uT. Já no período seco a variação foi de 0,09 a 11 uT, com média de 1,6 e mediana de 0,5 uT.

**Tabela 4.11** – Estatística descritiva da turbidez do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (Tu-1) - abril de 2012 e no período seco (Tu-2) - outubro de 2012.

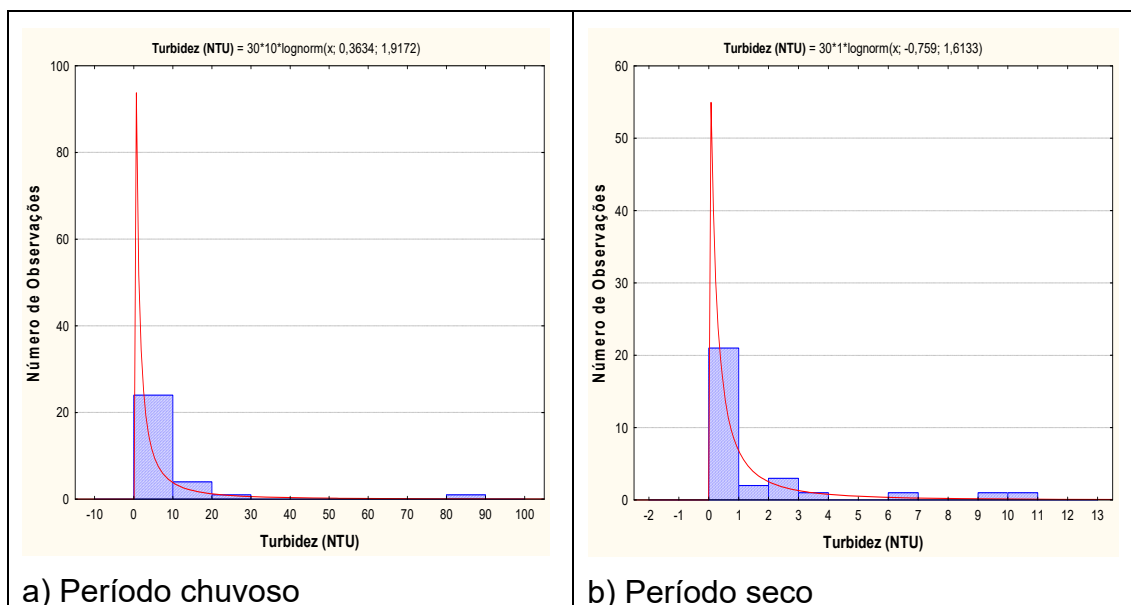
Tu	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
Tu-1	30	7,3	1,0	13,5	1,4	0,09	89,0	16,8	3,1	4,3
Tu-2	30	1,6	0,6	2,6	0,5	0,09	11,0	2,7	0,5	2,5

No período chuvoso, em 30% (9/30) das amostras de água do aquífero Rio Branco foram detectados valores de turbidez (uT) acima do VMP. No período de estiagem, apenas 10% (3/30) das análises apresentaram turbidez acima do VMP. Isso ocorre principalmente na época de cheias, onde a água da chuva que escoar pelo solo, carrega consigo sedimentos que permanecem em suspensão na água tornando-a mais turva, as quais entram em contato com as águas subterrâneas por meio dos poços mal protegidos.

Os valores de algumas amostras ficaram abaixo do LD (limite de detecção), ou seja, < 0,1 uT, em 17% e 40% das análises, no período chuvoso e de estiagem, respectivamente.

Na **tabela 4.12** são apresentados os resultados da modelagem dos histogramas da **figura 4.4** por uma fdp lognormal, expressos pela razão entre os valores estimados com diferentes probabilidades de ocorrência no período chuvoso e no período de estiagem, respectivamente. Nota-se que, o modelo adotado sugere sem viés estatístico que há influência da sazonalidade nos valores da turbidez no período chuvoso. Isto se deve ao fato de que as águas superficiais provenientes do *run-off* são mais ricas em sedimentos em suspensão e a falta de proteção dos poços tubulares favorece uma maior comunicação das águas superficiais com as águas subterrâneas.





**Figura 4.4** – Histogramas de frequência e curvas normais ajustadas de distribuição de probabilidade da Turbidez do Aquífero Rio Branco, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

**Tabela 4.12** – Distribuição de probabilidade da turbidez do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (Tu-1) - abril de 2012 e no período seco (Tu-2) - outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Tu-1	1,44	0,29	0,12	0,06	0,03	0,02
Tu-2	0,47	0,12	0,06	0,03	0,02	0,01
Razão	3,06	2,42	2,00	2,00	1,50	2,00

As águas subterrâneas normalmente não apresentam problemas em relação a turbidez, porém, em alguns casos, águas ricas em íons Fe podem apresentar uma elevação de sua turbidez quando entram em contato com o oxigênio do ar (Narciso & Gomes, 2004), o que é plausível na área de estudo.

#### 4.7.3 – Condutividade Elétrica (CE)

A condutividade elétrica (CE) das águas do aquífero Rio Branco, de acordo com a estatística descritiva (**tabela 4.13**), variou no ano de 2012 de 20  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 688  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no período chuvoso, com média de 145,3 e mediana de 112,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . No período seco a variação entre o mínimo e o máximo foi de 19  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 992  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , com média 153,8 e mediana de 83  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Convém assinalar que os valores, em sua maioria, são baixos (reflexo principalmente do clima chuvoso e da frequência das chuvas, que assegura uma quase permanente renovação das águas dos aquíferos e dos rios na Amazônia). No caso, observa-se que os valores da CE, em 70% dos pontos amostrados no período chuvoso e em 80% dos pontos amostrados na estiagem, são menores do que 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , que é considerado muito baixo.

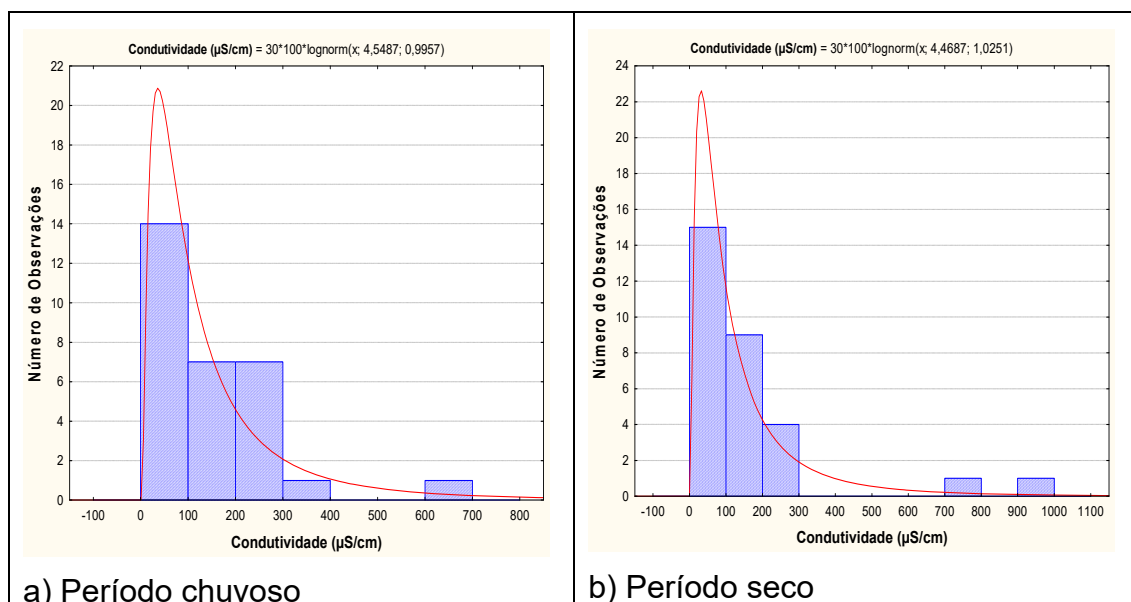
**Tabela 4.13** – Estatística descritiva da Condutividade Elétrica do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (CE-1) - abril de 2012 e no período seco (CE-2) – outubro de 2012.

CE	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
CE-1	30	145,3	93,9	196,8	112,5	20	688	137,8	25,2	2,2
CE-2	30	153,8	75,0	232,6	83,0	19	992	211,2	38,6	3,0

Os valores de CE acima de 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  encontrados no período chuvoso em 30% (9/30) das amostras e 20% (6/30) no período seco são coerentes, pois segundo Esteves (1998), a condutividade elétrica depende da composição iônica dos corpos d'água e pode ser influenciada também pelo volume de chuvas, o que é bastante frequente na região estudada.

Apesar de existirem valores altos de CE > 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , de acordo com Celligoi (1999), quanto à condutividade elétrica, as águas subterrâneas podem ser classificadas em água destilada, quando a CE varia de 0,5 a 2  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; água potável, quando a CE varia de 50 a 1.500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; e água poluída, quando a CE é > 10.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Nesse caso, as águas do aquífero Rio Branco, em ambos os períodos de coleta, podem ser classificadas como potáveis.

Os histogramas de frequência da condutividade elétrica nos dois períodos de amostragem (ilustrados na **figura 4.5**) foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal. Esse modelo de fdp permite concluir com risco calculado (**tabela 4.14**) que os valores de CE estimados para o período chuvoso são maiores do que os de estiagem e sugerem influência da sazonalidade.



**Figura 4.5** – Histogramas de frequência e curvas lognormais de distribuição de probabilidade da Condutividade Elétrica do Aquífero Rio Branco, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Tais resultados são justificáveis, pois no período chuvoso as águas encontram-se ricas em sólidos dissolvidos, o que também contribui para a elevação da CE.

Outro fator que também pode explicar a elevação da condutividade elétrica no período chuvoso é a ausência de esgotamento sanitário na área de estudo, que

contribui para que as águas superficiais provenientes do *run off* se misturem com o esgoto lançado a céu aberto, contaminando as águas subterrâneas do aquífero Rio Branco. Tal assertiva pode ser ratificada pela correlação significativa entre as variáveis CE, STD e SO<sub>4</sub>, como pode ser observado no **item 4.6**.

**Tabela 4.14** – Distribuição de probabilidade da Condutividade Elétrica do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (CE-1) - abril de 2012 e no período seco (CE-2) - outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
CE-1	94,5	40,9	26,4	18,4	12,2	9,3
CE-2	87,2	36,8	23,5	16,2	10,6	8
Razão	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2

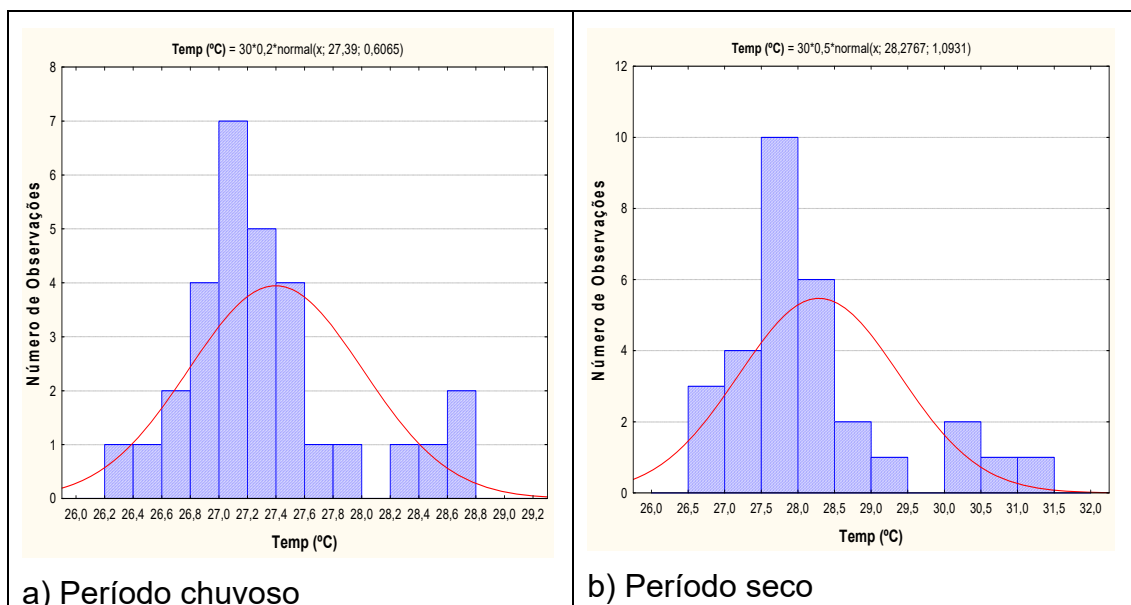
#### 4.7.4 – Temperatura

A estatística descritiva da temperatura das águas subterrâneas do aquífero Rio Branco (**tabela 4.15**) indica que no período chuvoso a temperatura das águas coletadas no aquífero variou de 26,4°C a 28,8 °C, apresentando uma amplitude térmica de 2,4°C. No período de estiagem as temperaturas foram mais altas, variando de 26,9°C a 31,1°C, com uma amplitude térmica bem maior, de 4,2°C. A média e a mediana no período chuvoso assumem praticamente o mesmo valor, respectivamente com 27,4°C e 27,3°C, enquanto que no período seco, os respectivos valores são igualmente muito próximos 28,3°C e 28,0°C, caracterizando uma distribuição normal. Os valores máximos encontrados em ambos os períodos de coleta possivelmente decorrem da influência da temperatura ambiente sobre as águas subterrâneas, uma vez que as águas do aquífero Rio Branco são pouco profundas e influenciadas pelas águas superficiais.

**Tabela 4.15** – Estatística descritiva da Temperatura (°C) do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (T-1) - abril de 2012 e no período seco (T-2) - outubro de 2012.

T (°C)	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
T-1	30	27,4	27,2	27,6	27,3	26,4	28,8	0,6	0,1	1,0
T-2	30	28,3	27,9	28,7	28,0	26,9	31,1	1,1	0,2	1,3

Os histogramas de frequência da temperatura das águas subterrâneas do aquífero Rio Branco, modelados por curvas normais de distribuição de probabilidade na amostragem do período chuvoso (abril de 2012) e do período de estiagem (outubro de 2012), são mostrados na **figura 4.6**.



**Figura 4.6** – Histogramas de frequência e curvas normais de distribuição de probabilidade da Temperatura (°C) do Aquífero Rio Branco, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Os resultados da **tabela 4.16** permitem concluir que as temperaturas das águas subterrâneas do aquífero Rio Branco são quase iguais em ambos os períodos de coleta, sugerindo que não há influência da sazonalidade, haja vista que a razão entre os valores das campanhas é da ordem de 1 (um).

**Tabela 4.16** – Distribuição de probabilidade do T(°C) do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (T-1) - abril de 2012 e no período seco (T-2) - outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
T-1	27,4	26,9	26,6	26,4	26,1	26
T-2	28,3	27,4	26,9	26,5	26	25,7
Razão	0,97	0,98	0,99	1,00	1,00	1,01

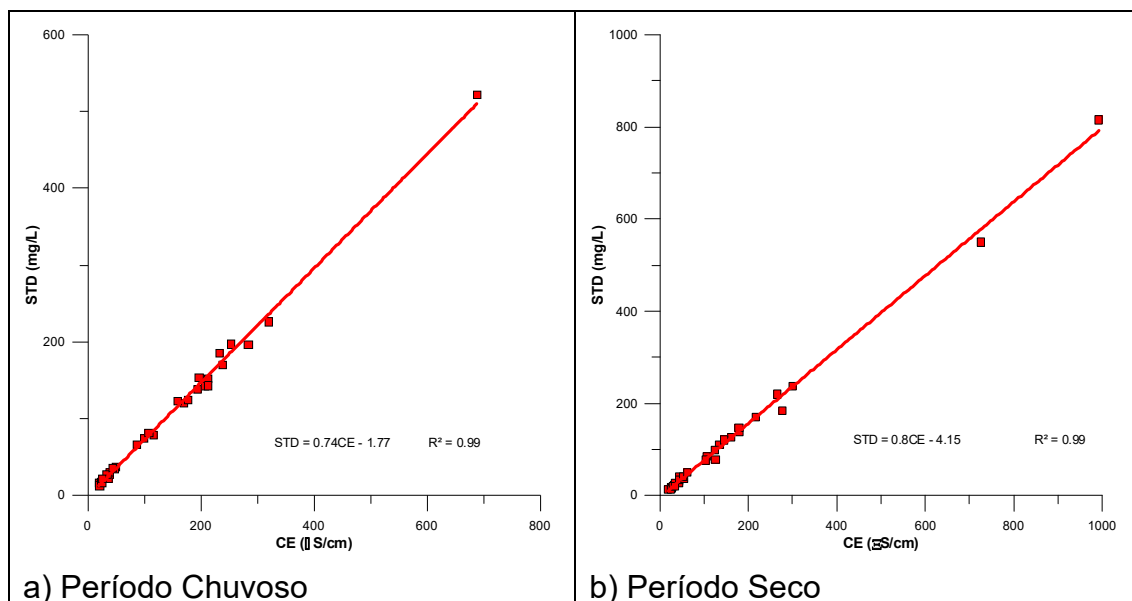
#### 4.7.5 – Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

De acordo com Suassuna (2007), na maioria das águas naturais, os sólidos totais dissolvidos (STD) se relacionam com a condutividade elétrica (CE) através de uma equação linear com coeficiente angular situado na faixa de 0,55 a 0,75 (**item 2.5**). No caso do aquífero Rio Branco, os dados desses parâmetros são apresentados na **tabela 4.17**.

**Tabela 4.17** – Valores de condutividade elétrica CE ( $\mu\text{S/cm}$ ) e sólidos totais dissolvidos STD (mg/L) no aquífero Rio Branco, na primeira e na segunda campanha de amostragem.

Poço	Abril de 2012		Outubro de 2012	
	CE ( $\mu\text{S/cm}$ )	STD (mg/L)	CE ( $\mu\text{S/cm}$ )	STD (mg/L)
RBR01	20	16	992	815
RBR02	21	16	726	550
RBR03	36	22	135	110
RBR04	21	13	62	50
RBR05	207	142	56	36
RBR06	100	75	30	21
RBR07	39	28	43	35
RBR08	50	37	180	138
RBR09	238	170	45	40
RBR10	25	17	32	23
RBR11	39	30	107	85
RBR12	47	34	161	126
RBR13	213	152	300	237
RBR14	688	521	265	220
RBR15	170	120	35	21
RBR16	194	138	124	98
RBR17	284	196	28	16
RBR18	213	143	25	14
RBR19	320	226	179	148
RBR20	117	79	146	121
RBR21	34	27	126	79
RBR22	233	185	217	170
RBR23	178	124	44	28
RBR24	44	36	104	77
RBR25	87	66	19	14
RBR26	159	123	34	27
RBR27	197	153	53	41
RBR28	253	197	26	17
RBR29	108	81	44	33
RBR30	26	22	277	185

Na correlação linear estabelecida com os dados da **tabela 4.17**, os coeficientes angulares encontrados são, respectivamente, iguais a 0,74 no período chuvoso e 0,8 no período seco, como ilustrado na **figura 4.7**. Isso demonstra que nas águas do aquífero Rio Branco existe uma forte correlação linear entre STD e CE, conforme revelam os valores dos coeficientes de determinação da regressão ( $R^2$ ), iguais a 0,99 nas duas campanhas de amostragem.



**Figura 4.7** – Relações entre a condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos no aquífero Rio Branco, no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012).

Os teores de STD nas águas subterrâneas do aquífero Rio Branco, segundo a estatística descritiva mostrada na **tabela 4.18**, variam no período chuvoso de 13 mg/L a 521 mg/L, com média de 106,3 mg/L e mediana de 80 mg/L. No período de estiagem o mínimo observado foi 14 mg/L e o máximo 815 mg/L, com média de 119,2 mg/L e mediana de 63,5 mg/L. Os valores de STD obtidos nas duas campanhas estão abaixo do VMP da Portaria MS 2914/2011, que recomenda o valor de 1.000 mg/L como padrão organoléptico de potabilidade. Em ambas as campanhas, todas as amostras apresentaram resultados de STD abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 396/2008, de 1.000.000 µg.L<sup>-1</sup>, indicando que as águas podem ser usadas para consumo humano, em relação a esse parâmetro.

De modo geral, os valores de STD obtidos nas águas do aquífero Rio Branco são baixos, o que pode ser justificado pela constante renovação das águas associada à elevada precipitação pluviométrica, da ordem de 2.000 mm/ano, e do grande número de dias de chuvas.

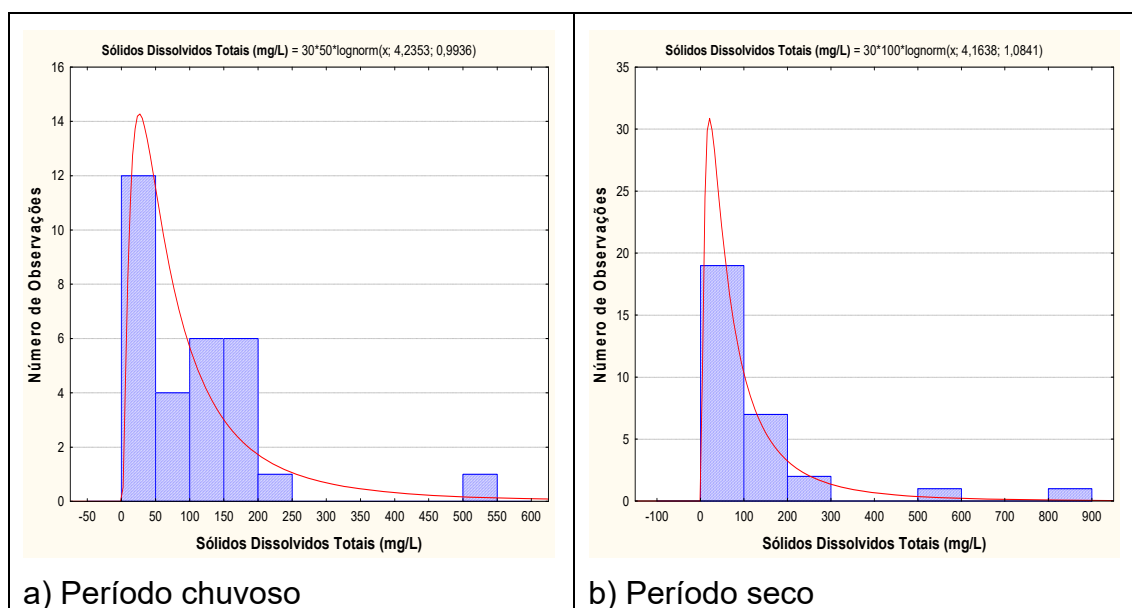
**Tabela 4.18** – Estatística descritiva dos Sólidos Dissolvidos Totais do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (STD-1) - abril de 2012 e no período seco (STD-2) - outubro de 2012.

STD	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
STD-1	30	106,3	67,9	144,7	80,0	13	521	102,7	18,8	2,3
STD-2	30	119,2	55,8	182,5	63,5	14	815	169,6	31,0	3,1

De acordo com Parron *et al.* (2011), o STD serve como um indicador agregado da presença de produtos químicos contaminantes na água, haja vista que as suas fontes primárias podem ser de origem agrícola, residencial, de lixiviados de contaminação do solo, de fontes pontuais de descarga de poluição das águas industriais ou estações de tratamento de esgoto.

Desse modo, fica evidente que os teores mais altos de STD encontrados nas águas do aquífero Rio Branco, principalmente no período chuvoso, são devido a possíveis fontes de contaminação do lençol freático, principalmente no que se refere à ausência de esgotamento sanitário, haja vista que a área de estudo está inserida em local bastante urbanizado.

As funções lognormais de distribuição de probabilidade que modelam os histogramas de frequência dos sólidos totais dissolvidos na primeira e na segunda campanha de amostragem no aquífero Rio Branco (**figura 4.8**) permitiram avaliar, com risco calculado, que no período chuvoso a concentração de STD é maior do que no período de estiagem (**tabela 4.19**) indicando uma influência da sazonalidade, haja vista que o valor da razão entre as duas campanhas é superior a 1 (um).



**Figura 4.8** – Histogramas de frequência modelados por funções lognormais de distribuição de probabilidade dos Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero Rio Branco, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Os resultados acima apresentados indicam que na época de estiagem as águas subterrâneas se apresentam mais diluídas e, portanto, com menores valores de STD. Outro fator que contribui para o elevado teor de STD no período chuvoso são as inundações periódicas do Rio Acre sobre a planície aluvial da margem direita do rio Acre, onde podem ocorrer transbordamentos de fossas sépticas, as quais entram em contato com as águas de escoamento superficial que posteriormente se infiltram contaminando as águas subterrâneas.

**Tabela 4.19** – Distribuição de probabilidade dos Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (STD-1) - abril de 2012 e no período seco (STD-2) - outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
STD-1	69,1	29,9	19,3	13,5	9,0	6,8
STD-2	64,3	25,8	16,0	10,8	6,9	5,2
Razão	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3

#### 4.7.6 – Potencial Hidrogeniônico (pH)

Segundo a Resolução CONAMA 396/2008 e a Portaria MS 2914/11 não há um limite máximo de pH definido para o consumo humano. Contudo, a Portaria MS 2914/11, no art. 39, § 1º, recomenda que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5 para atender aos padrões organolépticos de potabilidade. No caso específico do aquífero Rio Branco, para os 30 poços cujas águas foram analisadas quimicamente, o pH é ácido no momento da coleta, mas tão logo sofre aeração no reservatório ou até mesmo dentro do próprio poço, tende a atingir a neutralidade e ao final normalmente se enquadra na faixa prescrita pela Portaria MS 2914/11.

De acordo com a estatística descritiva mostrada na **tabela 4.20**, nas águas subterrâneas do aquífero Rio Branco, os valores de pH *in situ* encontrados no período chuvoso ficaram compreendidos entre 4,0 e 6,7, com média e mediana iguais a 4,9, indicando uma distribuição normal. No período seco, os valores oscilaram entre um mínimo de 3,0 e um máximo de 5,6, apresentando média e mediana de 4,7.

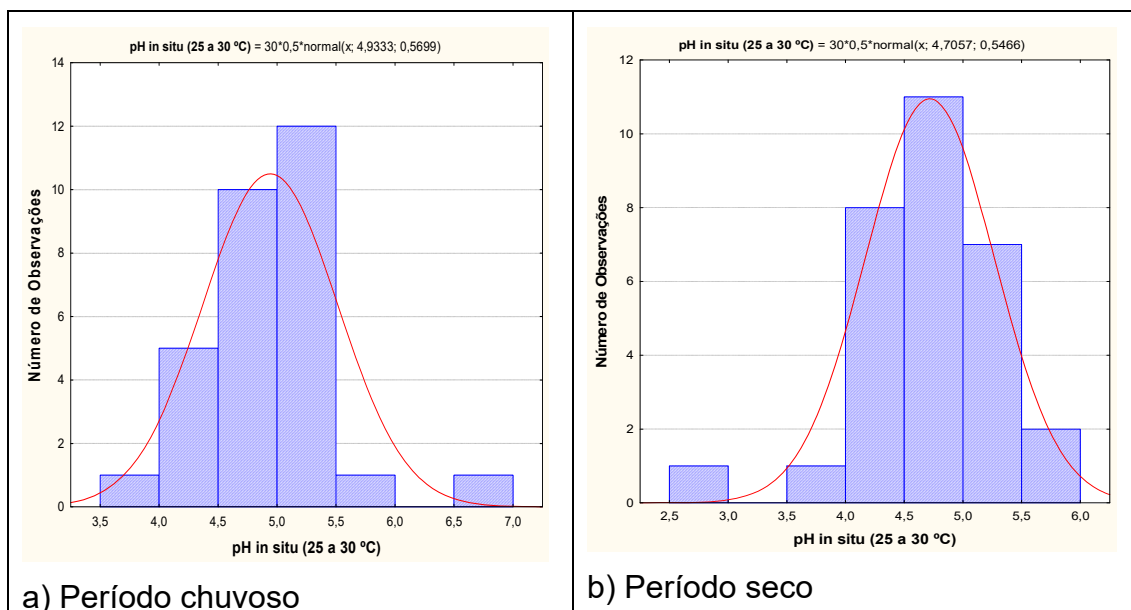
**Tabela 4.20** – Estatística descritiva do pH *in situ* no período chuvoso – abril de 2012 (pH-1) e no período seco – outubro de 2012 (pH-2).

pH	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
pH-1	30	4,9	4,7	5,1	4,9	4,0	6,7	0,6	0,1	0,9
pH-2	30	4,7	4,5	4,9	4,7	3,0	5,6	0,6	0,1	-1,0

O aumento da acidez das águas do aquífero Rio Branco no período de estiagem corrobora com a referência de Piveli (2004), o qual afirma que o pH representa a atividade do íon hidrogênio na água, de forma logaritmizada, resultante inicialmente da dissociação da própria molécula da água e posteriormente acrescida pelo hidrogênio proveniente de outras fontes como efluentes industriais (ácidos sulfúrico, clorídrico, nítrico, etc.), dissociação de ácidos orgânicos como o ácido acético, que resulta da “fase ácida” da decomposição anaeróbica da matéria orgânica, bem como outras substâncias que venham a apresentar reação ácida com o solvente (água).

Os histogramas de frequência e respectivas curvas ajustadas à lei normal de distribuição de probabilidade para o período chuvoso de abril 2012 e para o período seco de outubro de 2012 são apresentados na **figura 4.9**.





**Figura 4.9** – Histogramas de frequência e curvas normais de distribuição de probabilidade do pH *in situ* do Aquífero Rio Branco, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

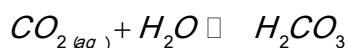
Na **tabela 4.21** são indicados, com risco calculado, os valores estimados do pH *in situ* no aquífero Rio Branco para o período chuvoso e para o período seco. Os resultados mostram que em ambos os períodos as águas se caracterizam como ácidas, mas com uma leve tendência de aumento da acidez no período seco, segundo o modelo adotado.

**Tabela 4.21** – Distribuição de probabilidade do pH *in situ* no período chuvoso – abril de 2012 (pH-1) e no período seco – outubro de 2012 (pH-2).

$P(x \geq a)$	0,5	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99
pH-1	4,9	4,5	4,2	4	3,8	3,6
pH-2	4,7	4,2	4	3,8	3,6	3,4
Razão	1,04	1,07	1,05	1,05	1,06	1,06

Essa tendência de aumento da acidez no período de estiagem pode ser resultado da presença do gás carbônico, um componente habitual da acidez das águas naturais, que apesar de não chegar a provocar profundas condições de acidez nas águas, é um elemento importante por estar sempre presente, mediante sua dissolução na água proveniente da atmosfera, por diferença de pressão parcial (Lei de Henry) ou por resultar, em caso de águas poluídas, da decomposição aeróbia ou anaeróbia da matéria orgânica. Isto ocorre também no hipolímnio de lagos estratificados e em águas subterrâneas, especialmente aquelas com níveis reduzidos de carbonatos (Piveli, 2004).

De fato, a presença do  $CO_{2(aq)}$  (gás carbônico hidratado) é predominante como espécie dissolvida na água em relação ao ácido carbônico ( $H_2CO_3$ ) formado através da reação:



Segundo Snoeyink & Jenkins (1980), a concentração de ácido carbônico [ $H_2CO_3$ ] representa apenas 0,16% da concentração de gás carbônico hidratado [ $CO_{2(aq)}$ ].

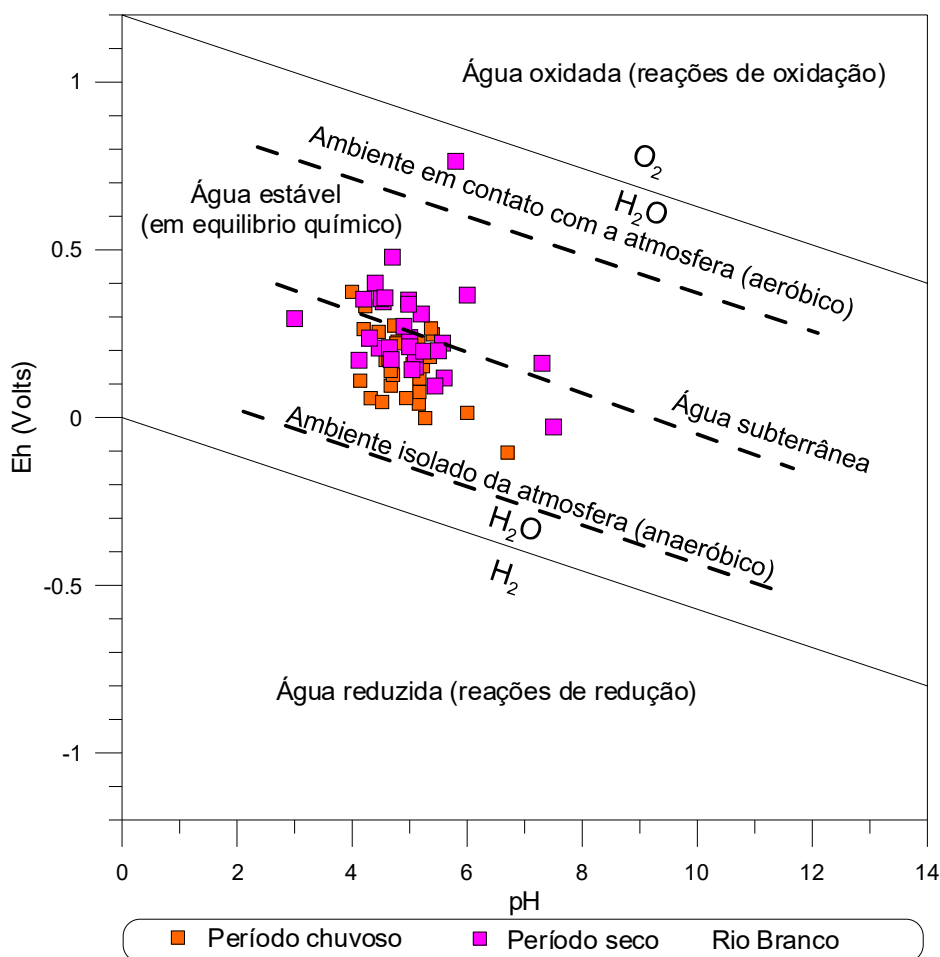
#### 4.7.7 – Potencial Redox (Eh)

No aquífero Rio Branco, os diagramas pH-Eh elaborados usando os conceitos descritos no **item 2.7** revelam os ajustes lineares (**figura 4.10**) feitos a partir dos dados medidos em campo, que foram os seguintes:

No período chuvoso:  $pH = -0,097Eh + 0,636$        $R^2 = 0,27$

No do período seco:  $pH = -0,042Eh + 0,478$        $R^2 = 0,07$

Ambos os coeficientes de determinação dos ajustes do período chuvoso e do período de estiagem são insignificantes e mostram que não existe correlação significativa entre as medidas de pH e Eh efetuadas em campo. Isto significa, para fins de modelagem termodinâmica, que a distribuição das espécies químicas não pode ser deduzida da concentração total de elementos via potencial redox medido.



**Figura 4.10** – Diagrama pH versus Eh (mV), de amostras de águas subterrâneas dos poços monitorados no aquífero Rio Branco (temperatura *in situ* variou de 26 a 34°C) nas duas campanhas de amostragem.

O potencial redox é, por definição, a energia ganha na transferência de 1 mol de elétrons de um oxidante para  $H_2$ . O  $h$  em  $Eh$  indica que o potencial é na escala do hidrogênio e o E simboliza a força eletromotriz (Freeze & Cherry, 1979).

A estatística descritiva do Eh do aquífero Rio Branco, expressa na **tabela 4.22**, mostra que no período chuvoso os valores de Eh oscilaram entre -104,1 e 374,8 mV, com uma média de 156,1 mV. No período de estiagem os valores se apresentaram mais altos, oscilando entre -28 e 764 mV, com média de 262,5 mV.

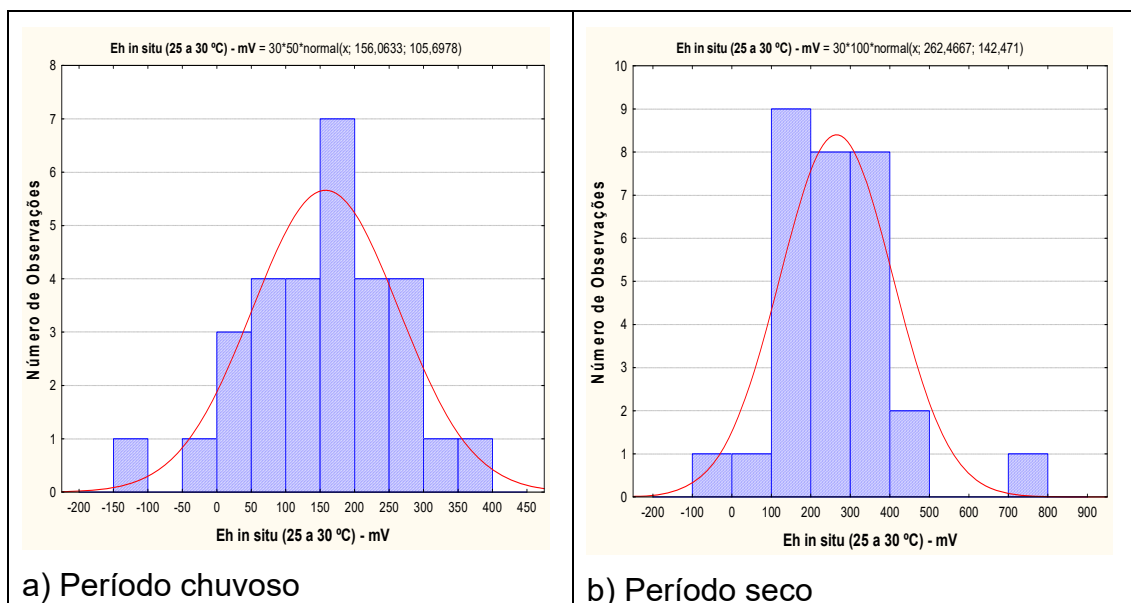
**Tabela 4.22** – Estatística descritiva do Eh no período chuvoso – abril de 2012 (Eh-1) e no período seco – outubro de 2012 (Eh-2).

Eh (mV)	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
EH-1	30	156,1	116,6	195,5	165,5	-104,1	374,8	105,7	19,3	-0,2
EH-2	30	262,5	209,3	315,7	229,5	-28	764,0	142,5	26,0	1,3

No período chuvoso, 93% (28/30) das amostras apresentaram resultados de Eh positivo, enquanto que no período de estiagem, 97% (29/30) das amostras obtiveram valores de Eh positivos, indicando que as águas do aquífero Rio Branco se encontram em condições oxidantes.

De acordo com Bohn (1970) *in* Lima *et al.* (2005), o potencial redox ou atividade de elétrons influencia o estado de oxidação do hidrogênio, carbono, nitrogênio, oxigênio, enxofre, manganês, ferro, cobalto e cobre no sistema aquoso e representa uma medida quantitativa da tendência de um dado sistema oxidar ou reduzir substâncias ou elementos susceptíveis a esses fenômenos. Valores altos e positivos do potencial indicam uma baixa atividade de elétrons e, portanto, condições oxidantes; enquanto valores baixos e negativos do potencial, condições redutoras. Dessa forma, um sistema natural raramente alcançará o equilíbrio entre oxidação e redução, em razão da contínua adição de doadores de elétrons, isto é, compostos orgânicos oxidáveis, o que acarreta, no caso do aquífero Rio Branco, as diferenças de valores de Eh nas duas campanhas.

Os histogramas de frequência e as respectivas curvas de distribuição de probabilidade do Eh, modelados pela lei normal, são apresentados na **figura 4.11**.



**Figura 4.11** – Histogramas de frequência e curvas normais de distribuição de probabilidade do Eh do Aquífero Rio Branco, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Os valores da razão de Eh revelados pelo modelo (considerando para os valores negativos a razão dos inversos), conforme **tabela 4.23**, mostram de forma clara que os valores do período chuvoso são menores quando comparados aos do período de estiagem, haja vista que a razão dos valores medidos nas coletas são inferiores a 1 (um).

**Tabela 4.23** – Distribuição de probabilidade do Eh no período chuvoso – abril de 2012 (Eh-1) e no período seco – outubro de 2012 (Eh-2).

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Eh-1	156,1	67,1	20,6	-17,8	-61,0	-89,8
Eh-2	262,5	142,6	79,9	28,1	-30,1	-69,0
Razão	0,6	0,5	0,3	-0,6	0,49	0,77

Os resultados de Eh obtidos no aquífero Rio Branco são coerentes, pois de acordo com Costa & Ávila (2010), na zona não saturada há, geralmente, oxigênio suficiente na fase gasosa para garantir elevados valores de potencial redox (500 a 800 mV) na água. Apesar disso, condições redutoras ou parcialmente redutoras podem ocorrer em pequenos poros (micro-meios). Nos aquíferos perto da superfície as condições de oxidação prevalecem, assim, potenciais redox baixos nestes aquíferos podem indicar contaminação antropogênica. No caso do aquífero Rio Branco os valores de Eh mais elevados na estiagem são consistentes com a ideia acima apresentada, pois a zona de aeração, que no período chuvoso se encontra quase totalmente saturada por águas de infiltração em movimento, volta a ter espaços vazios preenchidos por oxigênio, o que conseqüentemente eleva o valor de Eh.

#### 4.7.8 – Cátions

##### 4.7.8.1 – Sódio

A estatística descritiva (**tabela 4.24**) indica que os teores de sódio nas águas do aquífero Rio Branco variam entre 0,3 e 61,6 mg/L no período chuvoso, com

média de 15,5 mg/L e mediana de 11,9 mg/L; no período de estiagem a média é de 15,7 mg/L e a mediana de 8,3 mg/L, com os teores compreendidos entre 0,7 e 81,5 mg/L. De acordo com a Portaria MS 2914/2011, todos os valores de sódio encontrados nas duas campanhas estão abaixo do VMP de 200 mg/L, padrão definido como de potabilidade para consumo humano.

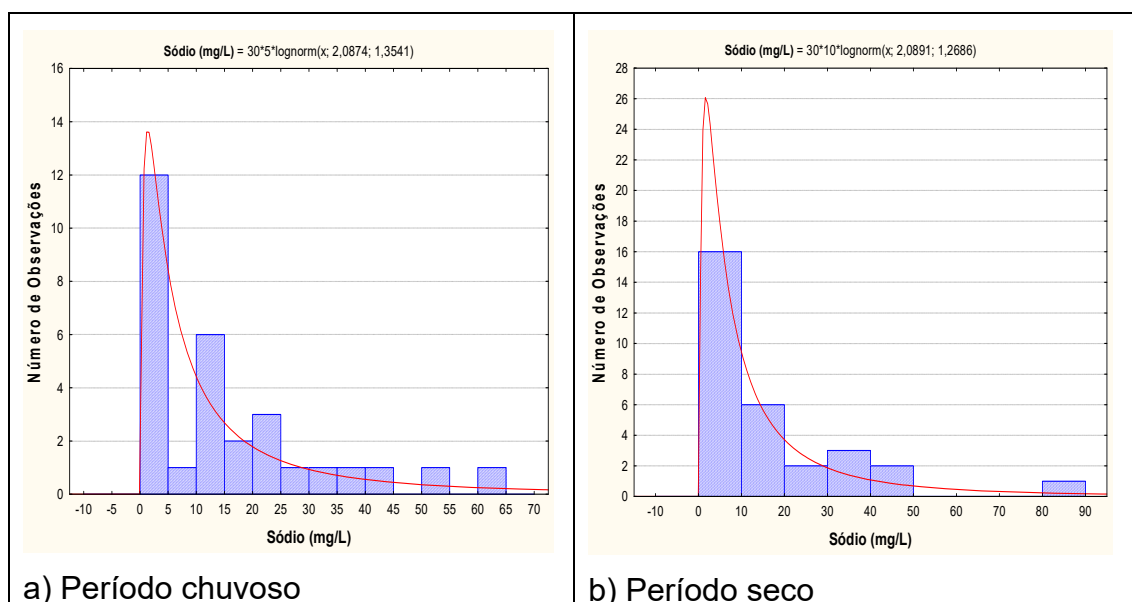
**Tabela 4.24** – Estatística descritiva do Sódio do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (Na-1) - abril de 2012 e no período seco (Na-2) – outubro de 2012.

Na	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
Na-1	30	15,5	9,6	21,3	11,9	0,3	61,6	15,7	2,9	1,4
Na-2	30	15,7	8,9	22,5	8,3	0,7	81,5	18,2	3,3	2,0

Em ambas as campanhas, todas as amostras apresentaram resultados abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 396/2008, de 200 e 300 mg/L, indicando que as águas podem ser usadas para consumo humano e recreação, respectivamente.

O modelo de distribuição probabilidade lognormal ajustado aos histogramas da **figura 4.12** permitiu estimar, com risco calculado, os valores para o período chuvoso e para o período de estiagem.

Os baixos teores de sódio encontrados em ambas as campanhas de amostragem no aquífero Rio Branco estão ligados ao intemperismo químico da região, conforme descrito no **item 1.12**, bem como à constante renovação das águas subterrâneas devido à elevada precipitação regional.



**Figura 4.12** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Sódio do Aquífero Rio Branco, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Os resultados mostrados na **tabela 4.25** indicam que os teores de sódio são ligeiramente maiores no período de estiagem. De acordo com Leprun *et al.* (1989), são os solos mais ricos provenientes das rochas cristalinas os mais intemperizados e os menos silicosos que vão dar a maior quantidade de sílica nas águas, como também a maior quantidade de cátions  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$ .

Sendo assim, o efeito da sazonalidade no caso do sódio é motivado pelo processo de transferência de íons do solo e da zona não saturada para o aquífero durante o período de recarga natural, que proporciona a renovação das águas subterrâneas após o período chuvoso.

**Tabela 4.25** – Distribuição de probabilidade do Sódio do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (Na-1) - abril de 2012 e no período seco (Na-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Na-1	8,064	2,580	1,422	0,869	0,500	0,346
Na-2	8,078	2,777	1,589	1,002	0,597	0,422
Razão	0,998	0,929	0,895	0,867	0,838	0,818

#### 4.7.8.2 – Potássio

A **tabela 4.26** mostra a estatística descritiva dos teores de potássio no aquífero Rio Branco. No período chuvoso as concentrações de potássio medidas nos 30 poços oscilaram entre 0,1 e 8,5 mg/L, com média de 1,6 mg/L e mediana de 1,1 mg/L; na estiagem, a variação foi de 0,2 a 7,4 mg/L, com média de 1,7 mg/L e mediana de 1,4 mg/L.

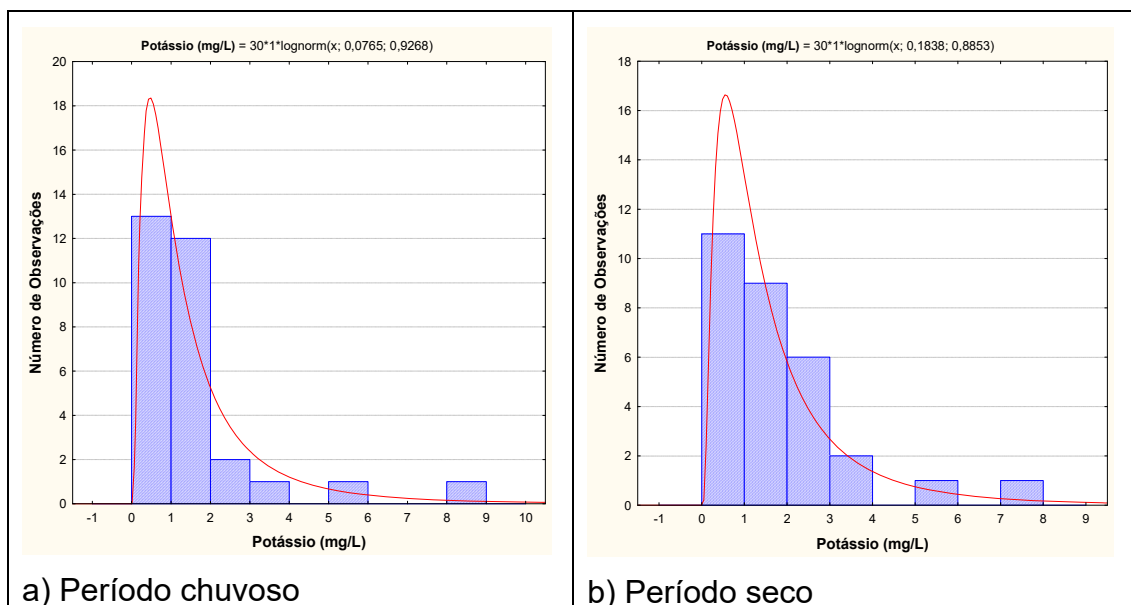
**Tabela 4.26** – Estatística descritiva do Potássio do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (K-1) - abril de 2012 e no período seco (K-2) – outubro de 2012.

K	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
K-1	30	1,6	1,0	2,3	1,1	0,1	8,5	1,7	0,3	2,7
K-2	30	1,7	1,1	2,3	1,4	0,2	7,4	1,5	0,3	2,2

Os baixos teores de potássio podem ser justificados pela alta pluviosidade na região amazônica, a qual favorece a constante renovação das águas e consequentemente a diluição dos elementos ali presentes (**item 1.12**).

Segundo Pereira *et al.* (2008) o potássio nas águas subterrâneas ocorre em pequena quantidade, normalmente valores de até 10 mg/L, pois é facilmente absorvido pelo solo através dos compostos do húmus, por intermédio de argilas ou de zeólitos naturais. Na área de estudo, os valores mínimo e máximo de potássio encontrados em ambas as campanhas foi de 0,1 e 8,5 mg/L, respectivamente.

A modelagem dos histogramas de frequência da **figura 4.13** por funções de distribuição de probabilidade permitiu avaliar com risco calculado os valores estimados das concentrações de potássio para o período chuvoso e para o período de estiagem.



**Figura 4.13** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Potássio do Aquífero Rio Branco, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Os valores apresentados na **tabela 4.27** mostram que os teores de potássio são um pouco maiores no período de estiagem, indicando que existe influência da sazonalidade no tocante às concentrações de potássio no aquífero Rio Branco. De acordo com Leprun *et al.* (1989), são os solos mais ricos provenientes das rochas cristalinas os mais intemperizados e os menos silicosos que vão dar a maior quantidade de sílica nas águas, como também a maior quantidade de cátions  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$ . Sendo assim, o efeito da sazonalidade no caso do potássio é motivado pelo processo de transferência de íons do solo e da zona não saturada para o aquífero durante o período de recarga natural, que proporciona a renovação das águas subterrâneas principalmente no período chuvoso.

**Tabela 4.27** – Distribuição de probabilidade do Potássio do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (K-1) - abril de 2012 e no período seco (K-2) - outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
K-1	1,080	0,495	0,329	0,235	0,161	0,125
K-2	1,202	0,570	0,386	0,280	0,195	0,153
Razão	0,898	0,867	0,852	0,839	0,825	0,816

#### 4.7.8.3 – Cálcio

A **tabela 4.28** mostra a estatística descritiva dos teores de cálcio medidos no aquífero Rio Branco. No período chuvoso, os valores medidos estão compreendidos entre 0,03 e 71,2 mg/L, com média de 4,2 mg/L e desvio padrão de 12,8 mg/L. Na estiagem, as concentrações de cálcio variam de 0,1 a 84,7 mg/L, sendo a média igual a 5,1 mg/L e o desvio padrão igual a 15,3 mg/L. Em ambos os períodos, a mediana é igual a 1,5 mg/L.

**Tabela 4.28** – Estatística descritiva do Cálcio do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (Ca-1) - abril de 2012 e no período seco (Ca-2) – outubro de 2012.

Ca	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
Ca-1	30	4,2	-0,6	9,0	1,5	0,03	71,2	12,8	2,3	5,3
Ca-2	30	5,1	-0,6	10,8	1,5	0,1	84,7	15,3	2,8	5,2

No período chuvoso, 97% (29/30) das amostras apresentaram valores de cálcio que variaram de 0,03 a 8,5 mg/L e 3% (1/30) um valor anômalo de 71,2 mg/L, no poço RBR14. No período seco, 93% (28/30) dos poços obtiveram resultados de 0,1 a 5,1 mg/L, ficando os 2 (dois) valores mais altos, apenas 7%, restritos aos poços RBR02 (15,8 mg/L) e RBR01 (84,7 mg/L). Dessa forma, os valores máximos obtidos no poço RBR14 na primeira campanha e nos poços RBR02 e RBR01, na segunda campanha, correspondem a extremos, que provavelmente se devem a presença de perímetros de agricultura próximos a esses pontos. Tais valores, possivelmente são justificáveis pela utilização de fertilizantes nas culturas agrícolas ali presentes, como pode ser observado na **foto 4.1**.

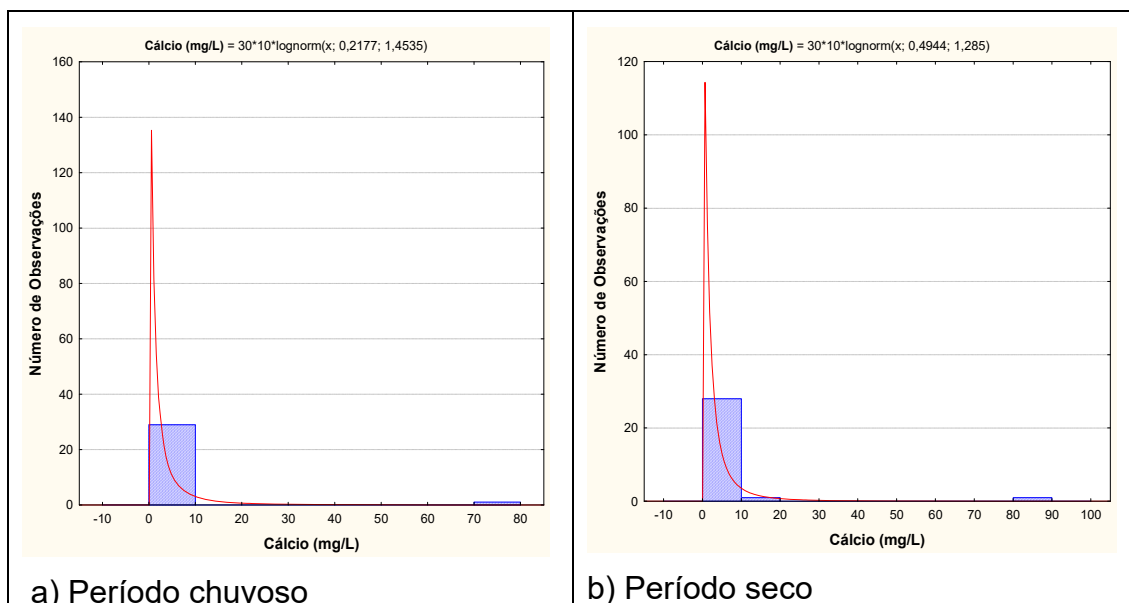
De acordo com Melian *et al.* (1999), tais problemas em águas subterrâneas são comuns, principalmente em regiões rurais, devido à infiltração de agrotóxicos, fertilizantes, esgotos domésticos e de excrementos animais nos aquíferos ou diretamente nos poços artesianos, os quais produzem efeitos mais visíveis nos seus consumidores, devido à baixa densidade populacional destas áreas.



**Foto 4.1** - Lavoura na área onde se localiza o poço RBR14 na zona rural do aquífero Rio Branco.

Os histogramas de frequência modelados pela lei lognormal de distribuição de probabilidade (**figura 4.14**) permitiram estimar, com nível de risco calculado, os teores de cálcio para o período chuvoso e para o período de estiagem.





**Figura 4.14** – Histogramas de frequência e curvas lognormais de distribuição de probabilidade do Cálcio do Aquífero Rio Branco, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Segundo a **tabela 4.29**, os valores de cálcio no período de estiagem são ligeiramente maiores quando comparados ao período chuvoso, sugerindo alguma influência de sazonalidade. De acordo com Leprun *et al.* (1989), são os solos mais ricos provenientes das rochas cristalinas os mais intemperizados e os menos silicosos que vão dar a maior quantidade de sílica nas águas, como também a maior quantidade de cátions  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $K^+$  e  $Na^+$ . Sendo assim, o efeito da sazonalidade no caso do cálcio é motivado pelo processo de transferência de íons do solo e da zona não saturada para o aquífero durante o período de recarga natural, que proporciona a renovação das águas subterrâneas principalmente no período chuvoso.

**Tabela 4.29** – Distribuição de probabilidade do Cálcio do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (Ca-1) - abril de 2012 e no período seco (Ca-2) - outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Ca-1	1,243	0,366	0,193	0,114	0,063	0,042
Ca-2	1,640	0,556	0,316	0,198	0,117	0,083
Razão	0,758	0,658	0,611	0,575	0,536	0,512

De modo geral, os baixos teores de cálcio na área de estudo se devem, sobretudo, ao clima chuvoso da região Amazônica que favorece tanto a renovação das águas superficiais quanto as águas subterrâneas. A abundância de água, associada com a exuberante cobertura vegetal e as altas temperaturas, são os principais condicionantes do intemperismo químico que ao longo do tempo geológico quebrou a estrutura química dos minerais componentes das rochas e dos sedimentos, deixando os terrenos lixiviados e lateritizados (**item 1.12**). Os valores anômalos são pontuais e decorrem das atividades antrópicas, que em todos os sentidos impactam o ambiente natural.

#### 4.7.8.4 – Magnésio

A estatística descritiva na **tabela 4.30** mostra que os teores amostrados de magnésio nas águas subterrâneas do aquífero Rio Branco no período chuvoso, de abril de 2012, variam de 0,1 a 23,2 mg/L, com média de 3,5 mg/L e mediana de 1,9 mg/L. Na estiagem, no mês de outubro de 2012, esses valores se revelaram bem próximos, oscilando entre 0,2 e 31,8 mg/L, com média 3,1 mg/L e mediana de 1,3 mg/L.

**Tabela 4.30** – Estatística descritiva do Magnésio do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (Mg-1) - abril de 2012 e no período seco (Mg-2) - outubro de 2012.

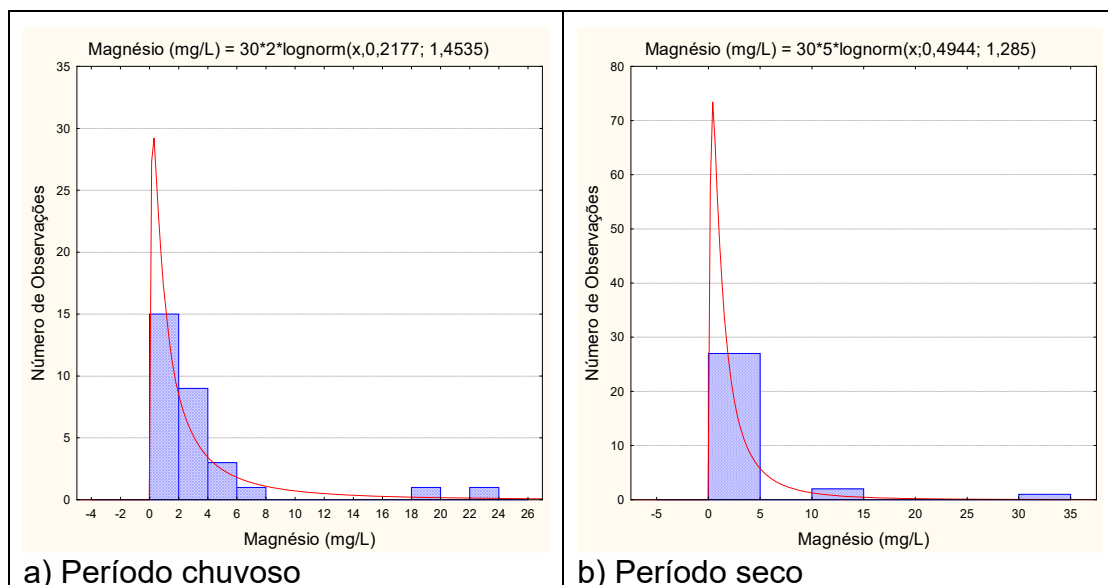
Mg	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
Mg-1	30	3,5	1,5	5,5	1,9	0,1	23,2	5,3	1,0	3,0
Mg-2	30	3,1	0,9	5,4	1,3	0,2	31,8	6,0	1,1	4,1

No período chuvoso 97% (29/30) das amostras apresentaram valores de magnésio que variaram de 0,1 a 19,8 mg/L e 3% (1/30) um valor máximo de 23,2 mg/L, no poço RBR14. No período seco, 97% (29/30) dos poços obtiveram resultados de 0,2 a 11,9 mg/L e 3% (1/30) um valor máximo de 31,8 mg/L, no poço RBR01. Sendo assim, os valores extremos de magnésio obtidos nas amostras dos poços RBR14 (período chuvoso) e RBR01 (período seco), aparecem deslocados nos histogramas, e ao que tudo indica refletem as influências antrópicas já identificadas para o cálcio (**item 4.7.8.3**).

Os poços RBR14 e RBR01 estão localizados próximos de áreas com prática agrícola, que possivelmente devem utilizar algum tipo de fertilizante, os quais geralmente são ricos em cálcio e magnésio.

De acordo com Pereira Filho *et al.* (2011), existem diferentes tipos de corretivos da acidez dos solos. O mais comum é o calcário que, de acordo com os teores de cálcio e magnésio, são classificados em dolomítico e calcítico.

Os histogramas de frequência dos valores amostrados no período chuvoso (abril de 2012) e período seco (outubro de 2012) são apresentados na **figura 4.15**. Modelados por uma lei lognormal de distribuição lognormal de probabilidade, esses histogramas permitem avaliar, com risco calculado, os teores (não amostrados) de magnésio nas águas subterrâneas do aquífero Rio Branco, de acordo com a sazonalidade.



**Figura 4.15** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Magnésio do Aquífero Rio Branco, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Segundo a **tabela 4.31**, os valores de magnésio no período de estiagem são ligeiramente maiores quando comparados ao período chuvoso, sugerindo alguma influência de sazonalidade. De acordo com Leprun *et al.* (1989), são os solos mais ricos provenientes das rochas cristalinas os mais intemperizados e os menos silicosos que vão dar a maior quantidade de sílica nas águas, como também a maior quantidade de cátions  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $K^+$  e  $Na^+$ . Sendo assim, o efeito da sazonalidade no caso do magnésio é motivado pelo processo de transferência de íons do solo e da zona não saturada para o aquífero durante o período de recarga natural, que proporciona a renovação das águas subterrâneas, principalmente no período chuvoso.

**Tabela 4.31** – Distribuição de probabilidade do Magnésio do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (Mg-1) - abril de 2012 e no período seco (Mg-2) - outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Mg-1	1,240	0,360	0,190	0,110	0,060	0,040
Mg-2	1,640	0,550	0,310	0,200	0,120	0,080
Razão	0,756	0,655	0,613	0,550	0,500	0,500

Os baixos teores de magnésio não ocorrem apenas no aquífero Rio Branco, mas em toda a Província, como visto neste Relatório da Hidrogeoquímica da PHA, e se deve, sobretudo, ao clima chuvoso da Floresta Tropical Amazônica.

A abundância de água, associada com a exuberante cobertura vegetal e as altas temperaturas, são os principais condicionantes do intemperismo químico (**item 1.12**), que ao longo do tempo geológico quebrou a estrutura química dos minerais componentes das rochas e dos sedimentos, deixando os terrenos lixiviados e lateritizados. Os valores extremos, acima de 20 mg/L de magnésio, são atribuídos a influências antrópicas.

## 4.7.9 – Ânions

### 4.7.9.1 – Cloreto

A **tabela 4.32** mostra a estatística descritiva dos teores de cloreto amostrados no ano de 2012 nas águas do aquífero Rio Branco. No período chuvoso (abril de 2012), os valores de cloreto variaram de 0,9 a 54,5 mg/L, com média de 16,6 mg/L e mediana de 10,6 mg/L. No período de estiagem (outubro de 2012), a variação entre o mínimo e o máximo foi de 0,49 a 53,0 mg/L, com média de 15,3 mg/L e mediana de 7,6 mg/L. Todos os poços amostrados em ambas as campanhas apresentaram resultados de cloreto inferiores ao VMP estabelecido pelo Portaria MS 2914/11.

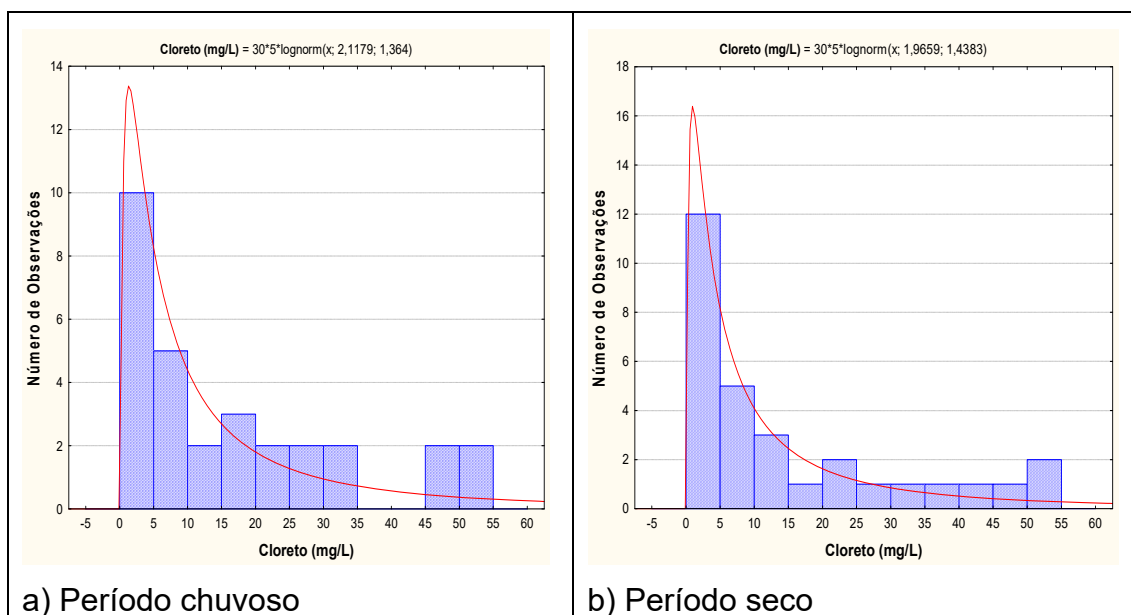
**Tabela 4.32** – Estatística descritiva do Cloreto do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (CI-1) - abril de 2012 e no período seco (CI-2) – outubro de 2012.

CI	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
CI-1	30	16,6	10,4	22,7	10,6	0,9	54,5	16,5	3,0	1,0
CI-2	30	15,3	9,1	21,5	7,6	0,49	53,0	16,6	3,0	1,2

Na primeira campanha, 13% (4/30) das amostras apresentaram teores de cloreto abaixo do limite de detecção de 1 mg/L, enquanto que na segunda campanha, 7% (2/30) dos poços apresentaram valores abaixo do limite de detecção de 0,5 mg/L.

Em ambas as coletas, todas as amostras apresentaram teores de cloreto inferiores aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 396/2008, de 250 mg/L para consumo humano; 100 a 700 mg/L para irrigação; e de 400 mg/L para recreação, indicando que as águas do aquífero Rio Branco podem ser empregadas para tais usos.

Na **figura 4.16** se encontram os histogramas de frequência dos teores de cloreto amostrados nas duas campanhas e as respectivas curvas fornecidas pelo modelo de distribuição de probabilidade lognormal aplicado para estimativa, com risco calculado, dos teores de cloreto no aquífero Rio Branco, nos períodos chuvoso e de estiagem.



**Figura 4.16** – Histogramas de frequência e curvas lognormais de distribuição de probabilidade do Cloreto do Aquífero Rio Branco, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

De acordo com as estimativas realizadas (**tabela 4.33**), pode-se concluir com base na razão entre os teores de cloreto estimados nos dois períodos, que há influência da sazonalidade, haja vista que a razão entre as duas campanhas sugere maiores teores no período chuvoso do que na estiagem.

Apesar de nenhum dos valores de cloreto obtido nas duas campanhas ultrapassar os limites estabelecidos pela Portaria MS 2914/2011, verificou-se alguns teores mais elevados, o que sugere influência antrópica, pois a área de estudo é urbanizada e quase totalmente desprovida de esgotamento sanitário, de modo que principalmente na época da chuva pode haver infiltração de água contaminada, haja vista que a maioria dos poços é construída nas proximidades imediatas das fossas sépticas.

**Tabela 4.33** – Distribuição de probabilidade do Cloreto do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (CI-1) - abril de 2012 e no período seco (CI-2) - outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
CI-1	8,314	2,638	1,448	0,882	0,505	0,348
CI-2	7,141	2,128	1,130	0,670	0,372	0,252
Razão	1,164	1,239	1,280	1,315	1,356	1,384

Os resultados obtidos no aquífero Rio Branco são coerentes, pois segundo Pohling (2009), quando o teor de cloreto está elevado na água e não há influência de fatores geológicos, essa contaminação pode ser proveniente de efluentes domésticos ou industriais.

#### 4.7.9.2 – Sulfato

A estatística descritiva apresentada na **tabela 4.34** indica que os teores de sulfato nas águas do aquífero Rio Branco, no período chuvoso, variam de 0,49 a 340,6 mg/L, apresentando média de 17,7 mg/L e mediana de 1,6 mg/L. No período seco, os teores variaram de 0,49 a 470,1 mg/L, com média de 28,3 mg/L e mediana de 1,1 mg/L. Na primeira campanha, 37% (11/30) dos poços apresentaram teores de sulfato abaixo do limite de detecção de 0,5 mg/L, enquanto que na segunda campanha foram 23% (7/30).

**Tabela 4.34** – Estatística descritiva do Sulfato do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (S-1) - abril de 2012 e no período seco (S-2) - outubro de 2012.

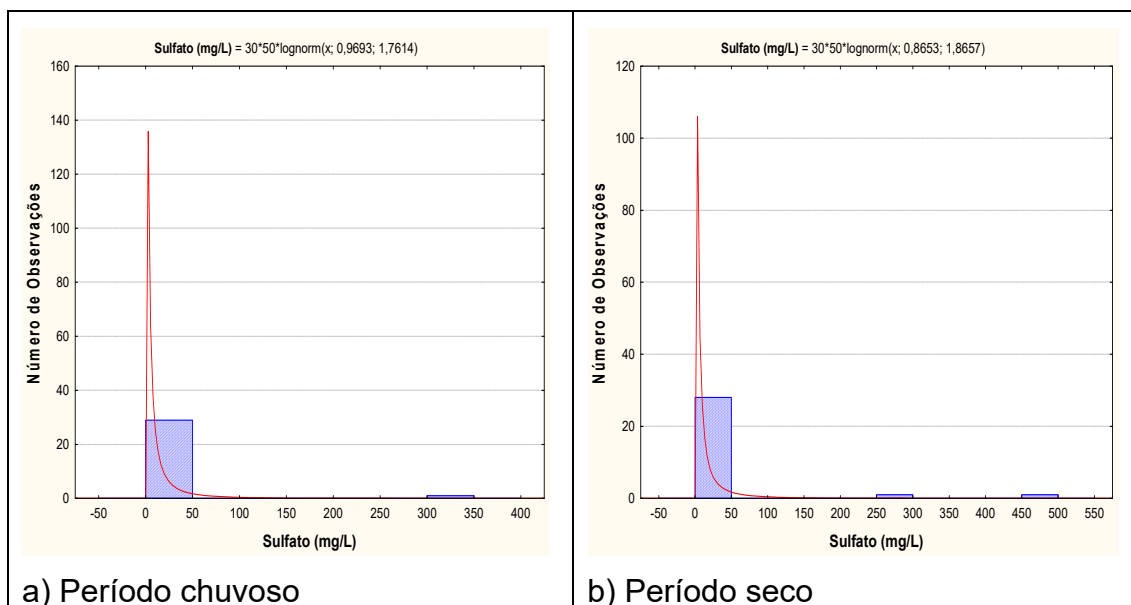
Sulfato	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
S-1	30	17,7	-5,3	40,7	1,6	0,49	340,6	61,7	11,3	5,3
S-2	30	28,3	-7,5	64,2	1,1	0,49	470,1	96,0	17,5	4,1

Os teores de sulfato encontrados nas águas do aquífero Rio Branco, no período chuvoso, se distribuem, em 97% (29/30) dos poços, entre 0,49 e 35,3 mg/L; enquanto que no período de estiagem, cerca de 93% das amostras (28/30) apresentaram valores entre 0,49 e 19,7 mg/L. Sendo assim, os valores acima desses padrões foram considerados anômalos, a exemplo do poço RBR14 (340,6 mg/L em abril) e dos poços RBR02 (263 mg/L em outubro) e RBR01 (470,1 mg/L em outubro). Ressalta-se que nenhum desses três poços apresentou resultados anômalos em ambas as campanhas. O RBR14 (< 1 mg/L em outubro), RBR02 (< 0,5 em abril) e RBR01 (< 0,5 em abril).

Isto sugere que tais resultados não decorrem do efeito da sazonalidade e sim de contaminações locais advindas de atividades antrópicas, como por exemplo, aplicação de fertilizante, como já apontado no caso do cálcio (**item 4.7.8.3**).

Com exceção dos 3 (três) mencionados poços, todas as demais amostras apresentaram teores de sulfato inferiores aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 396/2008, para consumo humano (250.000 µg.L<sup>-1</sup>), dessedentação animal (1.000.000 µg.L<sup>-1</sup>) e recreação (400.000 µg.L<sup>-1</sup>). Os únicos poços que ultrapassaram os limites estabelecidos pela referida Resolução foi o poço RBR14 na primeira campanha, não sendo indicado para o consumo humano, e os poços RBR02 e RBR01 na segunda coleta, indicando que as águas não são recomendadas para consumo humano e recreação, apenas podendo ser utilizado para a dessedentação animal.

Os histogramas da **figura 4.17**, representativos dos pontos amostrados nas campanhas de abril de 2012 e de outubro de 2012, foram modelados por uma função de distribuição de probabilidade lognormal.



**Figura 4.17** – Histogramas de frequência e curvas lognormais de distribuição de probabilidade do Sulfato no Aquífero Rio Branco, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Essa função permitiu estimar com risco calculado que no período chuvoso os teores de sulfato no aquífero Rio Branco são superiores aos do período de estiagem, o que sugere influência de sazonalidade, haja vista que a razão entre os dois períodos de coleta é superior a 1 (um), conforme pode ser observado na **tabela 4.35**.

**Tabela 4.35** – Distribuição de probabilidade do Sulfato do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (S-1) - abril de 2012 e no período seco (S-2) - outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
S-1	2,636	0,599	0,276	0,145	0,071	0,044
S-2	2,376	0,494	0,217	0,110	0,051	0,031
Razão	1,110	1,211	1,268	1,317	1,375	1,414

Tais resultados são coerentes, pois a área de estudo do aquífero Rio Branco está inserida em uma região urbanizada, totalmente desprovida de sistema de esgotamento sanitário, fato este, que corrobora para a contaminação das águas subterrâneas, principalmente por conta da má qualidade construtiva dos poços e de sua proximidade das fossas sépticas, as quais principalmente no período chuvoso transbordam, permitindo a infiltração das águas.

De acordo com Melian *et al.* (1999), no geral os problemas da qualidade da água subterrânea chamam maior atenção em regiões rurais, devido à infiltração de agrotóxicos, fertilizantes, esgotos domésticos e de excrementos animais nos aquíferos ou diretamente nos poços artesianos, os quais produzem efeitos mais visíveis nos seus consumidores, devido à baixa densidade populacional destas áreas.

### 4.7.9.3 – Bicarbonato

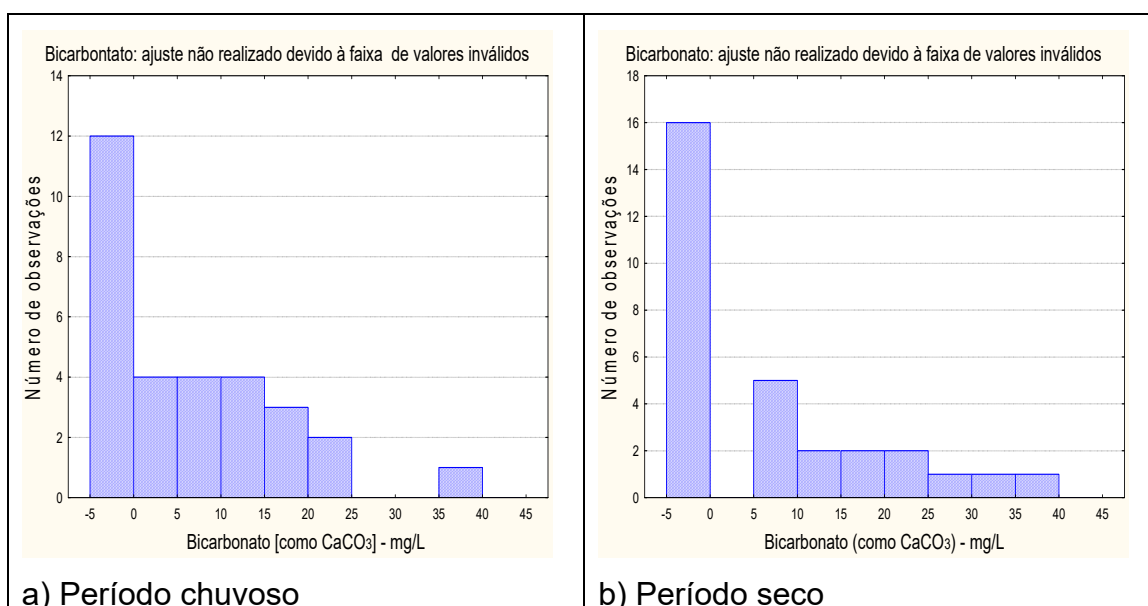
A estatística descritiva dos teores de bicarbonato nas águas do aquífero Rio Branco (**tabela 4.36**) revela que 40% (12/30) das amostras na primeira campanha obtiveram valores iguais a zero, enquanto que na segunda amostragem esses valores alcançaram 53,3% (16/30).

**Tabela 4.36** – Estatística descritiva do Bicarbonato do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (B-1) - abril de 2012 e no período seco (B-2) – outubro de 2012.

Bicarbonato	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
B-1	30	7,52	4,14	10,9	2,25	0	38	9,28	2,2	1,39
B-2	30	8,1	4,05	12,15	0	0	39	11,12	0,71	1,31

No período chuvoso, as concentrações de bicarbonato oscilaram entre 0 e 38 mg/L, com média de 7,52 e mediana igual a 2,25 mg/L. No período de estiagem as concentrações ficaram compreendidas entre 0 e 39 mg/L, com média de 8,1 mg/L e mediana igual a 0 mg/L.

Devido à existência de amostras com teor de bicarbonato igual à zero na primeira campanha (12/30) e na segunda campanha (16/30), a modelagem geoestatística não foi realizada porque o ajuste dos histogramas lognormal não pode ser feito com a presença de zero (**figura 4.18**).



**Figura 4.18** – Histogramas de frequência do Bicarbonato do Aquífero Rio Branco sem ajuste de distribuição de probabilidade *lognormal*.

Embora as médias obtidas nas duas campanhas levem a concluir que os teores de bicarbonato são ligeiramente maiores no período de estiagem, as medianas indicam o contrário, ou seja, maior valor no período chuvoso. Sendo assim, tomando a mediana como indicadora, os teores de bicarbonato são significativamente maiores no período chuvoso. Isso faz sentido, porque no período chuvoso as águas de chuvas são ricas em dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que reagindo com a água do aquífero produz o ácido carbônico, que por sua



vez se dissocia em bicarbonato, fazendo com esse íon tenda a ser mais abundante no período chuvoso.

Segundo Lopes *et al.* (2013), os valores extremamente baixos de bicarbonato podem estar relacionados com as variações da alcalinidade total, uma vez que uma alteração nas concentrações dos íons carbonato e bicarbonato provoca também alterações nos valores de pH de uma solução, já que esses três íons ( $H^+$ ,  $CO_3^{2-}$  e  $HCO_3^-$ ) constituem um verdadeiro sistema em equilíbrio. Assim, a reação entre os dois primeiros, com a formação do terceiro, provoca uma diminuição das concentrações do carbonato e um aumento das concentrações do bicarbonato. O que torna o processo dinâmico e faz com que um elemento seja facilmente convertido em outro por meio de reações que ocorrem no ambiente.

Para Obiefuna & Sheriff (2011), a origem do bicarbonato nas águas subterrâneas está relacionada principalmente aos processos que produzem o gás carbônico no solo por meio da decomposição e oxidação da matéria orgânica e à respiração das raízes das plantas.

#### 4.7.10 – Dureza

A estatística descritiva da dureza das águas do aquífero Rio Branco (**tabela 4.37**) mostra que no período chuvoso os valores oscilaram entre 0,4 e 273,1, com média de 24,9 mg/L e mediana de 11,2 mg/L. No período de estiagem, a dureza variou de 1,3 a 342,1 mg/L, com média de 25,6 mg/L e mediana de 11,1 mg/L.

**Tabela 4.37** – Estatística descritiva da Dureza no Aquífero Rio Branco no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) - outubro de 2012.

Dureza	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
D-1	30	24,9	6,3	43,5	11,2	0,4	273,1	49,9	9,1	4,6
D-2	30	25,6	2,4	48,8	11,1	1,3	342,1	62,1	11,3	4,9

De acordo com Von Sperling (2005), em termos de tratamento e abastecimento público, as águas do aquífero Rio Branco podem ser classificadas de acordo com seu grau de dureza (**item 2.10**) no período chuvoso em 93% (28/30) do tipo mole, 3% (1/30) do tipo moderada e 3% (1/30) do tipo dura. Enquanto que no período de estiagem, 90% (27/30) das amostras apresentaram águas mole, 7% (2/30) água moderada e 3% (1/30) água muito dura.

Os valores de dureza encontrados nas águas do aquífero Rio Branco, no período chuvoso, se distribuem, em 97% (29/30) dos poços, entre 0,39 e 85,56 mg/L, com um valor anômalo (273,1 mg/L) no poço RBR14. No período de estiagem, os teores em 97% das amostras (29/30) ficaram entre 1,28 e 82,38 mg/L, com um valor anômalo (342,1 mg/L) no poço RBR01. Apesar de esses dois poços apresentarem valores anômalos quando comparados aos demais resultados, nenhum dos poços amostrados nas duas campanhas ultrapassou o VMP recomendável pela Portaria MS 2914/2011, de 500 mg/L de  $CaCO_3$ .

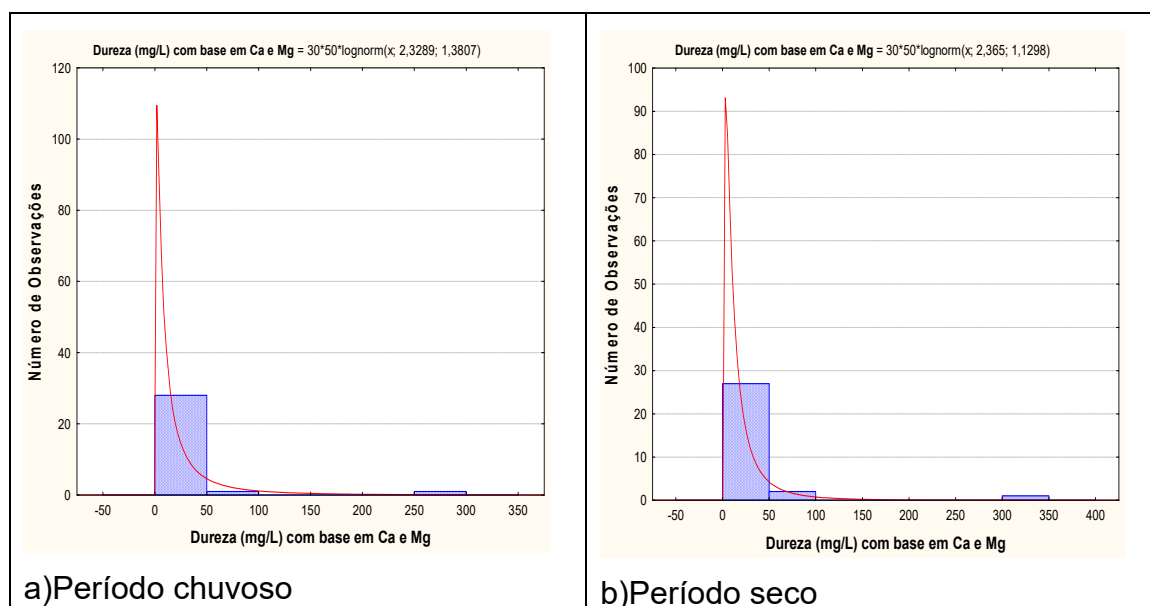
O comportamento da dureza nos poços RBR01 e RBR14 é um reflexo dos teores de cálcio e magnésio neles encontrados, conforme discutido nos **itens 4.7.8.3 e 4.7.8.4**. Como tais poços foram os únicos afetados por valores

anômalos, inclusive de sulfato (**item 4.7.9.2**), tudo leva a crer que as anomalias constatadas se devem ao uso de fertilizantes nas proximidades dos referidos poços (**foto 4.2**).



**Foto 4.2** - Culturas na área onde se localiza o poço RBR01 na região do aquífero Rio Branco.

Os histogramas de frequência da dureza (**figura 4.19**), representativos dos pontos amostrados nas coletas de abril e outubro de 2012, foram modelados por uma função de distribuição de probabilidade lognormal. Essa função permitiu estimar, com risco calculado, os valores de dureza no aquífero Rio Branco (**tabela 4.38**), onde se verificou que os valores do período seco são maiores do que os do período chuvoso, o que reflete alguma influência de sazonalidade, pois a razão das duas campanhas é inferior a 1 (um).



**Figura 4.19** – Histogramas de frequência e curvas lognormais de distribuição de probabilidade da Dureza do Aquífero Rio Branco, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2002), a água subterrânea é geralmente de boa qualidade, porém em alguns casos pode conter alta concentração de sais, entre eles os de cálcio e de magnésio, por estar intimamente em contato com materiais solúveis do solo e das rochas, no seu

entorno e em áreas de recarga, e assim, apresentar elevado teor de dureza, como visto no caso dos poços RBR01 e RBR14.

**Tabela 4.38** – Distribuição de probabilidade da Dureza do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) - outubro de 2012.

P(x>a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
D-1	10,267	3,212	1,750	1,060	0,602	0,414
D-2	10,644	4,113	2,502	1,660	1,046	0,769
Razão	0,965	0,781	0,699	0,638	0,576	0,538

Aliado a isso, a baixa velocidade de fluxo, as maiores pressões e temperaturas, a fonte de recarga do aquífero e o clima da região contribuem para a maior mineralização da água subterrânea. Secundariamente, as características dessa água se relacionam com os produtos de atividades humanas desenvolvidas na superfície.

Tal referência corrobora com os resultados coletados no aquífero Rio Branco, onde houve um pequeno aumento dos valores de dureza no período de estiagem, o que é justificável pela cessação do período de cheias na área de estudo e conseqüentemente a diminuição da renovação das águas subterrâneas.

#### 4.7.11 – Compostos Nitrogenados

##### 4.7.11.1 - Nitrato

A **tabela 4.39** mostra a estatística descritiva dos teores de nitrato presentes nas águas do aquífero Rio Branco nas duas campanhas de coleta de água realizadas. No período chuvoso, as concentrações de nitrato variam de 0,09 a 10,2 mg/L, com média de 2,4 mg/L e mediana de 1,1 mg/L. No período seco, os teores ficaram compreendidos entre 0,09 a 11,8 mg/L, com média de 2,2 mg/L e mediana de 0,9 mg/L.

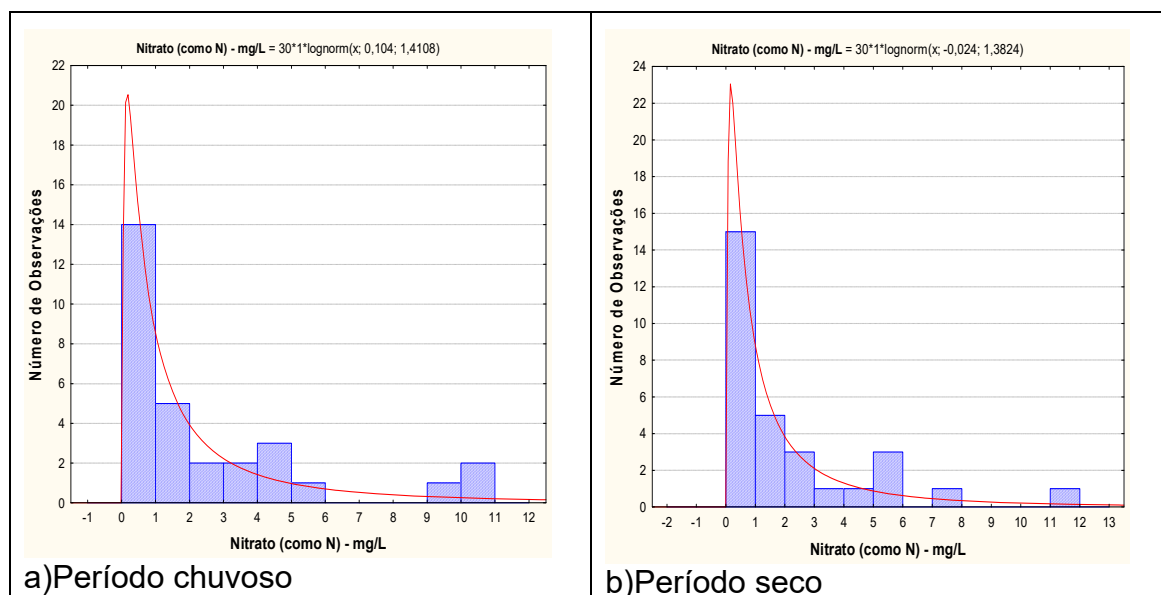
**Tabela 4.39** – Estatística descritiva do Nitrato do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) - outubro de 2012.

Nitrato	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
N-1	30	2,4	1,3	3,5	1,1	0,09	10,2	3,0	0,5	1,7
N-2	30	2,2	1,1	3,2	0,9	0,09	11,8	2,8	0,5	2,0

Em ambas as campanhas, 13% (4/30) das amostras apresentaram teores de nitrato abaixo do limite de detecção de 0,1 mg/L.

Dentre o total de amostras analisadas nas duas campanhas, apenas 7% (2/30) dos poços no período chuvoso e 3% (1/30) no período de estiagem, apresentaram valores que ultrapassaram o VMP de potabilidade recomendável pela Portaria MS 2914/2011, além de não serem indicadas para consumo humano e para recreação segundo a Resolução CONAMA 396/2008. Porém, todas as amostras analisadas nas duas campanhas poderiam ser utilizadas para a dessedentação animal, haja vista que não ultrapassaram os limites definidos pela Resolução citada.

Os histogramas de frequência de nitrato (**figura 4.20**), representativos dos pontos amostrados nas coletas de abril e outubro de 2012, foram modelados por uma função de distribuição de probabilidade lognormal, que permitiu estimar, com risco calculado, valores de nitrato nas duas campanhas, conforme apresentado na **tabela 4.40**. Assim, é possível notar que houve uma pequena diferença nos teores de nitrato entre o período chuvoso e seco, indicando ligeira influência da sazonalidade, com valores mais altos no período chuvoso.



**Figura 4.20** – Histogramas de frequência modelados por lei lognormal de distribuição de probabilidade do Nitrato do Aquífero Rio Branco, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Segundo Mello *et al.* (1984), o nitrato e o nitrito são substâncias químicas derivadas do nitrogênio e são encontrados de forma natural na água e no solo em baixas concentrações. A deposição de matéria orgânica no solo, como acontece quando se utiliza fossas e sumidouros, aumenta drasticamente a quantidade de nitrogênio. Esse nitrogênio é biotransformado e por fim se transforma na substância inorgânica denominada nitrato, que possui grande mobilidade no solo, alcançando o manancial subterrâneo. O nitrato, por possuir essas características, se torna um ótimo indicativo para avaliar se um dado manancial subterrâneo está sendo contaminado pela atividade antrópica sobre ele exercida.

**Tabela 4.40** – Distribuição de probabilidade do Nitrato do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) - outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
N-1	1,110	0,338	0,182	0,109	0,061	0,042
N-2	0,976	0,305	0,166	0,100	0,057	0,039
Razão	1,137	1,110	1,096	1,085	1,072	1,064

Diante disso, fica evidente que os valores de nitrato encontrados nas águas do aquífero Rio Branco superiores aos limites permitidos para consumo humano se devem a contaminação oriunda principalmente da ausência de saneamento básico, cuja propagação é possivelmente mais fácil no período chuvoso.

#### 4.7.11.2 - Nitrito

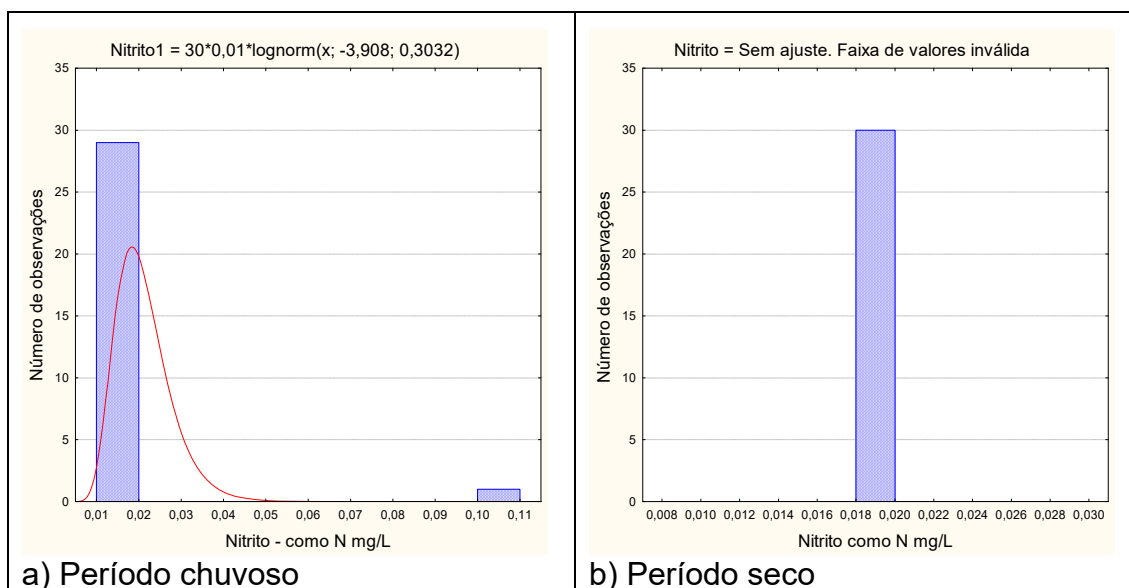
A **tabela 4.41** mostra a estatística descritiva dos teores de nitrito presentes nas águas do aquífero Rio Branco, nas duas campanhas de amostragem realizadas. No período chuvoso (abril de 2012), 93% (28/30) das amostras apresentaram teores de nitrito abaixo do limite de detecção, ou seja, resultados inferiores a 0,02 mg/L. No período de estiagem (outubro de 2012), 100% (30/30) dos poços amostrados tiveram concentrações de nitrito abaixo do limite de quantificação de 0,02 mg/L. Portanto, de modo geral, a ocorrência de nitrogênio sob a forma de nitrito é praticamente desprezível, haja vista que o maior valor encontrado foi de 0,133 mg/L, na primeira campanha. Todas as amostras analisadas nas duas coletas apresentaram teores de nitrito dentro do padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria MS 2914/2011, de 1 mg/L, assim como, poderiam ser usadas para o consumo humano, dessedentação de animais, irrigação e recreação, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008 em relação a esse parâmetro.

**Tabela 4.41** – Estatística descritiva do Nitrito do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.

Nitrito	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
N-1	30	0,022	0,016	0,028	0,019	0,019	0,133	0,015	0,003	5,477
N-2	30	0,019	0,022-2,6E-18	0,022+2,6E-18	0,019	0,019	0,019	7,06E-18	1,29E-18	-1,053

Os baixos teores de nitrito encontrados nas águas do aquífero Rio Branco são coerentes, pois de acordo com Campos & Rohlf (2010), nas águas subterrâneas, os nitratos ocorrem em teores geralmente abaixo de 5 mg/L, enquanto que nitritos e amônia são ausentes, devido à velocidade com que são convertidos em nitrato pelas bactérias.

O histograma de frequência de nitrito no período chuvoso (abril de 2012) e o gráfico do período seco (outubro de 2012) podem ser visualizados na **figura 4.21**.



**Figura 4.21** – Histograma de frequência modelados por lei lognormal de distribuição de probabilidade do Nitrito do Aquífero Rio Branco, no período chuvoso – abril de 2012 e gráfico no período seco – outubro de 2012.

A razão entre as estimativas feitas com diferentes níveis de risco através do modelo proposto (**tabela 4.42**) mostra um bias estatístico na média. Considerando o fato que 93% e 100%, respectivamente, na primeira e segunda campanha ficaram abaixo do LD, esse bias estatístico provavelmente não pode ser atribuído à influência da sazonalidade. Além disso, o único valor quantificável possui teor muito baixo de nitrito (0,133 mg/L), o qual não pode ser atribuído a fatores antrópicos.

**Tabela 4.42** – Distribuição de probabilidade do Nitrito do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
N-1	0,020	0,015	0,013	0,011	0,010	0,009
N-2	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019
Razão	1,071	0,794	0,679	0,597	0,516	0,469

#### 4.7.11.3 - Amônia

A **tabela 4.43** mostra a estatística descritiva dos teores de amônia presentes nas águas do aquífero Rio Branco, nas duas campanhas de coleta de água realizadas. No período chuvoso, as concentrações de amônia variam de 0,09 a 1,2 mg/L, com média de 0,14 mg/L e mediana de 0,09 mg/L. No período seco, os teores ficaram compreendidos entre 0,09 a 0,6 mg/L, com média de 0,15 mg/L e mediana de 0,09 mg/L.

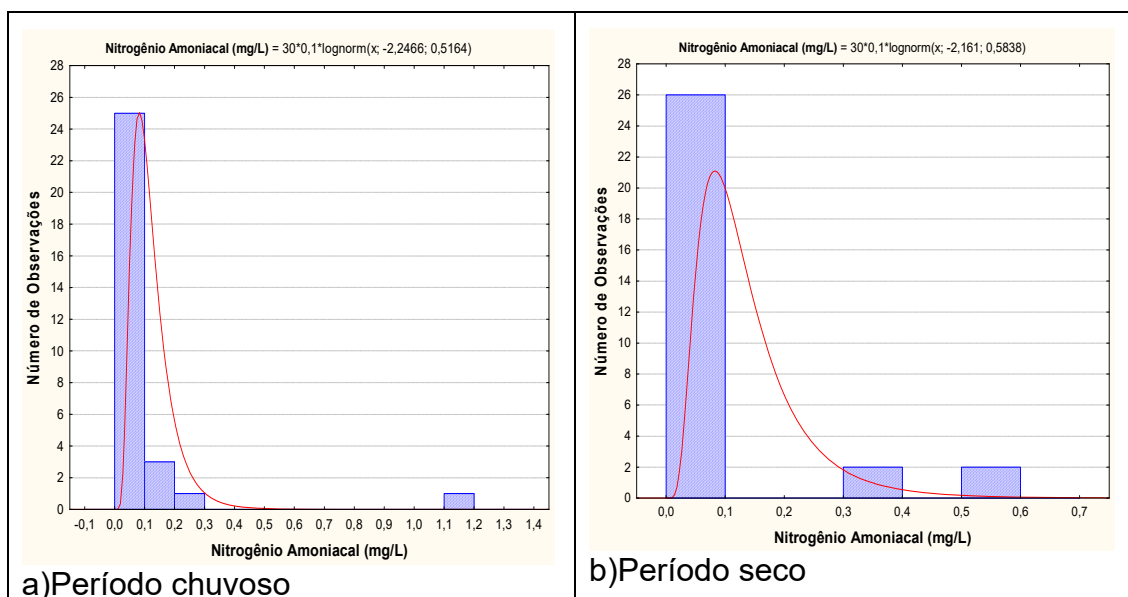
**Tabela 4.43** – Estatística descritiva da Amônia do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (A-1) - abril de 2012 e no período seco (A-2) – outubro de 2012.

Amônia	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
A-1	30	0,14	0,06	0,21	0,09	0,09	1,20	0,20	0,03	5,20
A-2	30	0,15	0,09	0,20	0,09	0,09	0,60	0,14	0,02	2,56

Na coleta de abril de 2012, 83% (25/30) das amostras apresentaram valores de amônia inferiores ao limite de detecção de 0,1 mg/L; enquanto que na coleta de outubro de 2012, 67% (20/30) dos poços tiveram resultados de amônia abaixo do limite de detecção.

Nenhuma das amostras analisadas nas duas campanhas apresentou valores que ultrapassaram o VMP recomendável pela Portaria MS 2914/2011 para consumo humano de 1,5 mg/L.

Os histogramas de frequência de amônia (**figura 4.22**), representativos dos pontos amostrados nas coletas de abril e outubro de 2012, foram modelados por uma função de distribuição de probabilidade lognormal, que permitiu estimar, com risco calculado, valores de amônia nas duas campanhas, conforme apresentado na **tabela 4.44**.



**Figura 4.22** – Histogramas de frequência modelados por lei lognormal de distribuição de probabilidade da Amônia do Aquífero Rio Branco, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Assim, é possível notar que não houve diferença significativa nos teores de amônia entre o período chuvoso e seco, indicando que não há influência de sazonalidade, haja vista que a razão entre os dois períodos é da ordem de 1 (um).

**Tabela 4.44** – Distribuição de probabilidade da Amônia do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (A-1) - abril de 2012 e no período seco (A-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
A-1	0,106	0,068	0,055	0,045	0,037	0,032
A-2	0,115	0,070	0,055	0,044	0,035	0,030
Razão	0,918	0,972	1,001	1,026	1,054	1,074

De acordo com Resende (2002), a amônia (NH<sub>3</sub>) originada no solo ou aplicada via fertilizantes tende a ser rapidamente convertida em amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e esse, por sua vez, é convertido em nitrato pelo processo microbiano da nitrificação.

Por esse motivo, os teores de amônia obtidos nas duas campanhas do aquífero Rio Branco foram muito baixos, pois provavelmente a amônia existente proveniente dos dejetos das fossas sépticas está sendo convertida em nitrato, o que justifica alguns teores de nitrato superiores ao padrão de potabilidade permitido pela Portaria MS 2914/2011.

#### 4.7.12 – Ferro e Manganês

##### 4.7.12.1 – Ferro

A estatística descritiva dos teores de ferro nas águas subterrâneas do aquífero Rio Branco (**tabela 4.45**) mostra, no período chuvoso, valores compreendidos entre 0,02 e 10,17 mg/L, com média de 1,65 mg/L e mediana de 0,32 mg/L. No período seco, os teores variaram de 0,04 mg/L a 24,63 mg/L, com média de 2,75 mg/L e mediana de 0,4 mg/L.

**Tabela 4.45** – Estatística descritiva do Ferro do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (Fe-1) - abril de 2012 e no período seco (Fe-2) - outubro de 2012.

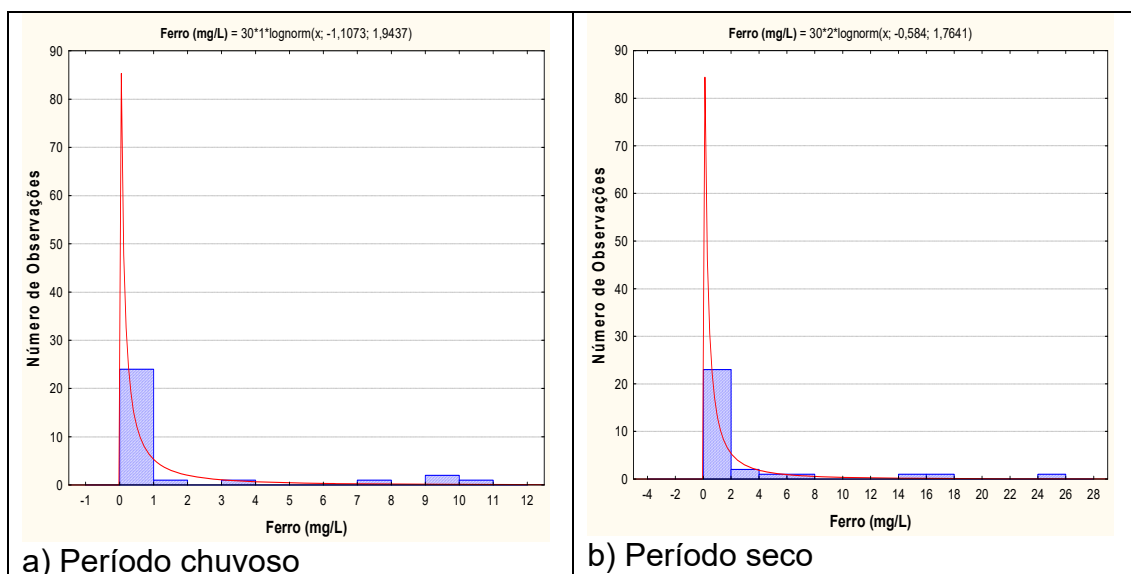
Fe	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
Fe-1	30	1,65	0,50	2,81	0,32	0,02	10,17	3,09	0,56	2,18
Fe-2	30	2,75	0,57	4,94	0,40	0,04	24,63	5,86	1,07	2,82

Dentre o total de amostras analisadas nas duas campanhas, 53% (16/30) dos poços no período chuvoso e 57% (17/30) no período de estiagem, apresentaram valores que ultrapassaram o VMP de potabilidade recomendável pela Portaria MS 2914/2011, além de não serem indicadas para consumo humano e para recreação, segundo a Resolução CONAMA 396/2008.

Além disso, cerca de 13% (4/30), dos poços amostrados nas duas coletas apresentaram teores de ferro que ultrapassaram os limites recomendados para irrigação, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008.

Os histogramas de frequência de ferro (**figura 4.23**), representativos dos pontos amostrados nas coletas de abril e outubro de 2012, foram modelados por uma função de distribuição de probabilidade lognormal. Essa função permitiu estimar, com risco calculado, os valores de ferro no aquífero Rio Branco (**tabela 4.46**), onde se verificou que os valores do período seco são maiores do que os do período chuvoso, o que reflete alguma influência de sazonalidade, pois a razão das duas campanhas é inferior a 1 (um).





**Figura 4.23** – Histogramas de frequência modelados pela função lognormal de distribuição de probabilidade de ocorrência de Ferro no Aquífero Rio Branco, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

No caso do aquífero Rio Branco, os valores de ferro mais elevados na estiagem são consistentes, pois a zona de aeração, que no período chuvoso se encontra quase totalmente saturada por águas de infiltração em movimento, volta a ter espaços vazios preenchidos por oxigênio, o que, conseqüentemente, eleva o valor de Eh, produzindo a oxidação do ferro.

Aliado a isso, as águas do aquífero Rio Branco são essencialmente ácidas, e conforme já descrito anteriormente no **item 2.12**, os altos teores de ferro dissolvido nas águas subterrâneas dos aquíferos que compõem a PHA não resultam diretamente do processo de intemperismo químico das rochas, mas das condições de pH e Eh em águas ácidas.

**Tabela 4.46** – Distribuição de probabilidade do Ferro do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (Fe-1) - abril de 2012 e no período seco (Fe-2) - outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Fe-1	0,330	0,064	0,027	0,014	0,006	0,004
Fe-2	0,558	0,126	0,058	0,031	0,015	0,009
Razão	0,593	0,509	0,471	0,441	0,410	0,390

#### 4.7.12.2 – Manganês

A estatística descritiva das concentrações de manganês nas águas subterrâneas do aquífero Rio Branco (**tabela 4.47**) revela que os teores de manganês no período chuvoso variam de 0,002 a 3,41 mg/L, com média de 0,36 mg/L e mediana de 0,13 mg/L. No período seco, o valor mínimo de 0,002 mg/L e o máximo de 3,99 mg/L, sendo a média igual a 0,44 mg/L e a mediana de 0,12 mg/L.

**Tabela 4.47** – Estatística descritiva do Manganês no Aquífero Rio Branco no período chuvoso (Mn-1) - abril de 2012 e no período seco (Mn-2) - outubro de 2012.

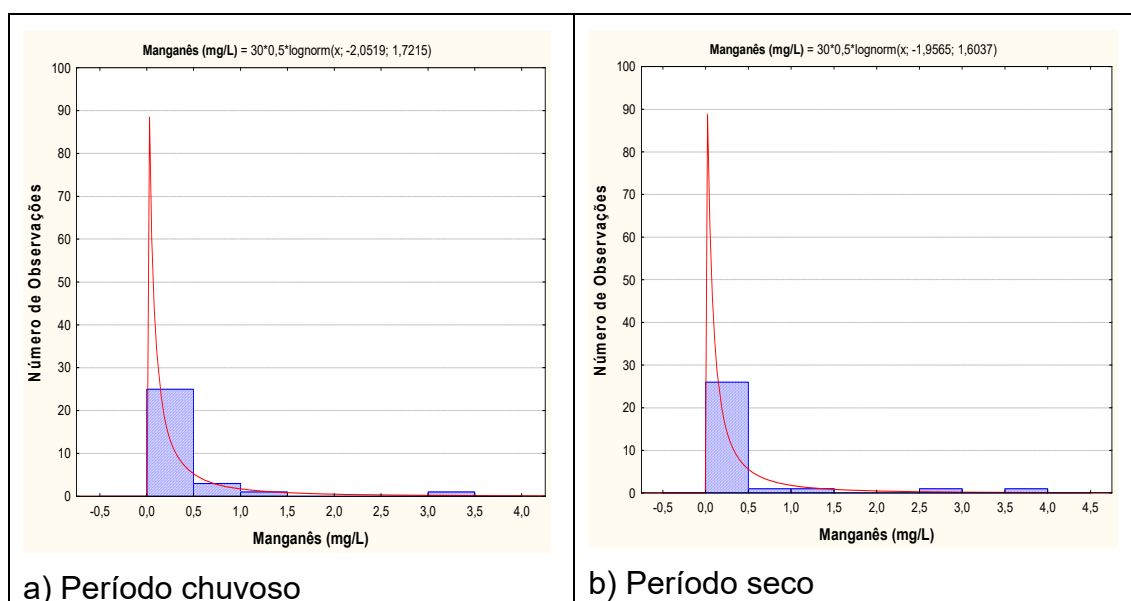
Mn	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
Mn-1	30	0,36	0,12	0,60	0,13	0,002	3,41	0,63	0,12	4,10
Mn-2	30	0,44	0,12	0,75	0,12	0,002	3,99	0,85	0,16	3,44

Em ambas as campanhas, observou-se a ocorrência de 57% de valores (17/30) acima do VMP de 0,1 mg/L estabelecido pela Portaria MS 2914/2011, bem como a não indicação dessas águas para consumo humano e para recreação segundo a Resolução CONAMA 396/2008.

Além disso, cerca de 87% (26/30) dos poços amostrados no período chuvoso e 80% (24/30) dos poços no período de estiagem apresentaram teores de manganês que ultrapassaram os limites recomendados para dessedentação animal, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008.

Com relação ao uso das águas do aquífero Rio Branco para irrigação, verificou-se que 47% (14/30) das amostras no período chuvoso e 43% (13/30) dos poços no período seco ultrapassaram os limites de 0,2 mg/L definidos na resolução CONAMA 396/2008.

Os histogramas de frequência de manganês (**figura 4.24**), representativos dos pontos amostrados nas coletas de abril e outubro de 2012, foram modelados por uma função de distribuição de probabilidade lognormal.



**Figura 4.24** – Histogramas de frequência modelados pela lei lognormal de distribuição de probabilidade do Manganês no Aquífero Rio Branco, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Essa função permitiu estimar, com risco calculado, os valores de manganês no aquífero Rio Branco (**tabela 4.48**), onde se verificou que os valores do período seco são maiores do que os do período chuvoso, o que reflete alguma influência de sazonalidade, pois a razão das duas campanhas é inferior a 1 (um).

Isso é justificável, pois a maior presença de oxigênio na zona não saturada no período de estiagem dá lugar a oxidações do manganês, aumentando a sua concentração na zona saturada.

**Tabela 4.48** – Distribuição de probabilidade do Manganês do Aquífero Rio Branco no período chuvoso (Mn-1) - abril de 2012 e no período seco (Mn-2) - outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Mn-1	0,128	0,030	0,014	0,008	0,004	0,002
Mn-2	0,141	0,037	0,018	0,010	0,005	0,003
Razão	0,91	0,82	0,78	0,75	0,71	0,69

De acordo com Feitosa *et al.* (2008), o manganês frequentemente está presente com baixos teores, <0,2 mg/L, em quase todas as águas naturais, sendo mais abundante nas águas ácidas. Isso corrobora com os dados do aquífero Rio Branco, onde no período de estiagem, as águas são mais ácidas, com pH médio de 4,7 e, conseqüentemente, ocorrem teores mais elevados de manganês quando comparados ao período chuvoso.

#### 4.7.13 – Metais Pesados

Os resultados analíticos de metais pesados das amostras de água do aquífero Rio Branco, coletadas durante a segunda campanha de amostragem, realizada em outubro de 2012, podem ser observados no **anexo 8.2.3**. Os metais pesados analisados foram: Arsênio, Bário, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Mercúrio, Níquel e Zinco. Como esses parâmetros apresentam risco à saúde humana, a Portaria MS 2914/2011 e a Resolução CONAMA 396/2008 estabeleceram limites máximos de padrão de potabilidade, conforme descrito no **item 2.13**.

##### **Arsênio**

Todos os 10 (dez) poços amostrados no aquífero Rio Branco na segunda campanha, realizada em outubro de 2012, apresentaram valores de arsênio abaixo do limite de detecção, ou seja, resultados <0,001 mg/L.

##### **Bário**

Nas 10 (dez) análises de amostras de água do aquífero Rio Branco foi detectada a presença de bário, onde os teores variaram de 0,0045 a 0,1265 mg/L, porém os teores encontrados estão abaixo do limite estabelecido pela Portaria MS 2914/2011, não oferecendo riscos para a saúde humana. Além disso, todas as análises indicam que as águas do aquífero Rio Branco podem ser utilizadas para o consumo humano e recreação, segundo padrões da resolução CONAMA 396/2008.

##### **Cádmio**

No período de estiagem (outubro de 2012), as 10 (dez) análises realizadas no aquífero Rio Branco apresentaram teores de cádmio abaixo dos limites de detecção de 0,001 mg/L.

##### **Chumbo**

Do total de amostras analisadas na segunda campanha, 70% (7/10) apresentaram teores de chumbo inferiores ao limite de detecção de 0,001

mg/L. Os demais poços revelaram valores de chumbo que variaram de 0,00101 a 0,0021 mg/L, todos abaixo do padrão definido pela Portaria MS 2914/2011 e pela Resolução CONAMA 396/2008, o que indica que as águas do aquífero Rio Branco podem ser usadas para todos os usos nela prescritos.

### **Cobre**

As análises de metais pesados realizadas nas águas do aquífero Rio Branco indicaram que 30% (3/10) das amostras apresentaram teores de cobre abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L, enquanto que os 70% (7/10) restantes obtiveram resultados de cobre que variaram de 0,00169 a 0,0187 mg/L. Os teores encontrados estão abaixo do VMP estabelecido pela Portaria MS 2914/2011, assim como dentro dos padrões definidos pela Resolução CONAMA 396/2008, indicando que as águas podem ser usadas para consumo humano, dessedentação de animais, irrigação e recreação.

### **Cromo**

Na segunda campanha, realizada em outubro de 2012, as 10 (dez) amostras analisadas no aquífero Rio Branco apresentaram teores de cromo abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L.

### **Mercúrio**

Todas as 10 (dez) amostras analisadas na segunda campanha do aquífero Rio Branco apresentaram teores de mercúrio abaixo do limite de detecção de 0,0001 mg/L.

### **Níquel**

Na análise de água do aquífero Rio Branco, realizada em outubro de 2012, foi detectada a presença de níquel em 90% (9/10) das amostras, com teores que variaram de 0,0032 a 0,0219 mg/L. Apenas um poço apresentou teor de níquel abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L. Todas as amostras analisadas apresentaram valores de níquel dentro dos padrões de potabilidade definido pela Portaria MS 2914/2011. Com relação à indicação dos usos, 90% das amostras indicam que as águas do aquífero Rio Branco poderiam servir para o consumo humano, dessedentação animal, irrigação e recreação, conforme os padrões da Resolução CONAMA 396/2008. A água do poço RBR19 não seria indicada para o consumo humano, haja vista que superou o limite estabelecido pela Resolução citada.

O teor de níquel apresentado pelo poço RBR19 acima do padrão estabelecido pela Resolução CONAMA 396/2008 se deve provavelmente a descarte inadequado de tintas com composição metálica, pois o poço está situado próximo ao Corpo de Bombeiros de Rio Branco (**foto 4.3**), onde é muito comum a prática de reparo da pintura de sinalização dos veículos.



**Foto 4.3** – Poço RBR19 em área próxima ao Corpo de Bombeiros, onde é comum a utilização de tintas a base de metais para manutenção da sinalização dos veículos.

### **Zinco**

No aquífero Rio Branco foi detectada a presença de zinco, com teores que ficaram compreendidos entre 0,0051 e 0,3407 mg/L. Apesar das 10 (dez) amostras apresentarem presença de zinco, todas estavam com valores abaixo do VMP de potabilidade definido pela Portaria MS 2914/2011, bem como dentro dos limites da Resolução CONAMA 396/2008, indicando que as águas do aquífero Rio Branco poderiam ser utilizadas para todos os usos nela prescritos sem restrições.

### **Conclusão**

Os resultados das análises de metais pesados que apresentaram teores de níquel acima dos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 396/2008,

se devem provavelmente a contaminação oriunda de atividades antrópicas, principalmente descarte inadequado de resíduos sólidos.

Na área da propriedade do Corpo de Bombeiros, onde se localiza o poço RBR19 (**foto 4.3**), a origem do níquel detectado acima dos padrões provavelmente está associada ao descarte inapropriado de tintas usadas para sinalização dos veículos.

De acordo com Fortunato (2009), a procedência dos íons metálicos no lixo é variada, podendo ser de: baterias recarregáveis que liberam para o ambiente níquel ( $\text{Ni}^{2+}$ ), cádmio ( $\text{Cd}^{2+}$ ) e chumbo ( $\text{Pb}^{2+}$ ); materiais eletrônicos, que liberam íons de cobre ( $\text{Cu}^{+2}$ ); latas, que contém ferro ( $\text{Fe}^{2+}$ ); pilhas comuns e alcalinas, que possuem mercúrio ( $\text{Hg}^{2+}$ ); solventes orgânicos que são responsáveis pela liberação de cromo ( $\text{Cr}^{3+}$  e  $\text{Cr}^{6+}$ ); latas descartáveis, utensílios domésticos e embalagens laminadas que liberam alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ).

#### **4.7.14 – BTEX e Fenóis**

##### **4.7.14.1 – BTEX**

O grupo de compostos BTEX formado pelo Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos (orto, meta e para) são extremamente tóxicos à saúde humana, apresentando toxicidade crônica mesmo em pequenas concentrações, podendo levar a lesões do sistema nervoso central.

Devido ao risco potencial a saúde humana que esse grupo de compostos oferece a Portaria MS 2914/2011 e a Resolução CONAMA 396/2008 estabeleceram limites para que a água seja considerada potável, como pode ser observado no **item 2.14.1**.

Na segunda campanha de amostragem das águas do aquífero Rio Branco, realizada em outubro de 2012, verificou-se que todas as 10 (dez) amostras de **Benzeno e Etilbenzeno**, apresentaram teores abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L. Enquanto que para o **Tolueno**, 90% (9/10) das amostras apresentaram teores abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L, exceto o poço RBR28 que apresentou valor de 0,0321 mg/L. Todas as 10 (dez) análises de **Xilenos** composta por o,xilenos e m,p xilenos apresentaram valores abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L e de 0,002 mg/L, respectivamente.

Todas as amostras coletadas no aquífero Rio Branco apresentaram teores de BTEX abaixo do VMP estabelecido pela Portaria MS 2914/2011 (**tabela 2.7**), bem como dentro dos limites da Resolução CONAMA 396/2008, indicando que as águas subterrâneas poderiam ser utilizadas para os usos nela prescritos (**tabela 2.8**).

Vale ressaltar que o resultado de tolueno encontrado no poço RBR28 se deve provavelmente a contaminação por postos de combustível, pois de acordo com Kao & Wang (2000), os problemas mais graves de contaminação das águas subterrâneas são atribuídos aos hidrocarbonetos aromáticos, ocorrendo, na maioria dos casos, devido ao vazamento de tanques subterrâneos que armazenam combustíveis derivados de petróleo. Dentre os constituintes da gasolina, principal derivado do petróleo, os que merecem maior preocupação são os hidrocarbonetos voláteis monoaromáticos, benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX), devido a sua toxicidade e solubilidade em água (Kuntasal *et al.*, 2005).

Por tal motivo é extremamente importante o monitoramento das águas subterrâneas no aquífero Rio Branco, pois esses compostos apresentam risco à saúde humana quando presentes na água.

#### 4.7.14.2 – Fenóis

O fenol ( $\text{CH}_6\text{H}_5\text{OH}$ ) é um sólido branco cristalino em seu estado puro. Geralmente é vendido e utilizado na forma líquida, possui odor forte, levemente doce e irritante.

Considerando os efeitos toxicológicos do fenol, a Resolução CONAMA 396/2008 estabeleceu limites máximos aceitáveis para a água subterrânea, de acordo com os usos considerados preponderantes, como pode ser observado no **item 2.14.2**.

No período de estiagem (outubro de 2012), foi realizada amostragens de água no aquífero Rio Branco, para avaliação dos teores de fenóis, onde se verificou que 70% (7/10) das amostras analisadas apresentaram resultados inferiores ao limite de detecção de 0,001 mg/L. Enquanto que os 30% (3/10) restantes dos poços apresentaram os seguintes valores de fenóis: 0,0016; 0,0018 e 0,0023 mg/L.

De acordo com a resolução CONAMA 396/2008, as águas dos poços amostrados poderiam ser aproveitadas para todos os usos nela prescritos, exceto o poço RBR09 que apresentou valor superior ao limite permitido para dessedentação animal e recreação, podendo ser utilizado apenas para o consumo humano.

#### 4.7.15 – Isótopos Ambientais

##### 4.7.15.1 – Oxigênio 18 e Deutério

Em hidrologia isotópica, a **equação 2.2** que define a linha de água meteórica global (GMWL) de Harmon Craig (1961) é uma referência para a interpretação da origem das águas subterrâneas, conforme pode ser observado no **item 2.15.1**.

Desse modo, a partir da referência supracitada e com base nos resultados das análises (**tabela 4.49**) para o aquífero Rio Branco foi elaborado o diagrama (**figura 4.25**) que mostra que a Linha de Água Subterrânea (LAS) ou Reta de Água Subterrânea (RAS) do aquífero Rio Branco apresenta um desvio muito pequeno em relação à Linha de Água Meteórica Mundial (LAMM), também chamada de Reta Meteórica Mundial (RMM), conforme se deduz da declividade 7,91, bem próxima de 8,13 das precipitações. Isto pode ser visto comparando as equações das retas RAS e RMM (fazendo  $\delta^2\text{H}^0/_{00} = 0$ ), ou seja:

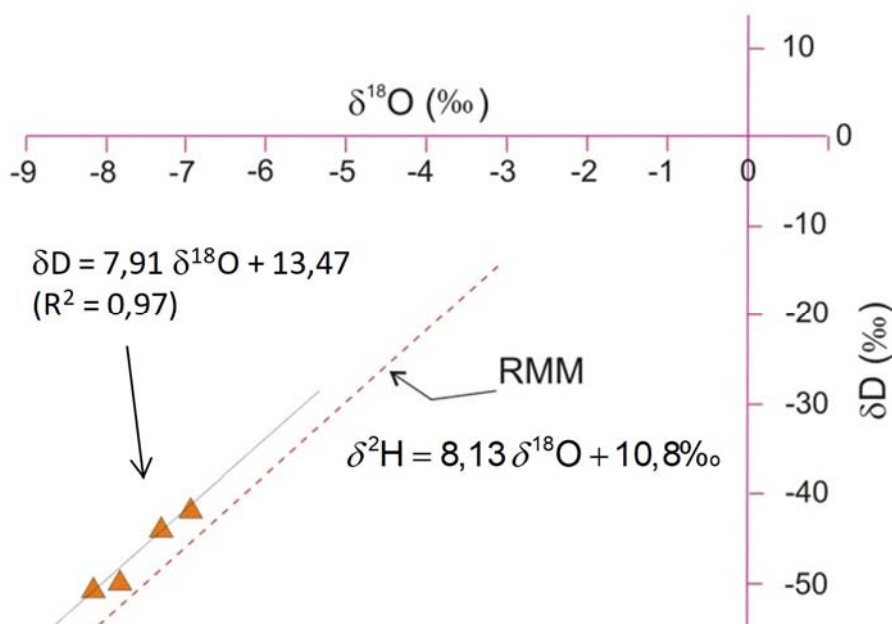
$$\text{Para a RAS: } \delta^{18}\text{O} = -\frac{13,47}{7,91} = -1,70 \text{ ‰}$$

$$\text{Para a RMM: } \delta^{18}\text{O} = -\frac{10,8}{8,13} = -1,33 \text{ ‰}$$

Ocorre, portanto, uma variação de -0,37 na concentração isotópica de  $\delta^{18}\text{O}^0/_{00}$  das precipitações [-1,70 - (-1,33)], indicando águas subterrâneas provenientes de chuvas com -0,28 de perda de  $\delta^{18}\text{O}$  por evaporação (-0,37 ÷ 1,33).

**Tabela 4.49** – Valores de deutério e oxigênio-18 dosados nas amostras coletadas no aquífero Rio Branco na segunda campanha de amostragem (outubro de 2012).

Poço	$\delta D\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}\text{‰}$
RBR11	-42,4	-7,0
RBR14	-35,1	-6,2
RBR20	-43,4	-7,4
RBR27	-42,3	-7,2



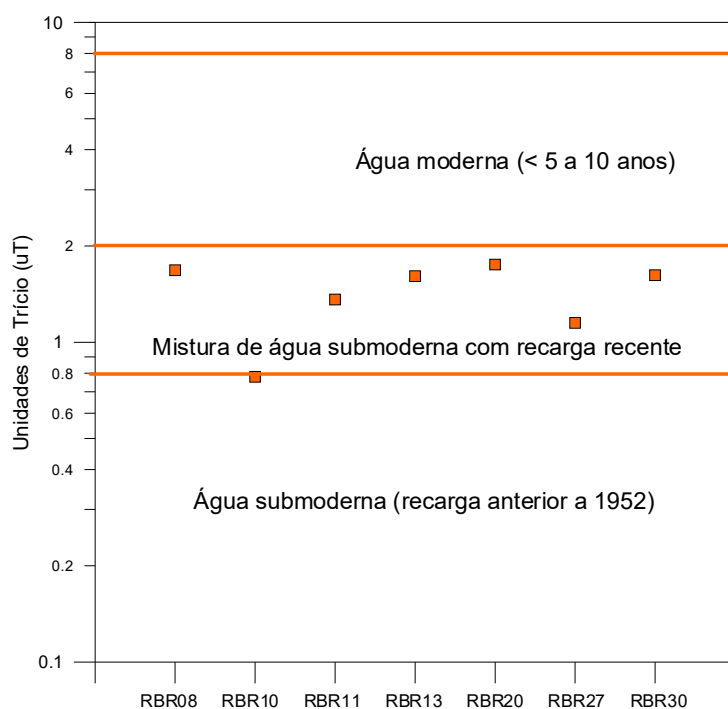
**Figura 4.25** – Diagrama mostrando relação de oxigênio 18 e deutério no aquífero Rio Branco.

#### 4.7.15.2 – Trício

Clark & Fritz (1997) realizaram uma proposta de interpretação qualitativa de dados de  $^3\text{H}$  para dados de regiões costeiras e de baixa latitude, onde é feita uma relação entre os valores de unidades de trício (U.T.) com a idade das águas subterrâneas (**tabela 2.10**), conforme descrito no **item 2.15.2**.

Sendo assim, com base nessa relação e nos dados de  $^3\text{H}$  obtidos nas 7 (sete) amostras coletadas no aquífero Rio Branco (**figura 4.26**), é possível verificar que o aquífero possui mistura de água submoderna com recarga recente.





**Figura 4.26** – Idade qualitativa da recarga do aquífero Rio Branco, segundo os dados de trício de 7 (sete) amostras coletadas.

#### 4.7.15.3 – Conclusão

Os estudos dos isótopos ambientais realizados no aquífero Rio Branco permitiram alcançar os seguintes resultados:

- As análises de Oxigênio-18 e Deutério levaram a concluir que a recarga do aquífero Rio Branco, provém de águas meteóricas, ou seja, águas de chuva com perda de 28% na concentração de  $\delta^{18}\text{O}$  atribuída a evaporação;
- As datações efetuadas com Trício foram baseadas na proposta de interpretação qualitativa de Clark & Fritz (1997) e indicaram que as águas do aquífero Rio Branco têm mistura de água submoderna com recarga recente.

#### 4.7.16 – Parâmetros Biológicos

##### **Coliformes Totais**

A qualidade bacteriológica de uma água para avaliar a contaminação por dejetos humanos e de outros animais de sangue quente é feita através de bactérias do grupo coliformes, principalmente os Coliformes Totais e *Escherichia Coli* ou Coliformes Termotolerantes, conforme descrito no **item 2.16**. A Portaria MS 2914/2011 estabelece como padrão microbiológico da água para consumo humano, a ausência de coliformes totais em 100 mL de água.

No período chuvoso (abril de 2012), as águas do aquífero Rio Branco, apresentaram em 77% (23/30) dos casos a presença de coliformes totais, enquanto que no período de estiagem (outubro de 2012), a presença ocorreu em 80% (24/30) das amostras.

Com base nos padrões microbiológicos definidos pela Portaria MS 2914/2011, apenas 23% (7/30) dos poços na primeira campanha e 20% (6/30) na segunda campanha apresentaram águas recomendadas para consumo humano, o que representa um risco para a saúde, haja vista que a população da área de estudo utiliza a água dos poços para todos os usos, principalmente o doméstico.

Tais resultados ocorrem no aquífero Rio Branco, pois a área de estudo está inserida numa região bastante urbanizada e que não possui sistema de esgotamento sanitário, o que segundo Zoby (2008) é extremamente preocupante, pois a falta de saneamento representa um risco direto à potabilidade das águas subterrâneas pela infiltração por fossas sépticas e pelo vazamento de redes de esgoto.

### ***Escherichia Coli***

É uma bactéria não patogênica, do grupo de coliformes fecais (termotolerantes), que normalmente habita os intestinos dos animais superiores. É encontrada em esgotos, efluentes tratados e águas naturais sujeitas à contaminação recente por seres humanos, atividades agropecuárias, animais selvagens e pássaros, conforme descrito no **item 2.16**.

A Portaria MS 2914/2011 e a Resolução CONAMA 396/2008 estabeleceram como padrão biológico para consumo humano a ausência de *E. coli* em 100 mL de água. A Resolução CONAMA também estabelece limites para dessedentação animal e recreação, conforme pode ser observado na **tabela 2.11 (item 2.16)**.

Na primeira campanha de amostragem, realizada no período chuvoso de abril de 2012, nas águas do aquífero Rio Branco foi detectada a presença de *E. coli* em 37% (11/30) das amostras. Enquanto que, na segunda campanha, realizada no período de estiagem (outubro de 2012), 33% (10/30) das amostras apresentaram resultado positivo para a presença de *E. coli*.

Com base nos resultados das análises verifica-se que 63% (19/30) e 67% (20/30) das amostras respectivamente na primeira e segunda campanha, apresentaram águas dentro dos padrões biológicos recomendados pela Portaria MS 2914/2011, bem como nos limites definidos pela Resolução CONAMA 396/2008, indicando que as suas águas podem ser utilizadas para consumo humano, dessedentação animal e recreação (**tabela 2.11**).

De acordo com Colvara *et al.* (2009), vários fatores podem ser responsáveis pela contaminação da água de poços artesianos em uma propriedade, tanto rural quanto urbana, a exemplo, da falta de manutenção do reservatório, localização inadequada do poço e falta de cuidado e higiene com a água antes do consumo.

Silva & Araújo (2003) relatam que o destino final do esgoto doméstico e industrial em fossas e tanques sépticos, a disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos e industriais, postos de combustíveis e de lavagem e a

modernização da agricultura representam fontes de contaminação das águas subterrâneas por bactérias e vírus patogênicos, parasitas e substâncias orgânicas e inorgânicas.

Dessa forma, fica evidente que a elevada presença de *E. coli* no aquífero Rio Branco se deve provavelmente pelo lançamento de esgoto *in natura*, que infiltra no solo e contribui para a contaminação do lençol freático, o que é extremamente preocupante, pois pode acarretar na população doenças de veiculação hídrica, tais como, amebíase, giardíase, gastroenterite, febres tifoide e paratifoide, hepatite infecciosa e cólera.

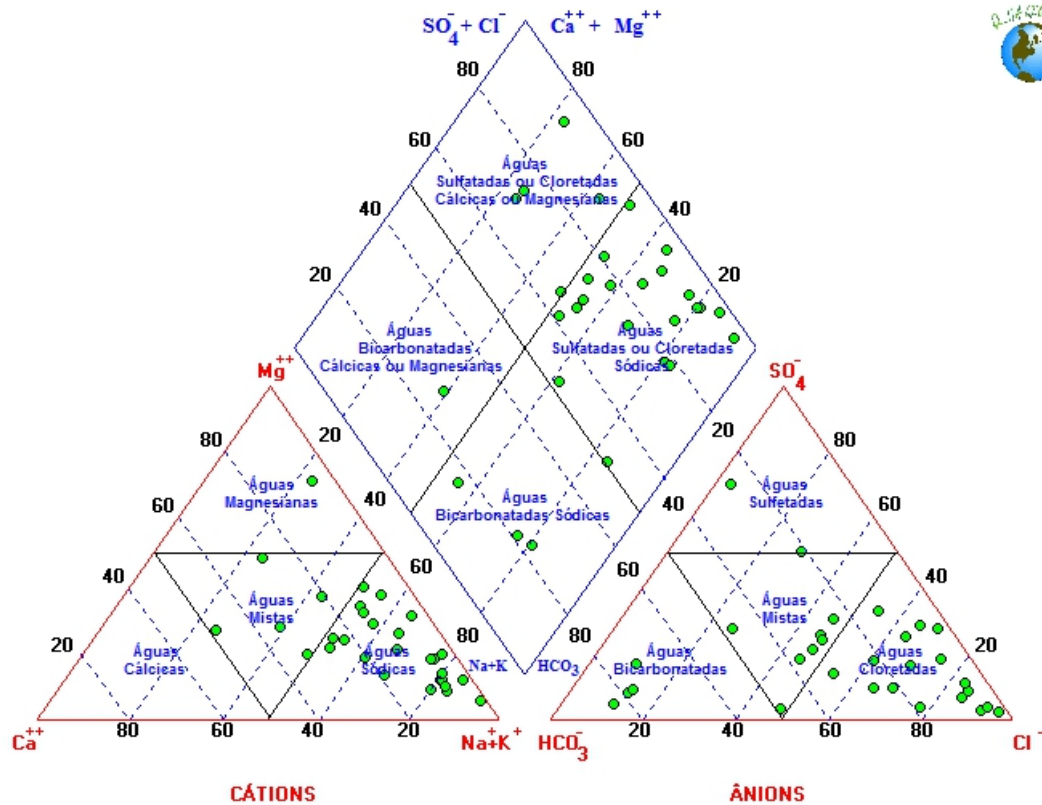
#### **4.7.17 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquífero Rio Branco Segundo a Composição Química**

Vários são os métodos existentes para a classificação das águas segundo a composição química. Todos eles se baseiam em representações gráficas dos percentuais ou frações dos cátions e ânions dominantes, normalmente expressos em meq/L. As representações são as mais diversas, incluindo diagramas colunares, circulares, triangulares e polígonos irregulares. Dentre os mais utilizados, estão o diagrama triangular de Piper e o polígono de Stiff, a seguir apresentados para a classificação das águas subterrâneas do aquífero Rio Branco, com base nos dados coletados na rede de 30 (trinta) poços de monitoramento, em duas campanhas: a primeira, no período chuvoso (abril de 2012) e a segunda no período de estiagem (outubro de 2012).

##### **4.7.17.1 – Diagrama Triangular de Piper**

###### ***Período chuvoso***

A classificação das águas por meio do Diagrama de Piper se baseia na identificação dos ânions e cátions predominantes. Mediante observação da **figura 4.27**, é possível identificar que as águas do Aquífero Rio Branco no período chuvoso de abril de 2012, no que se refere aos ânions são 56,7% (17/30) cloretadas, 23,3% (7/30) mistas, 13,3% (4/30) bicarbonatadas, e 6,7% (2/30) sulfetadas, como pode ser observado na **tabela 4.50**. Já no que concerne a presença de cátions, as águas são 80% (24/30) sódicas, 16,7% (5/30) mistas e 3,3% (1/30) magnesianas.



Aquífero Rio Branco em Rio Branco - Período chuvoso (abril de 2012)

**Figura 4.27** – Classificação das águas do aquífero Rio Branco, coletadas no período chuvoso (abril de 2012) segundo o diagrama Triangular de Piper.

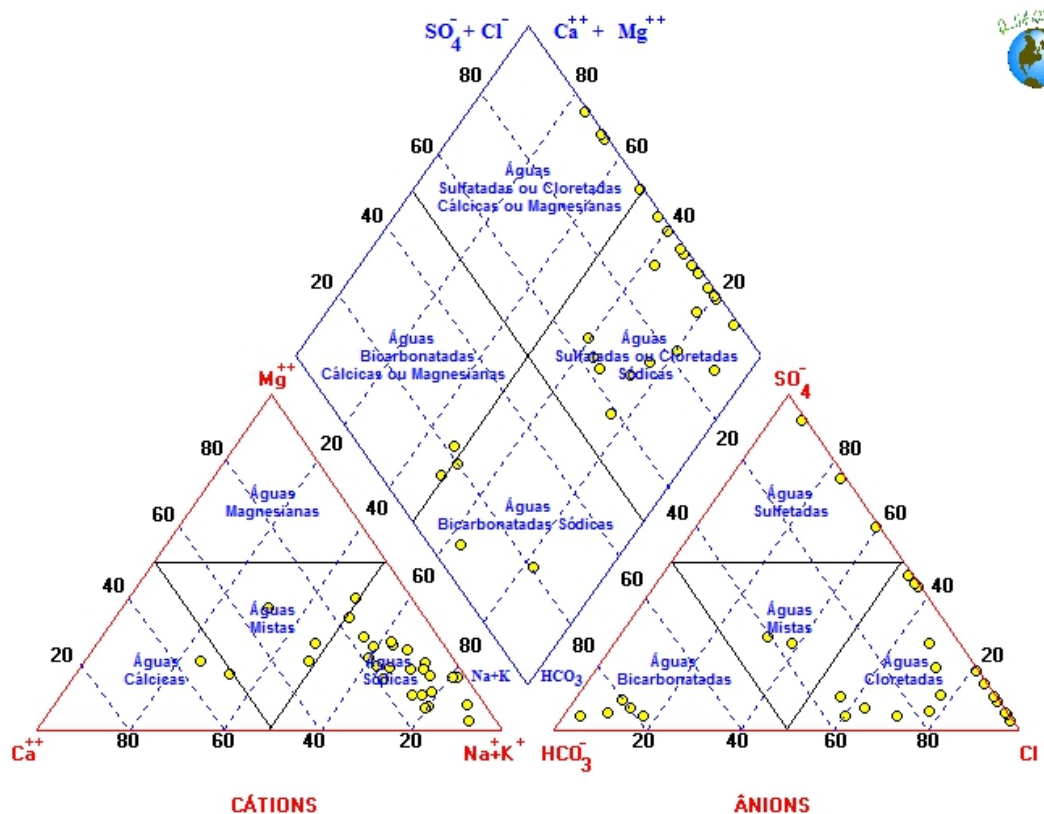
Com base nos dados apresentados na **figura 4.27** e na **tabela 4.50**, é possível afirmar que, a maioria (70%) das águas do aquífero Rio Branco, coletadas em abril de 2012, são *Cloretadas Sódicas*. Os 30% restantes dos poços apresentam águas de composição química diversa, contemplando: cloretada magnésiana (16,7%), bicarbonatada sódica (10%) e bicarbonatada magnésiana (3,3%). A ocorrência desses tipos fora do padrão é atribuída possivelmente a influências antrópicas, haja vista que a área de estudo está inserida em região urbana.

**Tabela 4.50** - Classificação das Águas do Aquífero Rio Branco segundo a composição química - Período Chuvoso (abril de 2012).

Cátions	Poços	%	Ânions	Poços	%	Geral	Poços	%
Águas Magnésianas	1	3,3	Águas Sulfatadas	2	6,7	Águas Cloretadas Magnésianas	5	16,7
Águas Cálcicas	0	0,0	Águas Bicarbonatadas	4	13,3	Águas Bicarbonatadas Magnésianas	1	3,3
Águas Sódicas	24	80,0	Águas Cloretadas	17	56,7	Águas Bicarbonatadas Sódicas	3	10,0
Águas Mistas	5	16,7	Águas Mistas	7	23,3	Águas Cloretadas Sódicas	21	70,0

## Período de estiagem

De acordo com a **figura 4.28** e **tabela 4.51** verifica-se que as águas do aquífero Rio Branco, no período seco de outubro de 2012, quanto à presença de ânions, são 66,7% (20/30) cloretadas, 16,7% (5/30) bicarbonatadas, 10% (3/30) sulfatadas e 6,7% (2/30) mistas. Com relação aos cátions é possível identificar que 80% (24/30) das águas são sódicas, 13,3% (4/30) são mistas e 6,7% (2/30) são cálcicas.



Aquífero Rio Branco em Rio Branco - Período seco (outubro de 2012)

**Figura 4.28** – Classificação das águas subterrâneas do aquífero Rio Branco através do Diagrama de Piper, com base em amostras de água coletadas em outubro de 2012.

Os dados da **tabela 4.51** permitem concluir que a composição química das águas dos poços do aquífero Rio Branco na segunda campanha, são de maioria (70%) *Cloretadas Sódicas*.

**Tabela 4.51** - Classificação das Águas do Aquífero Rio Branco, de acordo com a composição química - Período seco (outubro de 2012).

Cátions	Poços	%	Ânions	Poços	%	Geral	Poços	%
Águas Magnesianas	0	0	Águas Sulfatadas	3	10,0	Águas Cloretadas Cálcicas	4	13,3
Águas Cálcicas	2	6,7	Águas Bicarbonatadas	5	16,7	Águas Bicarbonatadas Cálcicas	2	6,7
Águas Sódicas	24	80	Águas Cloretadas	20	66,7	Águas Bicarbonatadas Sódicas	3	10
Águas Mistas	4	13,3	Águas Mistas	2	6,7	Águas Cloretadas Sódicas	21	70

Os 30% restantes dos poços apresentam águas de composição química diversa, dentre as quais se encontram: 2/30 poços (6,7%) com água bicarbonatada cálcica; 3/30 poços (10%) com água bicarbonatada sódica; 4/30 poços (13,3%) com água cloretada cálcica. A ocorrência desses tipos fora do padrão é provavelmente atribuída a influências antrópicas, pois a área de estudo está localizada em espaço geográfico bastante urbanizado.

De modo geral, ao comparar os resultados das duas campanhas, no que se refere à composição química das águas subterrâneas do aquífero Rio Branco, verifica-se que o padrão de águas *Cloretadas Sódicas* não se modifica com a sazonalidade.

#### 4.7.17.2 – Diagrama de Stiff

Com base nos resultados das coletas realizadas nos meses de abril e outubro de 2012 em 30 poços situados no aquífero Rio Branco, foram elaborados para fins de classificação das águas, segundo a composição química, Diagramas de Stiff, através dos quais é possível visualizar facilmente por meio de polígonos, os íons predominantes em cada um dos pontos analisados.

#### **Período chuvoso**

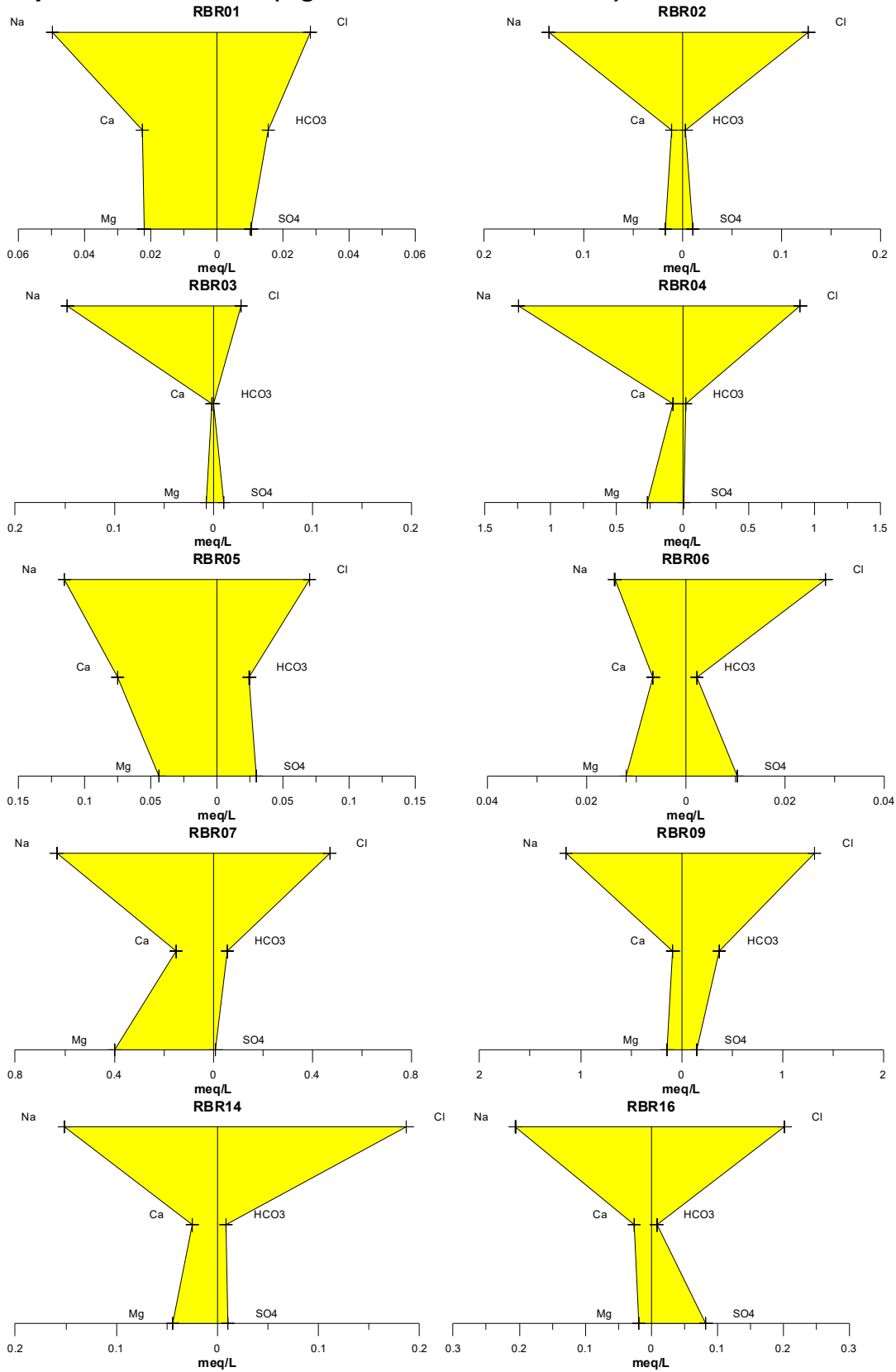
Os resultados da primeira campanha, assim como, a classificação das águas do aquífero Rio Branco, segundo a predominância de íons estão apresentados na **tabela 4.52**.

**Tabela 4.52** - Classificação das águas do aquífero Rio Branco, de acordo com a predominância de íons - Período chuvoso (abril de 2012).

Classificação	Poços	%
Água Bicarbonatada Sódica	05	16,7
Água Cloretada Sódica	20	66,7
Água Cloretada Magnesiana	02	6,7
Água Sulfatada Sódica	01	3,3
Água Sulfatada Cálcica	01	3,3
Água Mista Sódica	01	3,3

Dentre as amostras coletadas no período chuvoso, em abril de 2012, 66,7% (20/30) são cloretadas sódicas (**figura 4.29a**); 16,7% (5/30) bicarbonatadas sódicas (**figura 4.29b**); 6,7% (2/30) cloretadas magnesianas (**figura 4.29c**); 3,3% (1/30) sulfatada sódica (**figura 4.29d**); 3,3% (1/30) sulfatada cálcica (**figura 4.29e**); e 3,3% (1/30) mista sódica (**figura 4.29f**). Tais dados permitem classificar a maioria das águas do aquífero Rio Branco em abril de 2012 como *Cloretadas Sódicas*.

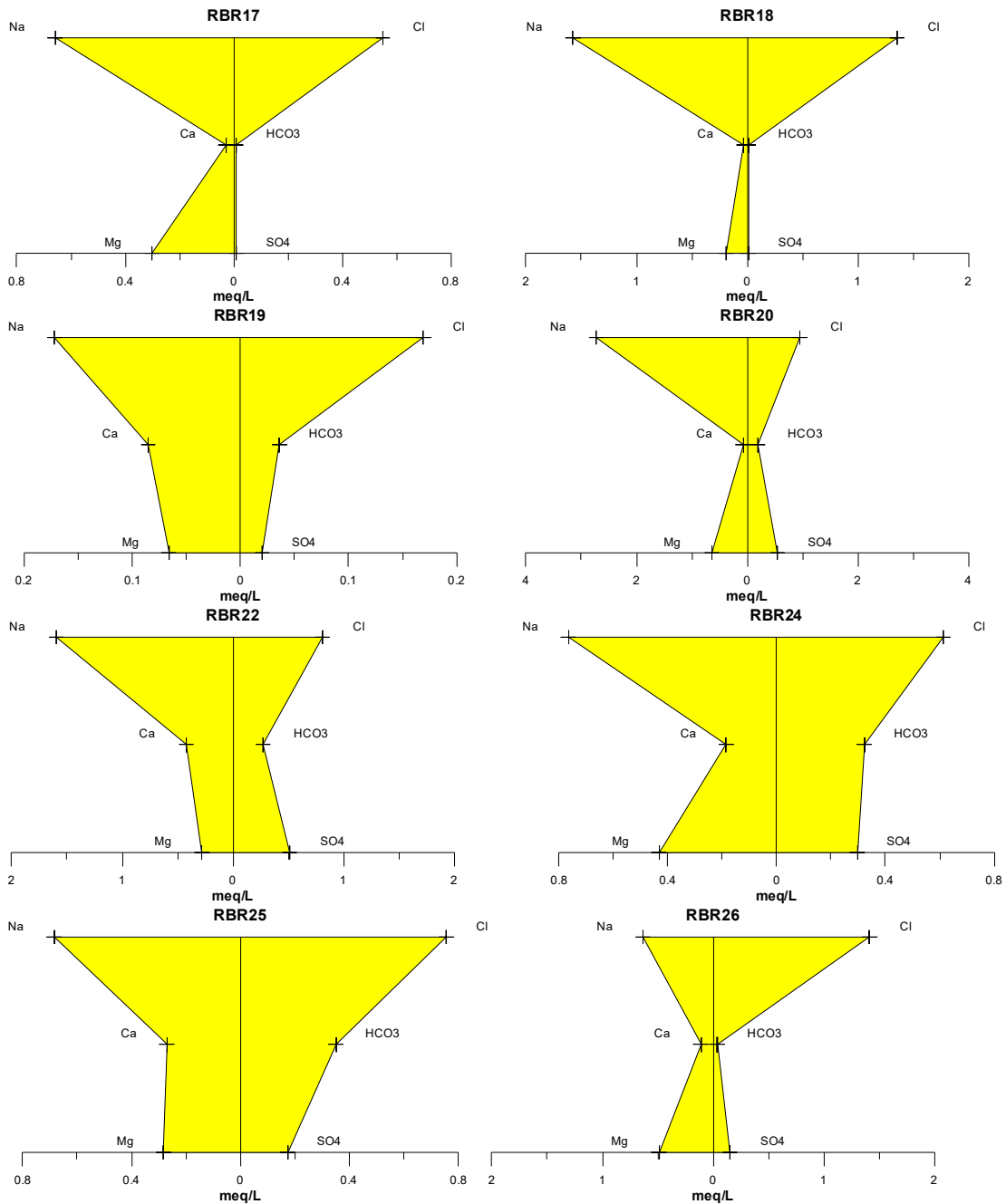
**Aquífero Rio Branco (Águas Cloretadas Sódicas) – abril de 2012**



**Figura 4.29a** – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Rio Branco.

**Continuação**

**Aquífero Rio Branco (Águas Cloretadas Sódicas) – abril de 2012**

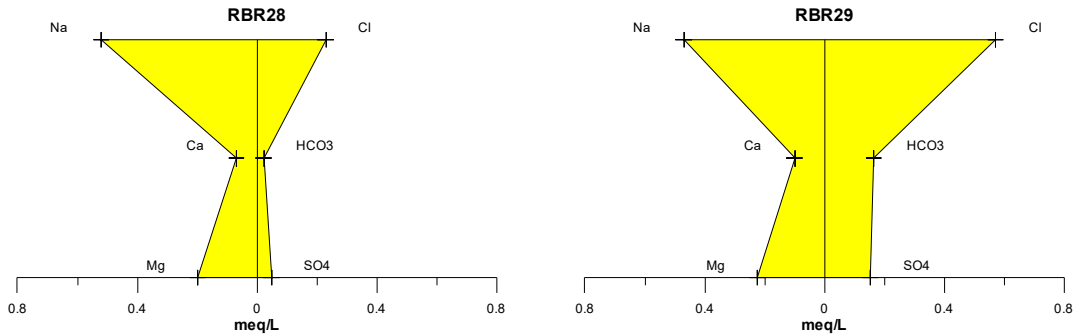


**Figura 4.29a** – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Rio Branco (continuação).



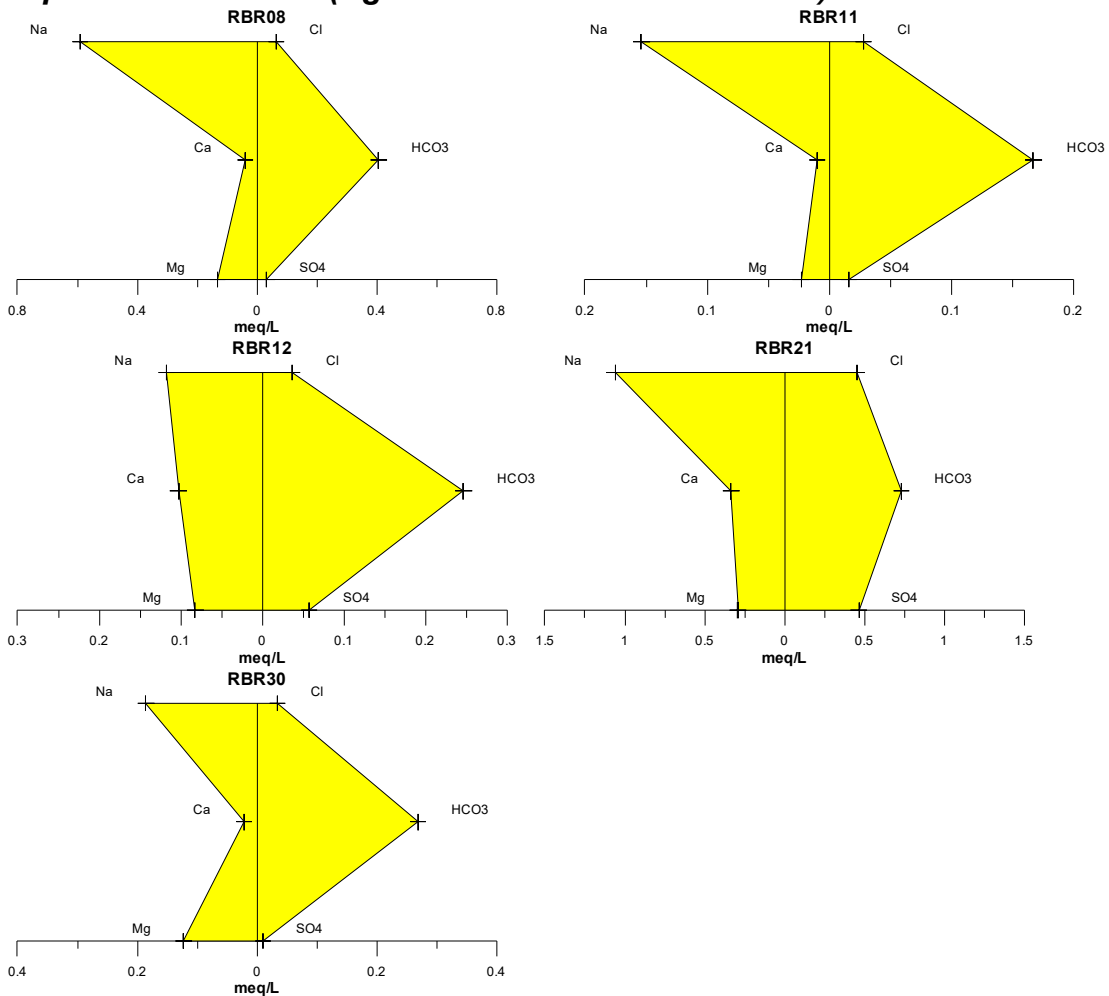
**Continuação**

**Aquífero Rio Branco (Águas Cloretadas Sódicas) – abril de 2012**



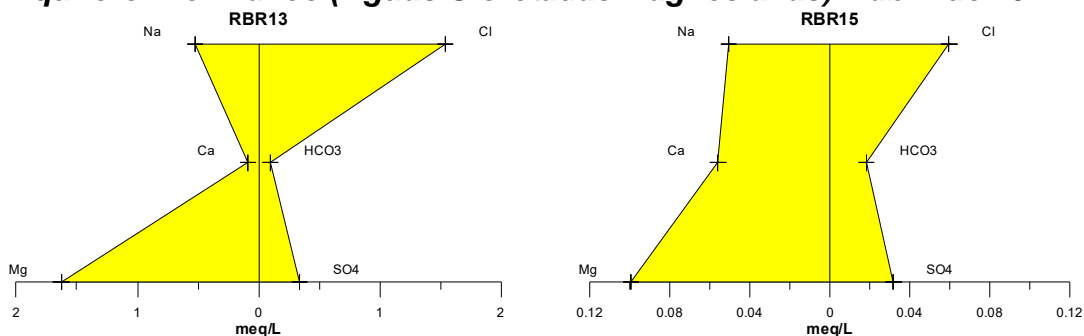
**Figura 4.29a** – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Rio Branco (continuação).

**Aquífero Rio Branco (Águas Bicarbonatadas Sódicas) – abril de 2012**



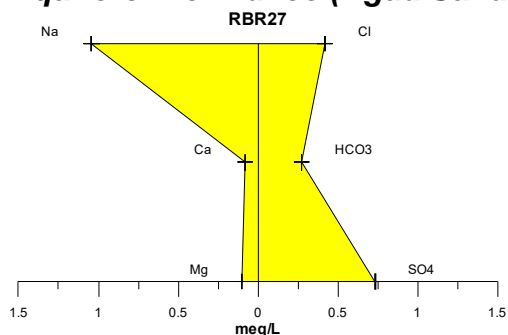
**Figura 4.29b** – Águas bicarbonatadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Rio Branco.

**Aquífero Rio Branco (Águas Cloretadas Magnesianas) – abril de 2012**



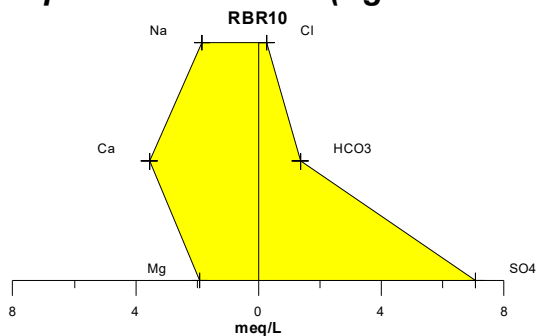
**Figura 4.29c** – Águas cloretadas magnesianas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Rio Branco.

**Aquífero Rio Branco (Água Sulfatada Sódica) – abril de 2012**



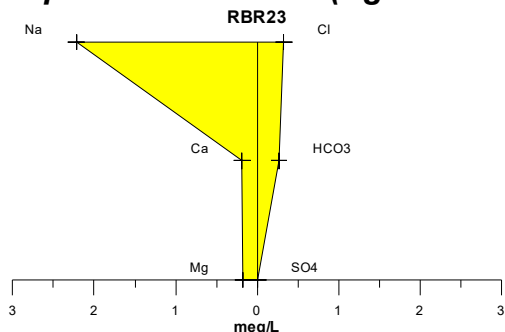
**Figura 4.29d** – Água sulfatada sódica classificada segundo o Diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada em abril de 2012 no aquífero Rio Branco.

**Aquífero Rio Branco (Água Sulfatada Cálcica) – abril de 2012**



**Figura 4.29e** – Água sulfatada cálcica classificada segundo o Diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada em abril de 2012 no aquífero Rio Branco.

### Aquífero Rio Branco (Água Mista Sódica) – abril de 2012



**Figura 4.29f** – Água mista sódica classificada segundo o Diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada em abril de 2012 no aquífero Rio Branco.

### Período de estiagem

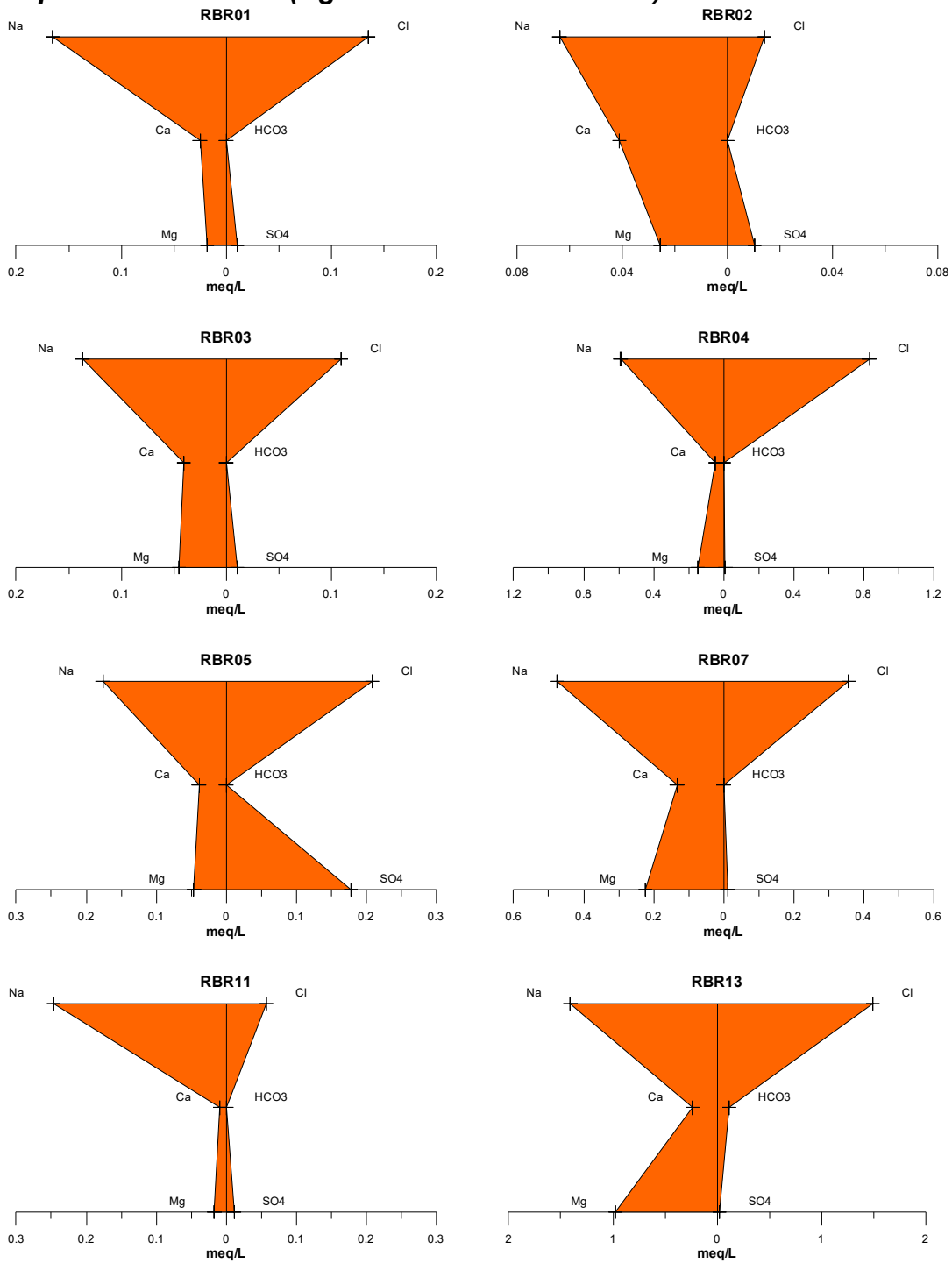
Os resultados da segunda campanha, assim como a classificação das águas do aquífero Rio Branco segundo a predominância de íons, estão apresentados na **tabela 4.53**.

**Tabela 4.53** - Classificação das Águas do Aquífero Rio Branco, de acordo com a predominância de íons - Período seco (outubro de 2012).

Classificação	Poços	%
Água Cloretada Sódica	22	73,3
Água Bicarbonatada Sódica	03	10,0
Água Sulfatada Cálcica	03	10,0
Água Sulfatada Magnésiana	01	3,3
Água Sulfatada Sódica	01	3,3

Analisando os resultados das amostras do aquífero Rio Branco coletadas no período seco, em outubro de 2012, verificou-se que 73,3% (22/30) das águas são classificadas como cloretadas sódicas (**figura 4.30a**); 10% (3/30) bicarbonatadas sódicas (**figura 4.30b**); 10% (3/30) sulfatadas cálcicas (**figura 4.30c**); 3,3% (1/30) sulfatada magnésiana (**figura 4.30d**); e 3,3% (1/30) sulfatada sódica (**figura 4.30e**). Sendo, portanto, classificadas a maioria das águas do aquífero Rio Branco, em outubro de 2012, como *Cloretadas Sódicas*.

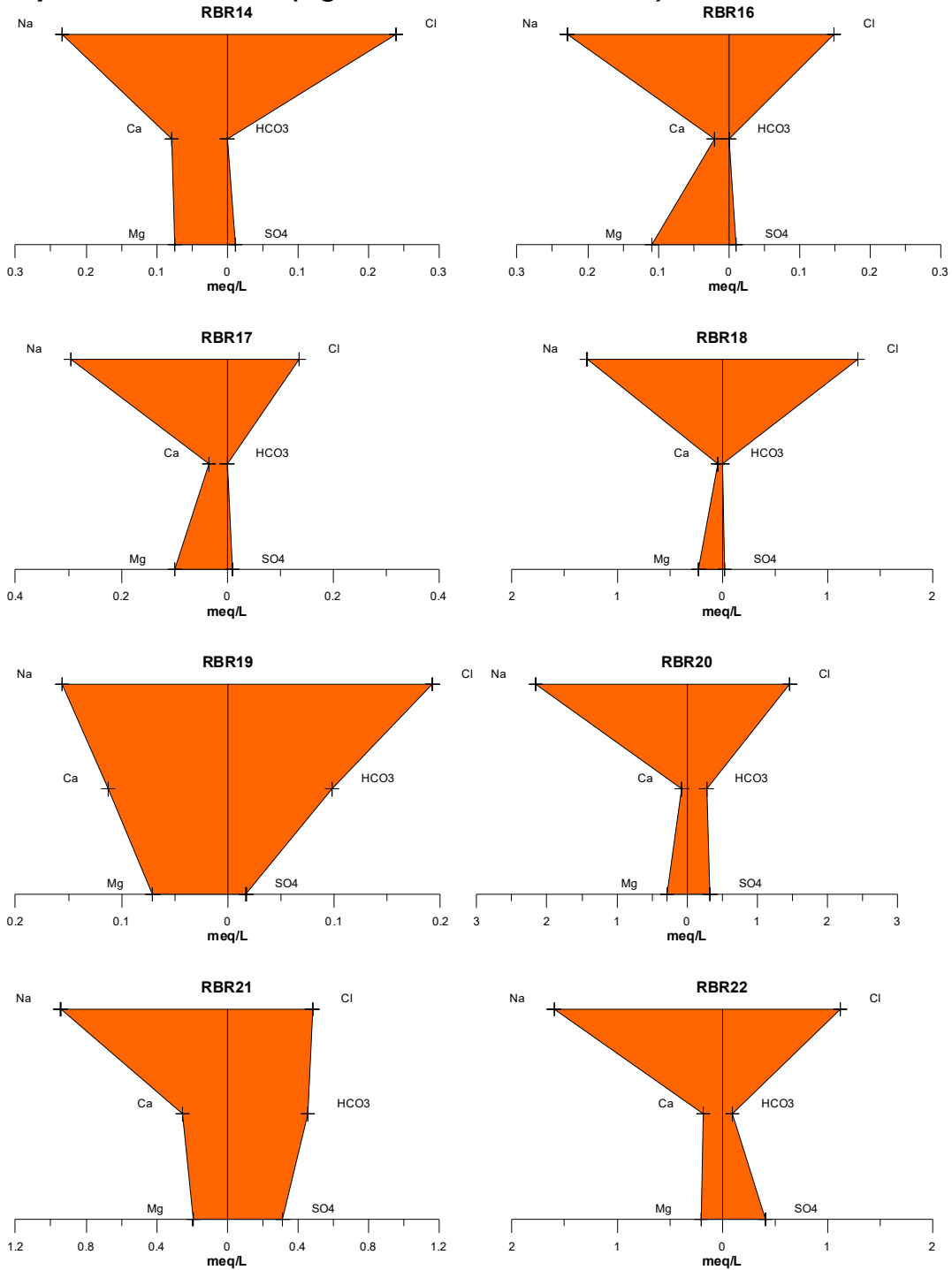
**Aquífero Rio Branco (Águas Cloretadas Sódicas) - outubro de 2012**



**Figura 4.30a** – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Rio Branco.

**Continuação**

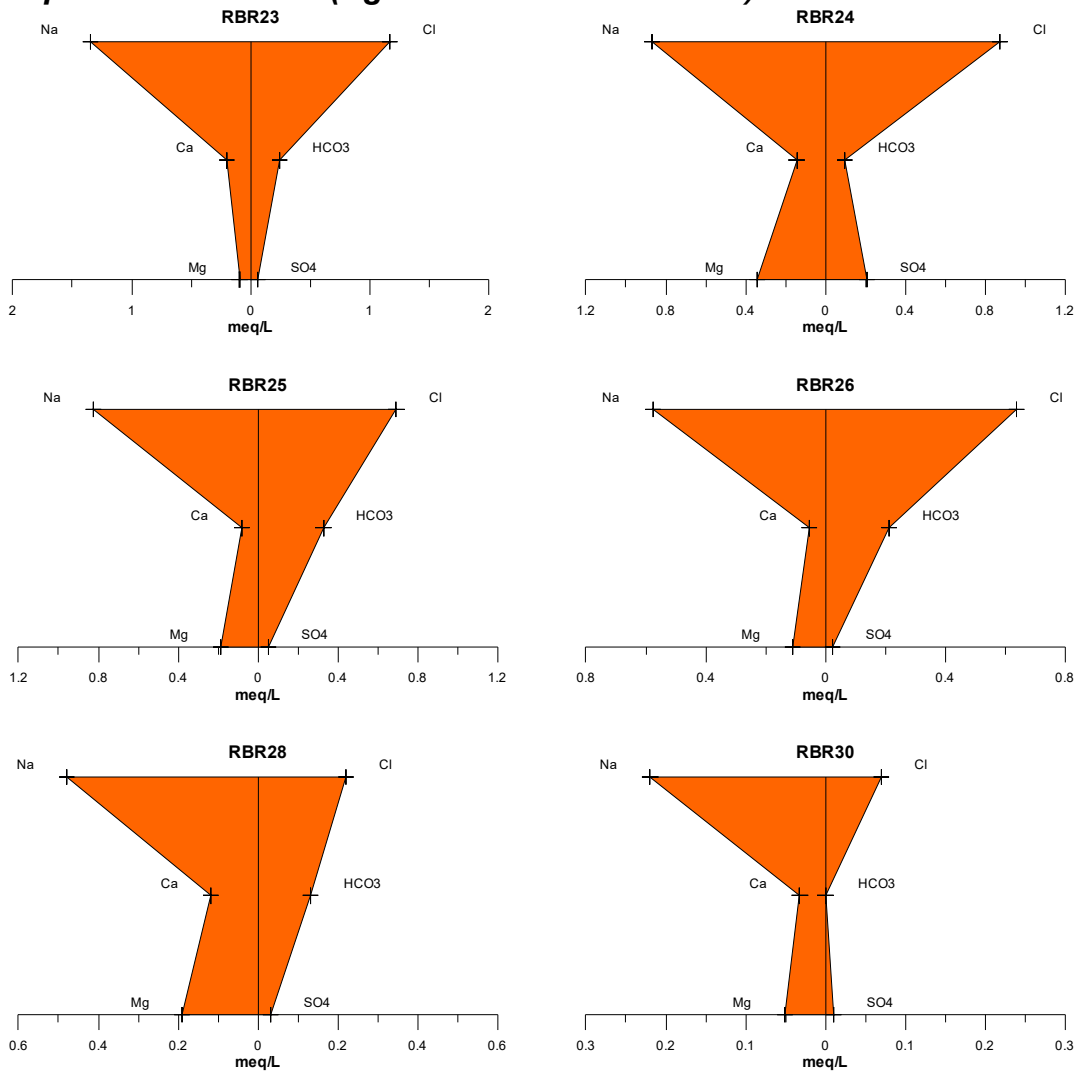
**Aquífero Rio Branco (Águas Cloretadas Sódicas) - outubro de 2012**



**Figura 4.30a** – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Rio Branco (Continuação).

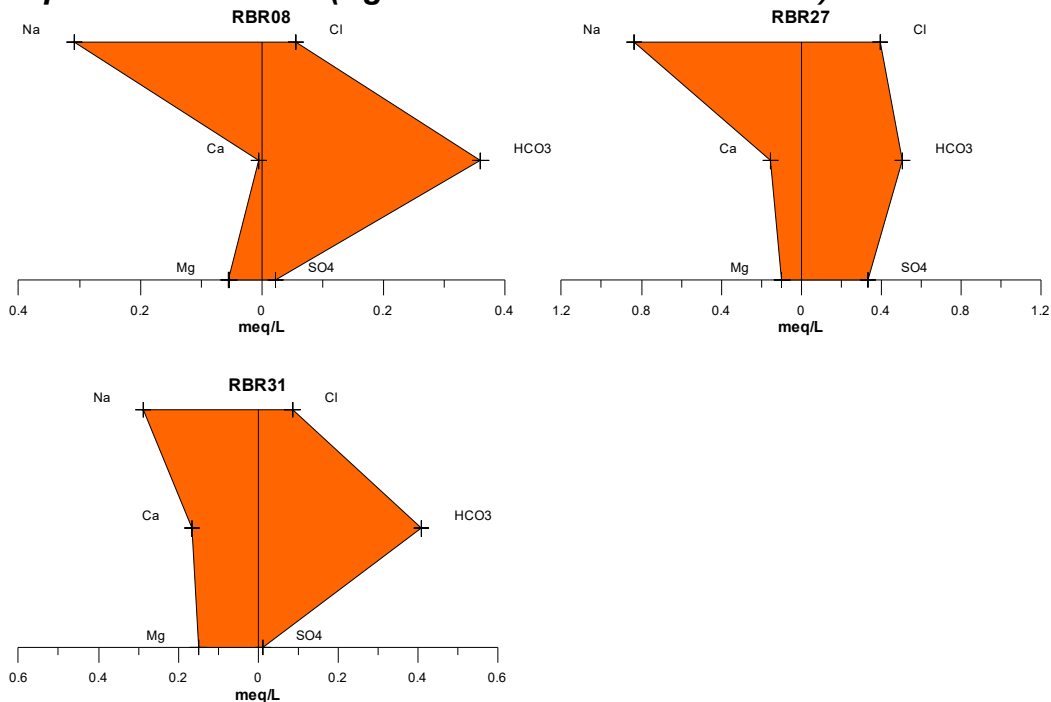
**Continuação**

**Aquífero Rio Branco (Águas Cloretadas Sódicas) - outubro de 2012**



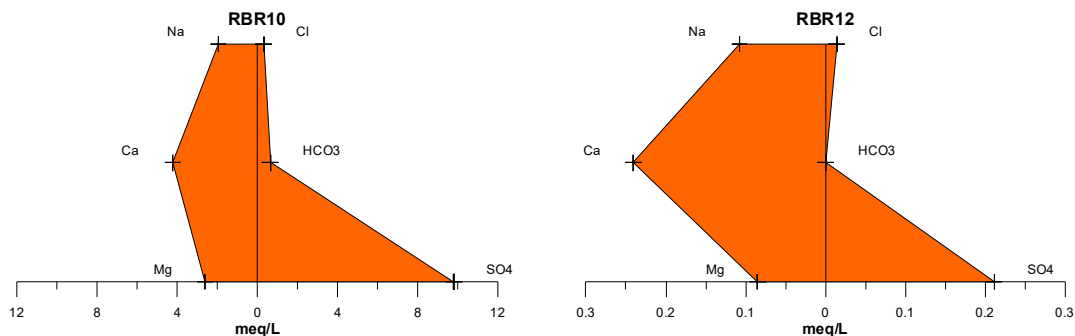
**Figura 4.30a** – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Rio Branco (Continuação).

**Aquífero Rio Branco (Águas Bicarbonatadas Sódicas) - outubro de 2012**



**Figura 4.30b** – Águas bicarbonatadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Rio Branco.

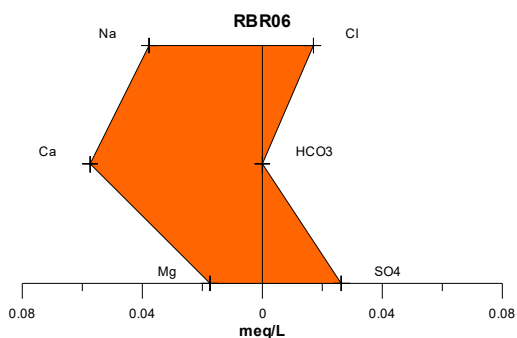
**Aquífero Rio Branco (Águas Sulfatadas Cálcicas) - outubro de 2012**



**Figura 4.30c** – Águas sulfatadas cálcicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletada no período de estiagem, em outubro de 2012, no aquífero Rio Branco.

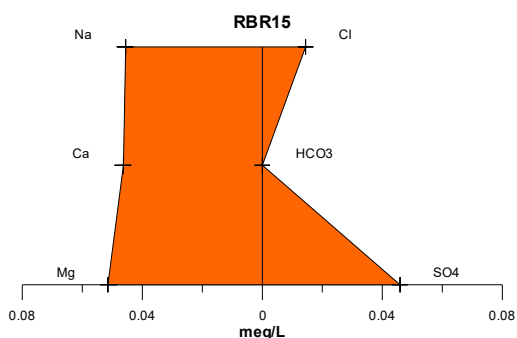
## Continuação

### Aquífero Rio Branco (Águas Sulfatadas Cálcidas) - outubro de 2012



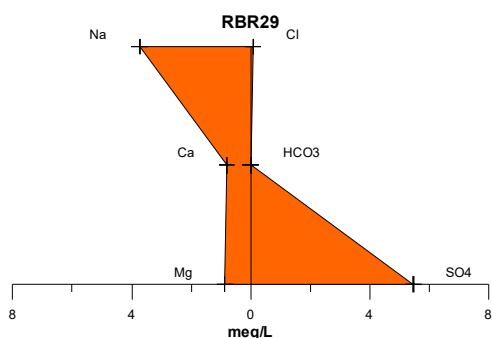
**Figura 4.30c** – Águas sulfatadas cálcicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletada no período de estiagem, em outubro de 2012, no aquífero Rio Branco (Continuação).

### Aquífero Rio Branco (Água Sulfatada Magnésiana) - outubro de 2012



**Figura 4.30d** – Água sulfatada magnésiana classificada segundo o Diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Rio Branco.

### Aquífero Rio Branco (Água Sulfatada Sódica) - outubro de 2012



**Figura 4.30e** – Água sulfatada sódica classificada segundo o Diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Rio Branco.



#### **4.7.18 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquífero Rio Branco Segundo o Uso**

##### **4.7.18.1 – Diagramas de Schoeller-Berkaloff para o Consumo Humano**

De acordo com o Diagrama de Schoeller-Berkaloff de classificação das águas para consumo humano, em abril de 2012 (**figura 4.31**), as águas subterrâneas do aquífero Rio Branco mostraram ser de boa potabilidade. As únicas exceções foram os parâmetros sulfato e bicarbonato.

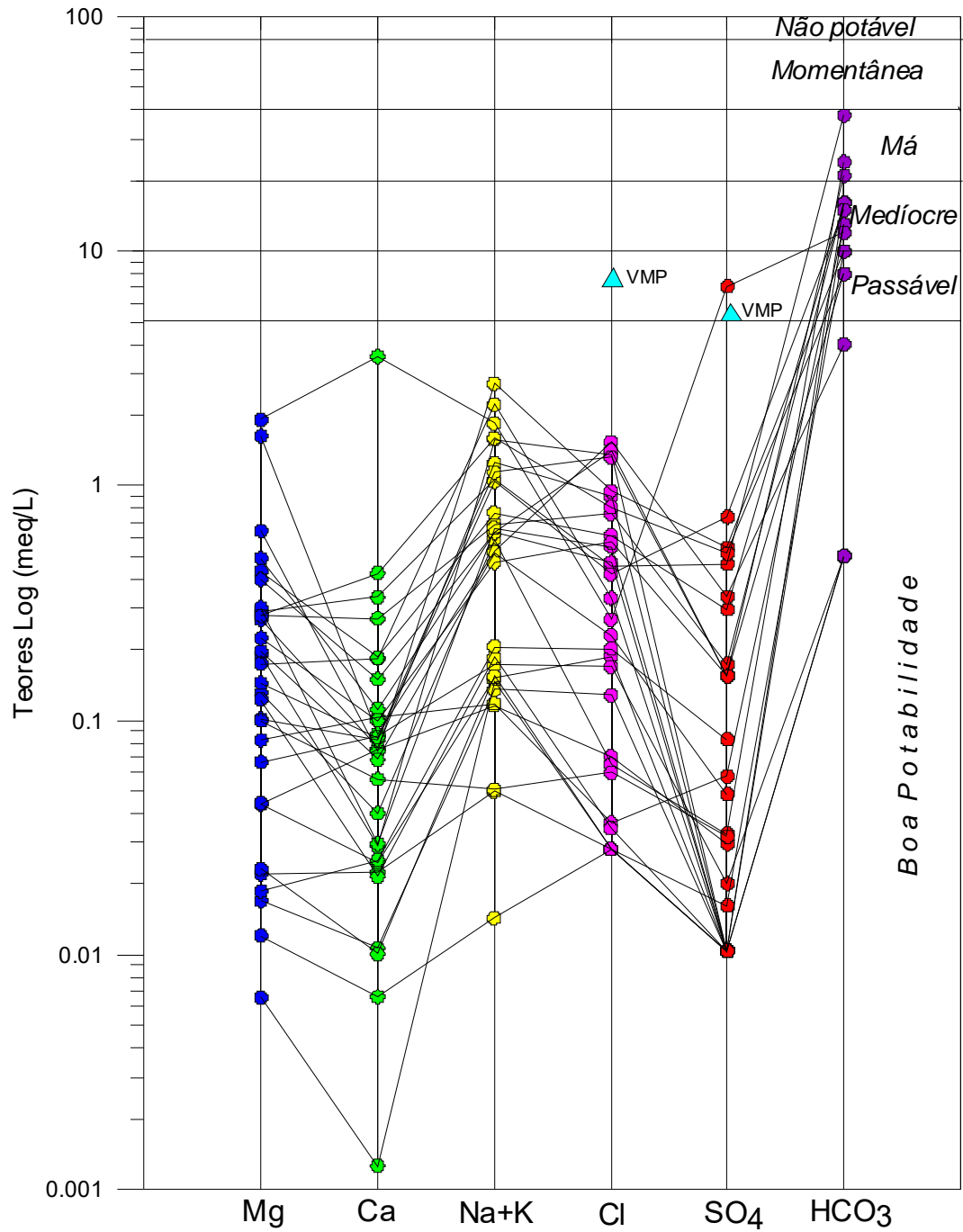
O poço RBR14 obteve no parâmetro sulfato classificação da água passável, e também, ultrapassou o VMP da Portaria MS 2914/2011. Altos teores de sulfato na água são prejudiciais à saúde, e por tal motivo, a Portaria MS estabelece o limite de 250 mg/L como padrão organoléptico de potabilidade humana, sendo assim, os resultados encontrados no poço RBR14 na primeira campanha ultrapassam esse limite e como já foi explicado no **item 4.7.9.2**, trata-se de uma contaminação pontual produzida provavelmente por uso de fertilizante.

Com relação ao bicarbonato, apesar de alguns poços apresentarem resultados que se enquadram nas classificações passável, medíocre e má, não há restrições desse parâmetro na potabilidade para consumo humano, segundo a Portaria MS 2914/2011 e a resolução CONAMA 396/2008.

Mediante avaliação dos dados coletados em outubro de 2012 (**figura 4.32**), as águas subterrâneas do aquífero Rio Branco são classificadas como de boa potabilidade. O único parâmetro que apresentou resultados na classificação passável foi o sulfato nos poços RBR02 e RBR01. Tais poços, também apresentaram resultados acima do VMP estabelecido pela Portaria MS 2914/2011 e pela Resolução CONAMA 396/2008, não sendo as suas águas indicadas para consumo humano, o que se deve a contaminações de origem antrópica.

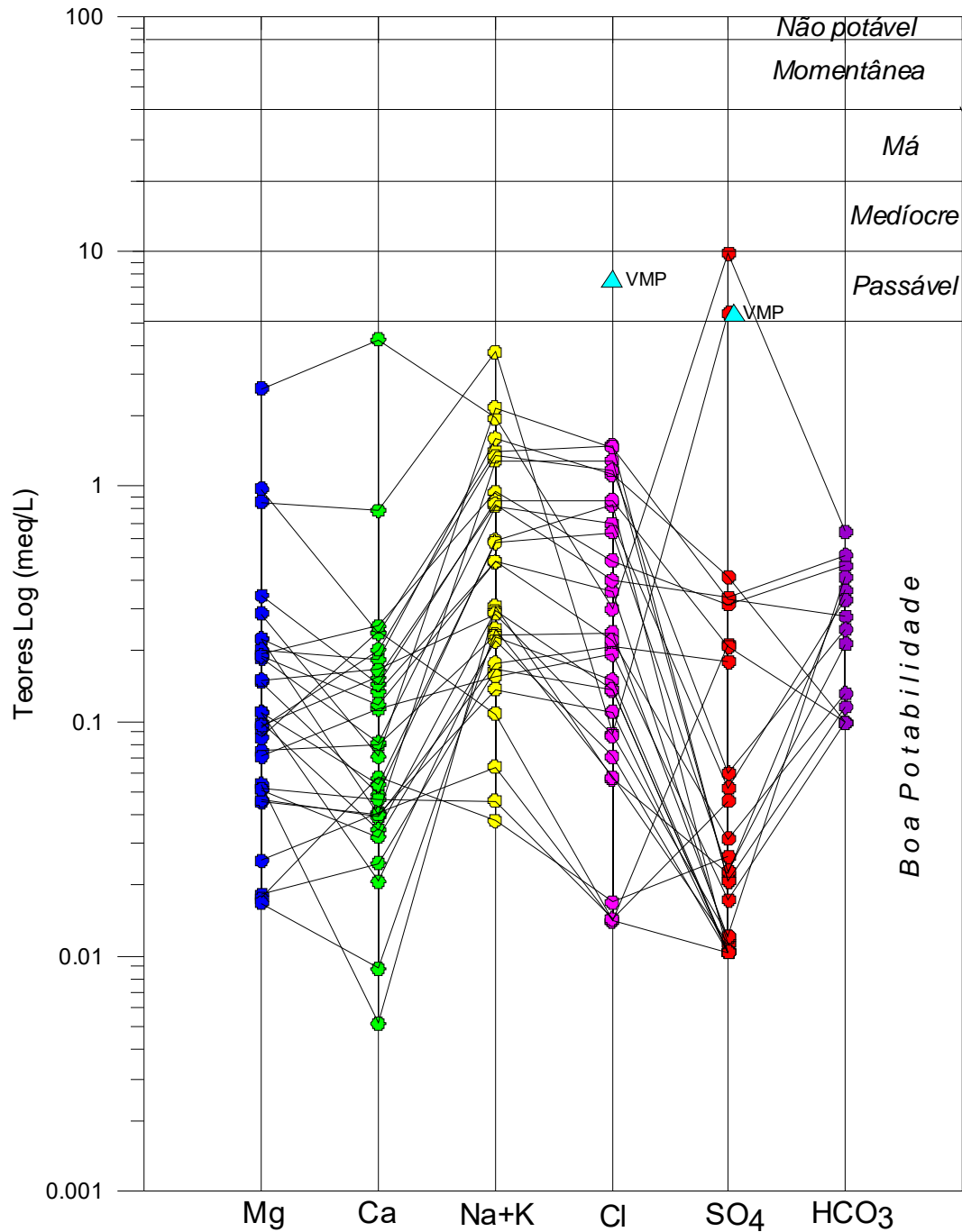
Os demais poços apresentaram resultados de boa potabilidade, indicando que as águas, a menos de contaminações microbiológicas, podem ser usadas para consumo humano sem restrições.

**Aquífero Rio Branco em Rio Branco**  
**Período chuvoso (abril de 2012)**



**Figura 4.31** – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Rio Branco no período chuvoso, segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff.

**Aquífero Rio Branco em Rio Branco**  
**Período seco (outubro de 2012)**



**Figura 4.32** – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Rio Branco no período de estiagem, segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff.

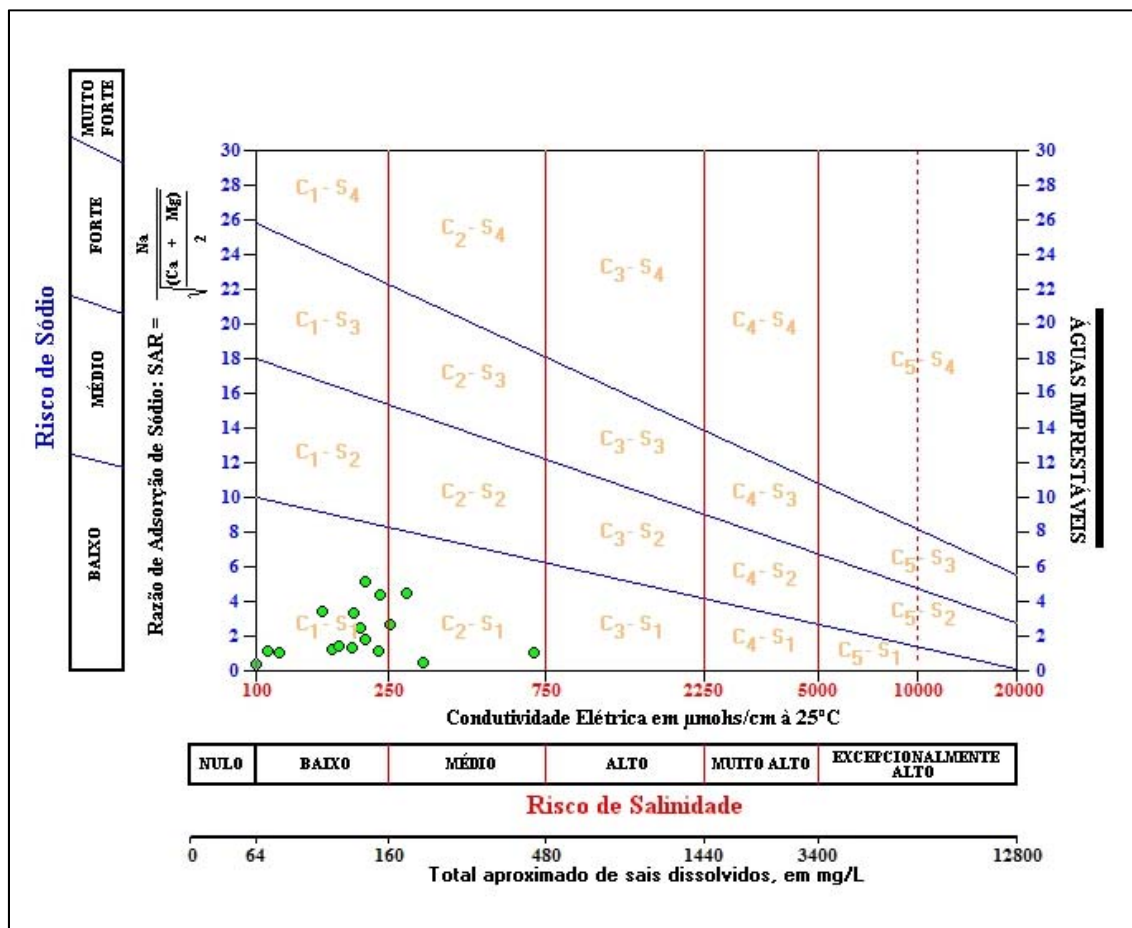
**4.7.18.2 – Diagramas de Risco de Sódio e Salinidade para Irrigação**

Para a avaliação das águas do aquífero Rio Branco quanto ao uso na irrigação foi utilizada a classificação proposta pelo *United States Salinity Laboratory* (USSL), que se baseia na Razão de Adsorção de Sódio (SAR) e na

condutividade elétrica da água para classificar as águas em categorias de acordo com a salinidade e o risco de sódio.

### Período chuvoso

Com base na referida classificação, verificou-se que as amostras coletadas em abril de 2012 apresentaram risco de sódio baixo em 100% dos casos, ou seja, classificação S<sub>1</sub>, que significa águas fracamente sódicas, que podem ser utilizadas em quase todos os solos com fraco risco de formação de teores nocivos de sódio susceptível de troca, servindo para o cultivo de quase todos os vegetais, como pode ser observado na **figura 4.33**.

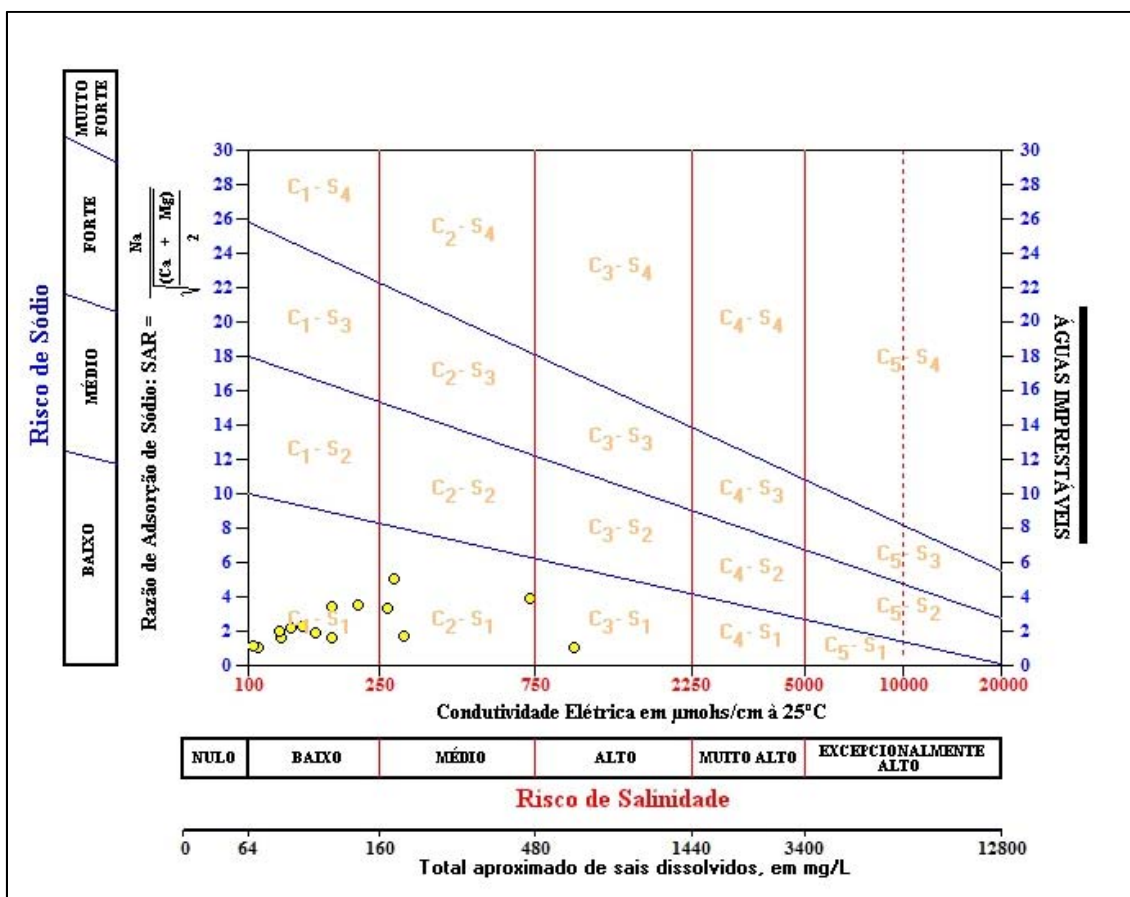


**Figura 4.33** – Classificação das águas do Aquífero Rio Branco para fins de irrigação – Abril de 2012.

Quanto à salinidade, as amostras de abril de 2012 apresentaram em 46,7% dos casos classificação C<sub>0</sub>, que corresponde a águas de salinidade fraquíssima, que podem ser utilizadas sem restrições para irrigação; enquanto que 40% dos casos, classificação C<sub>1</sub>, indicativa de que são águas de salinidade fraca, que podem ser utilizadas para irrigar a maioria das culturas, na maioria dos solos, com pequeno risco de salinização do solo, exceto se a permeabilidade do solo for extremamente fraca. Os 13,3% restantes apresentaram classificação C<sub>2</sub>, ou seja, águas de salinidade média, que devem ser usadas com precaução, podendo ser utilizadas em solos silte-arenosos, siltosos ou areno-argilosos quando houver uma lixiviação moderada do solo (**figura 4.33**).

### Período de estiagem

Os resultados das amostras coletadas em outubro de 2012 revelaram que em 100% dos casos as águas apresentaram risco de sódio baixo, o que corresponde à classificação S<sub>1</sub>, águas fracamente sódicas que podem ser usadas em quase todos os solos e servem para cultivar boa parte dos vegetais, como indica a **figura 4.34**.



**Figura 4.34** – Classificação das águas do Aquífero Rio Branco para fins de irrigação – Outubro de 2012.

Com relação à salinidade, as amostras de outubro de 2012 apresentaram em 50% (15/30) dos casos a classificação C<sub>0</sub>, sem risco de salinidade, que podem ser utilizadas sem restrições para irrigação; 33,3% (10/30) dos casos a classificação C<sub>1</sub>, ou seja, águas de baixo risco de salinidade, que podem ser utilizadas para irrigar a maioria das culturas; 13,3% (4/30) a classificação C<sub>2</sub>, com médio risco de salinidade, que devem ser usadas com precaução, podendo ser utilizadas em solos silte-arenosos, siltosos ou areno-argilosos quando houver uma lixiviação moderada do solo; e por fim, um valor (1/30) com classificação C<sub>3</sub>, indicativo de risco alto de salinidade, detectado no poço RBR01 (CE de 992  $\mu\text{S/cm}$ ) no qual foi constatada a ocorrência pontual anômala de sulfato contaminando a água natural, gerando uma água que só pode ser utilizada em solos bem drenados e para cultivo de plantas de boa tolerância salina.

De modo geral, verifica-se que ambas as campanhas de amostragem apresentaram águas propícias para fins de irrigação, em face dos baixos teores

de salinidade e de risco de sódio, o que pode representar uma alternativa local de fonte de renda para a população rural (**tabela 4.54**).

**Tabela 4.54** - Classificação das águas coletadas nas duas campanhas de amostragem de acordo com o risco de salinidade e o risco de sódio, segundo USSL.

Nome	Período chuvoso (abril de 2012)			Período seco (outubro de 2012)		
	Classe USSL	Risco		Classe USSL	Risco	
		Salinidade	Sódio		Salinidade	Sódio
RBR01	C0-S1	Nulo	Baixo	C3-S1	Alto	Baixo
RBR02	C0-S1	Nulo	Baixo	C2-S1	Médio	Baixo
RBR03	C0-S1	Nulo	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
RBR04	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
RBR05	C1-S1	Baixo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
RBR06	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
RBR07	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
RBR08	C0-S1	Nulo	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
RBR09	C1-S1	Baixo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
RBR10	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
RBR11	C0-S1	Nulo	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
RBR12	C0-S1	Nulo	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
RBR13	C1-S1	Baixo	Baixo	C2-S1	Médio	Baixo
RBR14	C2-S1	Médio	Baixo	C2-S1	Médio	Baixo
RBR15	C1-S1	Baixo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
RBR16	C1-S1	Baixo	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
RBR17	C2-S1	Médio	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
RBR18	C1-S1	Baixo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
RBR19	C2-S1	Médio	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
RBR20	C1-S1	Baixo	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
RBR21	C0-S1	Nulo	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
RBR22	C1-S1	Baixo	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
RBR23	C1-S1	Baixo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
RBR24	C0-S1	Nulo	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
RBR25	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
RBR26	C1-S1	Baixo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
RBR27	C1-S1	Baixo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
RBR28	C2-S1	Médio	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
RBR29	C1-S1	Baixo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
RBR30	C0-S1	Nulo	Baixo	C2-S1	Médio	Baixo

Legenda:

Poços destacados em vermelho possuem salinidade média e alta, de acordo com a classificação do USSL.

#### 4.7.18.3 – Pecuária

A fim de avaliar se as águas coletadas nos 30 (trinta) poços do aquífero Rio Branco nos períodos de abril e outubro de 2012 servem para pecuária, empregou-se a metodologia adotada por McKee & Wolf (1963), os quais determinam os limites máximos admissíveis de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) na água para cada tipo de animal, como pode ser observado na **tabela 4.55**.

**Tabela 4.55** – Padrões de STD para uso animal, segundo McKee & Wolf (1963).

Animal	STD (mg/L)
Aves	2.860
Porcos	4.290
Cavalos	6.435
Gado (leite)	7.180
Gado (corte)	10.000
Bodes e Carneiros	12.900

Sendo assim, com base na classificação acima é possível afirmar que as águas em ambos os períodos de coleta podem ser utilizadas para o consumo animal sem restrições, uma vez que os maiores teores encontrados de STD foram de 521 e 815 mg/L, respectivamente, para a 1ª e 2ª campanhas.

#### 4.7.19 – Conclusões Gerais sobre a Qualidade das Águas Subterrâneas do Aquífero Rio Branco

O estudo hidrogeoquímico das águas do aquífero Rio Branco indicou que, de forma geral, os teores analisados se encontram em baixíssimas concentrações, devido ao clima chuvoso da Floresta Tropical Amazônica e que os valores extremos encontrados, inclusive acima do VMP estabelecido como de potabilidade pela Portaria MS 2914/2011, assim como os usos preponderantes da água subterrânea definidos pela Resolução CONAMA 396/2008 se devem em grande parte a fatores antrópicos.

Em vários parâmetros físico-químicos a modelagem geoestatística apresentou um viés estatístico que não permitiu avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade. Sendo assim, foram utilizados os dados de média e mediana para avaliar a influência da sazonalidade, como ocorreu nos parâmetros: cor, temperatura, nitrito e amônia.

A análise estatística dos parâmetros físico-químicos coletados em duas campanhas de amostragem, realizadas em abril e outubro de 2012, revelou efeito de sazonalidade sobre alguns parâmetros, tais como, turbidez, CE, STD, cloreto, sulfato e nitrato, cujos teores foram mais elevados no período chuvoso; enquanto que os parâmetros, sódio, potássio, cálcio, magnésio, Eh, bicarbonato, dureza, ferro e manganês foram maiores no período de estiagem.

A avaliação dos parâmetros biológicos indicou a presença tanto de Coliformes totais, quanto de *E. Coli*, em ambas as campanhas, o que corresponde à contaminação das águas subterrâneas por fossas sépticas, devido à ausência de sistema de esgotamento sanitário na região, e também pelo fato de que os poços tubulares, em sua maioria, são pouco profundos e construídos com

técnicas inapropriadas, que deixam os espaços anelares sem a devida proteção sanitária. A ocorrência desses parâmetros biológicos é extremamente preocupante, pois pode ocasionar doenças de veiculação hídrica na população local, que utiliza dessas águas para os mais diversos usos, incluindo consumo humano.

Os altos teores de ferro e manganês encontrados nas águas do aquífero Rio Branco se devem a reações de oxidação-redução, que sucedem o intemperismo químico regional resultante da alta pluviosidade associada a elevadas temperaturas e acidez das águas, as quais favoreceram a decomposição das rochas ao longo do tempo geológico.

Quanto ao pH *in situ*, os resultados mostram que em ambos os períodos as águas subterrâneas do aquífero Rio Branco se caracterizam como ácidas, mas com uma leve tendência de aumento da acidez no período seco, ao que tudo indica como resultado da presença do gás carbônico, que predomina na forma hidratada como espécie dissolvida na água em relação ao ácido carbônico ( $H_2CO_3$ ) formado através da reação  $CO_2(aq) + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3$ .

As amostras analisadas dos metais pesados arsênio, cádmio, cromo e mercúrio apresentaram teores abaixo do limite de detecção, ao passo que as de bário, chumbo, cobre e zinco obtiveram teores abaixo do VMP definido pela Portaria MS 2914/2011 e Resolução CONAMA 396/2008. O níquel foi o único metal pesado que ultrapassou o limite estabelecido pela Resolução CONAMA, no poço RBR19, onde suas águas não seriam recomendadas para consumo humano.

No que se refere às análises de BTEX todas as amostras respeitaram os limites de potabilidade definidos pela Portaria MS 2914/2011 e Resolução CONAMA 396/2008.

Com relação as análises de fenóis, apenas o poço RBR09 apresentou valor superior ao limite permitido para dessedentação animal e recreação, podendo ser utilizado apenas para o consumo humano, segundo os padrões da resolução CONAMA 396/2008.

Os resultados de isótopos ambientais mostraram que a reta de água subterrânea aproxima-se significativamente da Reta Meteorica Mundial (RMM), indicando águas provenientes de recarga de chuvas diretas, com perda de 28% de  $\delta^{18}O$  por evaporação.

Segundo as datações efetuadas com Trício as águas do aquífero Rio Branco possuem mistura de água submoderna com recarga recente.

Quanto à classificação das águas subterrâneas de acordo com a composição química é possível verificar que as águas do aquífero Rio Branco são Cloretadas Sódicas em sua maioria, segundo indicação dos diagramas de Piper e Stiff; e possuem águas de boa potabilidade exceto pelo parâmetro sulfato, com classificação passável, de acordo com os diagramas de Schoeller-Berkaloff.

No que concerne à avaliação das águas para irrigação, verifica-se que as águas do aquífero Rio Branco em 96,7% dos casos (29/30) possuem risco de sódio baixo e salinidade que varia de fraquíssima a alta, indicando que as



águas, com exceção do poço RBR01, podem ser usadas para o cultivo de boa parte dos vegetais.

As águas podem ser utilizadas para a dessedentação animal sem restrições, haja vista que os teores de STD encontrados em ambas as campanhas foram baixos.

## **5 – Hidrogeoquímica do Aquífero Içá**

## 5.1 – Introdução

No contexto regional, o aquífero Içá está localizado na Província Amazonas, que representa uma das bacias sedimentares fanerozoicas do Brasil (CPRM, 2003). No contexto local, o aquífero Içá está situado na Bacia do Solimões, com coletas nas cidades de Coari, Lábrea, Tefé, Fonte Boa e Humaitá; e na Bacia do Amazonas, na cidade de Barcelos. Ocorre também na bacia do Acre, mas não houve coleta na região.

Do ponto de vista das reservas de água subterrânea na região, nas bacias sedimentares do Solimões e do Amazonas, as formações mais expressivas são Içá, Solimões e Alter do Chão (Souza *et al.*, 2013).

A Formação Içá sobrepõe discordantemente a Formação Solimões, exibindo espessura de até 150 m e consiste em siltitos, arenitos finos a médio e conglomerados intraformacionais (seixos de pelitos), brancos a rosados e raros argilitos cinza com restos de vegetais. Exibe estratificação cruzada acanalada, estratificação inclinada heterolítica, estratificação plano paralela relacionadas a depósitos fluviais meandrantés (Maia *et al.*, 1977; Sarges *et al.*, 2010).

Com o intuito de avaliar a qualidade das águas subterrâneas do Aquífero Içá, foram realizadas duas campanhas de amostragem: uma no período chuvoso (abril de 2012) e outra no período seco (outubro de 2012), com defasagem de 6 (seis) meses.

Ambas as campanhas seguiram as metodologias recomendadas por Barcelona *et al.* (1985), Puls & Barcelona (1989), Keith (1996), Feitosa & Manoel Filho (2000) e Nielsen & Nielsen (2007). Além dessas referências, também foi utilizado o Protocolo de Guia de Coleta de Amostra (GCA), elaborado pelo laboratório Bioagri Ambiental, que pode ser visualizado no **Anexo 8.5**.

Os Laboratórios responsáveis pelas análises no aquífero Içá, juntamente com os poços avaliados, o quantitativo de amostras, os tipos de análises e os parâmetros analisados, encontram-se listados abaixo:

### **Laboratório da Bioagri Ambiental:**

- 30 (trinta) Análises Físico-Químicas e Bacteriológicas - cor, turbidez, condutividade elétrica (CE), temperatura, sólidos totais dissolvidos (STD), pH, sódio, potássio, cálcio, magnésio, dureza, cloreto, sulfato, Eh, bicarbonato, nitrogênio (amoniacal, orgânico e total), nitrito, nitrato, ferro e manganês, Coliformes Totais e Termotolerantes (*E. Coli*), sendo 05 (cinco) poços para cada uma das cidades, de Barcelos, Coari, Lábrea, Tefé, Fonte Boa e Humaitá, todas situadas no Estado do Amazonas - AM;

### **Laboratório de Geocronologia do Instituto de Geociências da UnB:**

- 11 (onze) Análises de Isótopo Ambiental Estável - deutério e oxigênio-18, sendo 02 (duas) em Barcelos, 01 (uma) em Coari, 02 (duas) em Fonte Boa, 02 (duas) em Humaitá, 02 (duas) em Lábrea e 02 (duas) em Tefé.

**Laboratório do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CTDN), da UFMG:**

- 12 (doze) Análises do Isótopo Ambiental Radioativo - trício, sendo 02 (duas) em cada cidade: Barcelos, Coari, Fonte Boa, Humaitá, Lábrea e Tefé.

**Laboratório Beta Analytic, da Flórida - USA:**

- 03 (três) Análises do Isótopo Ambiental - carbono 14, sendo 01 (um) poço para cada cidade: Barcelos, Coari e Humaitá.

Os resultados dessas análises para as duas campanhas podem ser verificados no **Anexo 8.3**.

## **5.2 - Balanço Iônico**

Os resultados das análises físico-químicas das duas campanhas de amostragem do aquífero Içá foram submetidos a avaliações pelo cálculo do balanço de cátions e ânions, conforme metodologia descrita no **item 1.7**.

### **Período Chuvoso**

De acordo com os resultados obtidos verifica-se que no período chuvoso (abril de 2012), 37% (11/30) das amostras coletadas no aquífero Içá, apresentaram Ep dentro dos critérios da metodologia do balanço iônico nº 1. Enquanto que 33% (10/30) das amostras obtiveram Ep inferior a 15%, sendo considerada correta apenas segundo a metodologia nº 2.

Assim, 63% (19/30) das amostras pelo método 1 e 67% (20/30) pelo método 2 apresentam Ep superiores aos limites definidos, não sendo considerados válidos em ambos os balanços iônicos (**tabela 5.1**).

**Tabela 5.1 – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf para as amostras coletadas no aquífero Içá – abril de 2012.**

Poço	CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Soma Cátions (meq/L)	Soma Ânions (meq/L)	Erro Prático - EP (%)	
				Balanço Iônico nº 1	Balanço Iônico nº 2
BAR01	14	0,12	0,17	36,91	18,46
BAR02	109	0,33	0,18	57,48	28,74
BAR03	221	0,77	0,42	58,55	29,27
BAR04	46	0,25	0,14	54,65	27,32
BAR05	71	0,35	0,15	78,80	39,40
CRI01	12	0,11	0,04	92,79	46,40
CRI02	647	0,19	0,04	133,35	66,68
CRI03	43	0,42	0,28	38,53	19,26
CRI04	12	0,06	0,18	100,01	50,00
CRI05	19	0,08	0,04	72,19	36,09
FBA01	44	0,34	0,45	27,62	13,81
FBA02	33	0,21	0,31	37,40	18,70
FBA03	35	0,24	0,27	14,15	7,08
FBA04	68	0,54	0,66	20,28	10,14
FBA05	23	0,12	0,20	47,26	23,63
HUW01	39	0,32	0,10	101,69	50,85
HUW02	36	0,39	0,66	50,26	25,13
HUW03	30	0,30	0,04	153,91	76,95
HUW04	31	0,29	0,10	94,28	47,14
HUW05	35	0,40	0,22	57,14	28,57
LBR01	12	0,06	0,22	117,46	58,73
LBR02	17	0,04	0,17	119,64	59,82
LBR03	78	0,47	0,57	18,59	9,29
LBR04	100	0,82	0,74	9,02	4,51
LBR05	62	0,69	0,58	16,35	8,17
TFF01	37	0,27	0,21	27,83	13,92
TFF02	66	0,56	0,67	19,11	9,55
TFF03	36	0,30	0,38	22,52	11,26
TFF04	38	0,32	0,37	14,62	7,31
TFF05	290	2,30	1,05	74,31	37,15

Legenda:

Valores destacados em vermelho possuem os maiores Ep de acordo com os critérios estabelecidos nas metodologias do balanço iônico nº 1 e nº 2, respectivamente.

### **Período de Estiagem**

Segundo os dados coletados no período seco (outubro de 2012), observa-se que 30% (9/30) das amostras obtiveram resultados dentro dos padrões de Ep consideradas como apropriadas na metodologia nº 1 de balanço iônico. Igualmente, apenas 37% (11/30) das amostras ficaram abaixo do limite de erro permitido pela metodologia nº 2. Assim, 63% (19/30) das amostras não foram consideradas corretas, haja vista que apresentaram Ep fora dos limites

permissíveis estabelecidos nos dois balanços iônicos, como demonstra a **tabela 5.2**.

**Tabela 5.2** – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf, para as amostras coletadas no aquífero Içá – outubro de 2012.

Poço	CE ( $\mu\text{S/cm}$ )	Soma Cátions (meq/L)	Soma Ânions (meq/L)	Erro Prático - EP (%)	
				Balanço Iônico nº 1	Balanço Iônico nº 2
BAR01	14	0,13	0,14	10,05	5,03
BAR02	77	0,44	0,17	86,79	43,39
BAR03	108	0,53	0,22	84,41	42,20
BAR04	106	0,63	0,23	91,89	45,94
BAR05	47	0,29	0,09	102,34	51,17
CRI01	52	0,52	0,73	33,74	16,87
CRI02	17	0,12	0,25	72,94	36,47
CRI03	19	0,13	0,17	28,95	14,47
CRI04	14	0,11	0,02	128,47	64,23
CRI05	16	0,18	0,19	1,98	0,99
FBA01	46	0,55	0,42	26,08	13,04
FBA02	33	0,31	0,32	4,46	2,23
FBA03	35	0,34	0,28	20,16	10,08
FBA04	68	0,69	0,56	21,91	10,96
FBA05	196	1,52	1,18	25,02	12,51
HUW01	44	0,26	0,13	68,13	34,06
HUW02	35	0,34	0,19	54,69	27,34
HUW03	28	0,18	0,12	39,16	19,58
HUW04	21	0,16	0,22	30,53	15,27
HUW05	26	0,24	0,27	13,33	6,66
LBR01	34	0,25	0,05	137,76	68,88
LBR02	14	0,04	0,02	39,34	19,67
LBR03	11	0,05	0,02	67,65	33,82
LBR04	60	0,54	0,61	12,10	6,05
LBR05	91	0,79	0,62	25,00	12,50
TFF01	65	0,47	0,26	57,04	28,52
TFF02	70	0,74	0,48	41,49	20,75
TFF03	342	0,87	0,67	26,49	13,24
TFF04	160	0,36	0,11	107,97	53,98
TFF05	511	2,11	1,18	56,98	28,49

Legenda:

Valores destacados em vermelho possuem os maiores Ep de acordo com os critérios estabelecidos nas metodologias do balanço iônico nº 1 e nº 2, respectivamente.

Os resultados de Ep superiores a 30% podem indicar erro analítico ou de cálculo, presença de certos íons não analisados na água em concentrações apreciáveis e/ou águas pouco mineralizadas, tais como água da chuva.

Os métodos analíticos padrões para baixas concentrações iônicas podem levar a valores elevados de erros (Ep %), sem que isso indique necessariamente um

erro de análise ou de cálculo (Schoeller, 1955 *apud* Feitosa & Manoel Filho, 2000). As águas do aquífero Içá se enquadram como pouco mineralizadas, uma vez que os teores de STD alcançam no máximo 444 mg/L no período chuvoso e 252 mg/L no período de estiagem, quando o VMP desse parâmetro para consumo humano, segundo a Portaria MS 2914/2011, é de 1.000 mg/L.

Convém destacar ainda que as concentrações de STD, assim como, dos íons sódio ( $Na^+$ ), Cloreto ( $Cl^-$ ) e sulfato ( $SO_4^{2-}$ ) foram expressas em partes por bilhão (ppb) ou  $\mu g/L$ . Além disso, alguns valores situados abaixo do limite de detecção, indicados, por exemplo, como (<1) foram considerados no cálculo do erro, como 1  $\mu g/L$  (o valor pode ser qualquer outro abaixo de 1) e para a base de cálculo a concentração foi convertida para mg/L (ppm).

Conclui-se, assim, que os erros detectados nas amostras do aquífero Içá não comprometem os resultados analíticos obtidos, pois segundo Younger (1995) os maiores erros de balanço iônico estão associados a águas pouco mineralizadas (como a água da chuva), ou seja, muito diluídas e, também, a águas muito mineralizadas, cujo erro no balanço iônico pode ser reflexo das determinações de cloreto, pois para altas concentrações de ferro pode haver formação de complexos de ferro total que mascaram o ponto final da titulação.

### 5.3 - Índice de Troca de Bases (ITB)

O ITB das duas campanhas de amostragem do aquífero Içá foi estimado conforme metodologia descrita no **item 1.8**.

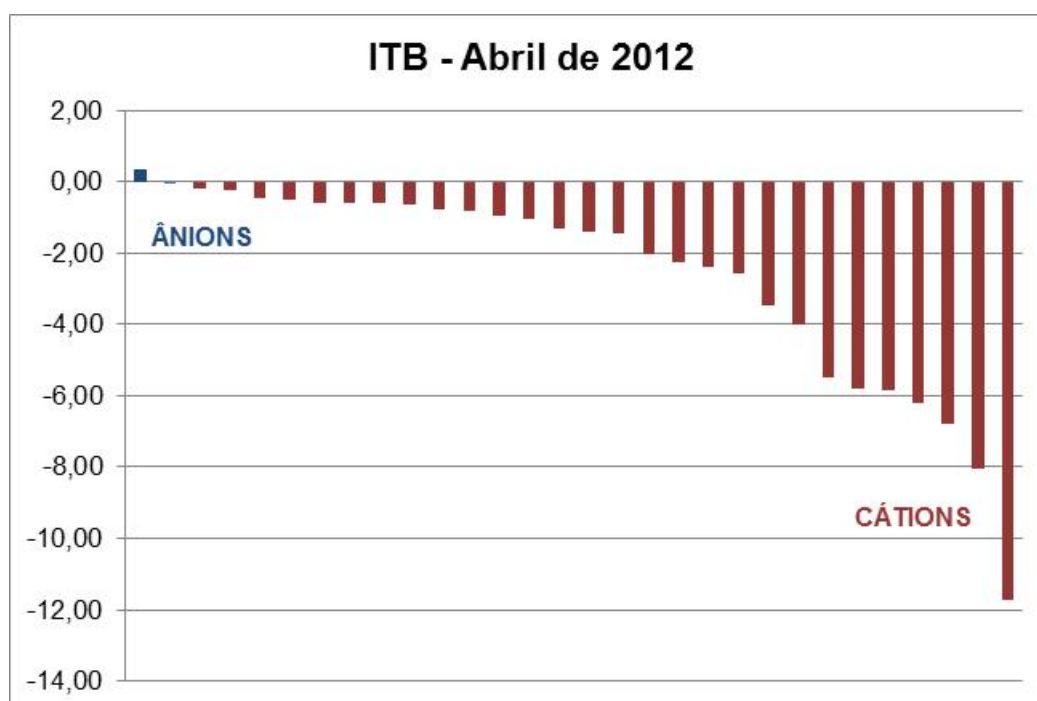
De acordo com os resultados de ITB calculados verifica-se que apenas 3% (1/30) das amostras forneceram valores positivos, indicando o predomínio de cátions nas águas que ali circulam, enquanto que 97% (29/30) apresentaram valores negativos na coleta de abril de 2012 (**tabela 5.3** e **figura 5.1**). Isto revela maior presença dos íons alcalinos (sódio e potássio) em relação ao íon cloreto em solução, o que sugere o abrandamento das águas subterrâneas, ou seja, troca de  $Ca^{++}$  e  $Mg^{++}$  por  $Na^+$ .

**Tabela 5.3** – Resultado do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no aquífero Içá nas duas campanhas.

Poço	ITB - abril de 2012 (meq/L)	ITB - outubro de 2012 (meq/L)
BAR01	-1,32	-4,81
BAR02	-0,66	-1,40
BAR03	-0,60	-1,23
BAR04	-0,57	-1,51
BAR05	-0,44	-1,50
CRI01	-2,27	-5,32
CRI02	-4,01	-0,24

**Tabela 5.3** – Resultado do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no aquífero Içá nas duas campanhas (Continuação).

Poço	ITB - abril de 2012 (meq/L)	ITB - outubro de 2012 (meq/L)
CRI03	-1,46	-6,09
CRI04	-0,18	-4,89
CRI05	-1,04	-9,12
FBA01	-5,47	-23,00
FBA02	-3,49	-6,67
FBA03	-2,57	-6,44
FBA04	-5,81	-10,12
FBA05	-1,39	-0,41
HUW01	-2,01	-0,74
HUW02	-2,37	-6,24
HUW03	-5,83	-3,28
HUW04	-0,96	-1,41
HUW05	-8,03	-6,03
LBR01	-0,52	-2,49
LBR02	-0,04	-0,66
LBR03	-0,24	-1,65
LBR04	-0,76	-6,37
LBR05	-11,75	-0,50
TFF01	-0,80	-0,31
TFF02	-6,21	-13,20
TFF03	-0,60	-1,33
TFF04	-6,77	-15,06
TFF05	0,35	0,36

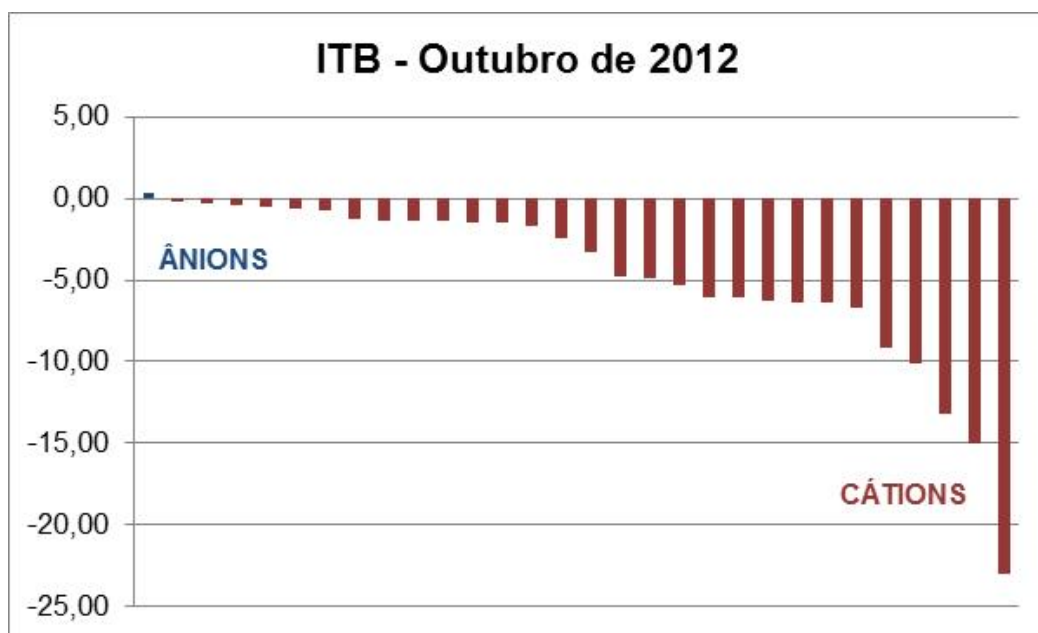


**Figura 5.1** – Ilustração dos resultados de ITB calculados para as amostras coletadas no Aquífero Içá, no período chuvoso, com o predomínio de cátions.

Na coleta de outubro de 2012, 3% (1/30) das amostras apresentaram valores positivos, ao passo que 97% (29/30) obtiveram resultados negativos, como



pode ser visualizado na **tabela 5.3**. Tais resultados refletem a maior presença de cátions nas águas (**figura 5.2**).



**Figura 5.2** – Ilustração dos resultados de ITB calculados para as amostras coletadas no Aquífero Içá, no período de estiagem, com o predomínio de cátions.

Os valores de ITB obtidos nas águas do aquífero Içá, nas duas campanhas, estão coerentes, pois segundo Teixeira (2002), o enriquecimento em alcalinos, aumenta a diferença  $Cl-(Na + K)$ , numerador na equação de Schoeller (1962), o que torna mais negativos os valores de ITB.

Na **tabela 5.4** é apresentada a estatística descritiva dos resultados de ITB calculados, onde se verifica que os valores mínimo e máximo obtidos foram de -11,75 e 0,35; -23,0 e 0,36 para as coletas de abril e outubro de 2012, respectivamente.

**Tabela 5.4** – Parâmetros estatísticos dos resultados do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no aquífero Içá nas duas campanhas.

Parâmetros Estatísticos	ITB (Abril de 2012)	ITB (Outubro de 2012)
Média	-2,59	-4,72
Erro padrão	0,53	0,96
Mediana	-1,36	-2,89
Desvio padrão	2,90	5,23
Variância da amostra	8,40	27,38
Curtose	2,07	4,18
Assimetria	-1,51	-1,86
Intervalo	12,10	23,35
Mínimo	-11,75	-23,00
Máximo	0,35	0,36
Soma	-77,83	-141,65
Contagem	30	30
Nível de confiança (95%)	1,08	1,95

Os resultados de ITB negativos obtidos em ambas as campanhas são justificáveis por conta dos elevados índices pluviométricos da região amazônica que favorecem a diluição dos compostos químicos em solução na água, o que implica no abrandamento das águas com troca de cálcio e magnésio por sódio, tanto no período chuvoso quanto na estiagem.

#### 5.4 - Razões Iônicas

De acordo com a metodologia de Hem (1985), descrita no **item 1.9**, foi possível estimar as razões iônicas em meq/L para as águas do aquífero Içá nas duas campanhas de amostragem (**tabela 5.5**), de modo a avaliar a sua composição hidrogeoquímica.

A razão  $rMg^{2+}/rCa^{2+}$  indica que 93% e 90% dos poços, respectivamente, para a primeira e segunda campanha, contém águas continentais que possivelmente sofrem influência de terrenos dolomíticos.

A razão  $rNa^+/rCl^-$  sugere que 83% dos poços na primeira campanha e 90% dos poços na segunda campanha contém águas que possuem fluxo através de rochas cristalinas ou vulcânicas.

A razão iônica  $rCl^-/rHCO_3^-$  mostrou que em ambas as campanhas 37% dos poços contém águas com ausência de íon bicarbonato.

Excetuando, talvez, a sugestão de que as águas do aquífero Içá são continentais, tudo indica que as demais conclusões não se aplicam a área de estudo, onde as águas subterrâneas, oriundas, sobretudo, de infiltrações de águas de chuva, são muito diluídas e dificilmente podem ter sofrido influências de trocas iônicas com as rochas regionais. Na verdade, os valores mais altos, inclusive os anômalos dos constituintes iônicos maiores, provavelmente resultam de contaminação pela ausência de esgotamento sanitário, que produz desvios muito fortes nos dados coletados.

**Tabela 5.5** – Resultado das razões iônicas para as amostras coletadas no aquífero Içá nas duas campanhas.

Poço	Razões iônicas - Período chuvoso			Razões iônicas - Período seco		
	$\frac{rMg^{2+}}{rCa^{2+}}$	$\frac{rNa^+}{rCl^-}$	$\frac{rCl^-}{rHCO_3^-}$	$\frac{rMg^{2+}}{rCa^{2+}}$	$\frac{rNa^+}{rCl^-}$	$\frac{rCl^-}{rHCO_3^-}$
BAR01	0,73	1,08	0,21	0,48	3,78	0,13
BAR02	1,86	1,44	-	1,96	2,12	-
BAR03	2,15	1,39	-	1,69	1,96	-
BAR04	1,40	1,34	-	4,51	2,28	-
BAR05	1,29	1,03	-	2,17	1,78	-
CRI01	3,09	0,43	-	1,45	4,77	0,08
CRI02	6,66	0,96	-	791,64	0,39	0,45
CRI03	5,36	1,14	1,07	654,29	3,02	0,10
CRI04	1,16	0,41	0,21	2,64	2,34	-
CRI05	2,74	1,09	-	31,75	6,73	0,09
FBA01	0,80	4,64	0,07	0,53	18,15	0,04
FBA02	1,98	2,44	0,11	1,77	4,31	0,11
FBA03	1,08	1,58	0,17	0,92	3,77	0,13
FBA04	1,00	4,86	0,07	0,89	8,17	0,08
FBA05	1,87	1,27	0,31	2,52	1,38	5,64
HUW01	6,76	2,12	-	3,09	1,40	-
HUW02	3,30	1,86	0,13	1,92	4,99	0,11
HUW03	1,26	1,58	-	3,60	2,36	0,33
HUW04	7,17	0,86	-	46,89	1,23	0,18
HUW05	4,62	4,77	0,16	3,92	4,96	0,06
LBR01	1,73	0,24	0,19	2,61	2,00	-
LBR02	2,14	0,55	0,29	1,33	0,82	-
LBR03	2,93	1,04	0,79	1,17	0,42	-
LBR04	1,80	1,57	0,66	1,09	5,62	0,06
LBR05	4,41	10,65	0,05	1,79	1,34	0,99
TFF01	2,71	1,19	0,96	3,01	0,98	-
TFF02	1,82	5,68	0,07	1,53	11,82	0,08
TFF03	1,43	0,82	0,31	1,70	1,96	0,43
TFF04	1,45	5,34	0,09	2,14	10,96	0,17
TFF05	3,12	0,34	-	2,40	0,31	-

Legenda:

Os valores simbolizados com (-) são indefinidos (divisão por zero), pois se referem a ausência de bicarbonato na razão iônica cloreto/bicarbonato.

### 5.5 - Índice de Langelier

Com base na metodologia de Snoeyink & Jenkins (1980), descrita no **item 1.10**, foi possível estimar o índice de saturação (IS) para as águas do aquífero Içá nas duas campanhas de amostragem, para verificar se a água está ou não em equilíbrio com a calcita e classificá-la de acordo com a tendência de IS apresentada na **tabela 1.6**.

Os valores de IS calculados com base nas amostras de água subterrânea coletadas no aquífero Içá, no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012), podem ser observados na **tabela 5.6**. Todas as amostras, em ambas as coletas, apresentaram resultados de IS negativos, o que sugere que as águas não possuem características incrustantes.

Os resultados mostram que no período chuvoso o IS variou de -6,16 a -2,26 e no período seco de -5,44 a -1,97, indicando águas subsaturadas em relação à

calcita e com tendência a dissolver  $CaCO_{3(s)}$ . Isto ocorre porque as águas do aquífero Içá são ácidas, com pH mínimo de 3,9 no período chuvoso e 4,2 no período de estiagem, o que tende a dissolver a calcita, caso ela esteja presente.

**Tabela 5.6** – Resultado do Índice de Saturação (IS) para as amostras coletadas no aquífero Içá nas duas campanhas.

Poço	IS (Abril de 2012)	IS (Outubro de 2012)
BAR01	-4,48	-5,44
BAR02	-4,35	-4,17
BAR03	-4,42	-4,70
BAR04	-3,72	-3,16
BAR05	-4,06	-4,04
CRI01	-4,80	-1,97
CRI02	-5,88	-4,61
CRI03	-5,31	-4,52
CRI04	-4,60	-4,50
CRI05	-6,16	-4,33
FBA01	-2,86	-2,54
FBA02	-3,69	-3,42
FBA03	-3,55	-4,32
FBA04	-2,41	-2,19
FBA05	-4,90	-4,01
HUW01	-4,77	-4,16
HUW02	-2,96	-2,78
HUW03	-3,21	-3,48
HUW04	-4,01	-3,69
HUW05	-3,72	-2,83
LBR01	-4,56	-3,80
LBR02	-5,52	-4,64
LBR03	-3,75	-5,16
LBR04	-3,39	-2,01
LBR05	-2,54	-2,49
TFF01	-4,09	-4,49
TFF02	-2,26	-3,66
TFF03	-3,46	-2,50
TFF04	-3,36	-3,71
TFF05	-3,97	-3,75

## 5.6 - Correlação entre Variáveis Hidrogeoquímicas

Alguns parâmetros físico-químicos analisados nas duas campanhas de amostragem foram submetidos a avaliações de correlação, conforme metodologia descrita no **item 1.11**, a qual aplica o Teste t aos níveis de 5 e 1% de significância e fornece o coeficiente de correlação ( $\rho$ ).

### Período Chuvoso

De acordo com os resultados obtidos, o panorama das correlações no período chuvoso (abril de 2012), conforme **tabela 5.7**, é o seguinte:

- A grande maioria das correlações (102/136), ou seja, (75%) são Não significativas, dos tipos, muito fracas (77/136) e fracas (25/136);
- Existem apenas 10% (14/136) de correlações Significativas, das quais (8/136) são fracas e (6/136) moderadas;
- As correlações Muito Significativas satisfazem somente 15% (20/136), sendo 13 moderadas, 4 fortes e 3 muito fortes.

**Tabela 5.7 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Içá – abril de 2012.**

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação ( $\rho$ )	Significância
Alcalinidade	NO <sub>3</sub>	-0,2763	ns
Alcalinidade	NH <sub>3</sub>	-0,1486	ns
Alcalinidade	NO <sub>2</sub>	0	ns
Alcalinidade	CO <sub>3</sub>	0	ns
Alcalinidade	Fe	0,3946	*
Alcalinidade	HCO <sub>3</sub>	0,9861	**
Ca	NO <sub>3</sub>	0,5485	**
Ca	pH	-0,056	ns
Ca	NH <sub>3</sub>	-0,0265	ns
Ca	NO <sub>2</sub>	0	ns
Ca	CO <sub>3</sub>	0	ns
Ca	Cl	0,8202	**
Ca	Fe	0,0114	ns
Ca	HCO <sub>3</sub>	0,1793	ns
Ca	Alcalinidade	0,2039	ns
Ca	Eh	0,232	ns
Ca	Mg	0,9378	**
Ca	SO <sub>4</sub>	0,2624	ns
Ca	CE	0,2697	ns
Ca	STD	0,2909	ns
CE	HCO <sub>3</sub>	-0,2056	ns
CE	pH	-0,4548	*
CE	Alcalinidade	-0,1604	ns
CE	Fe	-0,0645	ns
CE	NO <sub>2</sub>	0	ns

**Tabela 5.7 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Içá – abril de 2012 (Continuação).**

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação ( $\rho$ )	Significância
CE	CO <sub>3</sub>	0	ns
CE	NO <sub>3</sub>	0,3745	*
CE	Eh	0,149	ns
CE	NH <sub>3</sub>	0,221	ns
CE	STD	0,9965	**
Cl	pH	-0,305	ns
Cl	HCO <sub>3</sub>	-0,2199	ns
Cl	Alcalinidade	-0,1927	ns
Cl	Fe	-0,1638	ns
Cl	CE	0,3705	*
Cl	CO <sub>3</sub>	0	ns
Cl	NO <sub>2</sub>	-	-
Cl	NO <sub>3</sub>	0,8332	**
Cl	STD	0,3782	*
Cl	SO <sub>4</sub>	0,063	ns
Cl	Eh	0,2254	ns
Cl	NH <sub>3</sub>	0,2769	ns
CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	0	ns
Eh	Fe	-0,3637	*
Eh	Alcalinidade	-0,0537	ns
Eh	HCO <sub>3</sub>	-0,0369	ns
Eh	NH <sub>3</sub>	-0,0115	ns
Eh	NO <sub>2</sub>	0	ns
Eh	CO <sub>3</sub>	0	ns
Eh	NO <sub>3</sub>	0,0934	ns
Fe	CO <sub>3</sub>	0	ns
Fe	HCO <sub>3</sub>	0,408	*
K	pH	-0,2589	ns
K	NO <sub>3</sub>	0,4971	**
K	SO <sub>4</sub>	-0,19	ns
K	Fe	-0,179	ns
K	NO <sub>2</sub>	-	-
K	HCO <sub>3</sub>	-0,155	ns
K	Ca	0,6628	**
K	Alcalinidade	-0,1125	ns
K	Cl	0,6944	**
K	CO <sub>3</sub>	0	ns
K	Mg	0,7602	**

**Tabela 5.7 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Içá – abril de 2012 (Continuação).**

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação ( $\rho$ )	Significância
K	NH <sub>3</sub>	0,0265	ns
K	CE	0,3902	*
K	STD	0,4028	*
K	Eh	0,3211	ns
Mg	pH	-0,1998	ns
Mg	NO <sub>3</sub>	0,5977	**
Mg	NH <sub>3</sub>	-0,024	ns
Mg	NO <sub>2</sub>	0	ns
Mg	CO <sub>3</sub>	0	ns
Mg	HCO <sub>3</sub>	0,0288	ns
Mg	Alcalinidade	0,0552	ns
Mg	Fe	0,0622	ns
Mg	SO <sub>4</sub>	0,1079	ns
Mg	Cl	0,8876	**
Mg	Eh	0,1936	ns
Mg	CE	0,326	ns
Mg	STD	0,351	ns
Na	Ca	0,4653	**
Na	NH <sub>3</sub>	0,5889	**
Na	Cl	0,6167	**
Na	NO <sub>3</sub>	0,6925	**
Na	pH	-0,0013	ns
Na	NO <sub>2</sub>	0	ns
Na	CO <sub>3</sub>	0	ns
Na	Eh	0,0305	ns
Na	Fe	0,1209	ns
Na	HCO <sub>3</sub>	0,1912	ns
Na	STD	0,2138	ns
Na	Alcalinidade	0,2213	ns
Na	Mg	0,4482	*
Na	CE	0,2371	ns
Na	K	0,2639	ns
Na	SO <sub>4</sub>	0,2717	ns
NH <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	-0,175	ns
NH <sub>3</sub>	Fe	-0,0702	ns
NH <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	0	ns
NO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	-0,4319	**
NO <sub>2</sub>	CO <sub>3</sub>	0	ns

**Tabela 5.7 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Içá – abril de 2012 (Continuação).**

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação ( $\rho$ )	Significância
NO <sub>2</sub>	HCO <sub>3</sub>	0	ns
NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	-	-
NO <sub>2</sub>	Fe	-	-
NO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	-0,3279	ns
NO <sub>3</sub>	Fe	-0,1699	ns
NO <sub>3</sub>	NH <sub>3</sub>	0,6999	**
NO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	0	ns
pH	Eh	-0,5283	**
pH	NO <sub>3</sub>	-0,2045	ns
pH	NH <sub>3</sub>	-0,0693	ns
pH	HCO <sub>3</sub>	0,363	*
pH	NO <sub>2</sub>	0	ns
pH	CO <sub>3</sub>	0	ns
pH	Alcalinidade	0,3873	*
pH	Fe	0,1681	ns
SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	0,5098	**
SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	-0,0826	ns
SO <sub>4</sub>	STD	-0,0568	ns
SO <sub>4</sub>	CE	-0,0554	ns
SO <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>	-0,0185	ns
SO <sub>4</sub>	CO <sub>3</sub>	0	ns
SO <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	-	-
SO <sub>4</sub>	Eh	0,034	ns
SO <sub>4</sub>	Fe	0,0472	ns
SO <sub>4</sub>	pH	0,1223	ns
SO <sub>4</sub>	Alcalinidade	0,4617	*
STD	pH	-0,4643	*
STD	HCO <sub>3</sub>	-0,206	ns
STD	Alcalinidade	-0,1628	ns
STD	Fe	-0,0653	ns
STD	NO <sub>2</sub>	0	ns
STD	CO <sub>3</sub>	0	ns
STD	NH <sub>3</sub>	0,1516	ns
STD	Eh	0,1521	ns
STD	NO <sub>3</sub>	0,3473	ns

Legenda:

\*\* = significativo ao nível de 1% de significância ( $p < 0,01$ )

\* = significativo ao nível de 5% de significância ( $0,01 \leq p < 0,05$ )

ns = não significativo ( $p \geq 0,05$ )



### Período de Estiagem

Segundo os dados coletados no período seco (outubro de 2012), observa-se, como demonstra a **tabela 5.8**, que:

- Cerca de 72% das correlações (98/136) são Não Significativas e se enquadram como muito fracas (78) e fracas (20);
- As correlações Significativas correspondem a 2% (3/136), sendo todas fracas;
- As correlações Muito Significativas satisfazem 26% (35/136), das quais 1 é muito fraca, 16 moderadas, 15 fortes e 3 muito fortes.

**Tabela 5.8** – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Içá – outubro de 2012.

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação ( $\rho$ )	Significância
Alcalinidade	NO <sub>3</sub>	-0,321	ns
Alcalinidade	NH <sub>3</sub>	-0,1489	ns
Alcalinidade	NO <sub>2</sub>	0	ns
Alcalinidade	CO <sub>3</sub>	0	ns
Alcalinidade	HCO <sub>3</sub>	0,9858	**
Alcalinidade	Fe	0,304	ns
Ca	NO <sub>3</sub>	0,586	**
Ca	Eh	-0,084	ns
Ca	pH	-0,0653	ns
Ca	Cl	0,7007	**
Ca	STD	0,7013	**
Ca	NO <sub>2</sub>	0	ns
Ca	CO <sub>3</sub>	0	ns
Ca	CE	0,8117	**
Ca	NH <sub>3</sub>	0,0117	ns
Ca	Fe	0,0232	ns
Ca	SO <sub>4</sub>	0,1591	ns
Ca	Mg	0,9169	**
Ca	HCO <sub>3</sub>	0,3217	ns
Ca	Alcalinidade	0,3589	ns
CE	pH	-0,152	ns
CE	Fe	-0,103	ns
CE	NO <sub>3</sub>	0,7614	**
CE	NO <sub>2</sub>	0	ns
CE	CO <sub>3</sub>	0	ns
CE	HCO <sub>3</sub>	0,0115	ns
CE	Alcalinidade	0,041	ns

**Tabela 5.8 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Içá – outubro de 2012 (Continuação).**

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação ( $\rho$ )	Significância
CE	NH <sub>3</sub>	0,0929	ns
CE	STD	0,9481	**
CE	Eh	0,2344	ns
Cl	pH	-0,3196	ns
Cl	HCO <sub>3</sub>	-0,1935	ns
Cl	SO <sub>4</sub>	0,528	**
Cl	Alcalinidade	-0,1713	ns
Cl	Fe	-0,0867	ns
Cl	STD	0,7187	**
Cl	NO <sub>2</sub>	0	ns
Cl	CO <sub>3</sub>	0	ns
Cl	CE	0,8188	**
Cl	NO <sub>3</sub>	0,8779	**
Cl	NH <sub>3</sub>	0,3248	ns
Cl	Eh	0,359	ns
CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	0	ns
Eh	HCO <sub>3</sub>	-0,581	**
Eh	Alcalinidade	-0,5458	**
Eh	Fe	-0,2686	ns
Eh	NO <sub>3</sub>	0,5673	**
Eh	NO <sub>2</sub>	0	ns
Eh	CO <sub>3</sub>	0	ns
Eh	NH <sub>3</sub>	0,0093	ns
Fe	CO <sub>3</sub>	0	ns
Fe	HCO <sub>3</sub>	0,3248	ns
K	pH	-0,2098	ns
K	STD	0,5967	**
K	NH <sub>3</sub>	-0,1118	ns
K	Cl	0,6748	**
K	Fe	-0,0701	ns
K	NO <sub>3</sub>	0,6882	**
K	SO <sub>4</sub>	-0,0323	ns
K	NO <sub>2</sub>	0	ns
K	CO <sub>3</sub>	0	ns
K	CE	0,7541	**
K	Ca	0,8507	**

**Tabela 5.8 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Içá – outubro de 2012 (Continuação).**

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação ( $\rho$ )	Significância
K	HCO <sub>3</sub>	0,0226	ns
K	Alcalinidade	0,0546	ns
K	Mg	0,8871	**
K	Eh	0,1716	ns
Mg	NO <sub>2</sub>	-0,6131	**
Mg	pH	-0,1849	ns
Mg	Fe	-0,0056	ns
Mg	STD	0,7394	**
Mg	NO <sub>3</sub>	0,746	**
Mg	CO <sub>3</sub>	0	ns
Mg	Cl	0,8475	**
Mg	HCO <sub>3</sub>	0,0523	ns
Mg	Alcalinidade	0,0768	ns
Mg	NH <sub>3</sub>	0,0815	ns
Mg	CE	0,8825	**
Mg	Eh	0,1359	ns
Mg	SO <sub>4</sub>	0,1823	ns
Na	NH <sub>3</sub>	0,4732	**
Na	CE	0,5029	**
Na	NO <sub>3</sub>	0,5239	**
Na	STD	0,5512	**
Na	Cl	0,669	**
Na	pH	-0,0896	ns
Na	NO <sub>2</sub>	0	ns
Na	CO <sub>3</sub>	0	ns
Na	SO <sub>4</sub>	0,7789	**
Na	Fe	0,0804	ns
Na	K	0,1282	ns
Na	HCO <sub>3</sub>	0,1285	ns
Na	Eh	0,1327	ns
Na	Alcalinidade	0,1427	ns
Na	Ca	0,3731	*
Na	Mg	0,3586	ns
NH <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	-0,1437	ns
NH <sub>3</sub>	Fe	-0,0145	ns
NH <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	0	ns
NO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	-0,1031	**
NO <sub>2</sub>	CO <sub>3</sub>	0	ns

**Tabela 5.8 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Içá – outubro de 2012 (Continuação).**

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação ( $\rho$ )	Significância
NO <sub>2</sub>	HCO <sub>3</sub>	0	ns
NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	-	-
NO <sub>2</sub>	Fe	-	-
NO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	-0,3725	*
NO <sub>3</sub>	Fe	-0,1721	ns
NO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	0	ns
NO <sub>3</sub>	NH <sub>3</sub>	0,1772	ns
pH	Eh	-0,2555	ns
pH	NO <sub>3</sub>	-0,233	ns
pH	NH <sub>3</sub>	-0,1759	ns
pH	Fe	-0,0478	ns
pH	NO <sub>2</sub>	0	ns
pH	CO <sub>3</sub>	0	ns
pH	Alcalinidade	0,368	*
pH	HCO <sub>3</sub>	0,339	ns
SO <sub>4</sub>	pH	-0,2426	ns
SO <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>	0,6501	**
SO <sub>4</sub>	CO <sub>3</sub>	0	ns
SO <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	-	-
SO <sub>4</sub>	Eh	0,0109	ns
SO <sub>4</sub>	Fe	0,0482	ns
SO <sub>4</sub>	Alcalinidade	0,0491	ns
SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	0,0904	ns
SO <sub>4</sub>	CE	0,2127	ns
SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	0,2526	ns
SO <sub>4</sub>	STD	0,2538	ns
STD	Fe	-0,1451	ns
STD	NO <sub>3</sub>	0,641	**
STD	pH	-0,1015	ns
STD	NO <sub>2</sub>	0	ns
STD	CO <sub>3</sub>	0	ns
STD	HCO <sub>3</sub>	0,093	ns
STD	NH <sub>3</sub>	0,1134	ns
STD	Alcalinidade	0,117	ns
STD	Eh	0,2038	ns

Legenda:

\*\* = significativo ao nível de 1% de significância ( $p < 0,01$ )

\* = significativo ao nível de 5% de significância ( $0,01 \leq p < 0,05$ )

ns = não significativo ( $p \geq 0,05$ )

## **Discussão sobre as correlações**

Das 136 correlações apresentadas de parâmetros químicos em cada uma das campanhas, conforme **tabelas 5.7 e 5.8**, verifica-se que em termos médios 74% das mesmas são Não Significativas. As correlações Significativas representam apenas 6% do total, enquanto que as correlações Muito Significativas, ou seja, resultantes de Teste t ao nível de 1%, representam em média 21%.

As correlações existentes entre Na (sódio), K (potássio), Ca (cálcio), Mg (magnésio), Cl (cloreto), CE (condutividade elétrica) e STD (sólidos totais dissolvidos) indicam influência do intemperismo químico, por conta da baixa presença de íons, haja vista que os seus teores foram encontrados em poucas quantidades, o que corrobora com a ideia de que esses elementos foram liberados há anos ao longo da interação água x rocha, e que se apresentam extremamente diluídos devido a elevada precipitação associada a constante renovação das águas na planície amazônica.

Os parâmetros Na (sódio), K (potássio), Cl (cloreto), CE (condutividade elétrica), STD (sólidos totais dissolvidos) e NO<sub>3</sub> (nitrato) apresentaram correlação entre si, o que sugere poluição nas águas subterrâneas oriunda de atividade antrópica, principalmente lançamento de esgoto *in natura*, haja vista que tais constituintes representam uma medida indireta de concentração de poluentes. Além disso, as correlações altamente significativas envolvendo o nitrato se deve principalmente ao contato das águas subterrâneas com as fossas negras, vazamento nas redes coletoras de esgoto e influência de rios próximos à área de captação dos poços. Tal justificativa é plausível na área de estudo, haja vista a ausência de esgotamento sanitário e a falta de proteção sanitária na instalação dos poços.

## **5.7 – Interpretação dos Resultados Analíticos das águas subterrâneas do Aquífero Içá**

### **5.7.1 – Cor**

A estatística descritiva da cor, realizada seguindo a metodologia definida no **item 1.6** e apresentada na **tabela 5.9**, variou no ano de 2012 de 4,9 a 40 uH no período chuvoso, com média de 7,55 uH e mediana de 4,9 uH. No período seco, a variação entre o mínimo e o máximo foi de 4,9 a 24 uH, com média de 6,05 uH e mediana de 4,9 uH.

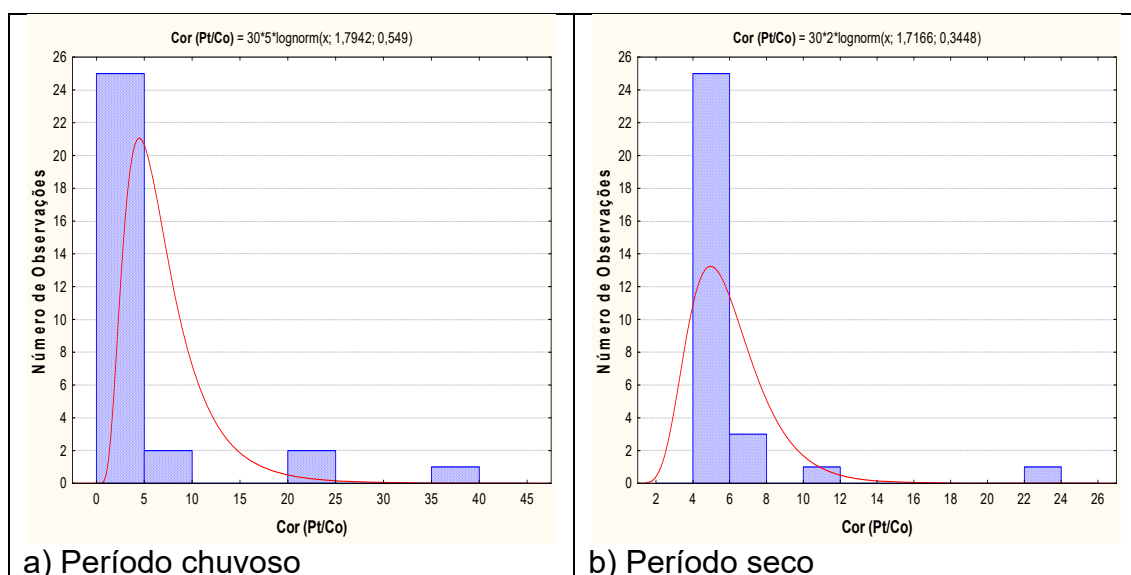
Os resultados obtidos no aquífero Içá no período chuvoso mostraram em 80% (24/30) das amostras coletadas, valores de cor < 5,0, ou seja, inferiores ao LD (limite de detecção); enquanto que no período de estiagem, 83% (25/30) das amostras apresentaram resultados inferiores a 5.

**Tabela 5.9** – Estatística descritiva da Cor do Aquífero Içá no período chuvoso (Cor-1) - abril de 2012 e no período seco (Cor-2) – outubro de 2012.

Cor	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Cor-1	30	7,55	4,61	10,50	4,90	4,90	40,00	7,90	1,44	3,26
Cor-2	30	6,05	4,66	7,44	4,90	4,90	24,00	3,71	0,68	4,32

Dentre os valores quantificáveis na primeira campanha, 10% (3/30) ultrapassaram o VMP de potabilidade da Portaria MS 2914/2011; enquanto que na segunda campanha, foram 7% (2/30). Os valores de cor mais elevados em ambas as coletas de amostragem, provavelmente se devem a contaminação por lançamento de esgoto *in natura*, próximo ao local de instalação do poço, haja vista que as cidades que compõem o aquífero Içá não possuem sistema de esgotamento sanitário implantado.

Os histogramas de frequência de cor do aquífero Içá, modelados por uma função de distribuição de probabilidade (fdp) lognormal, podem ser observados na **figura 5.3**.



**Figura 5.3** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Cor do Aquífero Içá, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

O modelo de fdp usado para elaborar os histogramas revela um viés estatístico para cor com diferentes riscos, não sendo possível avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade por meio da modelagem geoestatística (**tabela 5.10**). Sendo assim, com base nos dados de média e valores máximos, observa-se que os valores de cor no período chuvoso são superiores aos do período seco, o que sugere influência da sazonalidade.

Contudo, entende-se que tal resultado não condiz com a realidade, pois a média e o desvio padrão da distribuição estão fortemente influenciados pela presença de valores anômalos de cor, haja vista que 80% e 83% dos poços, respectivamente na primeira e segunda campanhas de amostragem, apresentaram valores abaixo do limite de detecção. Dessa forma, admite-se que o parâmetro cor no aquífero Içá, não sofre influência da sazonalidade, pois isso é comum na maioria das águas subterrâneas.

**Tabela 5.10** – Distribuição de probabilidade da Cor do Aquífero Içá no período chuvoso (Cor-1) - abril de 2012 e no período seco (Cor-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Cor-1	6,01	3,79	2,98	2,44	1,95	1,68
Cor-2	5,57	4,17	3,58	3,16	2,75	2,5
Razão	1,1	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7

### 5.7.2 – Turbidez

Os valores de turbidez detectados e analisados na estatística descritiva (**tabela 5.11**) variaram no período chuvoso, de 0,09 a 52 uT, com média igual a 3,2 uT e mediana de 0,51 uT; enquanto que no período seco, se distribuíram entre 0,09 a 14 uT, com média de 1,33 uT e mediana de 0,09 uT.

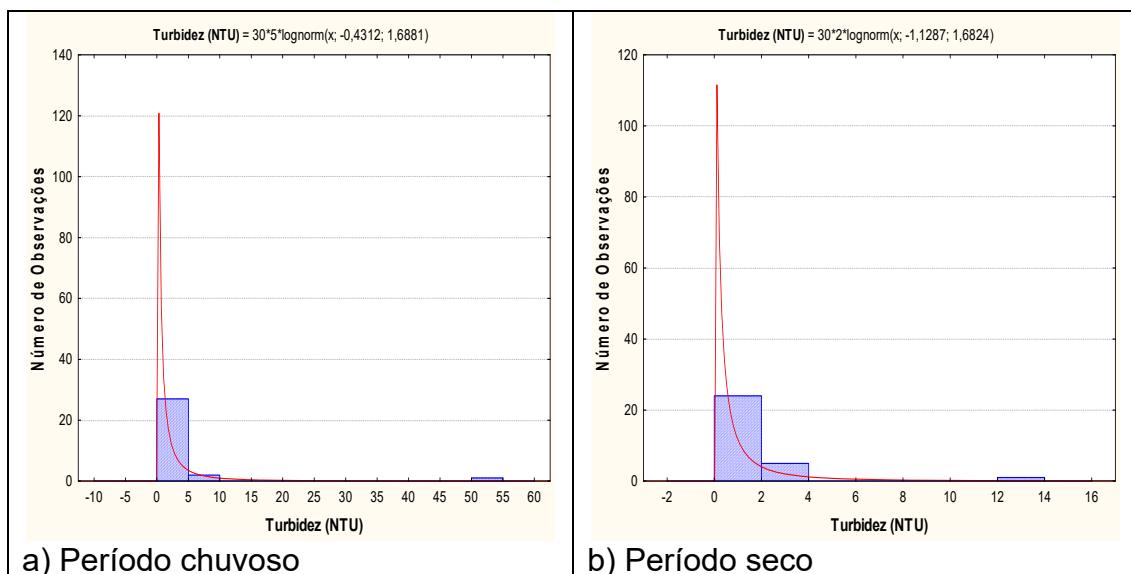
**Tabela 5.11** – Estatística descritiva da Turbidez do Aquífero Içá no período chuvoso (Tu-1) - abril de 2012 e no período seco (Tu-2) – outubro de 2012.

Tu	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Tu-1	30	3,20	-0,33	6,74	0,51	0,09	52,0	9,46	1,73	5,06
Tu-2	30	1,33	0,32	2,33	0,09	0,09	14,0	2,69	0,49	3,89

No aquífero Içá, cerca de 23% (7/30) das amostras, no período chuvoso, apresentou valores de turbidez abaixo do limite de detecção de 0,1 uT, enquanto que no período de estiagem, foram 60% (18/30) das análises.

Na primeira campanha 10% (3/30) dos poços apresentaram valores acima do VMP de potabilidade da Portaria MS 2914/2011, ao passo que na segunda campanha, apenas 3% (1/30) dos poços ultrapassam os padrões, conforme descrito no **item 2.2**.

Os histogramas de frequência da turbidez nos dois períodos de amostragem (**figura 5.4**) foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal. Esse modelo de fdp permite concluir com risco calculado (**tabela 5.12**) que os valores de turbidez são maiores no período chuvoso quando comparados ao período seco, indicando influência da sazonalidade, haja vista que a razão entre os valores das campanhas é superior a 1 (um). Isto, provavelmente, se deve ao fato de que no período chuvoso as águas são mais ricas em sedimentos em suspensão.



**Figura 5.4** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Turbidez do Aquífero Içá, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Outro fator que justifica os elevados teores de turbidez nas águas subterrâneas do aquífero Içá é a presença de ferro, haja vista que algumas das análises de ferro indicaram valores acima de 0,3 mg/L, ou seja, superiores ao VMP estabelecido pela Portaria MS 2914/2011.

As águas subterrâneas normalmente não apresentam problemas em relação a turbidez, porém, em alguns casos, águas ricas em íons Fe podem apresentar uma elevação de sua turbidez quando entram em contato com o oxigênio do ar (Narciso & Gomes, 2004), o que é plausível na área de estudo.

**Tabela 5.12** – Distribuição de probabilidade da Turbidez do Aquífero Içá no período chuvoso (Tu-1) - abril de 2012 e no período seco (Tu-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Tu-1	0,65	0,157	0,075	0,04	0,02	0,013
Tu-2	0,323	0,079	0,037	0,02	0,01	0,006
Razão	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,2

### 5.7.3 – Condutividade Elétrica (CE)

De acordo com a estatística descritiva (**tabela 5.13**), a condutividade elétrica das águas do aquífero Içá variou no no período chuvoso (abril de 2012) de 12 a 647  $\mu\text{S/cm}$ , com média de 76,8  $\mu\text{S/cm}$  e mediana de 37,5  $\mu\text{S/cm}$ . No período seco (outubro de 2012), a variação entre o mínimo e o máximo foi de 11 a 511  $\mu\text{S/cm}$ , com média de 78,67  $\mu\text{S/cm}$  e mediana de 45  $\mu\text{S/cm}$ .

Os valores de condutividade elétrica obtidos no aquífero Içá, em sua maioria, são baixos, haja vista que, 90% (27/30) e 93% (28/30) dos poços, respectivamente, na primeira e segunda coleta apresentaram resultados inferiores a 200  $\mu\text{S/cm}$ . Isto é reflexo do clima da região amazônica, com alta



incidência de chuvas, o que assegura a renovação constante das águas dos aquíferos e dos rios ali presentes.

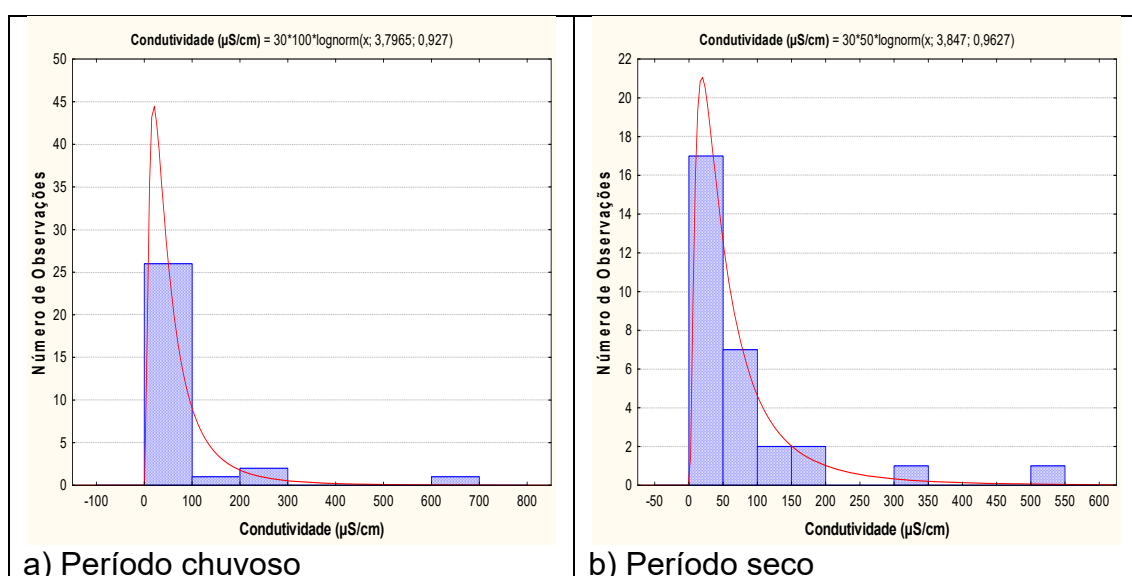
**Tabela 5.13** – Estatística descritiva da Condutividade Elétrica do Aquífero Içá no período chuvoso (CE-1) - abril de 2012 e no período seco (CE-2) – outubro de 2012.

CE	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
CE-1	30	76,80	30,78	122,82	37,50	12,0	647,0	123,24	22,50	3,86
CE-2	30	78,67	38,95	118,38	45,00	11,0	511,0	106,36	19,42	3,02

Os valores de CE acima de 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  encontrados no período chuvoso em 10% (3/30) das amostras e 7% (2/30) no período seco são coerentes, pois segundo Esteves (1998), a condutividade elétrica depende da composição iônica dos corpos d'água, e pode ser influenciado, também pelo volume de chuvas, o que é bastante frequente na região estudada.

De acordo com Celligoi (1999), quanto à condutividade elétrica, as águas subterrâneas podem ser classificadas em água destilada, quando a CE varia de 0,5 a 2  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; água potável, quando a CE varia de 50 a 1.500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; e água poluída, quando a CE é  $> 10.000 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Nesse caso, as águas do aquífero Içá, em ambos os períodos de coleta, podem ser classificadas como potável.

Os histogramas de frequência da condutividade elétrica ilustrados na **figura 5.5** nos dois períodos de amostragem foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal. Esse modelo de fdp permite concluir com risco calculado (**tabela 5.14**) que os valores de CE estimados são muito próximos em ambas as campanhas de amostragem, e, portanto, não possuem influência da sazonalidade, haja vista que a razão obtida entre as duas coletas é da ordem de 1 (um).



**Figura 5.5** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Condutividade Elétrica do Aquífero Içá, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Segundo Custodio & Llamas (1983), a condutividade elétrica da água constitui um parâmetro físico que corresponde à quantidade de íons dissolvidos em seu meio e varia com a temperatura, mobilidade e valência dos íons presentes. Este parâmetro está intrinsecamente correlacionado à geologia de cada localidade, ou seja, o arcabouço de rochas, minerais e sedimentos que constituem uma determinada região, os quais influenciarão diretamente os íons que vão compor as águas superficiais e subterrâneas. Na região amazônica, segundo Campos (2003), valores de condutividade elétrica compreendidos entre 10 a 40  $\mu\text{S}/\text{cm}$  são considerados como *background* regional das águas subterrâneas, de modo que valores acima deste padrão indicam influência antrópica na qualidade das águas subterrâneas.

Dessa forma, é possível dizer que os valores mais altos de CE no aquífero Içá, se devem exclusivamente a fatores antrópicos, como por exemplo, a ausência de esgotamento sanitário na região, o que favorece o enriquecimento das águas em sólidos dissolvidos.

**Tabela 5.14** – Distribuição de probabilidade da Condutividade Elétrica do Aquífero Içá no período chuvoso (CE-1) - abril de 2012 e no período seco (CE-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
CE-1	44,55	20,42	13,58	9,7	6,64	5,16
CE-2	46,85	20,84	13,64	9,62	6,49	4,99
Razão	0,95	0,98	1,0	1,0	1,0	1,0

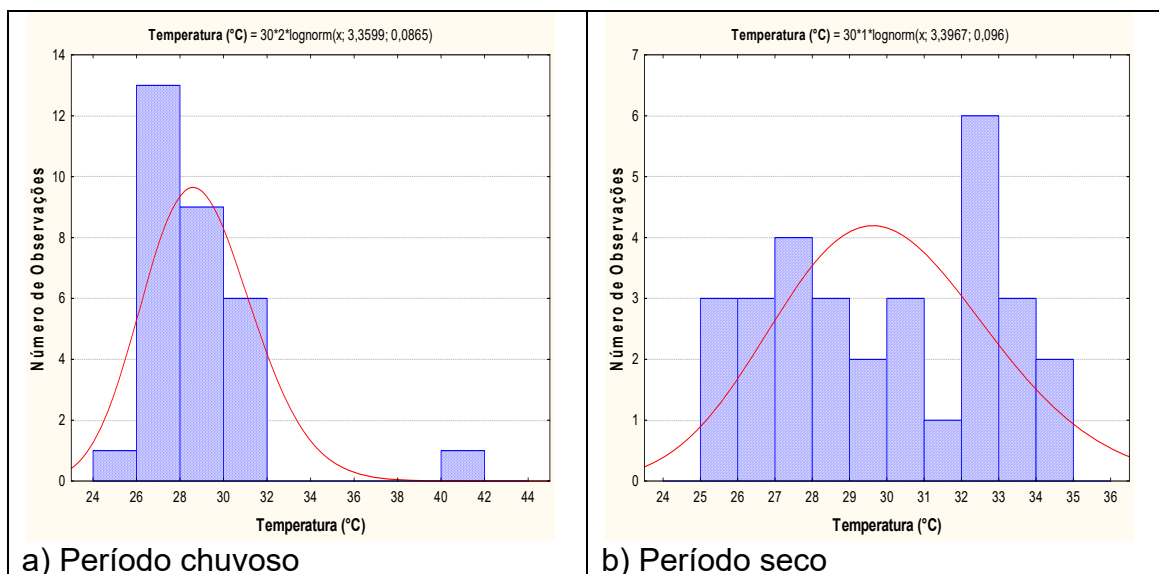
#### 5.7.4 – Temperatura

A estatística descritiva da temperatura das águas subterrâneas do aquífero Içá (**tabela 5.15**) indica que no período chuvoso, a temperatura das águas coletadas no aquífero variou de 25,8°C a 41,73°C, apresentando uma amplitude térmica de 15,93°C, com média de 28,9°C e mediana de 28,55°C. No período de estiagem, as temperaturas variaram de 25,5°C a 34,4°C, com uma amplitude térmica de apenas 8,9°C, apresentando média e mediana igual a 30°C. Os valores máximos encontrados em ambos os períodos de coleta, possivelmente decorrem da influência da temperatura ambiente sobre as águas subterrâneas, uma vez que as águas do aquífero Içá são pouco profundas e possivelmente sofrem influência das águas superficiais.

**Tabela 5.15** – Estatística descritiva da Temperatura (°C) do Aquífero Içá no período chuvoso (T-1) - abril de 2012 e no período seco (T-2) – outubro de 2012.

T (°C)	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
T-1	30	28,90	27,85	29,95	28,55	25,80	41,73	2,82	0,52	3,37
T-2	30	30,00	28,93	31,07	30,00	25,50	34,40	2,86	0,52	-0,01

Os histogramas de frequência da temperatura das águas subterrâneas do aquífero Içá, modelados por curvas normais de distribuição de probabilidade na amostragem do período chuvoso (abril de 2012) e do período de estiagem (outubro de 2012), são mostrados na **figura 5.6**.



**Figura 5.6** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Temperatura (°C) do Aquífero Içá, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Os resultados da **tabela 5.16** permitem concluir que as temperaturas das águas subterrâneas do aquífero Içá são superiores no período de estiagem, o que indica efeito da sazonalidade, haja vista que a razão entre os valores das campanhas é inferior a 1 (um). Embora, a média registrada no período de estiagem seja alta, igual a 30°C, ela possivelmente decorre da influência da temperatura ambiente sobre as águas subterrâneas, uma vez que as águas do aquífero Içá são pouco profundas e influenciadas pelas águas superficiais.

**Tabela 5.16** – Distribuição de probabilidade do Temperatura (°C) do Aquífero Içá no período chuvoso (T-1) - abril de 2012 e no período seco (T-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
T-1	28,79	26,77	25,77	24,97	24,1	23,54
T-2	29,87	27,55	26,41	25,5	24,52	23,89
Razão	0,96	0,97	0,98	0,98	0,98	0,99

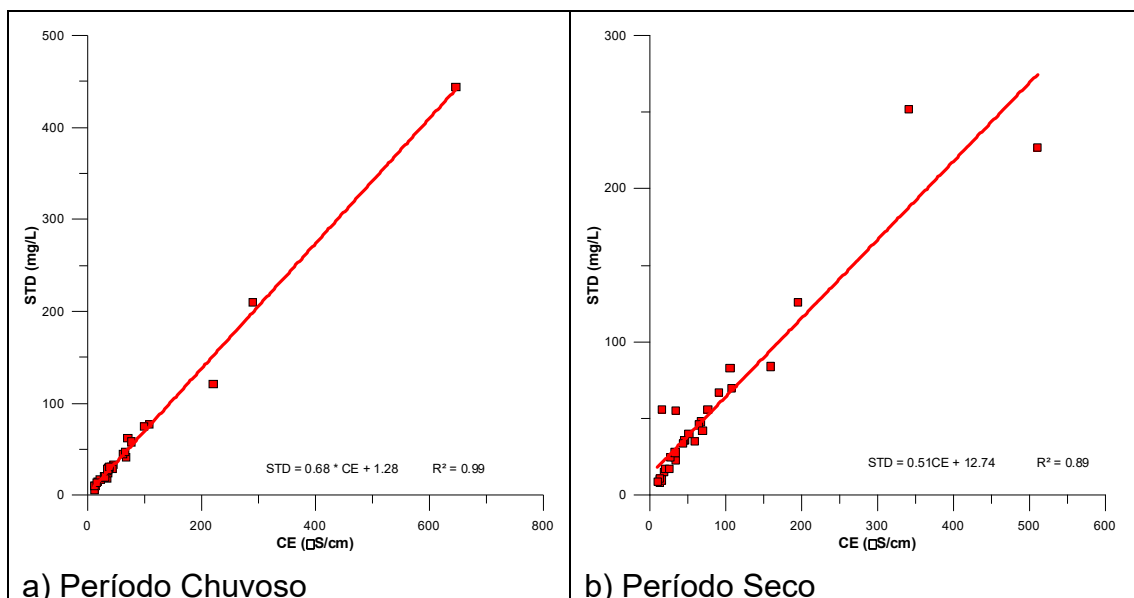
### 5.7.5 – Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

De acordo com Suassuna (2007), na maioria das águas naturais, os sólidos totais dissolvidos (STD) se relacionam com a condutividade elétrica (CE) através de uma equação linear com coeficiente angular situado na faixa de 0,55 a 0,75 (**item 2.5**). No caso do aquífero Içá, os dados desses parâmetros são apresentados na **tabela 5.17**.

**Tabela 5.17** – Valores de condutividade elétrica CE ( $\mu\text{S/cm}$ ) e sólidos totais dissolvidos STD (mg/L) no aquífero Içá nas duas campanhas de amostragem.

Poço	Abril de 2012		Outubro de 2012	
	CE ( $\mu\text{S/cm}$ )	STD (mg/L)	CE ( $\mu\text{S/cm}$ )	STD (mg/L)
BAR01	14	10	14	8
BAR02	109	77	77	56
BAR03	221	121	108	70
BAR04	46	33	106	83
BAR05	71	62	47	36
CRI01	12	10	52	40
CRI02	647	444	17	56
CRI03	43	31	19	15
CRI04	12	6	14	10
CRI05	19	15	16	10
FBA01	44	29	46	36
FBA02	33	21	33	25
FBA03	35	19	35	55
FBA04	68	41	68	48
FBA05	23	17	196	126
HUW01	39	30	44	34
HUW02	36	24	35	23
HUW03	30	20	28	25
HUW04	31	20	21	17
HUW05	35	27	26	17
LBR01	12	10	34	28
LBR02	17	14	14	11
LBR03	78	58	11	9
LBR04	100	75	60	35
LBR05	62	45	91	67
TFF01	37	30	65	46
TFF02	66	47	70	42
TFF03	36	28	342	252
TFF04	38	31	160	84
TFF05	290	210	511	227

Na correlação linear estabelecida com os dados da **tabela 5.17**, os coeficientes angulares encontrados são, respectivamente, iguais a 0,68 no período chuvoso e 0,51 no período seco, como ilustrado na **figura 5.7**. Isso demonstra que nas águas do aquífero Içá existe uma forte correlação linear entre STD e CE, conforme revelam os valores dos coeficientes de determinação da regressão ( $R^2$ ), respectivamente iguais a 0,99 no período chuvoso e 0,89 no período de estiagem.



**Figura 5.7** – Relações entre a condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos no aquífero Içá, no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012).

Segundo a estatística descritiva (**tabela 5.18**), os teores de STD nas águas subterrâneas do aquífero Içá, variam no período chuvoso de 6 mg/L a 444 mg/L, com média de 53,5 mg/L e mediana de 29,5 mg/L. No período de estiagem, o mínimo observado foi de 8 mg/L e o máximo de 252 mg/L, com média de 53,03 mg/L e mediana igual a 36 mg/L.

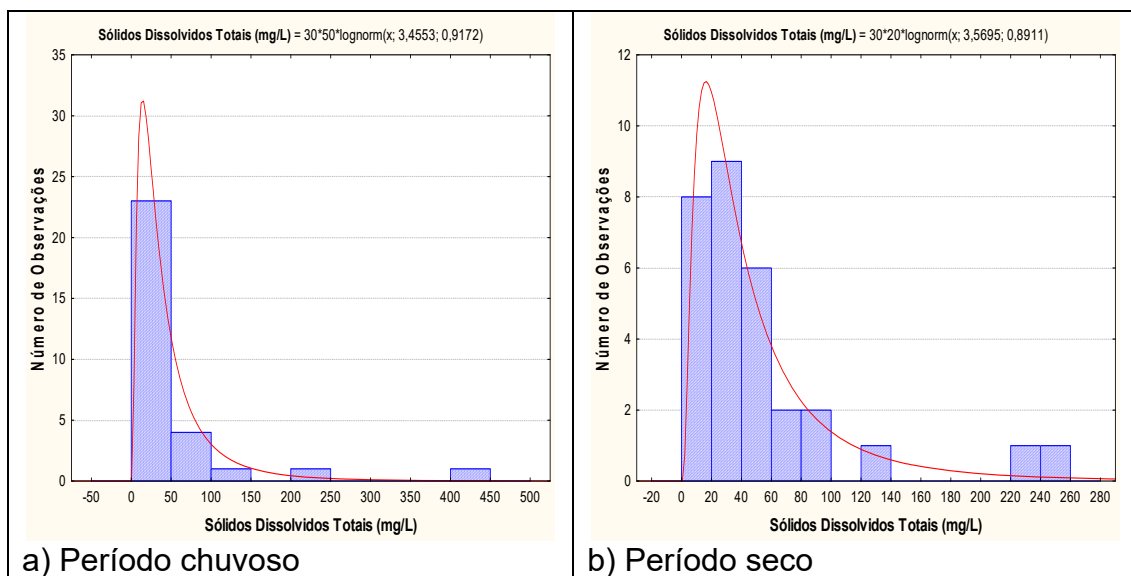
**Tabela 5.18** – Estatística descritiva dos Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero Içá no período chuvoso (STD-1) - abril de 2012 e no período seco (STD-2) – outubro de 2012.

STD	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
STD-1	30	53,50	22,10	84,90	29,50	6,0	444,0	84,09	15,35	3,91
STD-2	30	53,03	31,58	74,49	36,00	8,0	252,0	57,46	10,49	2,52

Os valores de STD obtidos nas duas campanhas estão abaixo do VMP da Portaria MS 2914/2011, que recomenda o valor de 1.000 mg/L como padrão organoléptico de potabilidade (**item 2.5**). Em ambas as campanhas, todas as amostras apresentaram resultados de STD abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 396/2008, de 1.000.000  $\mu\text{g.L}^{-1}$ , indicando que as águas podem ser usadas para consumo humano, em relação a esse parâmetro (**item 2.5**).

De modo geral, os valores de STD obtidos nas águas do aquífero Içá são baixos, o que pode ser justificado pela constante renovação das águas associada a elevada precipitação na região, típica da floresta amazônica.

As funções lognormais de distribuição de probabilidade que modelam os histogramas de frequência de STD nas duas campanhas de amostragem no aquífero Içá (**figura 5.8**) permitiram avaliar, com risco calculado, que no período de estiagem, a concentração de STD é maior do que no período chuvoso (**tabela 5.19**), indicando uma influência da sazonalidade, haja vista que o valor da razão entre as duas campanhas é inferior a 1 (um).



**Figura 5.8** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade dos Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero Içá, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

De acordo com Santos *et al.* (1981), na Amazônia Central, parte dos nutrientes são transportados até o solo pela queda de detritos (folhas, galhos, etc.) da serrapilheira, onde após a sua decomposição eles são incorporados ao sistema radicular da vegetação; enquanto que outra fração de nutrientes, bastante significativa é transferida para o solo, através da água de lavagem da floresta, a qual se torna mais importante, devido o potencial de precipitação pluviométrica na região, visto que o solo local é arenoso e pobre em bases trocáveis. Sendo assim, verifica-se que os teores mais elevados de STD no período de estiagem, no aquífero Içá, provavelmente se devem aos nutrientes transportados até o solo pela decomposição da serrapilheira, em especial o sódio.

**Tabela 5.19** – Distribuição de probabilidade dos Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero Içá no período chuvoso (STD-1) - abril de 2012 e no período seco (STD-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
STD-1	31,67	14,63	9,78	7,01	4,81	3,75
STD-2	35,5	16,77	11,33	8,2	5,69	4,47
Razão	0,89	0,87	0,86	0,85	0,85	0,84

### 5.7.6 – Potencial Hidrogeniônico (pH)

Segundo a Resolução CONAMA 396/2008 e a Portaria MS 2914/11 não há um limite máximo de pH definido para o consumo humano. Contudo, a Portaria MS 2914/11, no art. 39, § 1º, recomenda que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5 para atender aos padrões organolépticos de potabilidade (**item 2.6**). No caso específico do aquífero Içá, os 30 poços cujas águas foram analisadas quimicamente, o pH é ácido no momento da coleta, mas tão logo sofre aeração no reservatório ou até mesmo

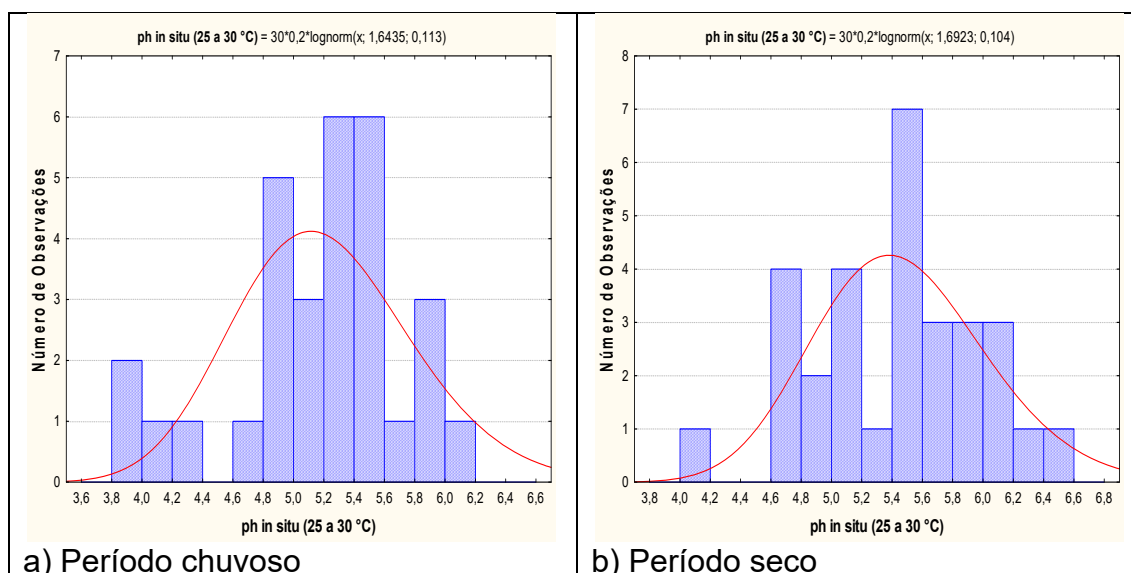
dentro do próprio poço, tende a atingir a neutralidade e ao final normalmente se enquadra na faixa prescrita pela Portaria MS 2914/11.

De acordo com a estatística descritiva (**tabela 5.20**), nas águas subterrâneas do aquífero Içá, os valores de pH *in situ* encontrados no período chuvoso ficaram compreendidos entre 3,9 e 6,2, com média de 5,2 e mediana de 5,3. No período seco, os valores oscilaram entre um mínimo de 4,2 e máximo de 6,5, com média de 5,46 e mediana igual a 5,5.

**Tabela 5.20** – Estatística descritiva do pH *in situ* do Aquífero Içá no período chuvoso – abril de 2012 (pH-1) e no período seco – outubro de 2012 (pH-2).

pH	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
pH-1	30	5,20	5,00	5,41	5,30	3,90	6,20	0,56	0,10	-0,78
pH-2	30	5,46	5,25	5,67	5,50	4,20	6,50	0,56	0,10	-0,22

A **figura 5.9** apresenta os histogramas de frequência e as respectivas curvas ajustadas a lei normal de distribuição de probabilidade para a primeira e segunda campanha de amostragem de pH *in situ*, realizadas respectivamente em abril e outubro de 2012.



**Figura 5.9** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do pH *in situ* do Aquífero Içá, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Na **tabela 5.21** são indicados, com risco calculado, os valores estimados do pH *in situ* no período chuvoso e no período seco. Os resultados mostram que em ambas as campanhas, as águas se caracterizam essencialmente como ácidas, mas com uma leve tendência de aumento da acidez no período chuvoso, segundo o modelo adotado, o que sugere influência da sazonalidade, haja vista que a razão dos valores medidos nas coletas é inferior a 1 (um).

**Tabela 5.21** – Distribuição de probabilidade do pH *in situ* do Aquífero Içá no período chuvoso – abril de 2012 (pH-1) e no período seco – outubro de 2012 (pH-2).

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
pH-1	5,17	4,7	4,48	4,3	4,1	3,98
pH-2	5,43	4,98	4,75	4,58	4,39	4,26
Razão	0,95	0,94	0,94	0,94	0,93	0,93

Tais resultados são coerentes, pois a água da chuva possui pH ácido e conforme avaliação de Monteiro & Gioda (2011), variável de 3,9 a 5,9, com valor médio de 4,95 na região amazônica.

Isso ocorre porque a água da chuva rica em O<sub>2</sub>, em interação com o CO<sub>2</sub> da atmosfera adquire caráter ácido e em contato com o solo, onde a respiração das plantas pelas raízes e a oxidação da matéria orgânica (processos redox), enriquecem o ambiente em CO<sub>2</sub>, diminuindo ainda mais o seu pH (Teixeira *et al.*, 2000).

### 5.7.7 – Potencial Redox (Eh)

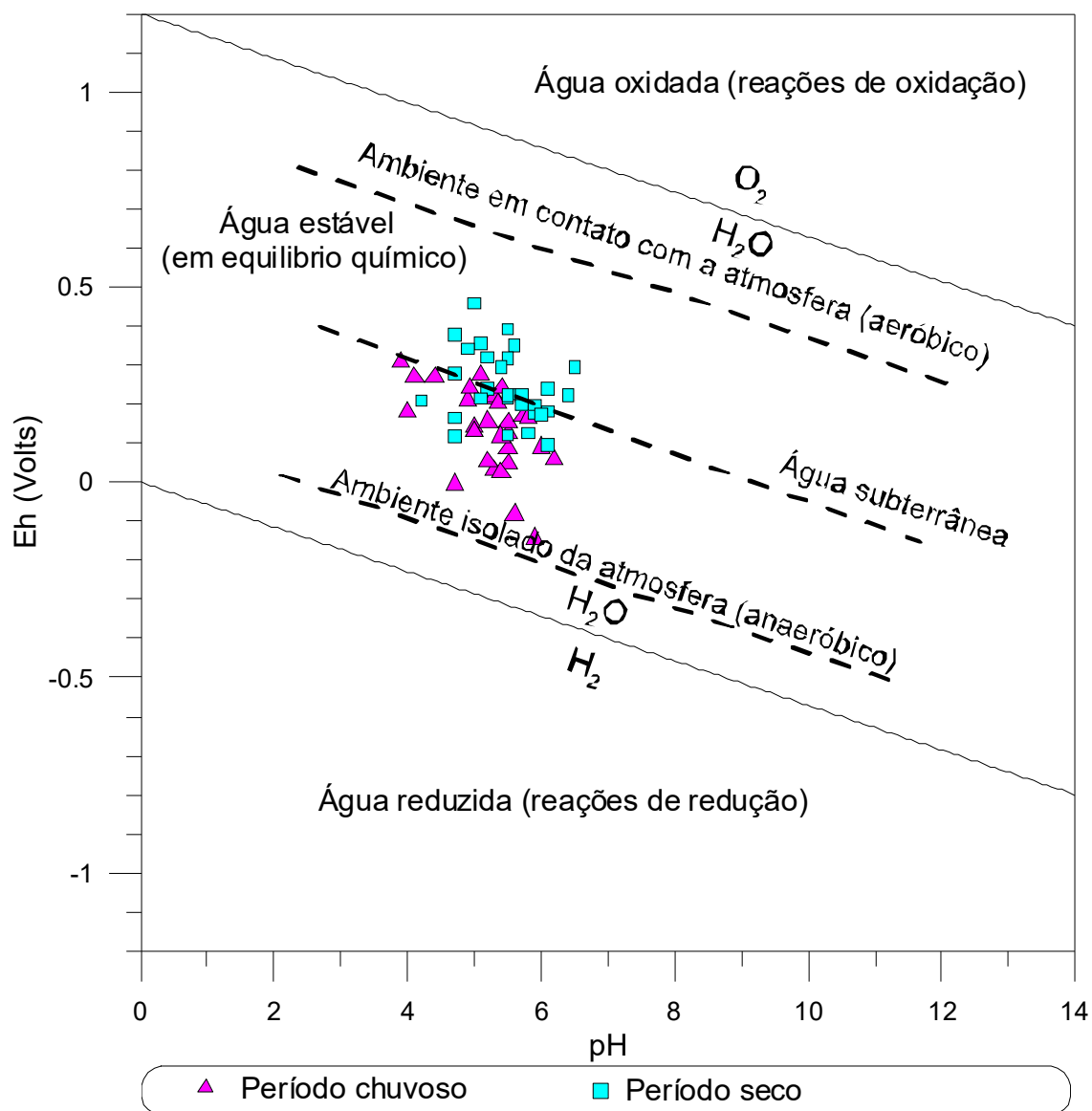
No aquífero Içá, os diagramas pH-Eh elaborados usando os conceitos descritos no **item 2.7** revelam os ajustes lineares (**figura 5.10**) feitos a partir dos dados medidos em campo, que foram os seguintes:

No período chuvoso:  $\text{pH} = -0,101\text{Eh} + 0,67$        $R^2 = 0,28$

No do período seco:  $\text{pH} = -0,041\text{Eh} + 0,47$        $R^2 = 0,07$

Ambos os coeficientes de determinação dos ajustes do período chuvoso e do período de estiagem são insignificantes e mostram que não existe correlação significativa entre as medidas de pH e Eh efetuadas em campo no aquífero Içá. Isto significa, para fins de modelagem termodinâmica, que a distribuição das espécies químicas não pode ser deduzida da concentração total de elementos via potencial redox medido.





**Figura 5.10** – Diagrama *pH versus Eh* (mV), de amostras de águas subterrâneas dos poços monitorados no aquífero Içá (*T in situ* variou de 25,5 a 41,7°C) nas duas campanhas de amostragem.

A estatística descritiva do Eh no aquífero Içá, apresentada na **tabela 5.22**, mostra que no período chuvoso os valores de Eh oscilaram entre -136,7 e 312,6 mV, com média de 142,36 mV e mediana igual a 152,85 mV. No período de estiagem, os valores oscilaram entre 97 e 459 mV, com média de 244,93 mV e mediana de 222 mV.

**Tabela 5.22** – Estatística descritiva do Eh (mV) do Aquífero Içá no período chuvoso – abril de 2012 (Eh-1) e no período seco – outubro de 2012 (Eh-2).

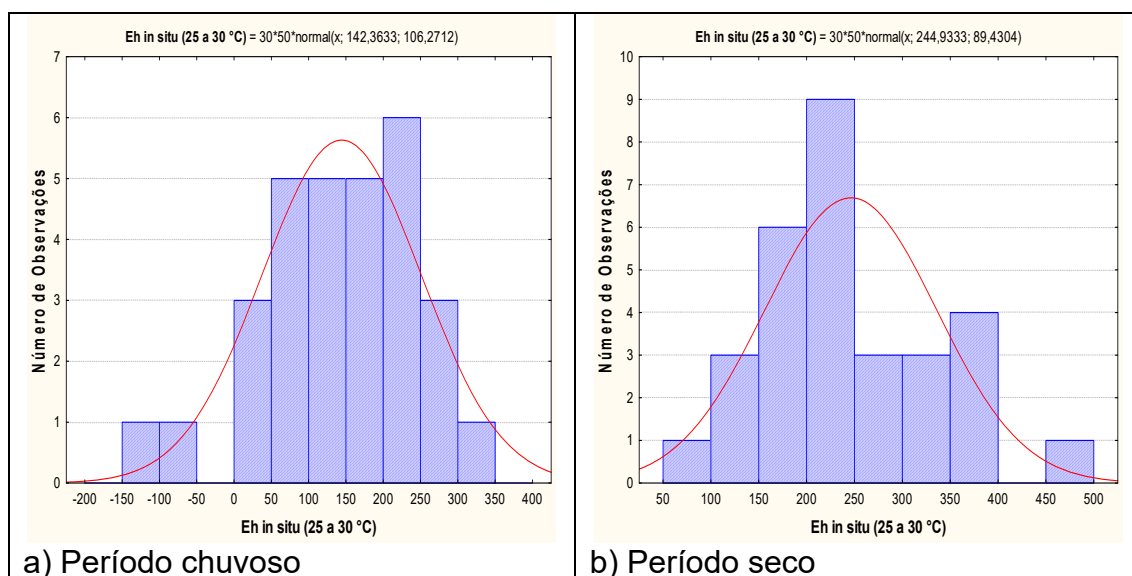
Eh (mV)	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Eh-1	30	142,36	102,68	182,05	152,85	-136,70	312,60	106,27	19,40	-0,70
Eh-2	30	244,93	211,54	278,33	222,00	97,00	459,00	89,43	16,33	0,48

No período chuvoso, 93% (28/30) das amostras apresentaram resultados de Eh positivo, enquanto que no período de estiagem, 100% (30/30) das amostras

obtiveram valores de Eh positivos, indicando que as águas do aquífero Içá se encontram em condições oxidantes.

De acordo com Bohn (1970) *in* Lima *et al.* (2005), o potencial redox ou atividade de elétrons influencia o estado de oxidação do hidrogênio, carbono, nitrogênio, oxigênio, enxofre, manganês, ferro, cobalto e cobre no sistema aquoso e representa uma medida quantitativa da tendência de um dado sistema oxidar ou reduzir substâncias ou elementos susceptíveis a esses fenômenos. Valores altos e positivos do potencial indicam uma baixa atividade de elétrons e, portanto, condições oxidantes; enquanto valores baixos e negativos do potencial, condições redutoras. Dessa forma, um sistema natural raramente alcançará o equilíbrio entre oxidação e redução, em razão da contínua adição de doadores de elétrons, isto é, compostos orgânicos oxidáveis, o que acarreta, no caso do aquífero Içá, as diferenças de valores de Eh nas duas campanhas.

Os histogramas de frequência e as respectivas curvas de distribuição de probabilidade do Eh, modelados pela lei normal, são apresentados na **figura 5.11**.



**Figura 5.11** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Eh do Aquífero Içá, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Na **tabela 5.23** são apresentados, com risco calculado, os valores de Eh onde verifica-se que os valores do período de estiagem são superiores aos do período chuvoso, o que sugere influência da sazonalidade, haja vista que a razão entre as duas campanhas é inferior a 1 (um).

**Tabela 5.23** – Distribuição de probabilidade do Eh do Aquífero Içá no período chuvoso – abril de 2012 (Eh-1) e no período seco – outubro de 2012 (Eh-2).

P(x>a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Eh-1	142,36	52,92	6,17	-32,44	-75,89	-104,86
Eh-2	244,93	169,67	130,32	97,83	61,27	36,89
Razão	0,6	0,3	0,0	-0,3	-1,2	-2,8

Os resultados de Eh obtidos no aquífero Içá são coerentes, pois de acordo com Costa & Ávila (2010), na zona não saturada há, geralmente, oxigênio suficiente na fase gasosa para garantir elevados valores de potencial redox (500 a 800 mV) na água. Apesar disso, condições redutoras ou parcialmente redutoras podem ocorrer em pequenos poros (micro-meios). Nos aquíferos perto da superfície as condições de oxidação prevalecem, assim, potenciais redox baixos nestes aquíferos podem indicar contaminação antropogênica. No caso do aquífero Içá os valores de Eh mais elevados na estiagem são consistentes com a ideia acima apresentada, pois a zona de aeração, que no período chuvoso se encontra quase totalmente saturada por águas de infiltração em movimento, volta a ter espaços vazios preenchidos por oxigênio, o que conseqüentemente eleva o valor de Eh.

### 5.7.8 – Cátions

#### 5.7.8.1 – Sódio

A estatística descritiva (**tabela 5.24**) indica que os teores de sódio nas águas do aquífero Içá variam entre 0,16 e 12,8 mg/L no período chuvoso, com média de 3,37 mg/L e mediana de 3,05 mg/L; no período de estiagem, os teores estão compreendidos entre 0,14 e 26,38 mg/L, com média de 4,97 mg/L e mediana igual a 3,45 mg/L.

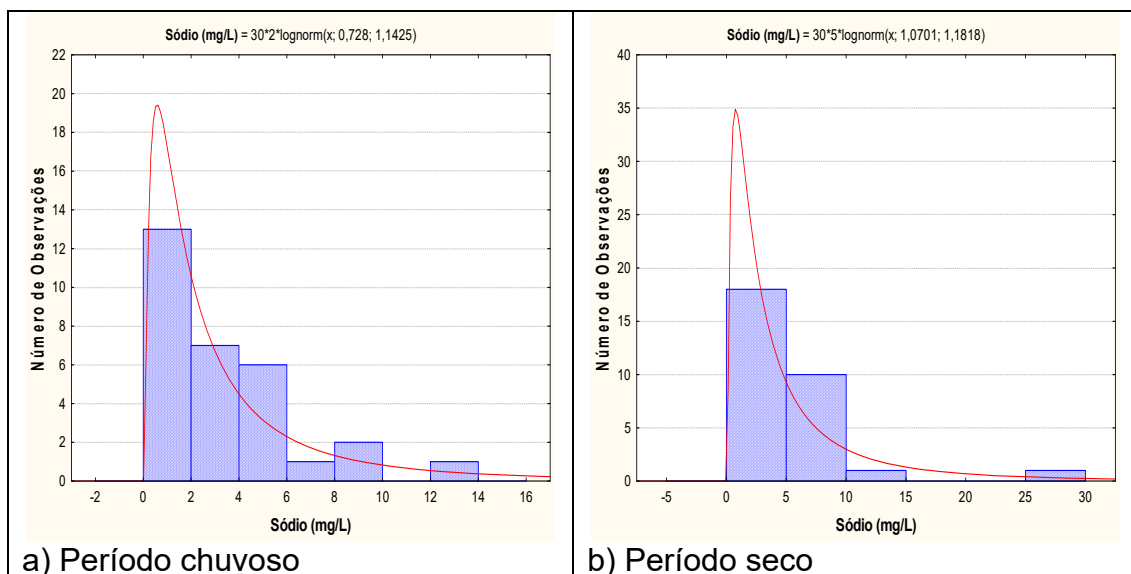
**Tabela 5.24** – Estatística descritiva do Sódio do Aquífero Içá no período chuvoso (Na-1) - abril de 2012 e no período seco (Na-2) – outubro de 2012.

Na	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Na-1	30	3,37	2,24	4,50	3,05	0,16	12,80	3,02	0,55	1,40
Na-2	30	4,97	3,02	6,92	3,45	0,14	26,38	5,22	0,95	2,52

De acordo com a Portaria MS 2914/2011, todos os valores de sódio encontrados nas duas campanhas, estão abaixo do VMP de 200 mg/L, padrão definido como de potabilidade para consumo humano, conforme descrito no **item 2.8.1**.

Em ambas as campanhas, todas as amostras apresentaram resultados abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 396/2008, de 200 e 300 mg/L, indicando que as águas podem ser usadas para consumo humano e recreação, respectivamente (**item 2.8.1**).

O modelo de distribuição de probabilidade lognormal ajustado aos histogramas da **figura 5.12** permitiu estimar, com risco calculado, os valores de sódio para o período chuvoso e para o período de estiagem no aquífero Içá.



**Figura 5.12** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Sódio do Aquífero Içá, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Os resultados da **tabela 5.25** mostram que os teores de sódio são maiores no período de estiagem, indicando que existe influência da sazonalidade no tocante às concentrações de sódio no aquífero Içá, haja vista que o valor da razão entre as duas campanhas é inferior a 1 (um).

**Tabela 5.25** – Distribuição de probabilidade do Sódio do Aquífero Içá no período chuvoso (Na-1) - abril de 2012 e no período seco (Na-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Na-1	2,07	0,79	0,48	0,32	0,2	0,15
Na-2	2,92	1,08	0,64	0,42	0,26	0,19
Razão	0,71	0,73	0,75	0,76	0,77	0,79

De acordo com Santos *et al.* (1981), na Amazônia Central, parte dos nutrientes são transportados até o solo pela queda de detritos (folhas, galhos, etc.) da serrapilheira, onde após a sua decomposição eles são incorporados ao sistema radicular da vegetação; enquanto que outra fração de nutrientes, bastante significativa é transferida para o solo, através da água de lavagem da floresta, a qual se torna mais importante, devido o potencial de precipitação pluviométrica na região, visto que o solo local é arenoso e pobre em bases trocáveis.

Tal premissa pode ser ratificada com base nos resultados obtidos no **item 5.3**, onde a maioria das amostras apresentou resultados de ITB negativos, fato que acontece quando o terreno fornece os metais alcalinos. De acordo com Szikszay (1993), isso é possível, pois as argilas e o húmus dão coloides eletronegativos que são capazes de fixar e trocar cátions.

Segundo Moraes (1999), o solo da floresta amazônica é em geral bastante arenoso e possui uma fina camada de nutrientes que é rica em húmus, o produto resultante da matéria orgânica decomposta.

Madari *et al.* (2009) relatam que os teores de matéria orgânica é que regulam a capacidade de troca de cátions (CTC), principalmente, em solos tropicais, cuja fase mineral é dominada por minerais de baixa atividade química, quando comparadas à fase mineral dos solos encontrados em regiões de clima temperado. Em solos brasileiros, a matéria orgânica pode contribuir para até 80% das cargas negativas do solo, e isso explica o fato de a CTC desses solos estar, em grande parte, associada à matéria orgânica do solo.

Sendo assim, verifica-se que os teores mais elevados de sódio na segunda campanha no aquífero Içá, provavelmente, se devem aos nutrientes transportados até o solo pela decomposição da matéria orgânica, e como no período de estiagem a renovação das águas é diminuída por conta da cessação do período de cheias, os teores de sódio se elevam.

### 5.7.8.2 – Potássio

A **tabela 5.26** mostra a estatística descritiva dos teores de potássio no aquífero Içá. No período chuvoso, as concentrações de potássio medidas nos 30 poços oscilaram entre 0,54 e 12,3 mg/L, com média de 3,03 mg/L e mediana de 2,38 mg/L. No período de estiagem, a variação foi de 0,46 a 14,88 mg/L, com média de 2,67 mg/L e mediana de 2,14 mg/L.

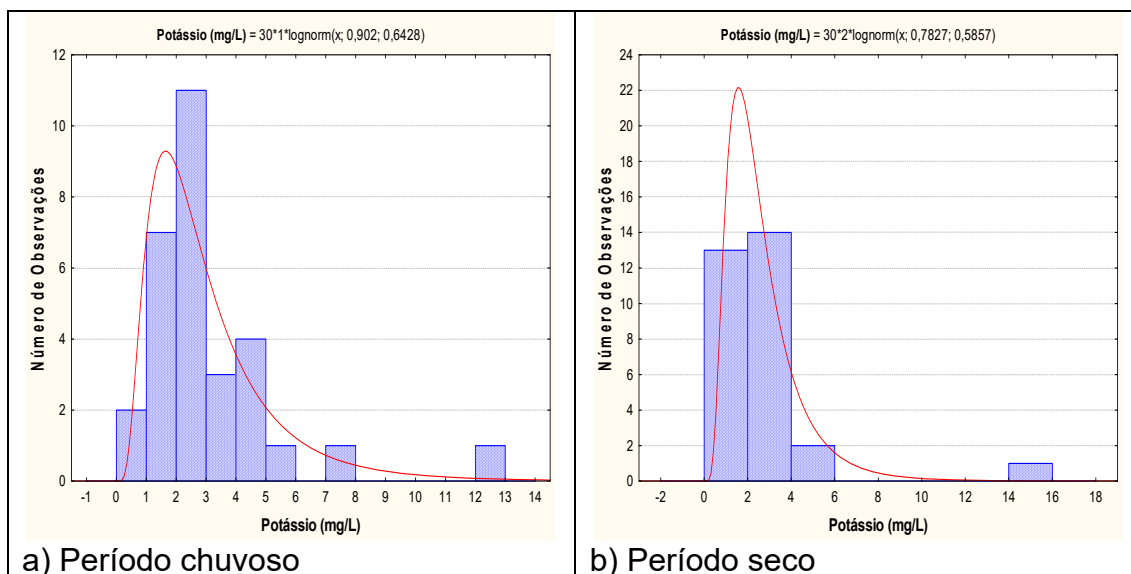
**Tabela 5.26** – Estatística descritiva do Potássio do Aquífero Içá no período chuvoso (K-1) - abril de 2012 e no período seco (K-2) – outubro de 2012.

K	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
K-1	30	3,03	2,17	3,89	2,38	0,54	12,30	2,30	0,42	2,58
K-2	30	2,67	1,74	3,59	2,14	0,46	14,88	2,48	0,45	4,36

Segundo Pereira *et al.* (2008), o potássio nas águas subterrâneas ocorre em pequena quantidade, normalmente valores de até 10 mg/L, pois é facilmente absorvido pelo solo através dos compostos do húmus, por intermédio de argilas ou de zeólitos naturais. Na área de estudo, os valores mínimo e máximo de potássio encontrados nas duas campanhas foi de 0,46 e 14,88 mg/L.

Os baixos teores de potássio também podem ser justificados pela alta pluviosidade na região amazônica, a qual favorece a constante renovação das águas, e conseqüentemente a diluição dos elementos ali presentes.

Os histogramas de frequência dos teores de potássio ilustrados na **figura 5.13** nos dois períodos de amostragem foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal.



**Figura 5.13** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Potássio do Aquífero Içá, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Esse modelo de fdp revela um viés estatístico para potássio com diferentes riscos, não sendo possível avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade por meio da modelagem geoestatística (**tabela 5.27**). Sendo assim, com base nos dados de média e mediana observa-se que os valores de potássio no período chuvoso são superiores aos do período seco, o que sugere influência da sazonalidade.

Contudo, acredita-se que tal premissa não seja coerente, pois 97% (29/30) dos teores de potássio em ambas as campanhas estiveram abaixo de 10 mg/L, enquanto que o poço TFF05 apresentou valor anômalo de 12,30 mg/L e 14,88 mg/L, respectivamente para a primeira e segunda campanha, o que causa desvios na estatística descritiva. Desse modo, com base na análise comparativa dos dados de potássio nas duas campanhas, excluindo os valores anômalos verifica-se que 76% (22/29) das amostras possuem teores de potássio muito próximos, o que sugere que não há influência da sazonalidade para este parâmetro no aquífero Içá.

**Tabela 5.27** – Distribuição de probabilidade do Potássio do Aquífero Içá no período chuvoso (K-1) - abril de 2012 e no período seco (K-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
K-1	2,46	1,43	1,08	0,86	0,66	0,55
K-2	2,19	1,34	1,03	0,83	0,66	0,56
Razão	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0

### 5.7.8.3 – Cálcio

A **tabela 5.28** mostra a estatística descritiva dos teores de cálcio medidos no aquífero Içá. No período chuvoso, os valores medidos estão compreendidos entre 0,06 e 7,92 mg/L, com média de 1,01 mg/L e mediana de 0,58 mg/L. Na

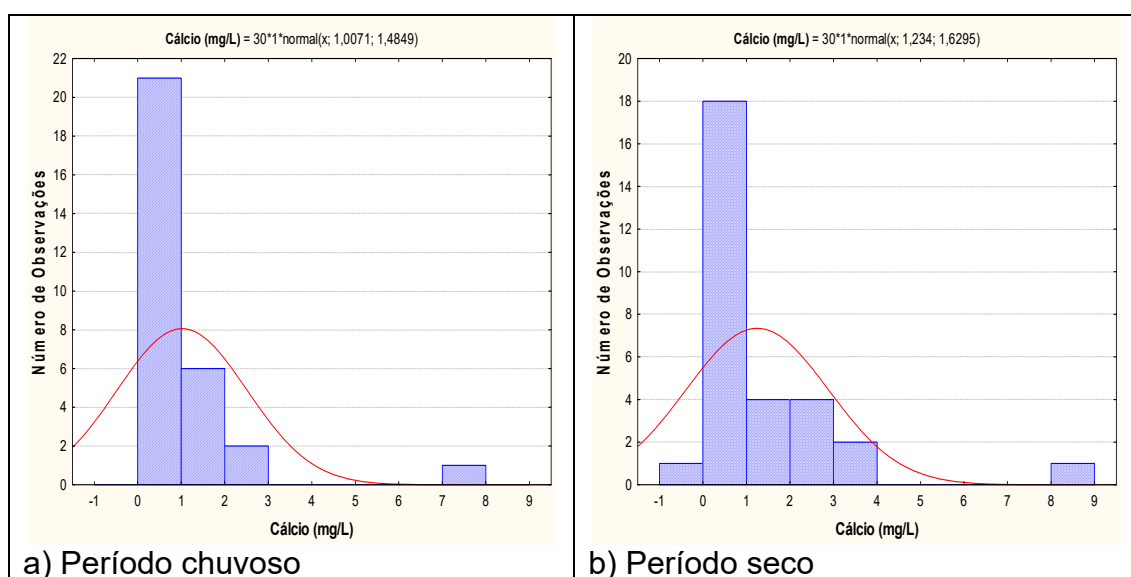
estiagem, as concentrações de cálcio variam de 0,0009 a 8,08 mg/L, sendo a média igual a 1,23 mg/L e a mediana de 0,61 mg/L.

**Tabela 5.28** – Estatística descritiva do Cálcio do Aquífero Içá no período chuvoso (Ca-1) - abril de 2012 e no período seco (Ca-2) – outubro de 2012.

Ca	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Ca-1	30	1,01	0,45	1,56	0,58	0,06	7,92	1,48	0,27	3,75
Ca-2	30	1,23	0,63	1,84	0,61	0,0009	8,08	1,63	0,30	2,78

De modo geral, os teores de cálcio no aquífero Içá são baixos, o que é justificável, pois o clima chuvoso da região Amazônica, onde os índices pluviométricos anuais são superiores a 2.500 mm, favorece a constante renovação das águas superficiais e subterrâneas. A abundância de água, associada com a exuberante cobertura vegetal e as altas temperaturas, são os principais condicionantes do intemperismo químico que ao longo do tempo geológico quebrou a estrutura química dos minerais componentes das rochas e dos sedimentos, deixando os terrenos lixiviados e lateritizados.

Os histogramas de frequência dos teores de cálcio ilustrados na **figura 5.14** nos dois períodos de amostragem foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal.



**Figura 5.14** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Cálcio do Aquífero Içá, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Esse modelo de fdp revela um viés estatístico para cálcio com diferentes riscos, não sendo possível avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade por meio da modelagem geoestatística (**tabela 5.29**). Sendo assim, com base nos dados de média e mediana observa-se que os valores de cálcio no período de estiagem são superiores aos do período chuvoso, o que sugere influência da sazonalidade.

Contudo, acredita-se que tal premissa não seja coerente, pois 97% (29/30) dos teores de cálcio em ambas as campanhas estiveram abaixo de 4 mg/L, enquanto que o poço TFF05 apresentou valor anômalo de 7,92 mg/L e 8,08

mg/L, respectivamente para a primeira e segunda campanha, o que causa desvios na estatística descritiva. Desse modo, com base na análise comparativa dos dados de cálcio nas duas campanhas, excluindo os valores anômalos verifica-se que 48% (14/29) das amostras possuem teores de cálcio muito próximos, o que sugere que não há influência da sazonalidade para este parâmetro no aquífero Içá.

**Tabela 5.29** – Distribuição de probabilidade do Cálcio do Aquífero Içá no período chuvoso (Ca-1) - abril de 2012 e no período seco (Ca-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Ca-1	1,01	-0,24	-0,9	-1,44	-2,04	-2,45
Ca-2	1,23	-0,14	-0,85	-1,45	-2,11	-2,56
Razão	0,8	1,7	1,1	1,0	1,0	1,0

#### 5.7.8.4 – Magnésio

A estatística descritiva na **tabela 5.30** mostra que os teores de magnésio coletados nas águas subterrâneas do aquífero Içá variam de 0,1 a 15 mg/L no período chuvoso, com média de 1,38 mg/L e mediana de 0,72 mg/L. No período de estiagem, o valor mínimo foi de 0,08 mg/L e o máximo de 11,76 mg/L, com média de 1,41 mg/L e mediana igual a 0,81 mg/L.

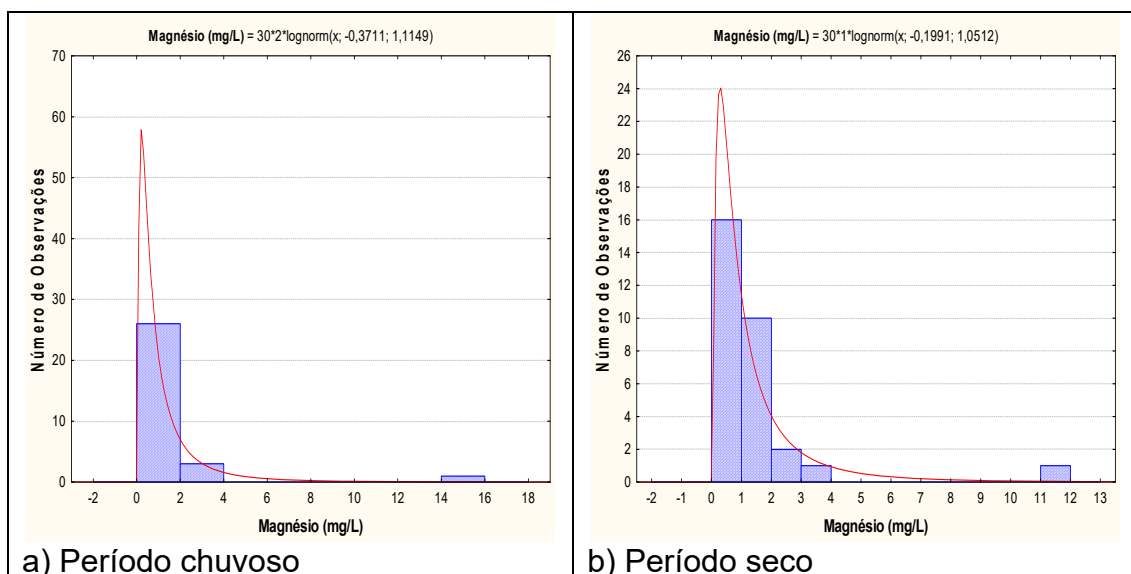
**Tabela 5.30** – Estatística descritiva do Magnésio do Aquífero Içá no período chuvoso (Mg-1) - abril de 2012 e no período seco (Mg-2) – outubro de 2012.

Mg	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Mg-1	30	1,38	0,38	2,38	0,72	0,10	15,00	2,68	0,49	4,82
Mg-2	30	1,41	0,62	2,20	0,81	0,08	11,76	2,12	0,39	4,29

De modo geral, os teores de magnésio encontrados nas águas do aquífero Içá são muito baixos. Segundo Celligoi (1999), o magnésio possui grande solubilidade, porém é encontrado em menores quantidades nas águas doces, mais provavelmente pela sua baixa abundância geoquímica (17.600 mg/kg nas rochas ígneas), o que é plausível na área de estudo, haja vista que as águas são predominantemente doces.

Os histogramas de frequência dos valores amostrados no período chuvoso (abril de 2012) e período de estiagem (outubro de 2012) são apresentados na **figura 5.15**. Modelados por uma lei lognormal de distribuição lognormal de probabilidade, esses histogramas permitem avaliar, com risco calculado, os teores de magnésio nas águas subterrâneas do aquífero Içá, de acordo com a sazonalidade.





**Figura 5.15** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Magnésio do Aquífero Içá, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Os valores apresentados na **tabela 5.31** mostram que os teores de magnésio (mg/L) no período de estiagem são mais elevados em comparação ao período chuvoso, uma vez que a razão entre os dois períodos é inferior a 1 (um), o que sugere influência da sazonalidade.

**Tabela 5.31** – Distribuição de probabilidade do Magnésio do Aquífero Içá no período chuvoso (Mg-1) - abril de 2012 e no período seco (Mg-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Mg-1	0,69	0,27	0,17	0,11	0,07	0,05
Mg-2	0,82	0,34	0,21	0,15	0,09	0,07
Razão	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,7

Santos *et al.* (1981) ao efetuar comparação de teores de magnésio encontrados na água dos troncos e na água do lençol freático verificou que as concentrações são bastante elevadas nos ecossistemas florestais da Amazônia Central, assim como, no período seco, os valores desse elemento são maiores devido, principalmente a ação dos ácidos orgânicos que solubiliza o magnésio presente na superfície das folhas e dos caules.

Aliado a isso, o fato de que no período de estiagem a renovação das águas é diminuída por conta da cessação do período de cheias, o que consequentemente eleva os teores de magnésio.

## 5.7.9 – Ânions

### 5.7.9.1 – Cloreto

A **tabela 5.32** mostra a estatística descritiva dos teores de cloreto nas águas subterrâneas do aquífero Içá. No período chuvoso (abril de 2012) os valores de cloreto variaram de 0,9 a 36,54 mg/L, com média de 4,12 mg/L e mediana igual a 1,41 mg/L. No período de estiagem (outubro de 2012), a variação entre o

mínimo e o máximo foi de 0,49 a 40,94 mg/L, com média de 4,77 mg/L e mediana de 1,23 mg/L.

**Tabela 5.32** – Estatística descritiva do Cloreto do Aquífero Içá no período chuvoso (CI-1) - abril de 2012 e no período seco (CI-2) – outubro de 2012.

CI	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
CI-1	30	4,12	1,56	6,69	1,41	0,9	36,54	6,87	1,25	3,98
CI-2	30	4,77	1,45	8,10	1,23	0,49	40,94	8,90	1,62	3,23

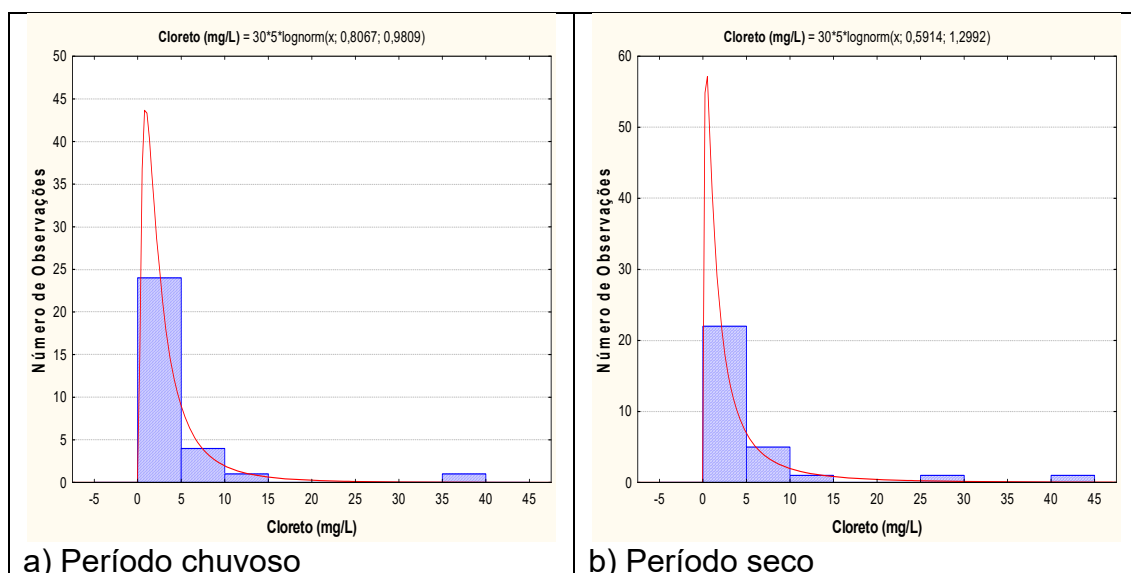
Na primeira campanha, 43% (13/30) dos poços apresentaram teores de cloreto abaixo do limite de detecção de 1 mg/L.

Na segunda campanha, 27% (8/30) dos poços apresentaram valores de cloreto abaixo do limite de detecção de 0,5 mg/L; e 3% (1/30) apresentaram teores abaixo do limite de detecção de 1 mg/L. Os limites de detecção dependem do método utilizado e podem variar para o mesmo parâmetro (**item 1.4**).

Todos os poços amostrados em ambas as campanhas apresentaram resultados de cloreto inferiores ao VMP estabelecido pelo Portaria MS 2914/2011, conforme descrito no **item 2.9.1**.

Em ambas as coletas, todas as amostras apresentaram teores de cloreto inferiores aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.9.1**), de 250 mg/L para consumo humano; 100 a 700 mg/L para irrigação; e de 400 mg/L para recreação, indicando que as águas do aquífero Içá pode ser empregada para tais usos.

Na **figura 5.16** se encontram os histogramas de frequência dos teores de cloreto amostrados nas duas campanhas e as respectivas curvas fornecidas pelo modelo de distribuição de probabilidade lognormal aplicado para estimativa, com risco calculado, dos teores de cloreto no aquífero Içá.



**Figura 5.16** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Cloreto do Aquífero Içá, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Na **tabela 5.33** encontram-se os teores de cloreto com probabilidade de ocorrência no período chuvoso e no período seco no aquífero Içá. Nota-se que

os valores no período chuvoso são superiores aos do período seco e que a razão entre as duas campanhas é superior a 1 (um), indicando alguma influência da sazonalidade.

Isso é justificável, pois segundo Hindi (2001), a presença de nitrato, cloreto e sódio podem ser indicativos de contaminação nas águas subterrâneas por efluentes domésticos. E como a área de estudo é muito plana e periodicamente afetada por inundações, pode ocorrer o transbordamento de fossas sépticas, cujos dejetos se misturam às águas superficiais, de modo que pode haver infiltração de água contaminada, principalmente no período chuvoso, haja vista que a maioria dos poços é construída nas proximidades imediatas das fossas sépticas.

**Tabela 5.33** – Distribuição de probabilidade do Cloreto do Aquífero Içá no período chuvoso (CI-1) - abril de 2012 e no período seco (CI-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
CI-1	2,24	0,98	0,64	0,45	0,3	0,23
CI-2	1,81	0,61	0,34	0,21	0,13	0,09
Razão	1,2	1,6	1,9	2,1	2,3	2,6

#### 5.7.9.2 – Sulfato

A estatística descritiva apresentada na **tabela 5.34** indica que os teores de sulfato nas águas subterrâneas do aquífero Içá no período chuvoso variam de 0,49 a 3,12 mg/L, apresentando média de 1,02 mg/L e mediana de 0,65 mg/L. No período seco, os teores variaram de 0,49 a 9,71 mg/L, com média de 1,05 mg/L e mediana igual a 0,5 mg/L.

**Tabela 5.34** – Estatística descritiva do Sulfato do Aquífero Içá período chuvoso (S-1) - abril de 2012 e no período seco (S-2) – outubro de 2012.

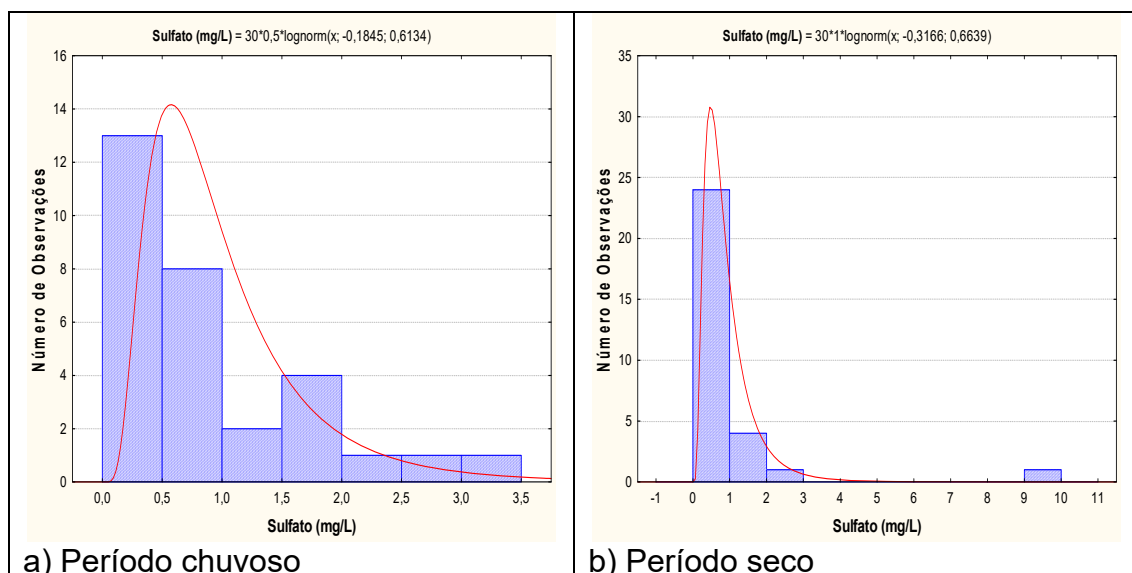
Sulfato	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
S-1	30	1,02	0,74	1,31	0,65	0,49	3,12	0,76	0,14	1,55
S-2	30	1,05	0,42	1,68	0,50	0,49	9,71	1,69	0,31	4,93

Na primeira campanha, 43% (13/30) dos poços apresentaram teores de sulfato abaixo do limite de detecção de 0,5 mg/L, enquanto que 3% (1/30) dos poços apresentaram valores de sulfato abaixo do limite de detecção de 1 mg/L.

Na segunda campanha, 60% (18/30) das amostras apresentaram valores de sulfato abaixo do limite de detecção de 0,5 mg/L, e 3% (1/30) dos poços apresentaram valores abaixo do limite de detecção de 1 mg/L. Os limites de detecção dependem do método utilizado e podem variar para o mesmo parâmetro (**item 1.4**).

Em ambas as coletas, todas as amostras apresentaram teores de sulfato inferiores aos limites estabelecidos pela Portaria MS 2914/2011, assim como, dentro dos padrões definidos pela Resolução CONAMA 396/2008, para consumo humano (250.000 µg.L<sup>-1</sup>), dessedentação animal (1.000.000 µg.L<sup>-1</sup>) e recreação (400.000 µg.L<sup>-1</sup>), como pode ser observado no **item 2.9.2**.

Os histogramas da **figura 5.17**, representativos dos pontos amostrados nas campanhas de abril e outubro de 2012, foram modelados por uma função de distribuição de probabilidade lognormal. Essa função permitiu estimar com risco calculado que não há influência de sazonalidade no que diz respeito aos teores de sulfato, haja vista que a razão obtida entre os valores das duas campanhas são muito próximos ou iguais a 1 (um), conforme pode ser observado na **tabela 5.35**.



**Figura 5.17** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Sulfato Aquífero Içá, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Apesar de nenhuma das amostras ultrapassar os limites recomendados da Portaria MS 2914/2011 e da Resolução CONAMA 396/2008, a presença de sulfato em ambas campanhas nas águas do aquífero Içá sugere que está ocorrendo contaminação das águas subterrâneas por infiltração do esgoto *in natura*, fato que se deve provavelmente ao contato dos poços com as fossas sanitárias. Fazzio *et al.* (2009) descrevem que o crescente aumento da população urbana tem ocasionado um somatório de contaminantes lançados nas águas subterrâneas, oriundos das mais diversas fontes, relacionadas com o espaço urbano, tais como, fossas sépticas, cemitérios, vazamentos em postos de combustível, lixões, agrotóxicos, poços profundos mal instalados ou abandonados, lançamento de resíduos domésticos e industriais, dentre outros.

**Tabela 5.35** – Distribuição de probabilidade do Sulfato do Aquífero Içá no período chuvoso (S-1) - abril de 2012 e no período seco (S-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
S-1	0,83	0,50	0,38	0,30	0,24	0,20
S-2	0,97	0,55	0,41	0,33	0,25	0,21
Razão	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0

### 5.7.9.3 – Bicarbonato

A estatística descritiva dos teores de bicarbonato nas águas subterrâneas do aquífero Içá (**tabela 5.36**) revela que no período chuvoso os valores oscilaram entre 0,0 e 35 mg/L, com média de 11,17 mg/L e mediana de 8,0 mg/L. No período de estiagem, as concentrações ficaram compreendidas entre 0,0 e 40,0 mg/L, com média de 10,63 mg/L e mediana igual a 9,0 mg/L.

Em ambas as campanhas de amostragem, 37% (11/30) dos poços obtiveram valores iguais a zero.

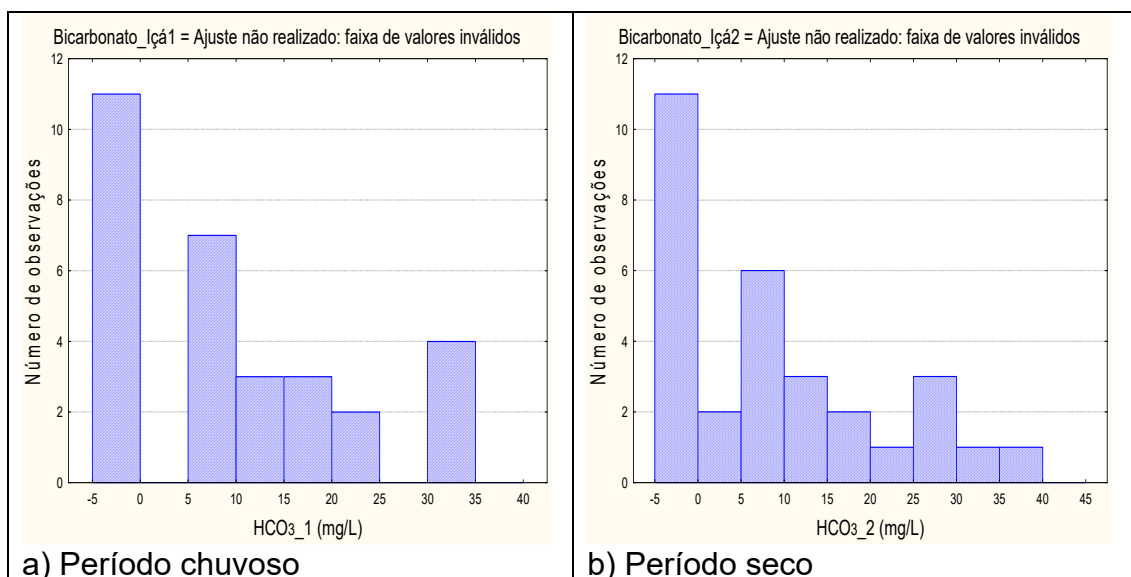
**Tabela 5.36** – Estatística descritiva do Bicarbonato do Aquífero Içá no período chuvoso (B-1) - abril de 2012 e no período seco (B-2) – outubro de 2012.

Bicarbonato	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
B-1	30	11,17	6,85	15,48	8,0	0,0	35,0	12,05	2,20	0,88
B-2	30	10,63	6,48	14,79	9,0	0,0	40,0	11,60	2,12	1,01

De acordo com a Resolução CONAMA 396/2008 e com a Portaria MS 2914/11 não há restrição quanto às concentrações de bicarbonato para o consumo humano, ou seja, não é definido um valor máximo permitido, conforme descrito no **item 2.9.3**.

Devido à existência de amostras com teor de bicarbonato igual à zero nas duas campanha de amostragem (11/30), a modelagem geoestatística não pode ser realizada porque o ajuste dos histogramas lognormal não pode ser feita com a presença de zero (**figura 5.18**).

Sendo assim, com base nos dados de mediana e valores máximos, é possível concluir que os teores de bicarbonato são maiores no período de estiagem, refletindo efeito da sazonalidade. Isso faz sentido, pois no período seco, ocorre uma maior decomposição das folhas caídas no solo e de acordo com Obiefuna & Sheriff (2011), a origem do bicarbonato nas águas subterrâneas está relacionada principalmente aos processos que produzem o gás carbônico no solo por meio da decomposição e oxidação da matéria orgânica e à respiração das raízes das plantas.



**Figura 5.18** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Bicarbonato do Aquífero Içá, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Segundo Lopes *et al.* (2013), os valores extremamente baixos de bicarbonato podem estar relacionados com as variações da alcalinidade total, uma vez que uma alteração nas concentrações dos íons carbonato e bicarbonato provoca também alterações nos valores de pH de uma solução, já que esses três íons ( $H^+$ ,  $CO_3^{2-}$  e  $HCO_3^-$ ) constituem um verdadeiro sistema em equilíbrio. Assim, a reação entre os dois primeiros, com a formação do terceiro, provoca uma diminuição das concentrações do carbonato e um aumento das concentrações do bicarbonato, o que torna o processo dinâmico e faz com que um elemento seja facilmente convertido em outro por meio de reações que ocorrem no ambiente.

#### 5.7.10 – Dureza

A estatística descritiva da dureza das águas subterrâneas do aquífero Içá (**tabela 5.37**) mostra que no período chuvoso os valores oscilaram entre 0,63 e 81,30 mg/L, com média de 8,19 mg/L e mediana de 5,17 mg/L. No período de estiagem, a dureza variou de 0,61 a 68,43 mg/L, com média de 8,88 mg/L e mediana de 5,38 mg/L.

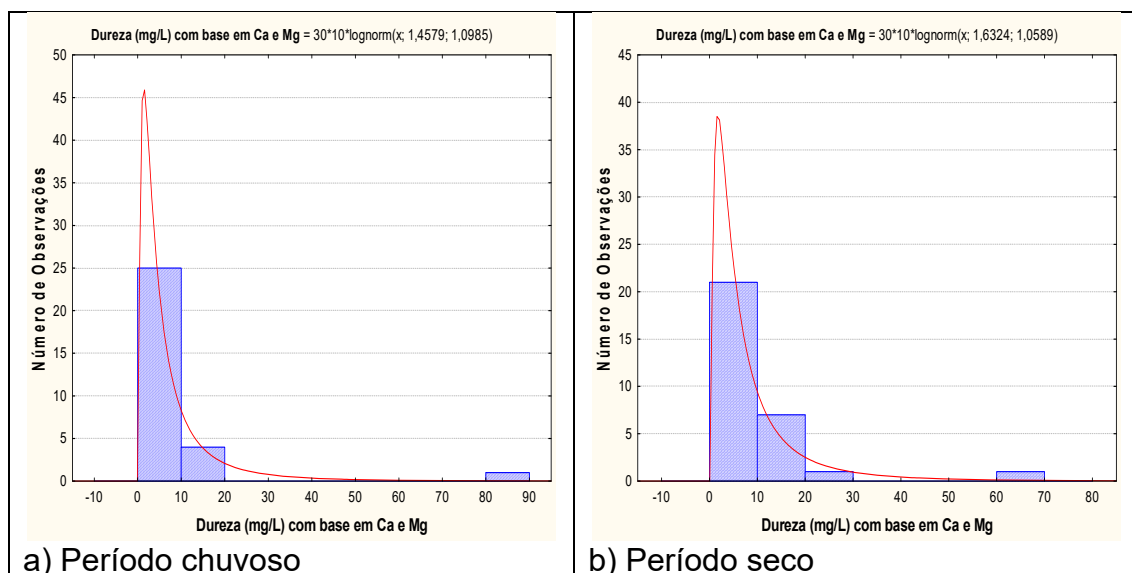
**Tabela 5.37** – Estatística descritiva da Dureza do Aquífero Içá no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) – outubro de 2012.

Dureza	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
D-1	30	8,19	2,76	13,61	5,17	0,63	81,30	14,53	2,65	4,68
D-2	30	8,88	4,21	13,56	5,38	0,61	68,43	12,52	2,29	3,95

Segundo a classificação de Von Sperling (2005) apresentada no **item 2.10**, as águas do aquífero Içá, tanto no período chuvoso como no seco, são 97% (29/30) do tipo mole e 3% (1/30) do tipo moderada. Isto provavelmente se deve ao clima da região amazônica, no qual as chuvas são muito frequentes, e há uma constante renovação das águas, o que favorece a baixa mineralização.

Nas duas campanhas, nenhum dos poços amostrados ultrapassaram o VMP recomendável pela Portaria MS 2914/2011, de 500 mg/L de CaCO<sub>3</sub>.

Os histogramas de frequência de dureza das águas subterrâneas do aquífero Içá e as curvas de distribuição de probabilidade ajustadas para o período chuvoso (abril de 2012) e para o período de estiagem (outubro de 2012) podem ser visualizadas na **figura 5.19**.



**Figura 5.19** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Dureza do Aquífero Içá, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

O modelo de fdp permite concluir com risco calculado (**tabela 5.38**) que os valores de dureza estimados no período de estiagem são superiores aos do período chuvoso, o que sugere influência da sazonalidade, haja vista que a razão entre as duas campanhas é inferior a 1 (um).

**Tabela 5.38** – Distribuição de probabilidade da Dureza do Aquífero Içá no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
D-1	4,3	1,7	1,05	0,71	0,45	0,33
D-2	5,12	2,1	1,32	0,9	0,58	0,44
Razão	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

De modo geral, 97% (29/30) dos valores de dureza obtidos em ambas as campanhas foram baixos, com exceção de 3% (1/30) das amostras representado pelo poço TFF05, onde os teores anômalos alcançaram 81,3 mg/L no período chuvoso e 68,43 mg/L no período seco. Esses valores anômalos apresentados são atribuídos a contaminações oriundas de atividades antrópicas, haja vista que a área de estudo está inserida em zona urbana.

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2002), a água subterrânea é geralmente de boa qualidade, porém em alguns casos pode conter alta concentração de sais, entre eles os de cálcio e de magnésio, por estar intimamente em contato com materiais solúveis do solo e das rochas, no seu entorno e em áreas de recarga, e assim, apresentar elevado teor de dureza,

como visto no caso do poço TFF05. Aliado a isso, a baixa velocidade de fluxo, as maiores pressões e temperaturas, a fonte de recarga do aquífero e o clima da região contribuem para a maior mineralização da água subterrânea. Secundariamente, as características dessa água se relacionam com os produtos de atividades humanas desenvolvidas na superfície.

Tal referência corrobora com os resultados coletados no aquífero Içá, onde houve um pequeno aumento dos valores de dureza no período de estiagem, o que é justificável pela cessação do período de cheias na área de estudo e conseqüentemente a diminuição da renovação das águas subterrâneas.

## 5.7.11 – Compostos Nitrogenados

### 5.7.11.1 - Nitrato

A **tabela 5.39** mostra a estatística descritiva dos teores de nitrato presentes nas águas subterrâneas do aquífero Içá nas duas campanhas de coleta de água realizadas. No período chuvoso, as concentrações de nitrato variam de 0,09 a 18,04 mg/L com média de 1,93 mg/L e mediana igual a 0,28 mg/L. No período seco, os teores variam de 0,09 a 14,46 mg/L, com média de 1,67 mg/L e mediana de 0,25 mg/L.

**Tabela 5.39** – Estatística descritiva do Nitrato do Aquífero Içá no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.

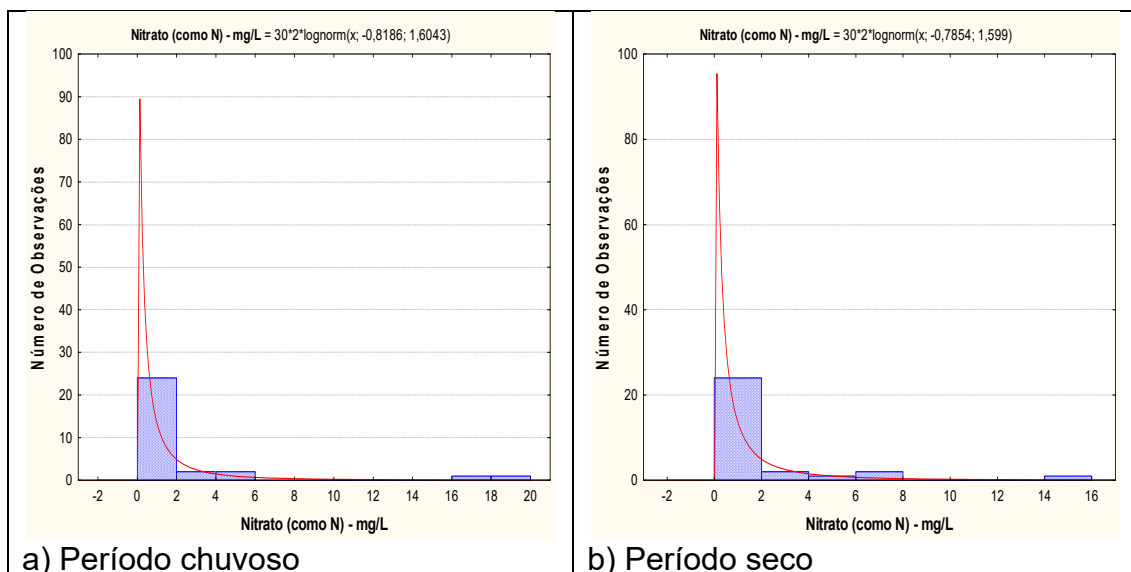
Nitrato	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
N-1	30	1,93	0,31	3,56	0,28	0,09	18,04	4,35	0,79	3,19
N-2	30	1,67	0,52	2,82	0,25	0,09	14,46	3,08	0,56	2,93

Na primeira campanha, 30% (9/30) das amostras apresentaram teores de nitrato abaixo do limite de detecção de 0,1 mg/L; enquanto que na segunda campanha, cerca de 33% (10/30) dos poços obtiveram resultados abaixo do limite quantificável de 0,1 mg/L.

Dentre o total de amostras analisadas nas duas campanhas, 7% (2/30) dos poços no período chuvoso e 3% (1/30) no período de estiagem, apresentaram valores que ultrapassaram o VMP de potabilidade recomendável pela Portaria MS 2914/2011, além de não serem indicadas para consumo humano e para recreação segundo a Resolução CONAMA 396/2008, conforme descrito no **item 2.11**. Contudo, todas as amostras analisadas nas duas campanhas poderiam ser utilizadas para a dessedentação animal, haja vista que não ultrapassaram os limites definidos pela Resolução citada.

Os histogramas da **figura 5.20**, representativos dos pontos amostrados de nitrato nas campanhas de abril e outubro de 2012, foram modelados por uma função de distribuição de probabilidade lognormal.





**Figura 5.20** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Nitrato do Aquífero Içá, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

O modelo de fdp permitiu estimar com risco calculado que os teores de nitrato no período de estiagem são maiores quando comparados aos do período chuvoso, o que sugere influência da sazonalidade, haja vista que a razão obtida entre os valores das duas campanhas são inferiores a 1 (um), conforme pode ser observado na **tabela 5.40**. Isto provavelmente se deve ao fato de que as áreas de coleta encontram-se em locais urbanizados e desprovidos de sistema de esgotamento sanitário, e como no período de estiagem a renovação das águas é minimizada pela cessação do período de cheias, ocorre a elevação dos contaminantes ali presentes.

**Tabela 5.40** – Distribuição de probabilidade do Nitrato do Aquífero Içá no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
N-1	0,441049	0,114313	0,056439	0,03151	0,016352	0,010559
N-2	0,455937	0,1187	0,058742	0,032859	0,017089	0,011051
Razão	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96

Segundo Mello *et al.* (1984), o nitrato e o nitrito são substâncias químicas derivadas do nitrogênio e são encontrados de forma natural na água e no solo em baixas concentrações. A deposição de matéria orgânica no solo, como acontece quando se utiliza fossas e sumidouros, aumenta drasticamente a quantidade de nitrogênio. Esse nitrogênio é biotransformado e por fim se transforma na substância inorgânica denominada nitrato que possui grande mobilidade no solo alcançando o manancial subterrâneo e ali se depositando. O nitrato por possuir essas características, se torna um ótimo indicativo para avaliar se um dado manancial subterrâneo está sendo contaminado pela atividade antrópica sobre ele exercida.

Diante disso, fica evidente que os valores de nitrato encontrados nas águas do aquífero Içá, superiores aos limites permitidos para consumo humano, se

devem a contaminação oriunda principalmente da ausência de saneamento básico, haja vista em muitos casos, a proximidade das fossas com os poços.

### 5.7.11.2 – Nitrito

A **tabela 5.41** mostra a estatística descritiva dos teores de nitrito presentes nas águas subterrâneas do aquífero Içá, onde verifica-se que nas duas campanhas de amostragem realizadas, 100% (30/30) das amostras apresentaram valores abaixo do limite de detecção de 0,02 mg/L.

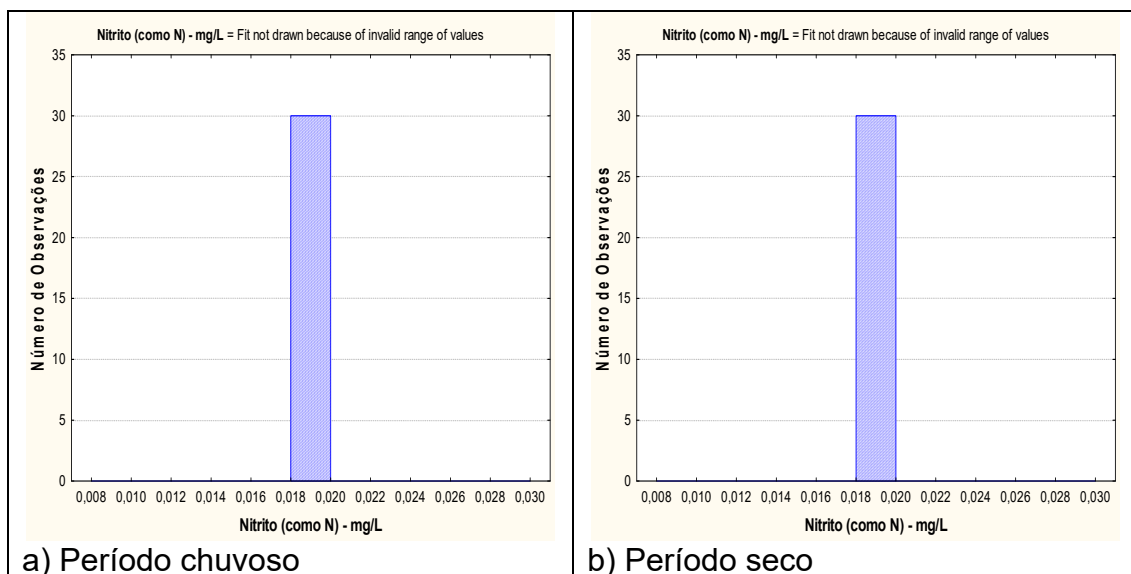
**Tabela 5.41** – Estatística descritiva do Nitrito do Aquífero Içá no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.

Nitrito	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
N-1	30	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	7,06E-18	1,28E-18	-1,05
N-2	30	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	7,06E-18	1,28E-18	-1,05

Diante dos resultados das duas coletas, observa-se que a ocorrência de nitrogênio sob a forma de nitrito é desprezível no aquífero Içá, haja vista que todas amostras obtiveram teores de nitrito abaixo do limite de detecção.

Nas duas campanhas de amostragem, 100% (30/30) dos poços apresentaram teores de nitrito dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria MS 2914/2011 de 1 mg/L, assim como, suas águas poderiam ser usadas para o consumo humano, dessedentação de animais, irrigação e recreação, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008, em relação a esse parâmetro (**item 2.11**).

Em relação aos histogramas de frequência de nitrito (**figura 5.21**), representativos dos pontos amostrados nas coletas de abril e outubro de 2012, não houve a necessidade de modelagem desse parâmetro por uma função de distribuição de probabilidade, pois todos os valores são constantes (abaixo do limite de detecção). Desse modo, observa-se que não há influência da sazonalidade nos teores de nitrito, haja vista que a razão entre as duas coletas é igual a 1 (um) como apresenta a **tabela 5.42**.



**Figura 5.21** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Nitrito do Aquífero Içá, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Os baixos teores de nitrito encontrados nas águas do aquífero Içá são coerentes, pois de acordo com Campos & Rohlf (2010) nas águas subterrâneas, os nitratos ocorrem em teores, geralmente, abaixo de 5 mg/L, enquanto que nitritos e amônia são ausentes, devido à velocidade com que são convertidos em nitrato pelas bactérias.

**Tabela 5.42** – Distribuição de probabilidade do Nitrito do Aquífero Içá no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
N-1	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019
N-2	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019
Razão	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

### 5.7.11.3 - Amônia

A **tabela 5.43** mostra a estatística descritiva dos teores de amônia presentes nas águas subterrâneas do aquífero Içá, nas duas campanhas de coleta de água realizadas. No período chuvoso, as concentrações de amônia variam de 0,09 a 0,2 mg/L com média e mediana igual a 0,09 mg/L. No período seco, os teores ficaram compreendidos entre 0,09 a 0,1 mg/L, com média e mediana igual a 0,09 mg/L.

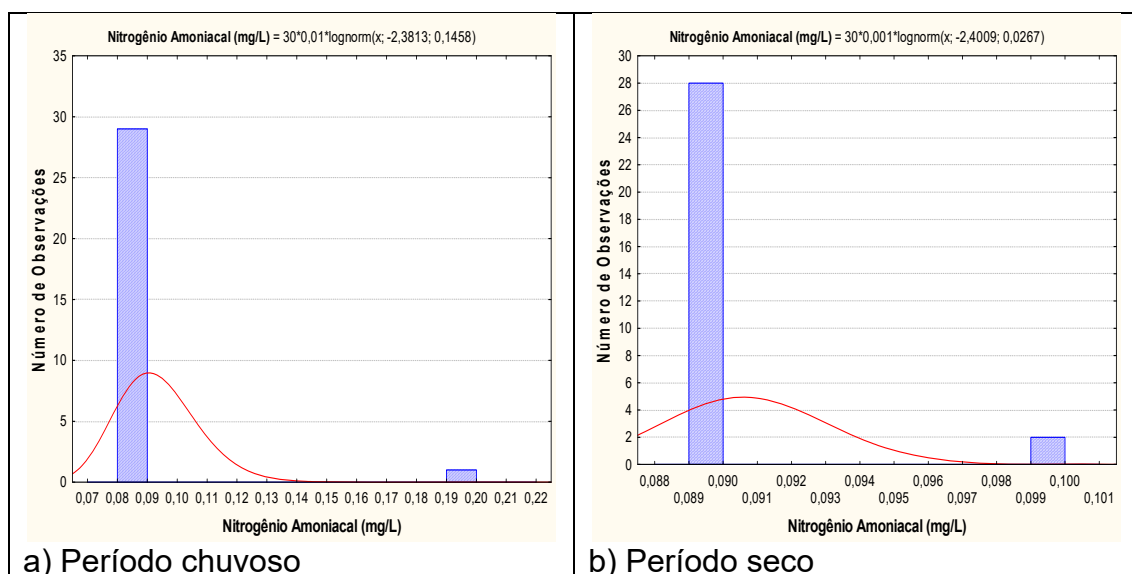
**Tabela 5.43** – Estatística descritiva da Amônia do Aquífero Içá no período chuvoso (A-1) - abril de 2012 e no período seco (A-2) – outubro de 2012.

Amônia	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
A-1	30	0,09	0,09	0,1	0,09	0,09	0,2	0,020	0,004	5,477
A-2	30	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,1	0,002	0,00046	3,660

Na primeira e segunda coleta, respectivamente, cerca de 97% (29/30) e 93% (28/30) das amostras apresentaram valores de amônia inferiores ao limite de detecção de 0,1 mg/L.

Nas duas campanhas de amostragem, 100% (30/30) das amostras analisadas apresentaram valores de amônia dentro dos padrões de VMP recomendável pela Portaria MS 2914/2011 para consumo humano de 1,5 mg/L (item 2.11).

Os histogramas de frequência de amônia (**figura 5.22**), representativos dos pontos amostrados nas coletas de abril e outubro de 2012, foram modelados por uma função de distribuição de probabilidade lognormal. Essa função permitiu estimar, com risco calculado, valores de amônia nas duas campanhas no aquífero Içá.



**Figura 5.22** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Amônia do Aquífero Içá, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

O modelo de fdp revela um viés estatístico para amônia com diferentes riscos, não sendo possível avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade por meio da modelagem geoestatística (**tabela 5.44**). Sendo assim, com base nos dados de média e mediana observa-se que os teores de amônia são iguais em ambos os período de coleta.

Esses resultados são coerentes, haja vista que 97% e 93% dos poços, respectivamente na primeira e segunda campanha de amostragem, obtiveram teores de amônia abaixo do limite de detecção. Dessa forma, fica evidente que não há influência de sazonalidade e que os poucos valores quantificáveis de amônia no aquífero Içá se devem exclusivamente a contaminações locais oriundas de atividades antrópicas, uma vez que os pontos de coleta de amostras ocorreram em áreas urbanizadas e desprovidas de sistema de esgotamento sanitário.

**Tabela 5.44** – Distribuição de probabilidade da Amônia do Aquífero Içá no período chuvoso (A-1) - abril de 2012 e no período seco (A-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
A-1	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07
A-2	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Razão	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8

De acordo com Alaburda & Nishihara (1998), a amônia pode estar presente naturalmente em águas superficiais ou subterrâneas, sendo que usualmente sua concentração é bastante baixa devido à sua fácil adsorção por partículas do solo ou à oxidação a nitrito e nitrato. Entretanto, a ocorrência de concentrações elevadas pode ser resultante de fontes de poluição próximas, bem como da redução de nitrato por bactérias ou por íons ferrosos presentes no solo.

Por esse motivo, os teores de amônia obtidos nas duas campanhas do aquífero Içá foram muito baixos, pois provavelmente a amônia existente proveniente dos dejetos das fossas sépticas está sendo convertida em nitrato, o que justifica alguns teores de nitrato superiores ao padrão de potabilidade permitido pela Portaria MS 2914/2011.

## 5.7.12 – Ferro e Manganês

### 5.7.12.1 – Ferro

A estatística descritiva dos teores de ferro nas águas subterrâneas do aquífero Içá (**tabela 5.45**) mostra, no período chuvoso, valores compreendidos entre 0,00009 e 6,64 mg/L, com média de 0,62 mg/L e mediana igual a 0,08 mg/L. No período seco, a faixa de variação é de 0,0034 a 4,5 mg/L, com média de 0,45 mg/L e mediana de 0,06 mg/L.

**Tabela 5.45** – Estatística descritiva do Ferro do Aquífero Içá no período chuvoso (Fe-1) - abril de 2012 e no período seco (Fe-2) – outubro de 2012.

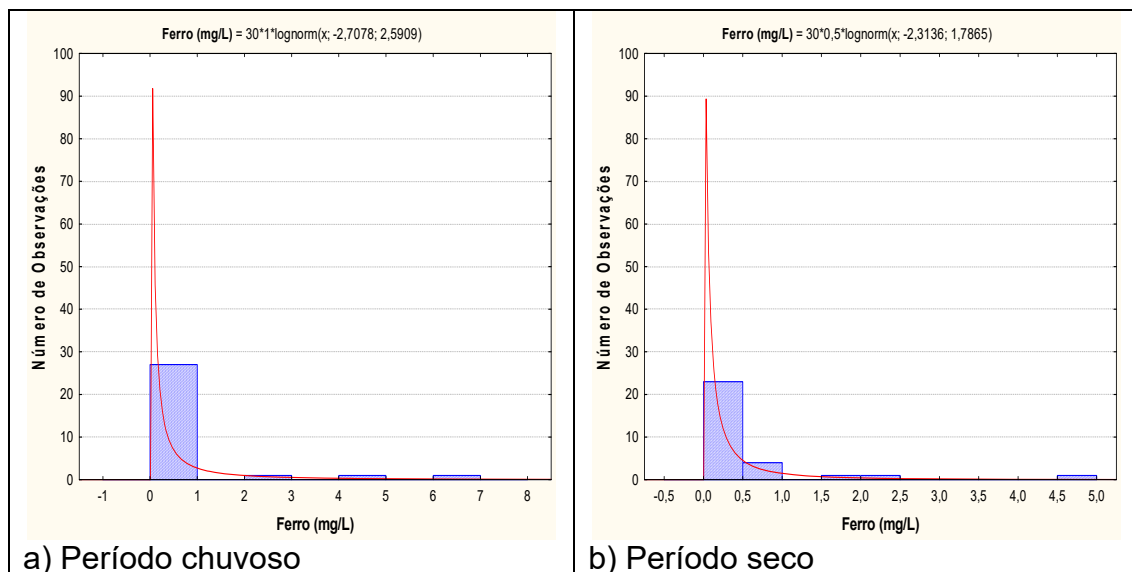
Fe	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Fe-1	30	0,62	0,09	1,150	0,08	0,00009	6,64	1,420	0,260	3,431
Fe-2	30	0,45	0,10	0,800	0,06	0,0034	4,50	0,940	0,171	3,359

Na primeira campanha, apenas 3% (1/30) dos poços, apresentaram teores de ferro abaixo do limite de detecção de 0,0001 mg/L.

Dentre o total de amostras analisadas nas duas campanhas, 37% (11/30) dos poços no período chuvoso e 27% (8/30) no período de estiagem, apresentaram valores que ultrapassaram o VMP de potabilidade recomendável pela Portaria MS 2914/2011, além de não serem indicadas para consumo humano e para recreação, segundo a Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.12**).

Além disso, 3% (1/30), dos poços amostrados na primeira campanha apresentaram teores de ferro que ultrapassaram os limites recomendados para irrigação, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008.

Os histogramas de frequência de ferro (**figura 5.23**), representativos dos pontos amostrados nas coletas de abril e outubro de 2012, foram modelados por uma função de distribuição de probabilidade lognormal.



**Figura 5.23** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Ferro do Aquífero Içá, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Essa função permitiu estimar com risco calculado os valores de ferro no aquífero Içá (**tabela 5.46**), onde se verificou que os valores do período de estiagem são superiores aos do período chuvoso, o que sugere influência da sazonalidade, pois a razão das duas campanhas é inferior a 1 (um).

Os valores de ferro mais elevados no aquífero Içá no período de estiagem são consistentes, pois a zona de aeração, que no período chuvoso se encontra quase totalmente saturada por águas de infiltração em movimento, volta a ter espaços vazios preenchidos por oxigênio, o que, conseqüentemente, eleva o valor de Eh, produzindo a oxidação do ferro.

De modo geral, os aquíferos da PHA apresentam altos teores de ferro dissolvido na água subterrânea, os quais resultam principalmente das condições de pH e Eh em águas ácidas reduzidas, conforme descrito no **item 2.12**.

**Tabela 5.46** – Distribuição de probabilidade do Ferro do Aquífero Içá no período chuvoso (Fe-1) - abril de 2012 e no período seco (Fe-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Fe-1	0,0667	0,0075	0,0024	0,0009	0,0003	0,0002
Fe-2	0,0989	0,022	0,01	0,0052	0,0025	0,0016
Razão	0,7	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1

### 5.7.12.2 – Manganês

A estatística descritiva das concentrações de manganês nas águas subterrâneas do aquífero Içá (**tabela 5.47**) revela que os teores de manganês no período chuvoso variam de 0,005 a 0,29 mg/L, com média de 0,05 mg/L e

mediana igual a 0,03. No período seco, os valores ficam entre um mínimo de 0,005 e um máximo de 0,33 mg/L, sendo a média igual a 0,06 mg/L e a mediana igual a 0,03 mg/L.

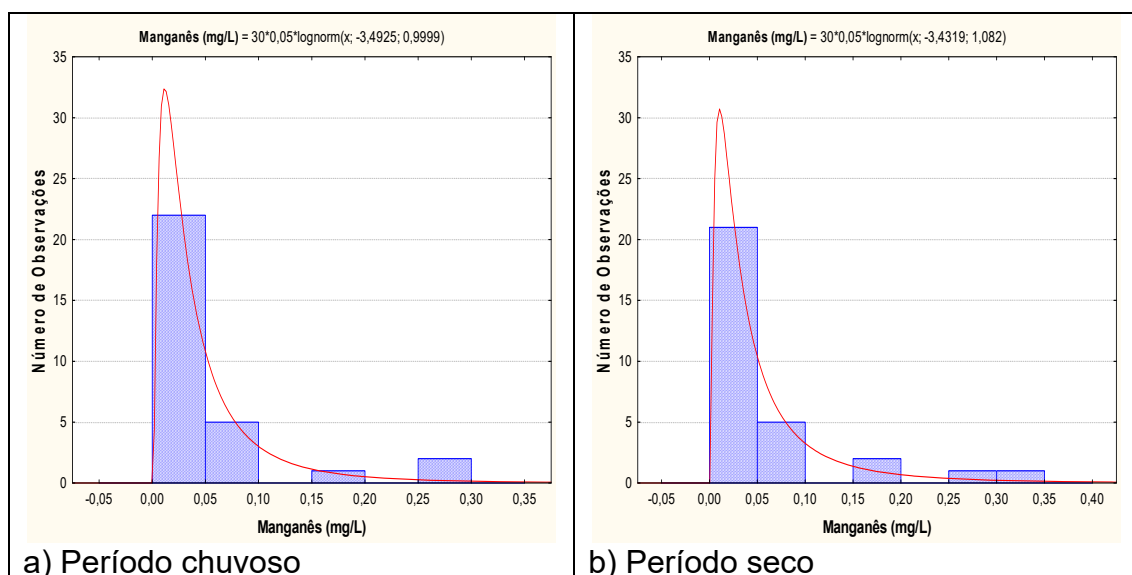
**Tabela 5.47** – Estatística descritiva do Manganês do Aquífero Içá no período chuvoso (Mn-1) - abril de 2012 e no período seco (Mn-2) – outubro de 2012.

Mn	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Mn-1	30	0,05	0,030	0,080	0,03	0,005	0,29	0,07	0,013	2,461
Mn-2	30	0,06	0,030	0,090	0,03	0,005	0,33	0,08	0,014	2,348

Na primeira e segunda campanha, respectivamente 10% (3/30) e 13% (4/30) dos poços apresentaram teores de manganês acima do VMP estabelecido pela Portaria MS 2914/2011 para consumo humano, bem como, ultrapassou os limites previstos na Resolução CONAMA 396/2008, no que se refere aos usos da água para consumo humano e recreação (**item 2.12**).

Além disso, 27% (8/30) dos poços amostrados, no período chuvoso, e 30% (9/30) dos poços, no período de estiagem, apresentaram teores de manganês que ultrapassaram os limites recomendados para dessedentação animal, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.12**).

Os histogramas de frequência de manganês (**figura 5.24**), representativos dos pontos amostrados nas coletas de abril e outubro de 2012, foram modelados por uma função de distribuição de probabilidade lognormal. Essa função permitiu estimar, com risco calculado, os valores de manganês no aquífero Içá nas duas campanhas de amostragem.



**Figura 5.24** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Manganês do Aquífero Içá, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

O modelo de fdp revela um viés estatístico para manganês com diferentes riscos, não sendo possível avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade por meio da modelagem geoestatística (**tabela 5.48**). Sendo assim, com base nos dados de média e valores máximos observa-se que os

teores de manganês no período de estiagem são superiores quando comparados aos do período chuvoso.

**Tabela 5.48** – Distribuição de probabilidade do Manganês do Aquífero Içá no período chuvoso (Mn-1) - abril de 2012 e no período seco (Mn-2) – outubro de 2012.

P(x>a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Mn-1	0,0304	0,0131	0,0084	0,0059	0,0039	0,0030
Mn-2	0,0323	0,0130	0,0081	0,0055	0,0035	0,0026
Razão	0,94	1,01	1,05	1,08	1,11	1,14

Isso é justificável, pois a maior presença de oxigênio na zona não saturada no período de estiagem dá lugar a oxidações do manganês, aumentando a sua concentração na zona saturada.

De acordo com Feitosa *et al.* (2008), o manganês, frequentemente está presente com baixos teores, <0,2 mg/L em quase todas as águas naturais, sendo mais abundante nas águas ácidas. Tal referência corrobora, com os dados do aquífero Içá, onde as águas são naturalmente ácidas.

### 5.7.13 – Isótopos Ambientais

#### 5.7.13.1 – Oxigênio 18 e Deutério

Em hidrologia isotópica, a **equação 2.2** que define a linha de água meteórica global (GMWL) de Harmon Craig (1961) é uma referência para a interpretação da origem das águas subterrâneas, conforme pode ser observado no **item 2.15.1**.

Desse modo, a partir da referência supracitada e com base nos resultados das análises (**tabela 5.49**) para o aquífero Içá, foi elaborado o diagrama (**figura 5.25**) que mostra que a **Linha de Água Subterrânea (LAS)** ou **Reta de Água Subterrânea (RAS)** do aquífero Içá apresenta um desvio muito pequeno em relação à **Linha de Água Meteórica Mundial (LAMM)**, também chamada de **Reta Meteórica Mundial (RMM)**, conforme se deduz da menor declividade 9,59 da RAS, contra 8,13 da RMM. Comparando as ordenadas na origem das duas equações, (fazendo  $\delta^{18}\text{O} = 0$ ) verifica-se que:

$$\text{Para a RAS: } \delta^{18}\text{O} = - \frac{23,56}{9,59} = -2,46 \text{ ‰}$$

$$\text{Para a RMM: } \delta^{18}\text{O} = - \frac{10,8}{8,13} = -1,33 \text{ ‰}$$

Ocorre, portanto, uma variação de -1,13 na concentração isotópica de  $\delta^{18}\text{O} \text{ ‰}$  das precipitações, indicando águas subterrâneas com uma perda de 84,96% de  $\delta^{18}\text{O} \text{ ‰}$  por evaporação (-1,13/-1,33).

Isto provavelmente se deve ao fato de que chuvas abundantes são mais leves, ou seja, possuem átomos mais leves, quando comparados a chuvas intensas que são mais pesadas, pois possuem valores mais elevados de  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta\text{D}$ . Sendo assim, águas que possuem átomos mais leves têm mais facilidade em

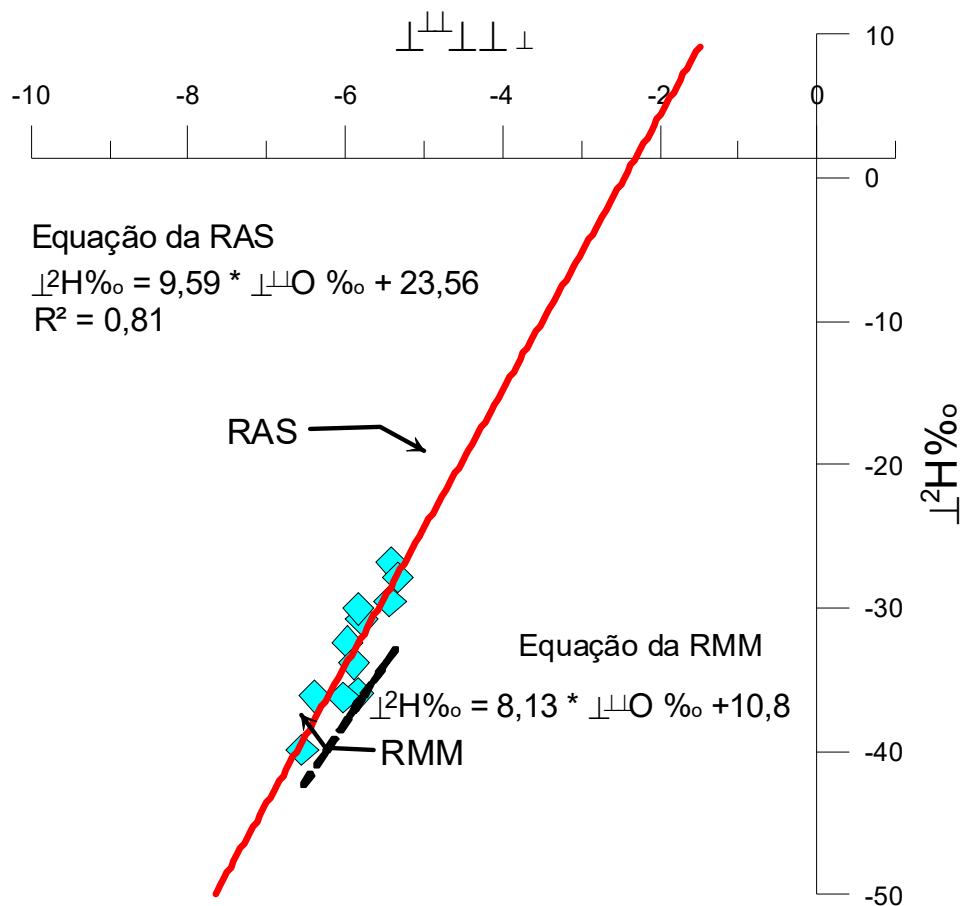


sofrer evaporação do que as que possuem átomos pesados, que sofrem condensação mais facilmente (Feitosa *et al.*, 2008; Kehew, 2001).

Tal premissa é coerente na área de estudo, haja vista que o aquífero Içá está inserido na Região Amazônica, área fortemente influenciada pela abundância e frequência de chuvas, o que faz com que as águas que infiltram nos poços sejam mais leves e conseqüentemente possuem maior facilidade de evaporação.

**Tabela 5.49** – Valores de oxigênio-18 e deutério obtidos nas amostras coletadas no aquífero Içá no período seco (outubro de 2012).

Poço	$\delta^{18}\text{O}\text{‰}$	$\delta\text{D}\text{‰}$
BAR01	-5,79	-30,8
BAR02	-5,85	-36,0
CRI01	-5,98	-32,4
FBA04	-5,43	-29,5
FBA05	-5,41	-26,8
HUW03	-6,02	-36,2
HUW04	-6,55	-39,9
LBR02	-6,39	-36,1
LBR04	-5,89	-33,9
TFF01	-5,84	-30,0
TFF05	-5,34	-27,8

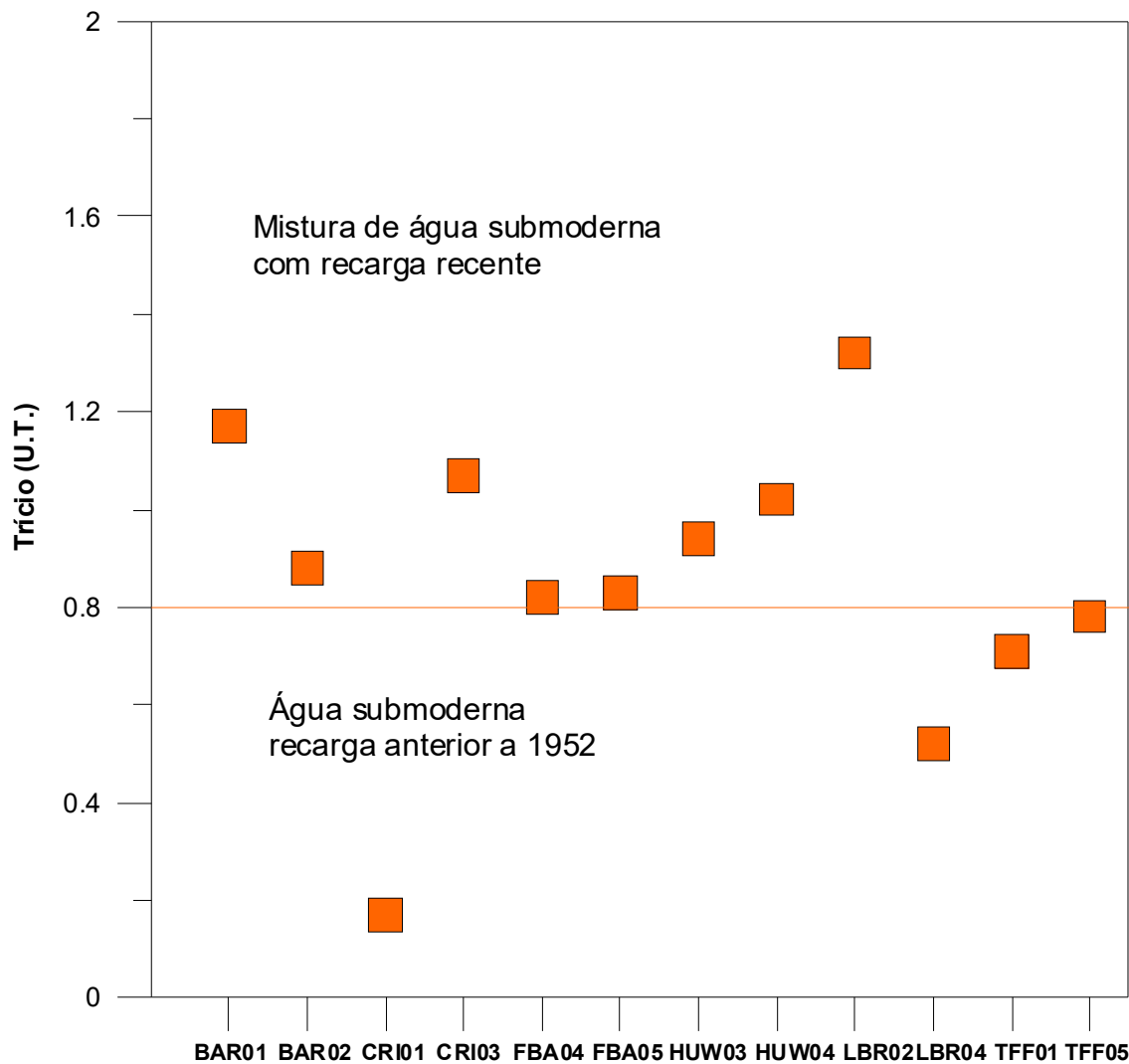


**Figura 5.25** – Diagrama mostrando que a água subterrânea do aquífero Içá contém 15,04% da composição isotópica das águas de chuva, sugerindo que a recarga provém das precipitações.

### 5.7.13.2 – Trício

Clark & Fritz (1997) realizaram uma proposta de interpretação qualitativa de dados de  $^3\text{H}$  para dados de regiões costeiras e de baixa latitude, onde é feita uma relação entre os valores de unidades de trício (U.T.) com a idade das águas subterrâneas (**tabela 2.10**), conforme descrito no **item 2.15.2**.

Sendo assim, com base nessa relação e nos dados de  $^3\text{H}$  obtidos nas 12 (doze) amostras coletadas no aquífero Içá (**figura 5.26**) é possível verificar que o aquífero Içá possui água submoderna com recarga anterior a 1952, e mistura de água submoderna com recarga recente.



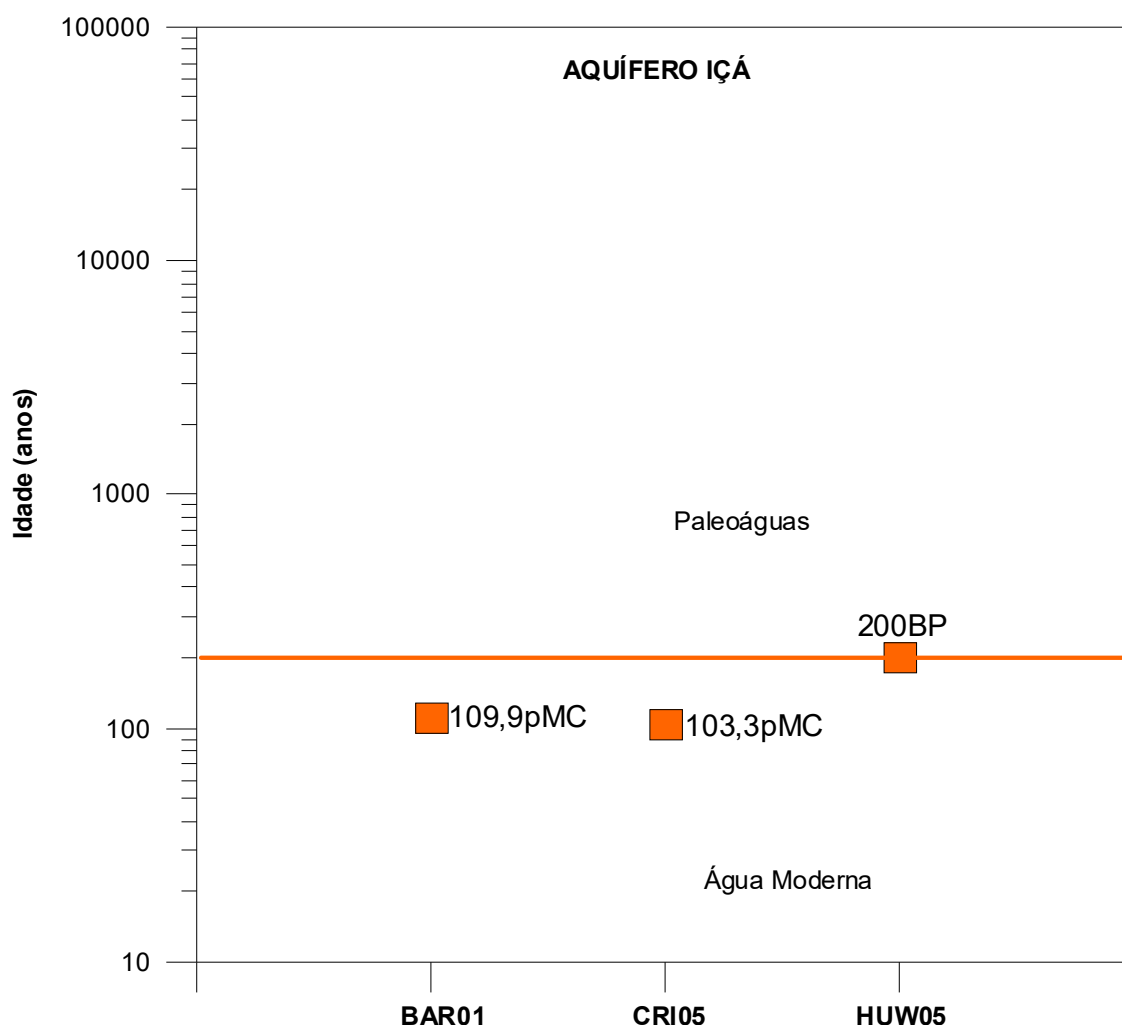
**Figura 5.26** – Idade qualitativa da recarga do aquífero Içá, segundo os dados de trício de 12 (doze) amostras coletadas.

### 5.7.13.3 – Carbono 14

De acordo com a metodologia proposta por Münnich (1957) descrita no **item 2.15.3** e com base nos dados contidos na **tabela 5.50**, o diagrama da **figura 5.27** indica que no aquífero Içá ocorre a presença de água moderna nos poços BAR01 (109,9 pMC) e CRI05 (103,3 pMC), ou seja, água com tempo de residência inferior a 200 anos; e de paleoáguas no poço HUW05 (200BP), isto é, águas com tempo de residência igual ou superior a 200 anos.

**Tabela 5.50** – Idade aparente ou convencional do radiocarbono ( $^{14}\text{C}$ ) em anos BP (*before present* – 1950) e, quando inferior a 200 anos, dita “Moderna” por convenção e expressa em %M ou pMC (*percent modern carbon*).

Resultado	BAR01	CRI05	HUW05
Idade Aparente C14 (Fração Moderna)	109,9 $\pm$ 0,3 pMC	103,3 $\pm$ 0,4 pMC	200 $\pm$ 30 BP
Fmdn - fração de carbono moderno	1,0992 $\pm$ 0,0027	1,0329 $\pm$ 0,0039	0,9754 $\pm$ 0,0036
Razão C13/C12 (‰)	-26,4	-25,3	-17,4



**Figura 5.27** – Idade medida com carbono-14 de amostra de água do aquífero Içá.

#### 5.7.13.4 - Conclusão

Os estudos dos isótopos ambientais realizados no aquífero Içá permitiram alcançar os seguintes resultados:

- As análises de Oxigênio-18 e Deutério levaram a concluir que a recarga do aquífero Içá possui 84,96% de perda de  $\delta^{18}\text{O}$  por evaporação, o que

se deve possivelmente a abundância da chuva na região, que gera águas mais leves e propícias a evaporação;

- As datações efetuadas com Trício foram baseadas na proposta de interpretação qualitativa de Clark & Fritz (1997) e indicaram que as águas do aquífero Içá têm água submoderna com recarga anterior a 1952, e mistura de água submoderna com recarga recente;
- A datação radiométrica de Carbono-14 revelou a presença de água moderna, com menos de 200 anos BP; e de paleoáguas, com tempo de residência igual ou superior a 200 anos.

## 5.7.14 – Parâmetros Biológicos

### ***Coliformes Totais***

A qualidade bacteriológica de uma água para avaliar a contaminação por dejetos humanos e de outros animais de sangue quente é feita através de bactérias do grupo coliformes, principalmente os Coliformes Totais e *Escherichia Coli* ou Coliformes Termotolerantes, conforme descrito no **item 2.16**. A Portaria MS 2914/2011 estabelece como padrão microbiológico da água para consumo humano a ausência de coliformes totais em 100 mL de água.

No período chuvoso (abril de 2012), as águas do aquífero Içá apresentaram em 63% (19/30) dos casos a presença de coliformes totais, enquanto que no período de estiagem (outubro de 2012), a presença ocorreu em 70% (21/30) das amostras.

Com base nos padrões microbiológicos definidos pela Portaria MS 2914/2011, 37% (11/30) dos poços na primeira campanha e 30% (9/30) na segunda campanha apresentaram águas recomendadas para consumo humano, o que é extremamente preocupante, haja vista que a população da área de estudo utiliza a água dos poços para todos os usos, principalmente o doméstico.

Tais resultados ocorrem no aquífero Içá, pois a área de estudo está inserida numa região bastante urbanizada e que não possui sistema de esgotamento sanitário, o que segundo Zoby (2008) é extremamente preocupante, pois a falta de saneamento representa um risco direto à potabilidade das águas subterrâneas pela infiltração por fossas sépticas e pelo vazamento de redes de esgoto.

### ***Escherichia Coli***

É uma bactéria não patogênica, do grupo de coliformes fecais (termotolerantes), que normalmente habita os intestinos dos animais superiores. É encontrada em esgotos, efluentes tratados e águas naturais sujeitas à contaminação recente por seres humanos, atividades agropecuárias, animais selvagens e pássaros, conforme descrito no **item 2.16**.

A Portaria MS 2914/2011 e a Resolução CONAMA 396/2008 estabeleceram como padrão biológico para consumo humano a ausência de *E. coli* em 100 mL de água. A Resolução CONAMA também estabelece limites para dessedentação animal e recreação, conforme pode ser observado na **tabela 2.11 (item 2.16)**.

No período chuvoso (abril de 2012), as águas do aquífero Içá apresentaram em 20% (6/30) dos casos a presença de *E. coli*, enquanto que no período de estiagem (outubro de 2012), a presença ocorreu em 30% (9/30) das amostras.

Com base nos resultados das análises, verifica-se que 80% (24/30) dos poços na primeira campanha e 70% (21/30) na segunda campanha apresentaram padrões biológicos recomendados pela Portaria MS 2914/2011, bem como nos limites definidos pela Resolução CONAMA 396/2008, indicando que as suas águas podem ser utilizadas para consumo humano, dessedentação animal e recreação (**tabela 2.11**).

De acordo com Colvara *et al.* (2009), vários fatores podem ser responsáveis pela contaminação da água de poços artesianos em uma propriedade, tanto rural quanto urbana, a exemplo, da falta de manutenção do reservatório; localização inadequada do poço; e falta de cuidado e higiene com a água antes do consumo.

Silva & Araújo (2003) relatam que o destino final do esgoto doméstico e industrial em fossas e tanques sépticos, a disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos e industriais, postos de combustíveis e de lavagem e a modernização da agricultura representam fontes de contaminação das águas subterrâneas por bactérias e vírus patogênicos, parasitas e substâncias orgânicas e inorgânicas.

Dessa forma, fica evidente que a presença de *E. coli* no aquífero Içá se deve provavelmente ao lançamento de esgoto *in natura*, que infiltra no solo e contribui para a contaminação do lençol freático, o que é extremamente preocupante, pois pode acarretar na população doenças de veiculação hídrica, tais como, amebíase, giardíase, gastroenterite, febres tifoide e paratifoide, hepatite infecciosa e cólera.

### **5.7.15 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquífero Içá Segundo a Composição Química**

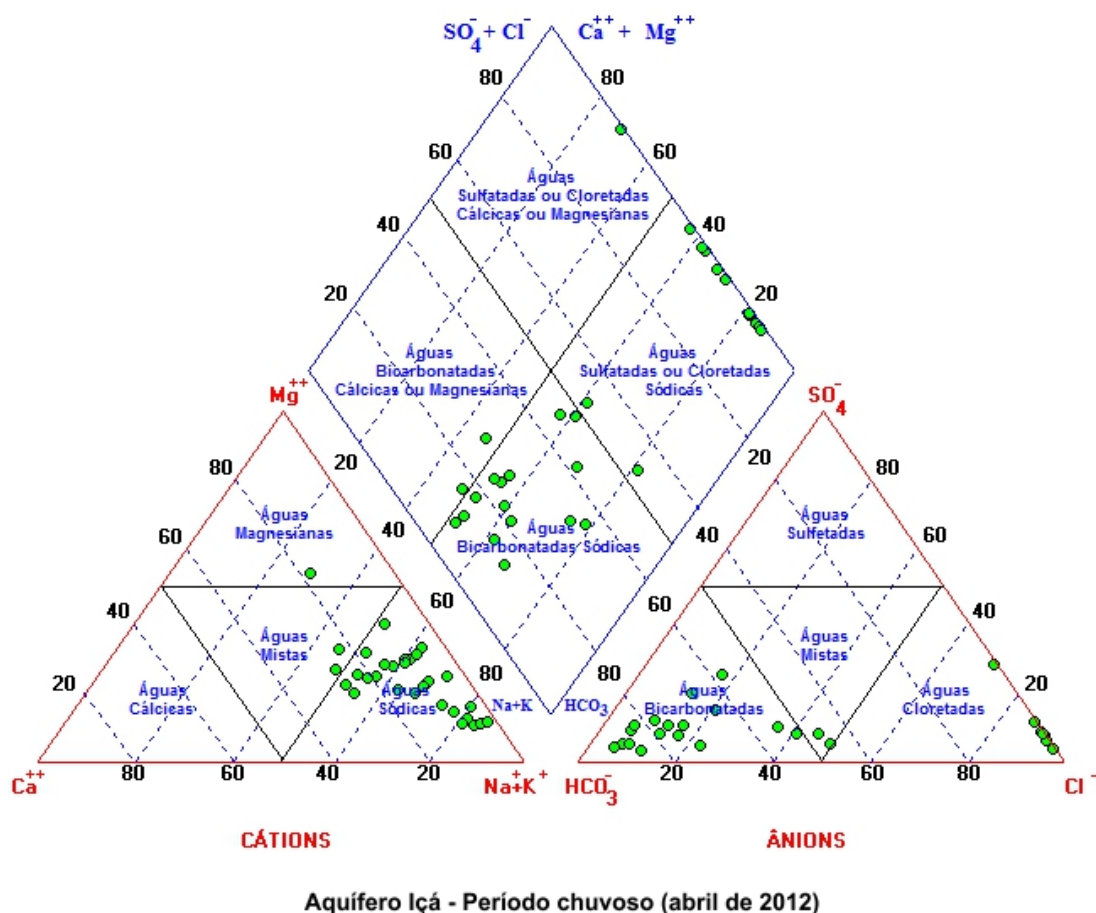
Vários são os métodos existentes para a classificação das águas segundo a composição química. Todos eles se baseiam em representações gráficas dos percentuais ou frações dos cátions e ânions dominantes, normalmente expressos em meq/L. As representações são as mais diversas, incluindo diagramas colunares, circulares, triangulares e polígonos irregulares. Dentre os mais utilizados, estão o diagrama triangular de Piper e o polígono de Stiff, a seguir apresentados para a classificação das águas subterrâneas do aquífero Içá, com base nos dados coletados na rede de 30 (trinta) poços de monitoramento, em duas campanhas: a primeira, no período chuvoso (abril de 2012) e a segunda no período de estiagem (outubro de 2012).

#### **5.7.15.1 – Diagrama Triangular de Piper**

##### ***Período chuvoso***

A classificação das águas por meio do Diagrama de Piper se baseia na identificação dos ânions e cátions predominantes. Mediante observação da **figura 5.28**, é possível identificar que as águas do aquífero Içá, no período chuvoso (abril de 2012), no que se refere aos ânions são 56,7% (17/30) bicarbonatadas, 36,7% (11/30) cloretadas e 6,7% (2/30) mistas, como mostra a **tabela 5.51**. Já no que concerne a presença de cátions, as águas são 90%

(27/30) sódicas, 6,7% (2/30) mistas e 3,3% (1/30) magnesianas, como demonstra a **tabela 5.51**.



**Figura 5.28** – Classificação das águas do aquífero Içá, coletadas no período chuvoso (abril de 2012), segundo o diagrama Triangular de Piper.

De modo geral, no período chuvoso, as águas do aquífero Içá se apresentam como bicarbonatadas sódicas (50%), cloretadas sódicas (40%), bicarbonatadas magnesianas (7%) e cloretadas magnesianas (3%).

Sendo assim, com base nos dados apresentados na **figura 5.28** e na **tabela 5.51**, é possível afirmar que no período chuvoso, os tipos de águas mais frequentes no aquífero Içá são as *Bicarbonatas Sódicas* e *Cloretadas Sódicas*.

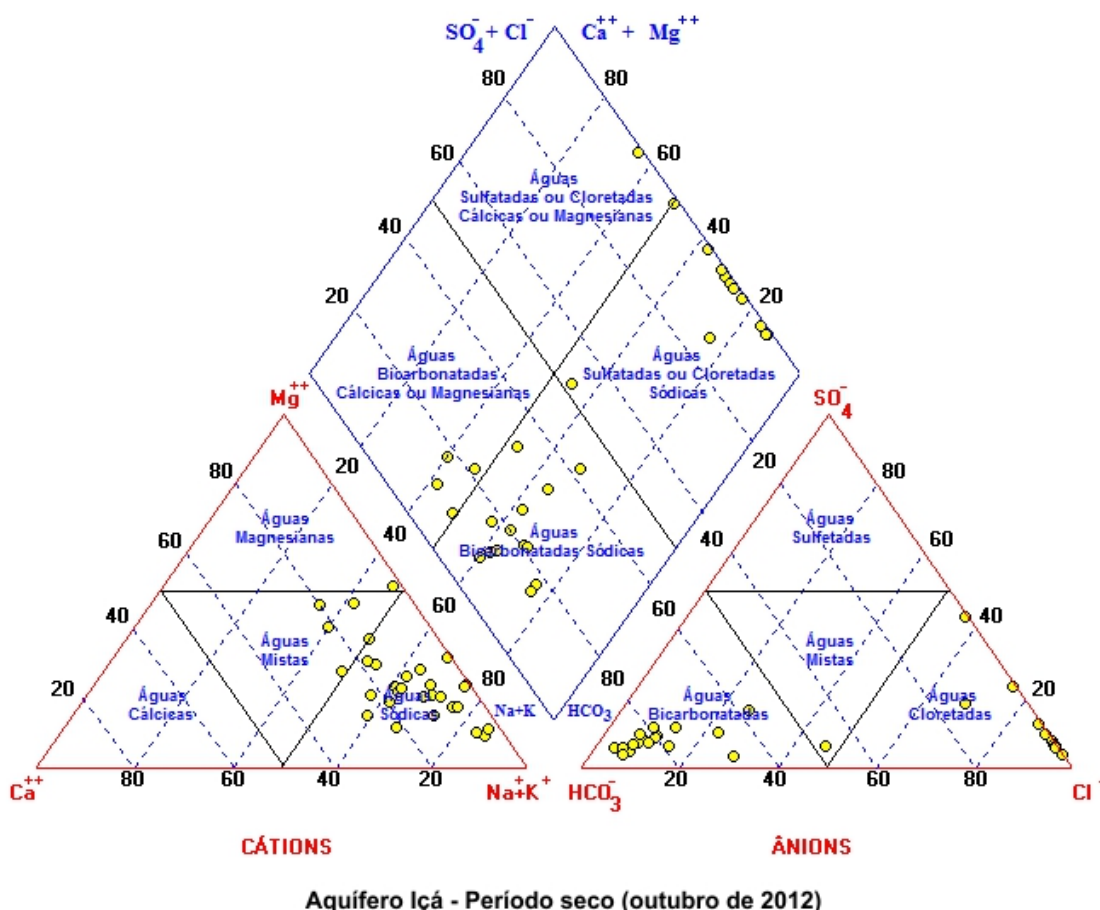
Os resultados apresentados possuem uma relação plausível com o local, haja vista que na cidade de Barcelos, 20% (1/5) das amostras foram bicarbonatadas sódicas e 80% (4/5) cloretadas sódicas; na cidade de Coari, 20% (1/5) das amostras são bicarbonatadas sódicas e 80% (4/5) cloretadas sódicas; na cidade de Fonte Boa, 20% (1/5) das amostras são bicarbonatadas cálcicas e 80% (4/5) são bicarbonatadas sódicas; na cidade de Humaitá, 40% (2/5) das amostras são bicarbonatadas sódicas e 60% (3/5) são cloretadas sódicas; na cidade de Lábrea, 100% (5/5) das amostras são bicarbonatadas sódicas; e na cidade de Tefé, 20% (1/5) são cloretadas sódicas, 40% (2/5) bicarbonatadas sódicas, 20% (1/5) bicarbonatada cálcica e 20% (1/5) cloretada magnesiana.

**Tabela 5.51** - Classificação das águas do aquífero Içá segundo a composição química - período chuvoso (abril de 2012).

Cátions	Poços	%	Ânions	Poços	%	Geral	Poços	%
Águas Magnesianas	1	3	Águas Sulfetadas	0	0	Águas Cloretadas Magnesianas	1	3
Águas Cálcidas	0	0	Águas Bicarbonatadas	17	57	Águas Bicarbonatadas Magnesianas	2	7
Águas Sódicas	27	90	Águas Cloretadas	11	37	Águas Bicarbonatadas Sódicas	15	50
Águas Mistas	2	7	Águas Mistas	2	7	Águas Cloretadas Sódicas	12	40

### Período de estiagem

De acordo com a **figura 5.29** e **tabela 5.52** verifica-se que as águas do aquífero Içá, no período seco (outubro de 2012), quanto à presença de ânions, são 56,7% (17/30) bicarbonatadas, 40% (12/30) cloretadas e 3,3% (1/30) mistas. Com relação aos cátions é possível identificar que 83,3% (25/30) das águas são sódicas, 13,3% (4/30) são sódicas, e 3,3% (1/30) são magnesianas.



**Figura 5.29** – Classificação das águas subterrâneas do aquífero Içá, através do Diagrama de Piper, com base em amostras de água coletadas em outubro de 2012.



Mediante análise dos dados da **tabela 5.52** e **figura 5.29** é possível afirmar que de modo geral, as águas do aquífero Içá se distribuem como, cloretadas magnesianas em 3% das amostras, bicarbonatadas magnesianas em 13%, bicarbonatas sódicas em 43% e cloretadas sódicas em 40%.

Desse modo, verifica-se que no período de estiagem, as águas do aquífero Içá são em sua maioria *Bicarbonatadas Sódicas* e *Cloretadas Sódicas*.

**Tabela 5.52** - Classificação das águas do aquífero Içá, de acordo com a composição química - período seco (outubro de 2012).

Cátions	Poços	%	Ânions	Poços	%	Geral	Poços	%
Águas Magnesianas	1	3	Águas Sulfetadas	0	0	Águas Cloretadas Magnesianas	1	3
Águas Cálcicas	0	0	Águas Bicarbonatadas	17	57	Águas Bicarbonatadas Magnesianas	4	13
Águas Sódicas	25	83	Águas Cloretadas	12	40	Águas Bicarbonatadas Sódicas	13	43
Águas Mistas	4	13	Águas Mistas	1	3	Águas Cloretadas Sódicas	12	40

Portanto, é possível concluir, com base nas duas campanhas de amostragem que as águas subterrâneas do aquífero Içá mostram padrão de águas Bicarbonatadas Sódicas e Cloretadas Sódicas, e que esses tipos não se modificam com a sazonalidade.

Além disso, é importante destacar que esse padrão possui uma relação plausível com o local, apesar da ocorrência desses dois tipos de água verificada em todas as seis cidades que compõem o aquífero Içá, como descrito abaixo:

Barcelos - 20% (1/5) das amostras foram bicarbonatadas sódicas e 80% (4/5) cloretadas sódicas;

Coari - 20% (1/5) das amostras são cloretadas sódicas e 80% (4/5) bicarbonatadas sódicas;

Fonte Boa - 20% (1/5) das amostras são cloretadas sódicas e 80% (4/5) são bicarbonatadas sódicas;

Humaitá - 40% (2/5) das amostras são bicarbonatadas cálcicas, 20% (1/5) bicarbonatadas sódicas, 20% (1/5) bicarbonatadas magnesianas e 20% (1/5) são cloretadas sódicas;

Lábrea - 20% (1/5) das amostras são cloretadas cálcicas, 40% (2/5) cloretadas sódicas, 20% (1/5) bicarbonatada cálcica e 20% (1/5) sulfatada sódica;

Tefé - 20% (1/5) são cloretadas sódicas, 40% (2/5) bicarbonatadas sódicas, 20% (1/5) bicarbonatada cálcica e 20% (1/5) cloretada magnesiana.

#### 5.7.15.2 – Diagrama de Stiff

Com base nos resultados das coletas realizadas nos meses de abril e outubro de 2012, em 30 poços situados no aquífero Içá, foram elaborados para fins de classificação das águas, segundo a composição química, Diagramas de Stiff, através dos quais é possível visualizar facilmente por meio de polígonos, os íons predominantes em cada um dos poços analisados.

### Período chuvoso

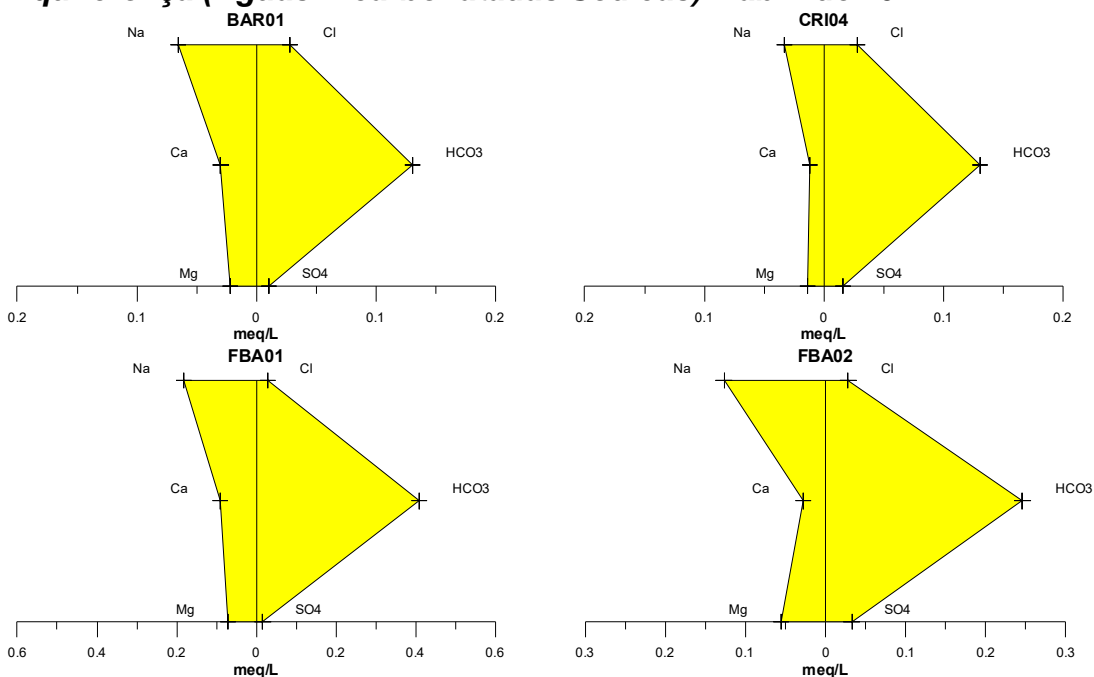
Os resultados da primeira campanha, assim como a classificação das águas do aquífero Içá segundo a predominância de íons, estão apresentados na **tabela 5.53**.

**Tabela 5.53** - Classificação das águas do aquífero Içá de acordo com a predominância de íons - período chuvoso (abril de 2012).

Classificação	Poços	%
Água Bicarbonatada Sódica	18	60
Água Cloretada Sódica	11	37
Água Cloretada Magnésiana	01	3

Verificou-se que as amostras coletadas no período chuvoso (abril de 2012) no aquífero Içá são 60% (18/30) bicarbonatadas sódicas (**figura 5.30a**), 37% (11/30) cloretadas sódicas (**figura 5.30b**) e 3% (1/30) cloretada magnésiana (**figura 5.30c**). Com base nos dados da primeira campanha é possível classificar as águas do aquífero Içá na sua maioria como *Bicarbonatadas Sódicas*.

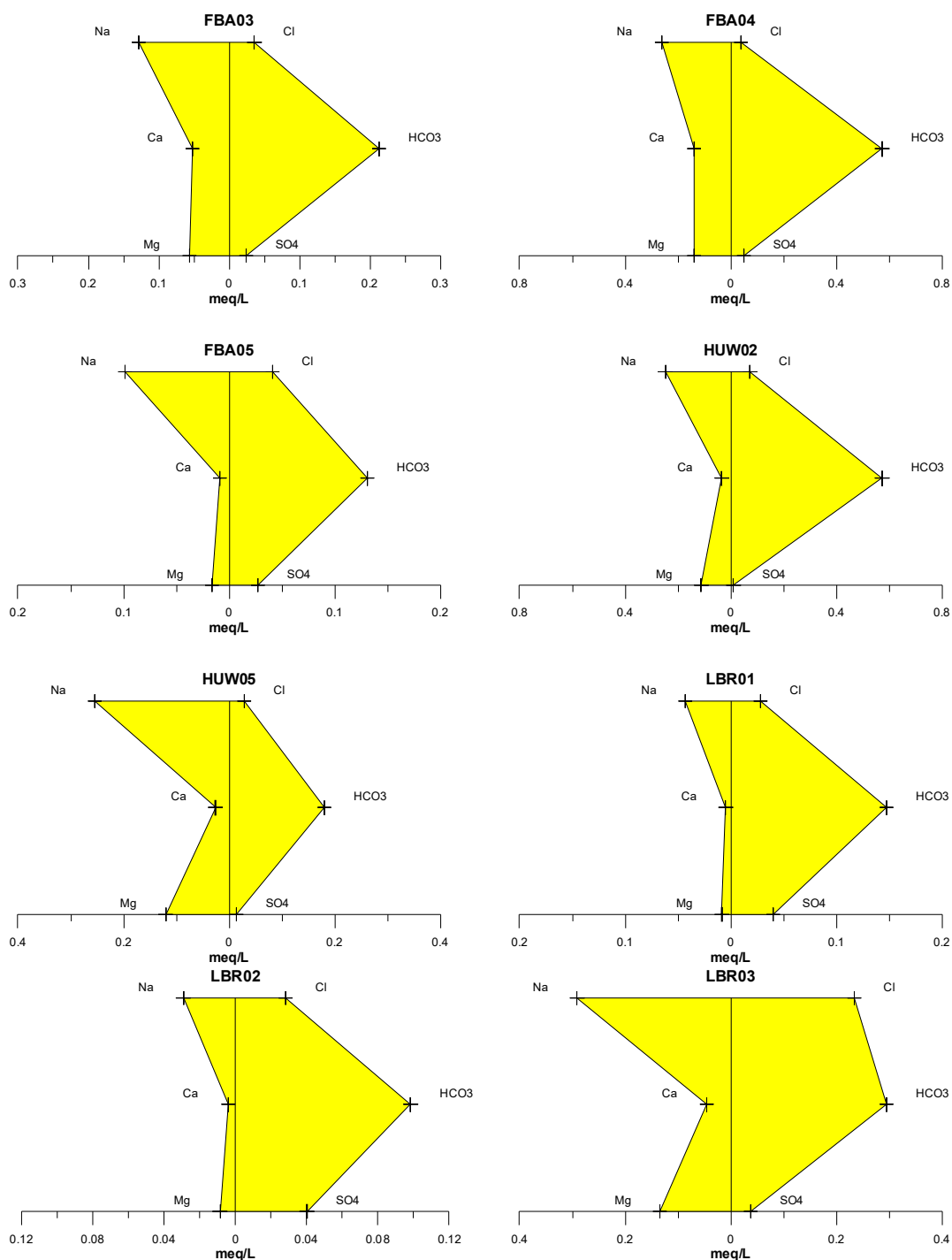
### Aquífero Içá (Águas Bicarbonatadas Sódicas) – abril de 2012



**Figura 5.30a** – Águas bicarbonatadas sódicas classificadas segundo os diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Içá.

**Continuação**

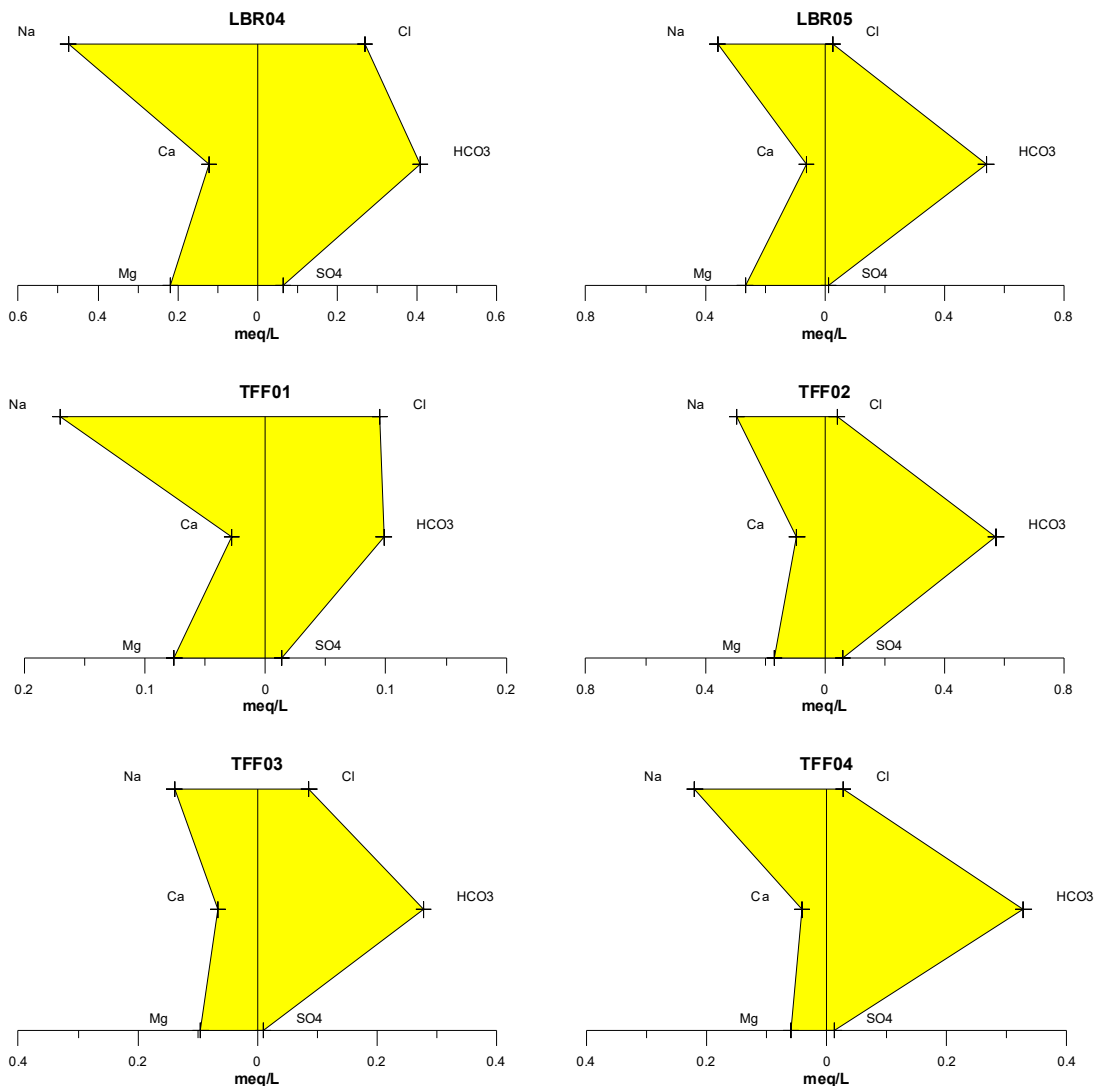
**Aquífero Içá (Águas Bicarbonatadas Sódicas) – abril de 2012**



**Figura 5.30a** – Águas bicarbonatadas sódicas classificadas segundo os diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Içá (Continuação).

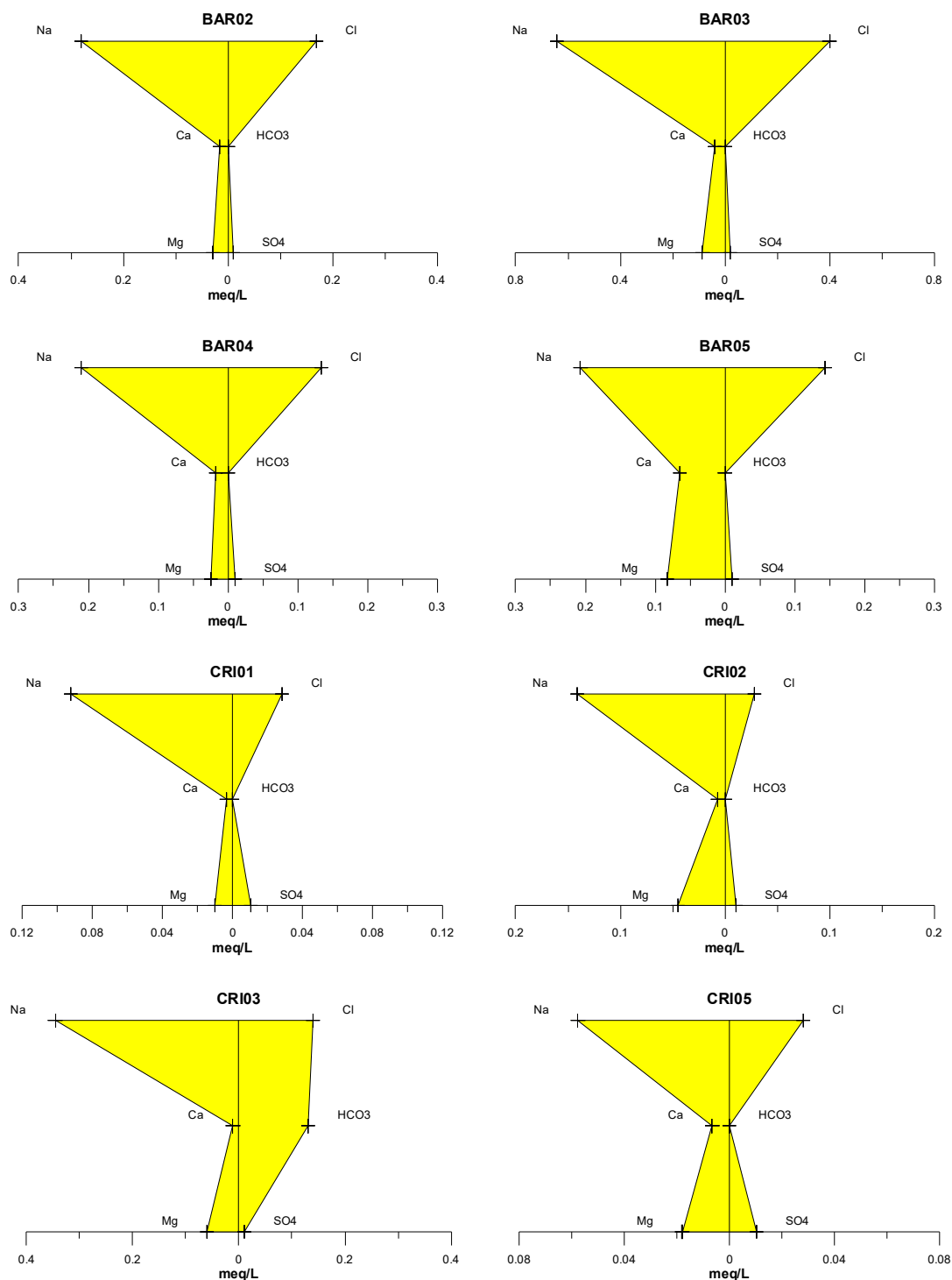
**Continuação**

**Aquífero Içá (Águas Bicarbonatadas Sódicas) – abril de 2012**



**Figura 5.30a** – Águas bicarbonatadas sódicas classificadas segundo os diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Içá (Continuação).

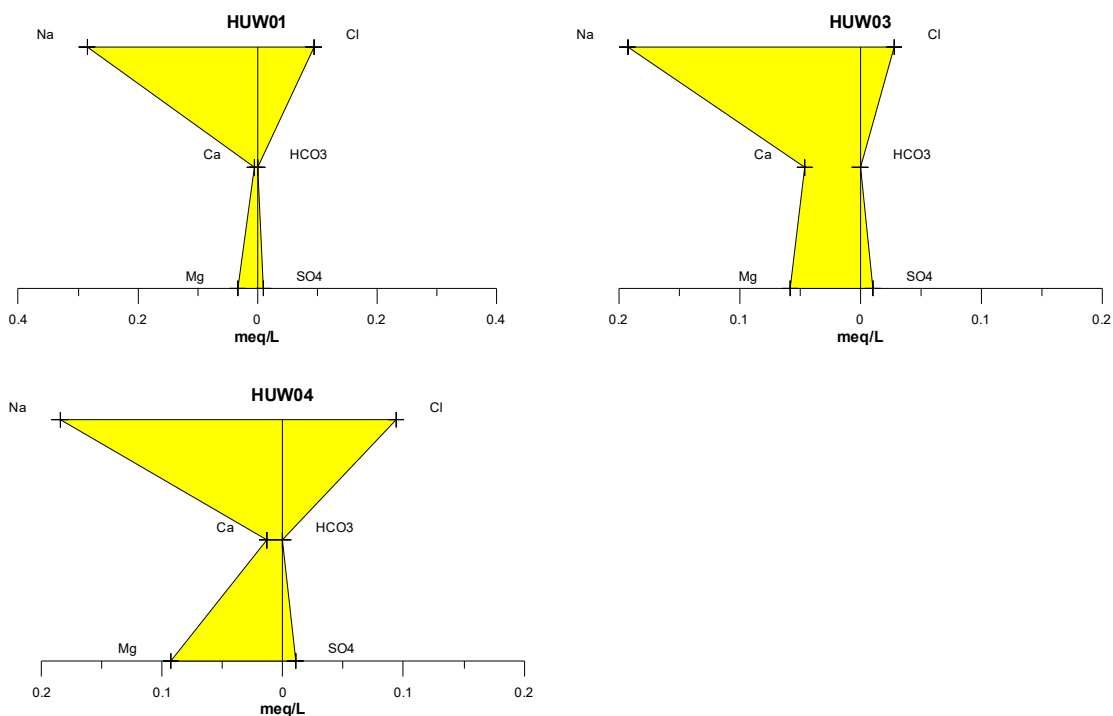
**Aquífero Içá (Águas Cloretadas Sódicas) – abril de 2012**



**Figura 5.30b** – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Içá.

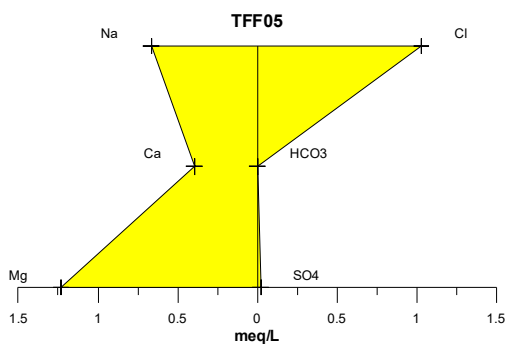
## Continuação

### Aquífero Içá (Águas Cloretadas Sódicas) – abril de 2012



**Figura 5.30b** – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Içá (Continuação).

### Aquífero Içá (Água Cloretada Magnésiana) – abril de 2012



**Figura 5.30c** – Água cloretada magnésiana classificada segundo o diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada em abril de 2012 no aquífero Içá.

## Período de estiagem

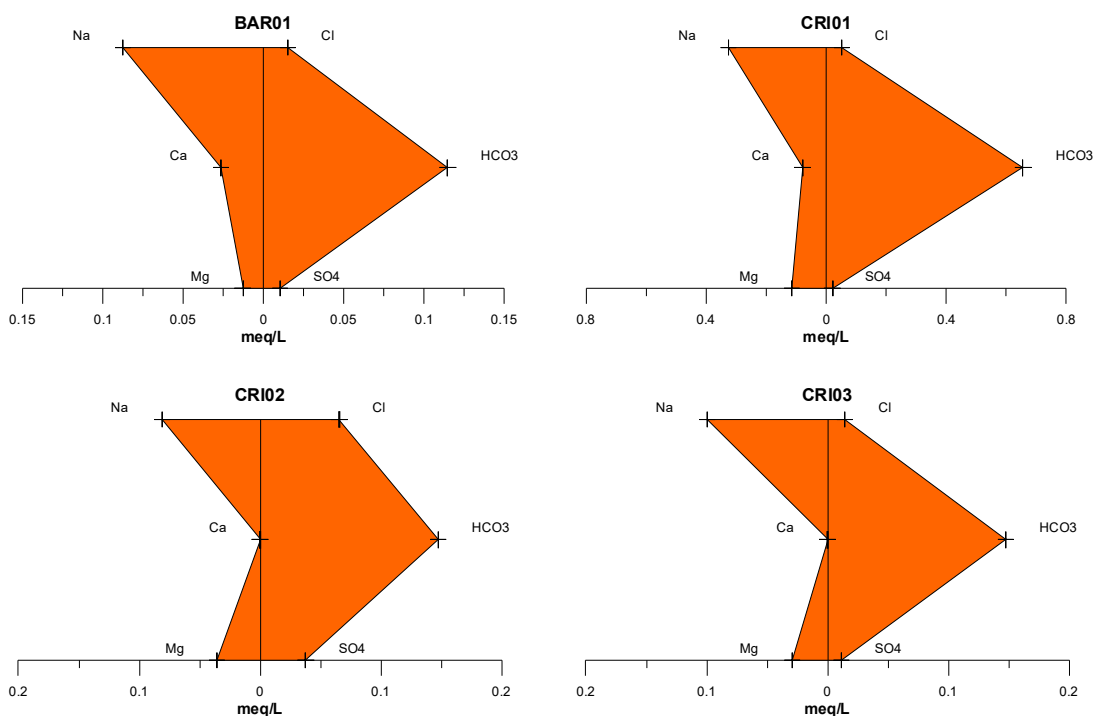
Os resultados da segunda campanha, assim como, a classificação das águas do aquífero Içá, segundo a predominância de íons estão apresentados na **tabela 5.54**.

**Tabela 5.54** - Classificação das Águas do Aquífero Içá de acordo com a predominância de íons - Período seco (outubro de 2012).

Classificação	Poços	%
Água Bicarbonatada Sódica	16	53
Água Cloretada Sódica	11	37
Água Bicarbonatada Magnesiana	02	7
Água Cloretada Magnesiana	01	3

Analisando os resultados das amostras de água coletadas no período seco, em outubro de 2012, no aquífero Içá, verificou-se que 53% (16/30) das águas são classificadas como bicarbonatadas sódicas (**figura 5.31a**); 37% (11/30) cloretadas sódicas (**figura 5.31b**); 7% (2/30) bicarbonatadas magnesianas (**figura 5.31c**); e 3% (1/30) cloretada magnesiana (**figura 5.31d**). Sendo, portanto, classificadas as águas do aquífero Içá, em outubro de 2012, na sua maioria, como *Bicarbonatadas Sódicas*.

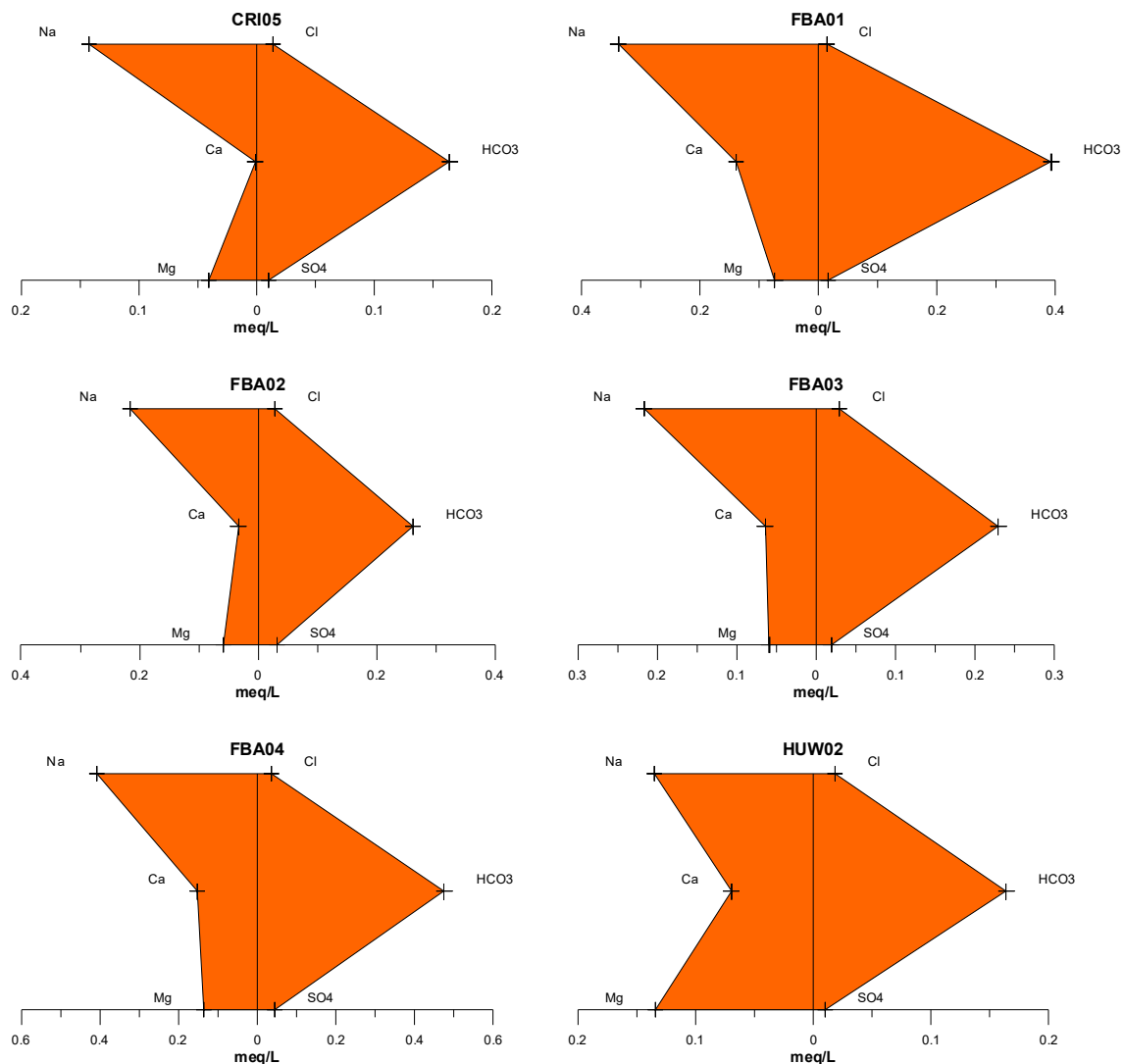
**Aquífero Içá (Águas Bicarbonatadas Sódicas) - outubro de 2012**



**Figura 5.31a** – Águas bicarbonatadas sódicas classificadas segundo os diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Içá.

**Continuação**

**Aquífero Içá (Águas Bicarbonatadas Sódicas) - outubro de 2012**

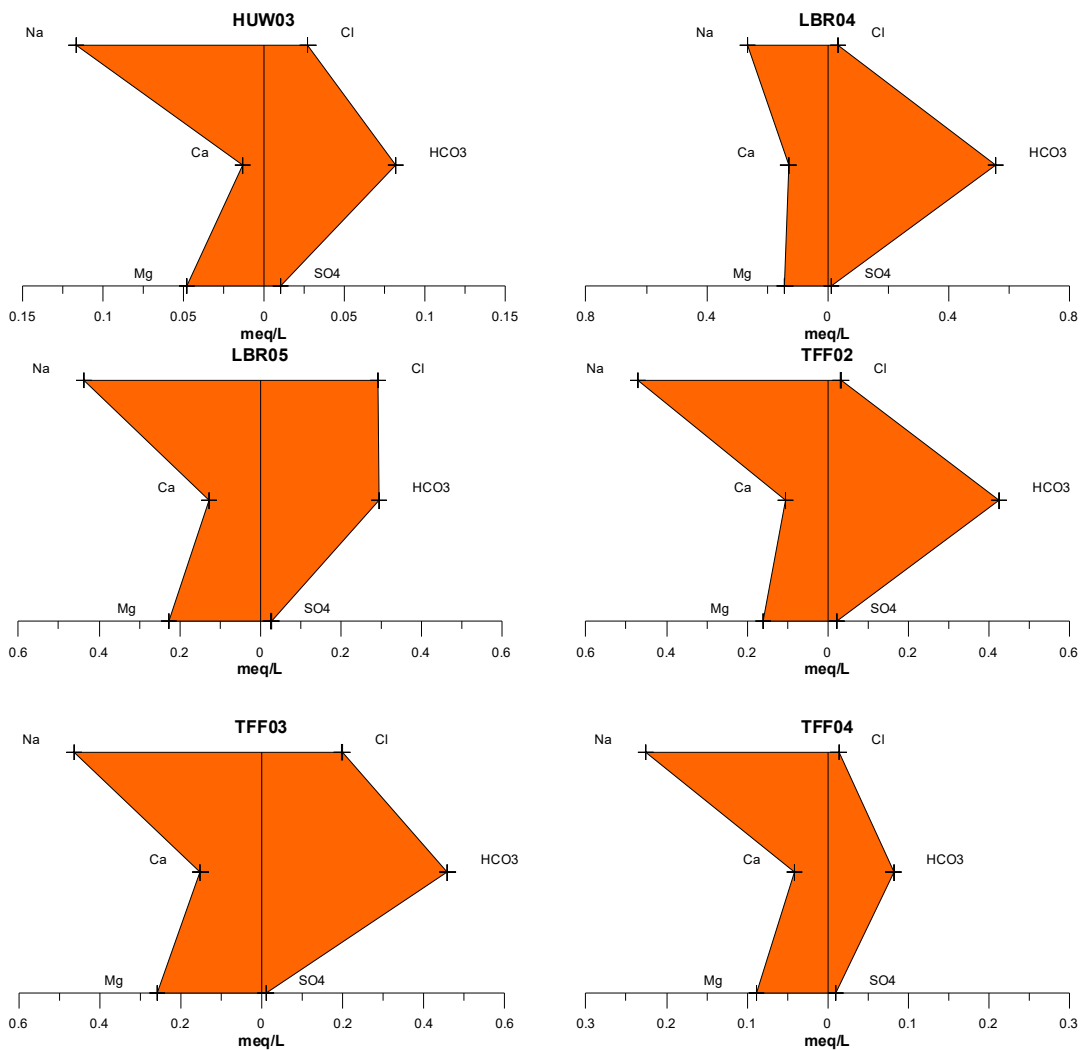


**Figura 5.31a** – Águas bicarbonatadas sódicas classificadas segundo os diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Içá (Continuação).



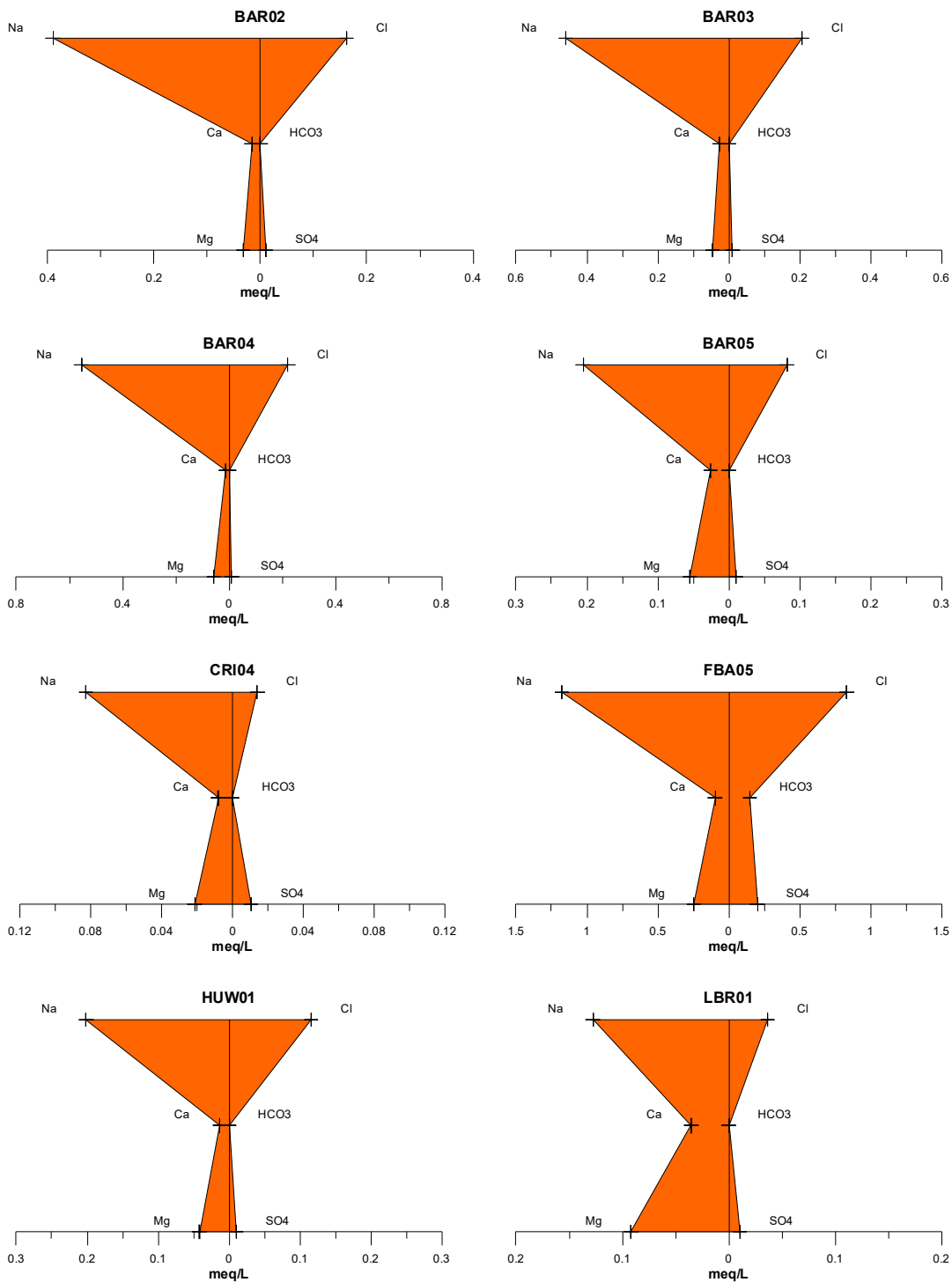
**Continuação**

**Aquífero Içá (Águas Bicarbonatadas Sódicas) - outubro de 2012**



**Figura 5.31a** – Águas bicarbonatadas sódicas classificadas segundo os diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Içá (Continuação).

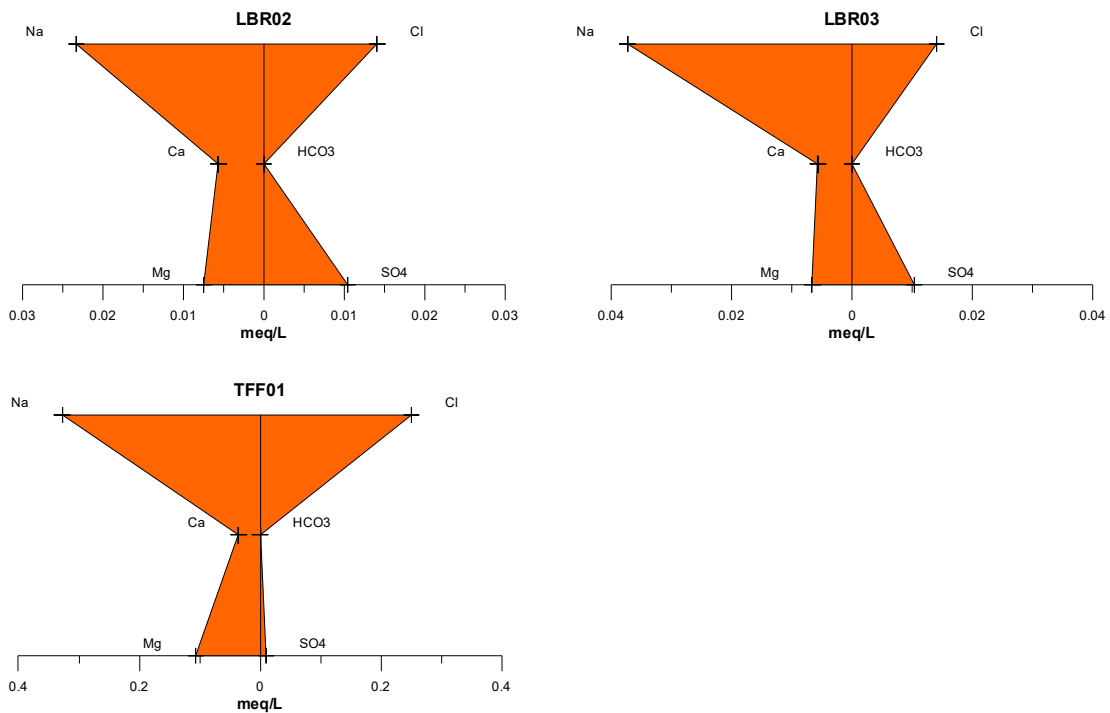
**Aquífero Içá (Águas Cloretadas Sódicas) - outubro de 2012**



**Figura 5.31b** – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Içá.

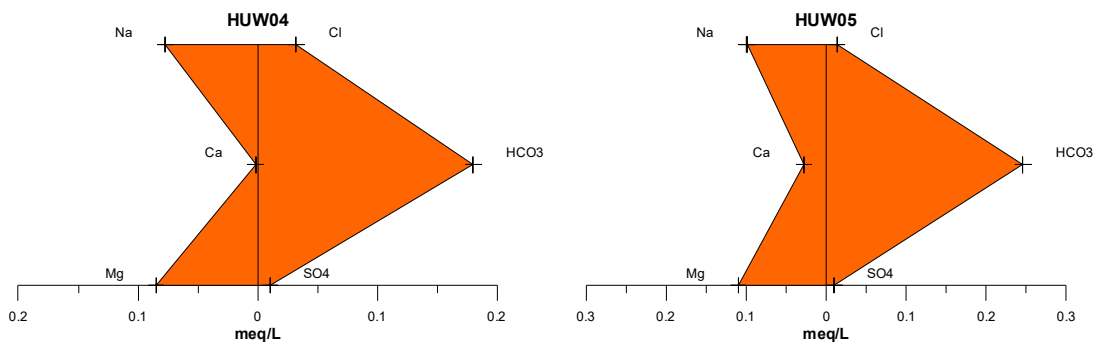
## Continuação

### Aquífero Içá (Águas Cloretadas Sódicas) - outubro de 2012



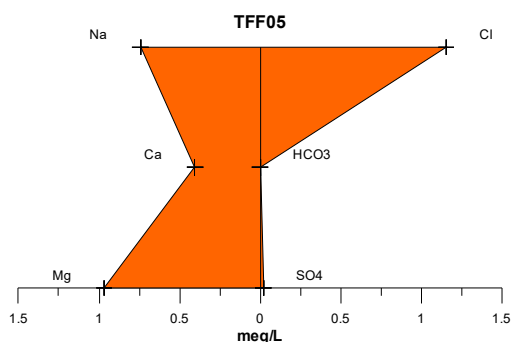
**Figura 5.31b** – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Içá (Continuação).

### Aquífero Içá (Águas Bicarbonatadas Magnesianas) - outubro de 2012



**Figura 5.31c** – Águas bicarbonatadas magnesianas classificadas segundo os diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Içá.

### **Aquífero Içá (Água Cloretada Magnésiana) - outubro de 2012**

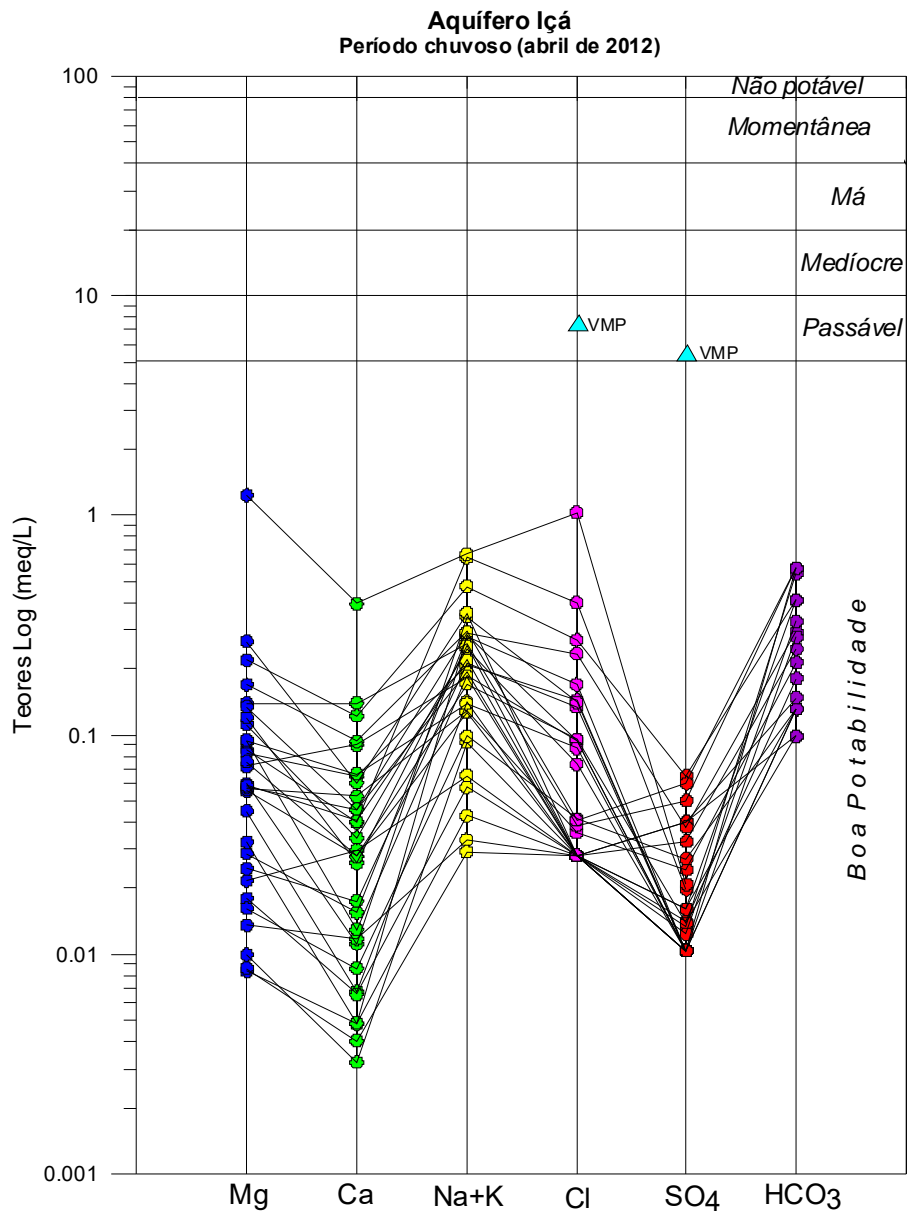


**Figura 5.31d** – Água cloretada magnésiana classificada segundo o diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Içá.

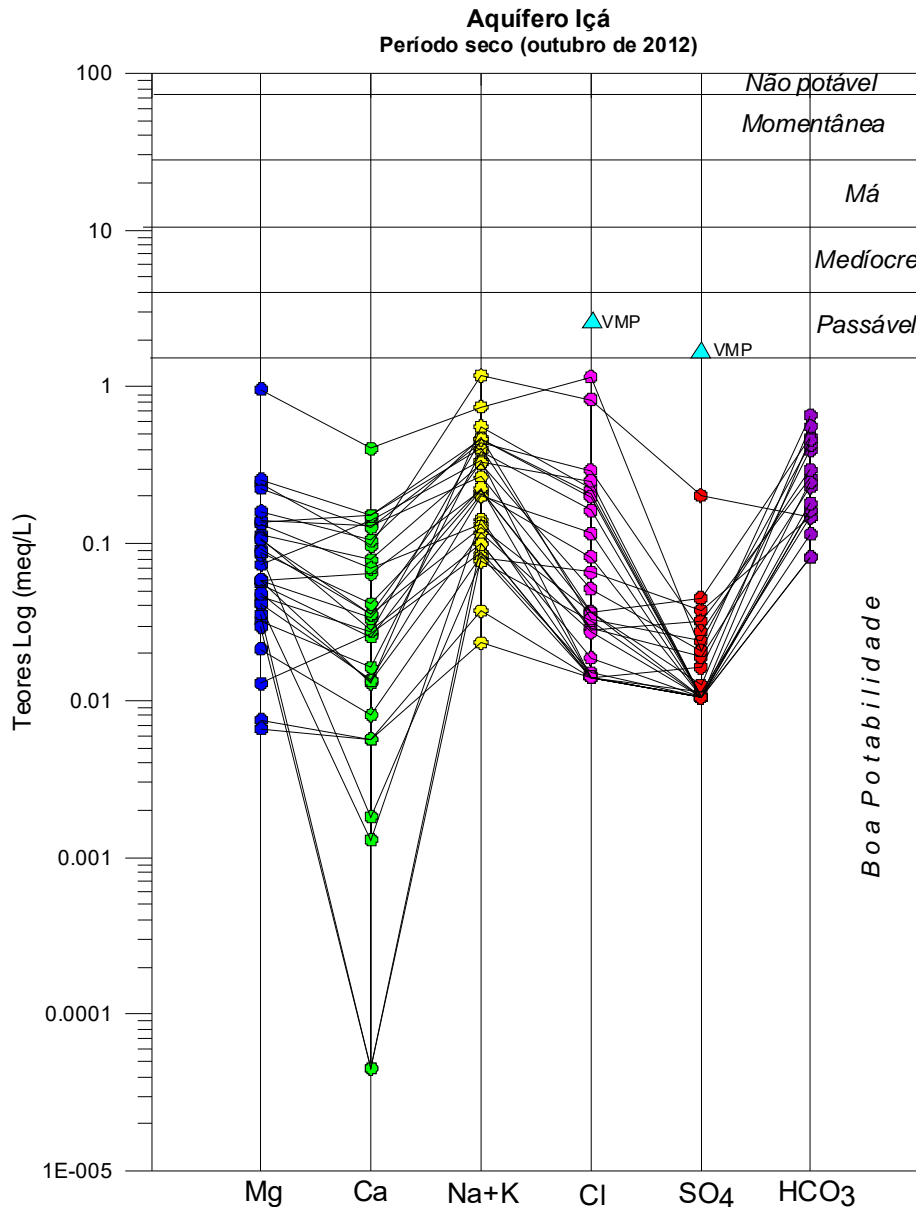
#### **5.7.16 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquífero Içá Segundo o Uso**

##### **5.7.16.1 – Diagramas de Schoeller-Berkaloff para o Consumo Humano**

A potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Içá para consumo humano, avaliada através do Diagrama de Shoeller-Berkaloff, é apresentada na **figura 5.32** para o período chuvoso e na **figura 5.33** para o período de estiagem. Em ambos os períodos verifica-se que a potabilidade se classifica como boa. Além disso, é possível notar que os parâmetros cloreto e sulfato estão abaixo do VMP recomendado pela Portaria MS 2914/2011.



**Figura 5.32** – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Içá no período chuvoso (abril de 2012), segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff.



**Figura 5.33** – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Içá no período de estiagem (outubro de 2012), segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff.

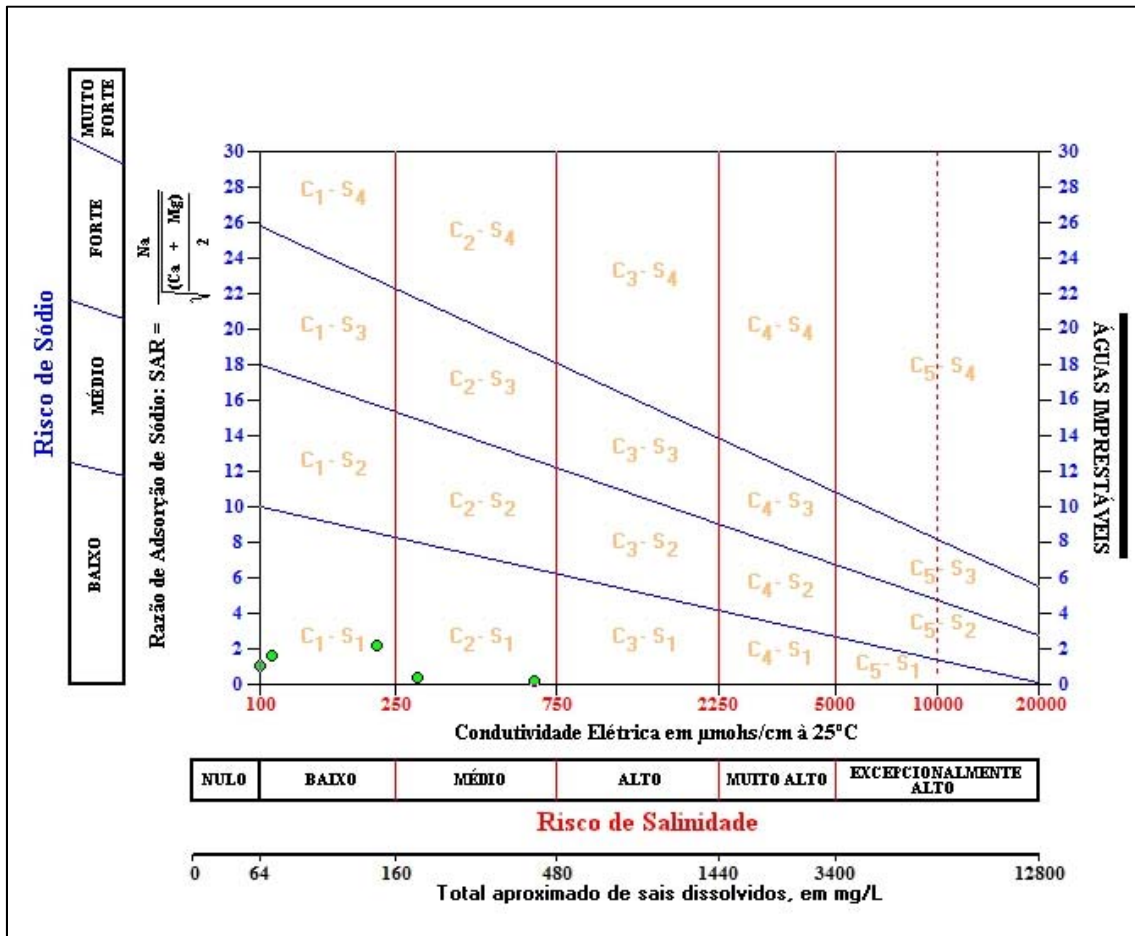
### 5.7.16.2 – Diagramas de Risco de Sódio e Salinidade para Irrigação

Para a avaliação das águas do aquífero Içá quanto ao uso na irrigação foi utilizada a classificação proposta pelo *United States Salinity Laboratory* (USSL), que se baseia na Razão de Adsorção de Sódio (SAR) e na condutividade elétrica da água para classificar as águas em categorias de acordo com a salinidade e o risco de sódio.

#### **Período chuvoso**

Com base na referida classificação, verificou-se que as amostras coletadas no aquífero Içá em abril de 2012 apresentaram risco de sódio baixo em 100% dos casos, ou seja, classificação S<sub>1</sub>, que significa águas fracamente sódicas, que podem ser utilizadas em quase todos os solos com fraco risco de formação de

teores nocivos de sódio susceptível de troca, servindo para o cultivo de quase todos os vegetais (figura 5.34).

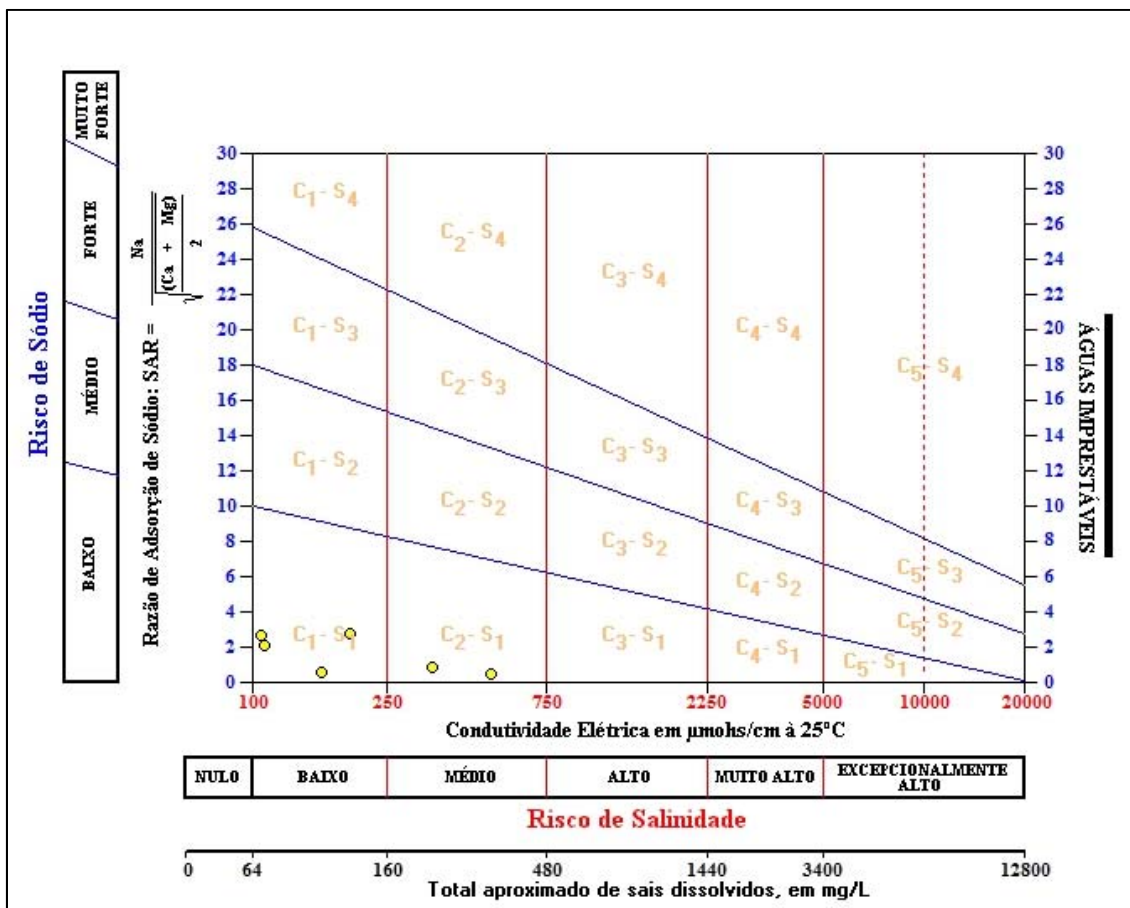


**Figura 5.34** – Classificação das águas do aquífero Içá para fins de irrigação – abril de 2012.

Quanto à salinidade (figura 5.34), as amostras de abril de 2012 apresentaram em 86,7% (26/30) dos casos a classificação C<sub>0</sub>, que corresponde a águas de salinidade fraquíssima, que podem ser utilizadas sem restrições para irrigação; 6,7% (2/30) com classificação C<sub>1</sub>, indicativa de águas de salinidade fraca, que podem ser utilizadas para irrigar a maioria das culturas, na maioria dos solos, com pequeno risco de salinização do solo, exceto se a permeabilidade do solo for extremamente fraca; ao passo que 6,7% (2/30) apresentaram classificação C<sub>2</sub>, águas de salinidade média, nas cidades de Coari e Tefé (tabela 5.55), que devem ser usadas com precaução, podendo ser utilizadas em solos silte-arenosos, siltosos ou areno-argilosos quando houver uma lixiviação moderada do solo.

### Período de estiagem

Os resultados das amostras coletadas no aquífero Içá em outubro de 2012 revelaram que em 100% dos casos, as águas apresentaram risco de sódio baixo, o que corresponde à classificação S<sub>1</sub>, águas fracamente sódicas que podem ser usadas em quase todos os solos e servem para cultivar boa parte dos vegetais (figura 5.35).



**Figura 5.35** – Classificação das águas do aquífero Içá para fins de irrigação – outubro de 2012.

Com relação à salinidade (figura 5.35), as amostras de outubro de 2012 apresentaram em 80% (24/30) dos casos a classificação C<sub>0</sub>, que corresponde a águas de salinidade fraquíssima, que podem ser utilizadas sem restrições para irrigação; em 13,3% (4/30) dos casos a classificação C<sub>1</sub>, ou seja, águas de salinidade fraca, que podem ser utilizadas para irrigar a maioria das culturas; e os 6,7% restantes (2/30) classificação C<sub>2</sub>, águas de salinidade média na cidade de Tefé (tabela 5.55), que devem ser usadas com precaução.

De modo geral, verifica-se que ambas as campanhas de amostragem apresentaram águas propícias para fins de irrigação, com exceção de alguns poços que apresentaram águas com salinidade média, o que requer cuidados quanto ao uso, pois pode provocar salinização do solo (tabela 5.55).



**Tabela 5.55** - Classificação das águas coletadas nas duas campanhas de amostragem de acordo com o risco de salinidade e de sódio, segundo USSL.

Nome	Período chuvoso (abril de 2012)			Período seco (outubro de 2012)		
	Classe USSL	Risco		Classe USSL	Risco	
		Salinidade	Sódio		Salinidade	Sódio
BAR01	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
BAR02	C1-S1	Baixo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
BAR03	C1-S1	Baixo	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
BAR04	C0-S1	Nulo	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
BAR05	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
CRI01	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
CRI02	C2-S1	Médio	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
CRI03	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
CRI04	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
CRI05	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
FBA01	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
FBA02	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
FBA03	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
FBA04	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
FBA05	C0-S1	Nulo	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
HUW01	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
HUW02	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
HUW03	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
HUW04	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
HUW05	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
LBR01	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
LBR02	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
LBR03	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
LBR04	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
LBR05	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
TFF01	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
TFF02	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
TFF03	C0-S1	Nulo	Baixo	C2-S1	Médio	Baixo
TFF04	C0-S1	Nulo	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
TFF05	C2-S1	Médio	Baixo	C2-S1	Médio	Baixo

Legenda:

Poços destacados em vermelho possuem salinidade média, de acordo com a classificação do USSL.

### 5.7.16.3 – Pecuária

A fim de avaliar se as águas coletadas em 30 (trinta) poços no aquífero Içá nos períodos de abril e outubro de 2012 servem para pecuária, empregou-se a metodologia adotada por McKee & Wolf (1963), os quais determinam os limites máximos admissíveis de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) na água para cada tipo de animal, como pode ser observado na **tabela 5.56**.

**Tabela 5.56** – Padrões de STD para uso animal, segundo McKee & Wolf (1963).

Animal	STD (mg/L)
Aves	2.860
Porcos	4.290
Cavalos	6.435
Gado (leite)	7.180
Gado (corte)	10.000
Bodes e Carneiros	12.900

Sendo assim, com base na classificação acima é possível afirmar que as águas em ambos os períodos de coleta podem ser utilizadas para o consumo animal sem restrições, uma vez que os maiores teores encontrados de STD foram de 444 e 252 mg/L, respectivamente, para a 1ª e 2ª campanhas.

#### **5.7.17 – Conclusões Gerais sobre a Qualidade das Águas Subterrâneas do Aquífero Içá**

O estudo hidrogeoquímico das águas do aquífero Içá indicou que, de forma geral, os teores analisados se encontram em baixíssimas concentrações, devido ao clima chuvoso da Floresta Tropical Amazônica, e que alguns poucos valores extremos encontrados, inclusive acima do VMP estabelecido como de potabilidade pela Portaria MS 2914/2011, assim como os usos preponderantes da água subterrânea definidos pela Resolução CONAMA 396/2008, se devem em grande parte a fatores antrópicos, com exceção do ferro e manganês.

No parâmetro físico-químico manganês, a modelagem geoestatística apresentou um viés estatístico que não permitiu avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade, portanto foram utilizados os dados de média e mediana para avaliar a influência da sazonalidade, que mostrou teores mais elevados no período de estiagem.

A análise estatística dos parâmetros físico-químicos coletados em duas campanhas de amostragem, realizadas em abril e outubro de 2012, revelou efeito de sazonalidade sobre alguns parâmetros, tais como, turbidez e cloreto, cujos teores foram mais elevados no período chuvoso, ao passo que os parâmetros temperatura, STD, pH *in situ*, Eh, sódio, magnésio, bicarbonato, dureza, nitrato e ferro apresentaram teores mais elevados no período de estiagem.

Alguns parâmetros não apresentaram influência da sazonalidade, pois os resultados das duas campanhas de amostragem apresentaram em sua maioria teores abaixo do limite de detecção, a exemplo da cor, nitrito e amônia; ou teores muito próximos, como nos casos dos parâmetros potássio e cálcio.

A avaliação dos parâmetros biológicos indicou a presença tanto de Coliformes totais, quanto de *E. Coli*, em ambas as campanhas, o que corresponde à contaminação das águas subterrâneas, devido à ausência de sistema de esgotamento sanitário na região, e também pelo fato de que os poços tubulares, em sua maioria, são pouco profundos e construídos com técnicas inapropriadas, que deixam os espaços anelares sem a devida proteção

sanitária. A ocorrência desses parâmetros biológicos é extremamente preocupante, pois pode ocasionar doenças de veiculação hídrica na população que utiliza dessas águas para os mais diversos usos, incluindo consumo humano.

Os altos teores de ferro dissolvidos em alguns pontos isolados nas águas do aquífero Içá se devem a reações de oxi-redução, atuantes sobre o ferro insolúvel residual do intemperismo químico regional resultante da alta pluviosidade associada a elevadas temperaturas e acidez das águas, as quais favoreceram a decomposição das rochas ao longo do tempo geológico.

Quanto ao pH *in situ*, os resultados mostram que em ambos os períodos as águas subterrâneas do aquífero Içá se caracterizam como ácidas, mas com uma leve tendência de aumento da acidez no período chuvoso, ao que tudo indica influência de infiltração oriunda da chuva, que possui pH ácido e conforme avaliação de Forti & Moreira-Nordemann (1991) variável na região de floresta de terra firme de 4 a 5,3 na região Amazônica.

Os resultados das análises de isótopos ambientais de Oxigênio-18 e Deutério levaram a concluir que a recarga do aquífero Içá possui 84,96% de perda de  $\delta^{18}\text{O}$  por evaporação, o que se deve possivelmente a abundância da chuva na região, que gera águas mais leves e propícias a evaporação.

Segundo as datações efetuadas com trício, no aquífero Içá, há presença de água submoderna com recarga anterior a 1952, e mistura de água submoderna com recarga recente.

Quanto às idades convencionais de radiocarbono, há presença de águas modernas com menos de 200 anos BP, ou seja, águas mais rasas, e de paleoáguas com idade da ordem de 200 anos, o que indica águas mais profundas.

No que se refere à classificação das águas subterrâneas de acordo com a composição química é possível verificar que as águas do aquífero Içá em sua maioria são Bicarbonatadas Sódicas e Cloretadas Sódicas, e de boa potabilidade, segundo indicação dos diagramas de Piper, Stiff e Schoeller-Berkaloff.

No que concerne à avaliação das águas para irrigação verifica-se que as águas do aquífero Içá possuem risco de sódio baixo e salinidade que varia entre fraquíssima a média, indicando que as águas podem ser usadas para o cultivo de boa parte dos vegetais.

As águas podem ser utilizadas para a dessedentação animal sem restrições, haja vista que os teores de STD encontrados em ambas as campanhas foram baixíssimos.

## **6 – Hidrogeoquímica do Aquífero Tucunaré**

## 6.1 - Introdução

No contexto regional, o aquífero Tucunaré está localizado na Província Amazonas, que representa uma das bacias sedimentares fanerozoicas do Brasil (CPRM, 2003). No contexto local, o aquífero Tucunaré está situado na Bacia do Marajó. A bacia do Marajó é constituída por um conjunto de blocos que incluem zonas profundas (fossas e grabens) e zonas rasas (horsts) que constituem as plataformas rasas, também chamadas ombreiras.

Na escala local, o aquífero Tucunaré na cidade de Macapá, sob o ponto de vista geológico, situa-se no bloco estrutural denominado Plataforma do Amapá, que se encontra no setor noroeste da Bacia do Marajó, ou mais exatamente, da sub-bacia de Mexiana.

A litologia dos depósitos da Formação Tucunaré é constituída de materiais areno-argilosos, arenosos e conglomeráticos. As exposições desses depósitos estão presentes em afloramentos naturais e em cortes de estradas das rodovias BR-156, BR-210, AP-070 e AP-020, bem como nas falésias ativas e inativas existentes na orla das cidades de Macapá e Santana e ainda nas margens das drenagens que cortam a região (Santos *et al.*, 2004).

Com o intuito de avaliar a qualidade das águas subterrâneas do aquífero Tucunaré, na cidade de Macapá – AP, foram realizadas duas campanhas de amostragem: uma no período chuvoso (abril de 2012) e outra no período seco (outubro de 2012), com defasagem de 6 (seis) meses.

Ambas as campanhas seguiram as metodologias recomendadas por Barcelona *et al.* (1985), Puls & Barcelona (1989), Keith (1996), Feitosa & Manoel Filho (2000) e Nielsen & Nielsen (2007). Além dessas referências, também foi utilizado o Protocolo de Guia de Coleta de Amostra (GCA), elaborado pelo laboratório Bioagri Ambiental, que pode ser visualizado no **Anexo 8.5**.

Os Laboratórios responsáveis pelas análises no aquífero Tucunaré, juntamente com os poços avaliados, o quantitativo de amostras, os tipos de análises e os parâmetros analisados, encontram-se listados abaixo:

### ***Laboratório da Bioagri Ambiental:***

- 30 (trinta) Análises Físico-Químicas e Bacteriológicas - cor, turbidez, condutividade elétrica (CE), temperatura, sólidos totais dissolvidos (STD), pH, Eh, sódio, potássio, cálcio, magnésio, dureza, cloreto, sulfato, bicarbonato, nitrogênio (amoniaco, orgânico e total), nitrito, nitrato, ferro e manganês, Coliformes Totais e Termotolerantes (E. Coli), nos poços MPA 1 a 30;
- 10 (dez) Análises de Metais Pesados - arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel, zinco, nos poços MPA: 2, 4, 7, 10, 14, 16, 18, 21, 23 e 28;
- 10 (dez) Análises de BTEX e Fenóis - benzeno, tolueno, etilbenzeno, o-Xileno e m,p-Xileno, índice de fenóis nos poços MPA: 2, 4, 7, 10, 14, 16, 18, 21, 23 e 28.

### **Laboratório de Geocronologia do Instituto de Geociências da UnB:**

- 04 (quatro) Análises de Isótopos Ambientais Estáveis - deutério e oxigênio-18, nos poços MPA: 1, 8, 14 e 26.

### **Laboratório do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CTDN), da UFMG:**

- 07 (sete) Análises do Isótopo Ambiental Radioativo - trício, nos poços MPA: 1, 3, 4, 8, 14, 19 e 26.

### **Laboratório Beta Analytic, da Flórida - USA:**

- 02 (duas) Análises do Isótopo Ambiental - carbono 14, nos poços MPA: 31 e 32.

Os resultados dessas análises para as duas campanhas podem ser verificados no **Anexo 8.4**.

## **6.2 – O Fenômeno das Ressacas no Aquífero Tucunaré**

Segundo Bitencourt *et al.* (2002), o fenômeno ressaca é o aumento do nível do mar provocado pela elevação da maré astronômica e/ou maré meteorológica, acompanhado de ondas com amplitude maior que o normal. Geralmente o aumento do nível do mar se dá pelo “empilhamento” de água na costa, causado pela força do vento na superfície do mar (maré meteorológica), somado a força gravitacional exercida pelos astros (maré astronômica), principalmente o sol e a lua.

Em Macapá encontram-se extensas áreas úmidas chamadas localmente de "ressacas", que constituem sistemas físicos fluviais preenchidos por partículas finas, drenados por água doce e ligadas a um curso principal d'água, influenciados fortemente pela pluviosidade e possuindo vegetação herbácea (Takiyama *et al.*, 2012).

O termo “áreas de ressaca” é utilizado regionalmente no Amapá para designar as bacias de acumulação de águas influenciadas pelo regime das marés e das chuvas (SEMA-AP, 2006). Apesar da existência de legislação específica de proteção dessas áreas (Lei Estadual nº 0835 de 27 de maio de 2004), estas continuam sofrendo impactos da ocupação humana, como destruição da vegetação nativa, despejamento de lixo e esgoto e inclusive impactos de atividades econômicas, como a extração mineral, especialmente a argila. É nessas áreas que muitos dos imigrantes oriundos de outros Estados estão encontrando espaço “gratuito” para a construção de suas moradias, a falta de fiscalização de órgãos responsáveis, bem como a ausência de discussão social contribuem para sua degradação (Santos Filho, 2011).

As zonas baixas de planícies interiores ocupadas por depósitos aluviais e flúvio-marinhos são conhecidas como ressacas em Macapá. Os depósitos de planície localizados nas proximidades do rio Amazonas estão sujeitos a inundações, principalmente no pico de cheia de março e abril, que coincide com o período chuvoso da região, o que acarreta do ponto de vista da qualidade de água subterrânea, aumento significativo nos teores de sólidos totais dissolvidos.

Esse aumento significativo em grande parte dos teores se realiza por influência da faixa de transição entre as águas doces e salgadas, que constitui uma zona de mistura, originada pelo fenômeno da dispersão hidrodinâmica.

### 6.3 - Balanço Iônico

Os resultados das análises físico-químicas das duas campanhas de amostragem do aquífero Tucunaré foram submetidos a avaliações, pelo cálculo do balanço de cátions e ânions, conforme metodologia descrita no **item 1.7**.

#### **Período Chuvoso**

De acordo com os resultados obtidos verifica-se que no período chuvoso (abril de 2012), 13,3% (4/30) das amostras coletadas no aquífero Tucunaré apresentaram Ep dentro dos critérios da metodologia do balanço iônico nº 1. Enquanto que 20% (6/30) das amostras obtiveram Ep inferior a 15%, sendo considerada correta apenas segundo a metodologia nº 2.

Assim, 86,7% (26/30) das amostras pelo método 1 e 80% (24/30) pelo método 2 apresentam Ep superiores aos limites definidos, não sendo considerados válidos em ambos os balanços iônicos (**tabela 6.1**).

**Tabela 6.1** – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf para as amostras coletadas no aquífero Tucunaré – abril de 2012.

Poço	CE ( $\mu\text{S/cm}$ )	Soma Cátions (meq/L)	Soma Ânions (meq/L)	Erro Prático - Ep (%)	
				Balanço Iônico nº1	Balanço Iônico nº2
MPA01	95	0,61	0,26	80,17	40,08
MPA02	85	0,77	0,39	65,36	32,68
MPA03	57	0,33	0,36	9,26	4,63
MPA04	200	1,37	1,08	23,47	11,74
MPA05	46	0,19	0,37	64,35	32,18
MPA06	267	1,93	1,47	26,71	13,35
MPA07	210	1,49	0,96	42,91	21,46
MPA08	132	0,81	0,65	22,49	11,25
MPA09	125	0,67	0,4	51,53	25,76
MPA10	121	0,75	0,55	30,75	15,38
MPA11	57	0,36	0,31	17,67	8,84
MPA12	75	0,31	0,11	92,19	46,09
MPA13	220	1,84	0,89	69,33	34,67
MPA14	107	0,62	0,44	33,41	16,7
MPA15	190	1,35	0,65	70,16	35,08
MPA16	259	2,31	1,38	50,6	25,3

**Tabela 6.1** – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf para as amostras coletadas no aquífero Tucunaré – abril de 2012 (Continuação).

Poço	CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Soma Cátions (meq/L)	Soma Ânions (meq/L)	Erro Prático - Ep (%)	
				Balanço iônico nº1	Balanço iônico nº2
MPA17	53	0,32	0,19	50,12	25,06
MPA18	145	0,62	0,41	40,88	20,44
MPA19	83	0,43	0,32	28,68	14,34
MPA20	74	0,38	0,23	47,6	23,8
MPA21	172	0,72	0,22	108,19	54,1
MPA22	67	0,49	0,22	75,64	37,82
MPA23	171	0,29	0,11	93,79	46,9
MPA24	51	0,29	0,17	55,11	27,55
MPA25	211	1,09	0,84	25,99	12,99
MPA26	124	0,62	0,53	16,04	8,02
MPA27	238	1,19	0,7	52,55	26,27
MPA28	274	1,52	0,8	61,79	30,9
MPA29	166	0,97	0,63	42,28	21,14
MPA30	181	1,06	1,01	4,1	2,05

Legenda:

Valores destacados em vermelho possuem os maiores Ep de acordo com os critérios estabelecidos nas metodologias do balanço iônico nº 1 e nº 2, respectivamente.

### **Período de Estiagem**

Segundo os dados coletados no período seco (outubro de 2012), observa-se que 20% (6/30) das amostras obtiveram resultados dentro dos padrões de Ep consideradas como apropriadas na metodologia nº 1 de balanço iônico. Igualmente, apenas 20% (6/30) das amostras ficaram abaixo do limite de erro permitido pela metodologia nº 2. Assim, 80% (16/30) das amostras não foram consideradas corretas, haja vista que apresentaram Ep fora dos limites permissíveis estabelecidos nos dois balanços iônicos, como demonstra a **tabela 6.2**.



**Tabela 6.2 – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf, para as amostras coletadas no aquífero Tucunaré – outubro de 2012.**

Poço	CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Soma Cátions (meq/L)	Soma Ânions (meq/L)	Erro Prático - Ep (%)	
				Balanço Iônico nº1	Balanço Iônico nº2
MPA01	98	0,71	0,34	70,51	35,26
MPA02	131	1,3	0,42	102,77	51,39
MPA03	19	0,11	0,05	72,01	36,01
MPA04	127	0,88	0,42	71,9	35,95
MPA05	151	1,12	0,61	59,39	29,7
MPA06	236	1,22	0,68	57,28	28,64
MPA07	116	0,67	0,42	44,9	22,45
MPA08	21	0,22	0,08	94,74	47,37
MPA09	13	0,07	0,05	40,00	20,00
MPA10	144	1,28	0,5	87,48	43,74
MPA11	164	1,2	0,57	71,68	35,84
MPA12	183	1,21	0,9	29,27	14,64
MPA13	119	0,85	0,34	85,61	42,8
MPA14	11	0,11	0,13	20,88	10,44
MPA15	71	0,37	0,34	8,26	4,13
MPA16	138	1,14	0,39	98,67	49,34
MPA17	19	0,13	0,08	46,54	23,27
MPA18	17	0,15	0,07	75,19	37,59
MPA19	111	0,56	0,26	73,01	36,5
MPA20	98	0,12	0,17	39,66	19,83
MPA21	22	0,11	0,09	13,6	6,8
MPA22	124	0,22	0,07	99,2	49,6
MPA23	31	0,28	0,31	9,02	4,51
MPA24	50	0,36	0,11	106,82	53,41
MPA25	40	0,22	0,11	70,85	35,43
MPA26	13	0,06	0,06	6,28	3,14
MPA27	15	0,05	0,05	1,00	0,50
MPA28	16	0,09	0,19	70,21	35,11
MPA29	33	0,17	0,07	90,64	45,32
MPA30	158	1,25	0,57	75,22	37,61

Legenda:

Valores destacados em vermelho possuem os maiores Ep de acordo com os critérios estabelecidos nas metodologias do balanço iônico nº 1 e nº 2, respectivamente.

Os resultados de Ep superiores a 30% podem indicar erro analítico ou de cálculo, presença de certos íons não analisados na água em concentrações apreciáveis e/ou águas pouco mineralizadas, tais como água da chuva.

Os métodos analíticos padrões para baixas concentrações iônicas podem levar a valores elevados de erros (Ep %), sem que isso indique necessariamente um erro de análise ou de cálculo (Schoeller, 1955 *apud* Feitosa & Manoel Filho, 2000). As águas do aquífero Tucunaré se enquadram como pouco mineralizadas, uma vez que os teores de STD alcançam no máximo 229 mg/L no período chuvoso e 159 mg/L no período de estiagem, quando o VMP desse

parâmetro, para consumo humano, segundo a Portaria MS 2914/2011, é de 1.000 mg/L.

Convém destacar ainda que as concentrações de STD, assim como, dos íons sódio ( $Na^+$ ), Cloreto ( $Cl^-$ ) e sulfato ( $SO_4^{2-}$ ) foram expressas em partes por bilhão (ppb) ou  $\mu g/L$ . Além disso, alguns valores situados abaixo do limite de detecção, indicados, por exemplo, como ( $<1$ ) foram considerados no cálculo do erro, como 1  $\mu g/L$  (o valor pode ser qualquer outro abaixo de 1) e para a base de cálculo a concentração foi convertida para mg/L (ppm).

Conclui-se, assim, que os erros detectados não comprometem os resultados analíticos obtidos.

#### 6.4 - Índice de Troca de Bases (ITB)

O ITB das duas campanhas de amostragem do aquífero Tucunaré foi estimado conforme metodologia descrita no **item 1.8**.

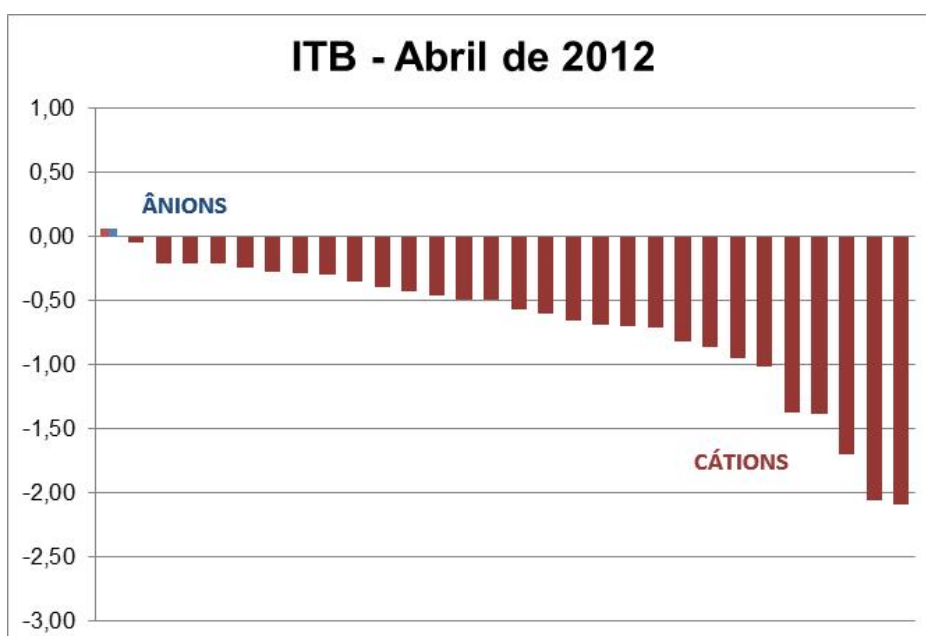
De acordo com os resultados de ITB calculados verifica-se que apenas 3% (1/30) das amostras forneceram valores positivos, indicando o predomínio de cátions nas águas que ali circulam, enquanto que 97% (29/30) apresentaram valores negativos na coleta de abril de 2012 (**tabela 6.3** e **figura 6.1**). Isto revela maior presença dos íons alcalinos (sódio e potássio) em relação ao íon cloreto em solução, o que sugere o abrandamento das águas subterrâneas, ou seja, troca de  $Ca^{++}$  e  $Mg^{++}$  por  $Na^+$ .

**Tabela 6.3** – Resultado do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no aquífero Tucunaré nas duas campanhas.

Poço	ITB - abril de 2012 (meq/L)	ITB - outubro de 2012 (meq/L)
MPA01	-1,37	-0,75
MPA02	-2,09	-2,34
MPA03	-0,21	-0,62
MPA04	-0,49	-1,93
MPA05	-2,06	-0,70
MPA06	-0,27	-0,69
MPA07	-0,46	-0,46
MPA08	-0,21	-0,11
MPA09	-0,39	-0,38
MPA10	-0,71	-1,55
MPA11	-0,21	-0,93
MPA12	-0,66	-0,74

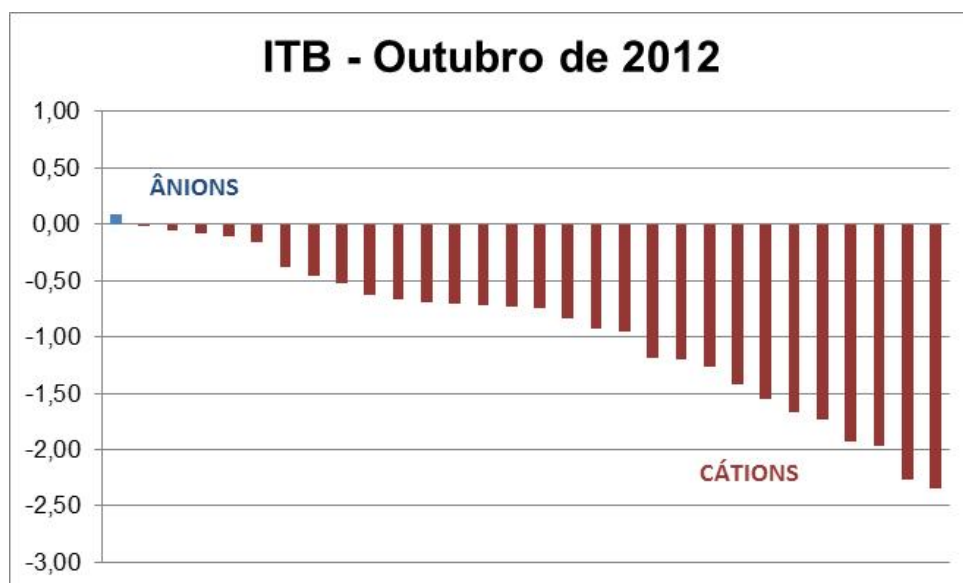
**Tabela 6.3** – Resultado do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no aquífero Tucunaré nas duas campanhas (Continuação).

Poço	ITB - abril de 2012 (meq/L)	ITB - outubro de 2012 (meq/L)
MPA13	-0,43	-1,20
MPA14	-0,29	0,09
MPA15	-1,02	-0,06
MPA16	-0,60	-1,66
MPA17	-0,70	-0,15
MPA18	0,06	-0,52
MPA19	-0,24	-1,42
MPA20	-0,57	-0,95
MPA21	-1,39	-0,67
MPA22	-0,82	-1,97
MPA23	-1,71	-1,26
MPA24	-0,86	-2,27
MPA25	-0,28	-1,19
MPA26	-0,95	-0,02
MPA27	-0,50	-0,08
MPA28	-0,69	-0,83
MPA29	-0,35	-1,74
MPA30	-0,05	-0,72



**Figura 6.1** – Ilustração dos resultados de ITB calculados para as amostras coletadas no Aquífero Tucunaré, no período chuvoso, com o predomínio de cátions.

Na coleta de outubro de 2012, 3% (1/30) das amostras apresentaram valores positivos, ao passo que 97% (29/30) obtiveram resultados negativos, como pode ser visualizado na **tabela 6.3**. Tais resultados refletem a maior presença de cátions nas águas (**figura 6.2**).



**Figura 6.2** – Ilustração dos resultados de ITB calculados para as amostras coletadas no Aquífero Tucunaré, no período de estiagem, com o predomínio de cátions.

Os valores de ITB obtidos nas águas do aquífero Tucunaré nas duas campanhas estão coerentes, pois segundo Teixeira (2002), o enriquecimento em alcalinos, aumenta a diferença  $Cl - (Na + K)$ , numerador na equação de Schoeller (1962), o que torna mais negativos os valores de ITB.

Na **tabela 6.4** é apresentada a estatística descritiva dos resultados de ITB calculados, onde se verifica que os valores mínimo e máximo obtidos foram de -2,09 e 0,06; -2,34 e 0,09 para as coletas de abril e outubro de 2012, respectivamente.

**Tabela 6.4** – Parâmetros estatísticos dos resultados do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no aquífero Tucunaré nas duas campanhas.

Parâmetros Estatísticos	ITB (Abril de 2012)	ITB (Outubro de 2012)
Média	-0,68	-0,93
Erro padrão	0,10	0,13
Mediana	-0,53	-0,74
Desvio padrão	0,55	0,69
Variância da amostra	0,30	0,47
Curtose	1,16	-0,62
Assimetria	-1,28	-0,48
Intervalo	2,15	2,43
Mínimo	-2,09	-2,34
Máximo	0,06	0,09
Soma	-20,51	-27,84
Contagem	30	30
Nível de confiança (95%)	0,21	0,26

Os resultados de ITB negativos obtidos em ambas as campanhas são justificáveis por conta dos elevados índices pluviométricos da região amazônica que favorecem a diluição dos compostos químicos em solução na água, o que implica no abrandamento das águas com troca de cálcio e magnésio por sódio, tanto no período chuvoso quanto na estiagem.

### 6.5 - Razões Iônicas

De acordo com a metodologia de Hem (1985), descrita no **item 1.9**, foi possível estimar as razões iônicas em meq/L para as águas do aquífero Tucunaré nas duas campanhas de amostragem, de modo a avaliar a sua composição hidrogeoquímica.

A **tabela 6.5** mostra os resultados das principais razões iônicas para as duas campanhas, realizadas no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012).

A razão  $rMg^{2+}/rCa^{2+}$  indica que 73% e 83% dos poços, respectivamente, para a primeira e segunda campanha, contém águas continentais que possivelmente sofrem influência de terrenos dolomíticos.

A razão  $rNa^+/rCl^-$  sugere em ambas as campanhas, que 100% dos poços, contém águas que possuem fluxo através de rochas cristalinas ou vulcânicas.

A razão iônica  $rCl^-/rHCO_3^-$  mostrou que 83% e 80% dos poços no período chuvoso e de estiagem, respectivamente, contém águas com ausência de íon bicarbonato.

Excetuando, talvez, a sugestão de que as águas do aquífero Tucunaré são continentais, tudo indica que as demais conclusões não se aplicam a área de estudo, onde as águas subterrâneas, oriundas, sobretudo, de infiltrações de águas de chuva, são muito diluídas e dificilmente podem ter sofrido influências de trocas iônicas com as rochas regionais, que, aliás, são sedimentares e não

crystalinas. Na verdade, os valores mais altos, inclusive os anômalos dos constituintes iônicos maiores, seguramente resultam de contaminação pela ausência de esgotamento sanitário, que produz desvios muito fortes nos dados coletados. Além desse fato, no aquífero Tucunaré ocorre o fenômeno da ressaca (item 6.2) que eleva os constituintes maiores, principalmente a razão  $rNa^+/rCl^-$ .

**Tabela 6.5** – Resultado das razões iônicas para as amostras coletadas no aquífero Tucunaré nas duas campanhas.

Poço	Razões Iônicas - Período chuvoso			Razões Iônicas - Período seco		
	$\frac{rMg^{2+}}{rCa^{2+}}$	$\frac{rNa^+}{rCl^-}$	$\frac{rCl^-}{rHCO_3^-}$	$\frac{rMg^{2+}}{rCa^{2+}}$	$\frac{rNa^+}{rCl^-}$	$\frac{rCl^-}{rHCO_3^-}$
MPA01	1,89	1,17	-	0,17	0,82	-
MPA02	0,53	1,71	-	1,20	0,99	-
MPA03	1,33	1,39	-	0,64	1,00	-
MPA04	1,16	1,70	-	0,20	1,09	-
MPA05	0,51	1,24	-	0,34	1,29	-
MPA06	0,43	1,37	-	1,48	1,35	-
MPA07	0,36	0,79	-	0,23	1,44	-
MPA08	0,39	1,00	-	0,23	1,59	-
MPA09	0,58	2,08	-	0,93	1,60	-
MPA10	0,55	1,18	-	1,56	1,61	-
MPA11	4,07	2,33	-	0,45	1,62	-
MPA12	5,03	1,17	-	0,56	1,81	-
MPA13	2,04	1,24	-	1,54	2,08	-
MPA14	0,11	1,20	-	0,55	2,10	-
MPA15	0,93	1,21	-	1,63	2,30	-
MPA16	0,18	1,35	-	0,41	2,57	-
MPA17	0,36	1,23	-	0,80	2,59	-
MPA18	0,19	1,75	-	0,68	2,83	-
MPA19	1,50	1,83	-	1,06	3,18	-
MPA20	4,45	2,90	0,40	1,16	1,60	-
MPA21	8,64	1,86	1,42	0,34	0,94	-
MPA22	1,34	3,07	2,47	0,84	3,28	-
MPA23	6,21	1,16	2,53	0,29	1,42	-
MPA24	0,46	1,68	3,12	0,69	2,54	-
MPA25	1,05	1,39	4,04	4,12	2,78	-
MPA26	2,07	1,52	-	0,35	1,59	0,18

**Tabela 6.5** – Resultado das razões iônicas para as amostras coletadas no aquífero Tucunaré nas duas campanhas (Continuação).

Poço	Razões Iônicas - Período chuvoso			Razões Iônicas - Período seco		
	$\frac{rMg^{2+}}{rCa^{2+}}$	$\frac{rNa^+}{rCl^-}$	$\frac{rCl^-}{rHCO_3^-}$	$\frac{rMg^{2+}}{rCa^{2+}}$	$\frac{rNa^+}{rCl^-}$	$\frac{rCl^-}{rHCO_3^-}$
MPA27	0,81	1,57	-	3,07	1,49	0,29
MPA28	0,49	1,22	-	0,12	0,83	0,50
MPA29	1,16	2,63	-	0,51	2,18	0,63
MPA30	1,27	0,83	-	0,35	1,56	2,55

Legenda:

Os valores simbolizados com (-) são indefinidos (divisão por zero), pois se referem a ausência de bicarbonato, na razão iônica cloreto/bicarbonato.

### 6.6 - Índice de Langelier

Com base na metodologia de Snoeyink & Jenkins (1980), descrita no **item 1.10**, foi possível estimar o índice de saturação (IS) para as águas do aquífero Tucunaré nas duas campanhas de amostragem, no intuito de verificar se a água está ou não em equilíbrio com a calcita e classificá-la de acordo com a tendência de IS, apresentada na **tabela 1.6**.

Os valores de IS calculados com base nas amostras de água subterrânea coletadas no aquífero Tucunaré, no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012), podem ser observados na **tabela 6.6**. Todas as amostras, em ambas as coletas, apresentaram resultados de IS negativos, o que sugere que as águas não possuem características incrustantes.

Os resultados mostram que no período chuvoso o IS variou de -6,25 a -0,92 e no período seco de -4,95 a -3,01, indicando águas subsaturadas em relação à calcita e com tendência a dissolver  $CaCO_{3(s)}$ . Isto ocorre porque as águas do aquífero Tucunaré são ácidas, variando de 5,3 no período chuvoso a 5,1 no período de estiagem, o que tende a dissolver a calcita, caso ela esteja presente.

**Tabela 6.6** – Resultado do Índice de Saturação (IS) para as amostras coletadas no aquífero Tucunaré nas duas campanhas.

Poço	IS (Abril de 2012)	IS (Outubro de 2012)
MPA01	-2,17	-4,50
MPA02	-4,11	-4,60
MPA03	-3,59	-3,82
MPA04	-3,76	-4,87
MPA05	-3,42	-4,78
MPA06	-3,13	-3,74

**Tabela 6.6** – Resultado do Índice de Saturação (IS) para as amostras coletadas no aquífero Tucunaré nas duas campanhas (Continuação).

Poço	IS (Abril de 2012)	IS (Outubro de 2012)
MPA07	-0,92	-4,58
MPA08	-3,87	-4,12
MPA09	-3,98	-3,79
MPA10	-3,48	-4,31
MPA11	-4,81	-4,63
MPA12	-4,15	-3,01
MPA13	-1,42	-3,81
MPA14	-3,95	-4,48
MPA15	-2,82	-4,58
MPA16	-1,48	-3,86
MPA17	-3,10	-4,25
MPA18	-2,95	-4,52
MPA19	-3,73	-4,32
MPA20	-3,78	-4,36
MPA21	-3,21	-4,95
MPA22	-2,76	-4,63
MPA23	-4,05	-4,25
MPA24	-3,76	-4,27
MPA25	-5,83	-4,35
MPA26	-6,25	-3,67
MPA27	-5,84	-4,10
MPA28	-4,78	-4,14
MPA29	-5,33	-3,78
MPA30	-5,04	-4,15

### 6.7 - Correlação entre Variáveis Hidrogeoquímicas

Alguns parâmetros físico-químicos analisados nas duas campanhas de amostragem foram submetidos a avaliações de correlação conforme metodologia descrita no **item 1.11**, a qual aplica o Teste t aos níveis de 5 e 1% de significância e fornece o coeficiente de correlação ( $\rho$ ).

#### **Período Chuvoso**

De acordo com os resultados obtidos o panorama das correlações no período chuvoso (abril de 2012), conforme **tabela 6.7**, é o seguinte:

- A grande maioria das correlações (97/136) ou (71%) não são significativas e além disso são muito fracas (70/136) e fracas (27/136);
- Ao nível de 5% de significância existem (11/136) correlações, das quais (7/136) são fracas e (4/136) moderadas;
- Ao nível de 1% de significância existem apenas (28/136) correlações, sendo 13 moderadas, 12 fortes e 3 muito fortes.



**Tabela 6.7** – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Tucunaré – abril de 2012.

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação ( $\rho$ )	Significância
Na	K	0,7117	**
Na	Ca	0,3276	ns
Na	Mg	0,2416	ns
Na	Cl	0,9517	**
Na	SO <sub>4</sub>	0,3372	ns
Na	CE	0,8566	**
Na	STD	0,8572	**
Na	pH	-0,3556	ns
Na	Eh	-0,0044	ns
Na	Alcalinidade	0,0167	ns
Na	NO <sub>2</sub>	0,2227	ns
Na	NO <sub>3</sub>	0,7982	**
Na	NH <sub>3</sub>	0,4733	**
Na	Fe	-0,1207	ns
Na	CO <sub>3</sub>	-0,2226	ns
Na	HCO <sub>3</sub>	0,0666	ns
K	Ca	0,6954	**
K	Mg	0,4757	**
K	Cl	0,7001	**
K	SO <sub>4</sub>	0,5463	**
K	CE	0,6908	**
K	STD	0,7934	**
K	pH	0,0327	ns
K	Eh	-0,1932	ns
K	Alcalinidade	-0,0967	ns
K	NO <sub>2</sub>	0,1354	ns
K	NO <sub>3</sub>	0,6644	**
K	NH <sub>3</sub>	0,3531	ns
K	Fe	0,0262	ns
K	CO <sub>3</sub>	-0,1325	ns
K	HCO <sub>3</sub>	-0,1379	ns
Ca	Mg	0,5185	**
Ca	Cl	0,3697	*
Ca	SO <sub>4</sub>	0,4137	*
Ca	CE	0,4636	*
Ca	STD	0,5367	**

**Tabela 6.7** – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Tucunaré – abril de 2012 (Continuação).

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação ( $\rho$ )	Significância
Ca	pH	0,2627	ns
Ca	Eh	-0,292	ns
Ca	Alcalinidade	-0,1788	ns
Ca	NO <sub>2</sub>	0,1321	ns
Ca	NO <sub>3</sub>	0,469	**
Ca	NH <sub>3</sub>	0,3762	*
Ca	Fe	-0,033	ns
Ca	CO <sub>3</sub>	-0,1306	ns
Ca	HCO <sub>3</sub>	-0,2216	ns
Mg	Cl	0,2389	ns
Mg	SO <sub>4</sub>	0,2739	ns
Mg	CE	0,5747	**
Mg	STD	0,5393	**
Mg	pH	-0,13	ns
Mg	Eh	0,0944	ns
Mg	Alcalinidade	-0,2441	ns
Mg	NO <sub>2</sub>	0,1925	ns
Mg	NO <sub>3</sub>	0,5122	**
Mg	NH <sub>3</sub>	0,1184	ns
Mg	Fe	0,132	ns
Mg	CO <sub>3</sub>	-0,1935	ns
Mg	HCO <sub>3</sub>	-0,1542	ns
Cl	SO <sub>4</sub>	0,3562	ns
Cl	CE	0,8393	**
Cl	STD	0,832	**
Cl	pH	-0,3937	*
Cl	Eh	0,0304	ns
Cl	Alcalinidade	-0,0421	ns
Cl	NO <sub>2</sub>	0,2286	ns
Cl	NO <sub>3</sub>	0,7554	**
Cl	NH <sub>3</sub>	0,6113	**
Cl	Fe	-0,0694	ns
Cl	CO <sub>3</sub>	-0,2286	ns
Cl	HCO <sub>3</sub>	-0,033	ns
SO <sub>4</sub>	CE	0,3159	ns
SO <sub>4</sub>	STD	0,3906	*
SO <sub>4</sub>	pH	-0,0051	ns

**Tabela 6.7 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Tucunaré – abril de 2012 (Continuação).**

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação ( $\rho$ )	Significância
SO <sub>4</sub>	Eh	0,0273	ns
SO <sub>4</sub>	Alcalinidade	-0,1398	ns
SO <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	0,0987	ns
SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	0,2451	ns
SO <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>	-0,0353	ns
SO <sub>4</sub>	Fe	-0,1047	ns
SO <sub>4</sub>	CO <sub>3</sub>	-0,1034	ns
SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	-0,1674	ns
CE	STD	0,9614	**
CE	pH	-0,3914	*
CE	Eh	0,0751	ns
CE	Alcalinidade	-0,1162	ns
CE	NO <sub>2</sub>	0,2544	ns
CE	NO <sub>3</sub>	0,8483	**
CE	NH <sub>3</sub>	0,4498	*
CE	Fe	-0,08	ns
CE	CO <sub>3</sub>	-0,2544	ns
CE	HCO <sub>3</sub>	-0,0641	ns
STD	pH	-0,2151	ns
STD	Eh	-0,0087	ns
STD	Alcalinidade	-0,0161	ns
STD	NO <sub>2</sub>	0,2416	ns
STD	NO <sub>3</sub>	0,8581	**
STD	NH <sub>3</sub>	0,3894	*
STD	Fe	-0,0838	ns
STD	CO <sub>3</sub>	-0,2416	ns
STD	HCO <sub>3</sub>	-0,0132	ns
pH	Eh	-0,3825	*
pH	Alcalinidade	0,0896	ns
pH	NO <sub>2</sub>	-0,178	ns
pH	NO <sub>3</sub>	-0,1786	ns
pH	NH <sub>3</sub>	-0,2694	ns
pH	Fe	-0,2699	ns
pH	CO <sub>3</sub>	0,1766	ns
pH	HCO <sub>3</sub>	0,015	ns
Eh	Alcalinidade	-0,2232	ns

**Tabela 6.7 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Tucunaré – abril de 2012 (Continuação).**

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação ( $\rho$ )	Significância
Eh	NO <sub>2</sub>	0,107	ns
Eh	NO <sub>3</sub>	-0,0711	ns
Eh	NH <sub>3</sub>	-0,1134	ns
Eh	Fe	0,1405	ns
Eh	CO <sub>3</sub>	-0,107	ns
Eh	HCO <sub>3</sub>	-0,1147	ns
Alcalinidade	NO <sub>2</sub>	-0,1091	ns
Alcalinidade	NO <sub>3</sub>	-0,0336	ns
Alcalinidade	NH <sub>3</sub>	-0,1369	ns
Alcalinidade	Fe	0,1252	ns
Alcalinidade	CO <sub>3</sub>	0,1076	ns
Alcalinidade	HCO <sub>3</sub>	0,8806	**
NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	0,1803	ns
NO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	0,132	ns
NO <sub>2</sub>	Fe	0,0845	ns
NO <sub>2</sub>	CO <sub>3</sub>	-0,9999	**
NO <sub>2</sub>	HCO <sub>3</sub>	0,0775	ns
NO <sub>3</sub>	NH <sub>3</sub>	0,4553	*
NO <sub>3</sub>	Fe	-0,0998	ns
NO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	-0,1809	ns
NO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	-0,0093	ns
NH <sub>3</sub>	Fe	0,2161	ns
NH <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	-0,1281	ns
NH <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	-0,1735	ns
Fe	CO <sub>3</sub>	-0,0825	ns
Fe	HCO <sub>3</sub>	0,0755	ns
CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	-0,0776	ns

Legenda:

\*\* = significativo ao nível de 1% de significância ( $p < 0,01$ )

\* = significativo ao nível de 5% de significância ( $0,01 \leq p < 0,05$ )

ns = não significativo ( $p \geq 0,05$ )

### **Período de Estiagem**

Segundo os dados coletados no período seco (outubro de 2012), observa-se, como demonstra a **tabela 6.8**, que:

- Assim como na primeira campanha, também na segunda a maioria das correlações (95/136) ou nada menos que 70%, não são significativas e se enquadram como muito fracas (73) e fracas (22);

- Ao nível de 5% de significância existem (10/136) correlações, sendo 3 fracas, e 7 moderadas;
- Ao nível de 1% de significância, existem (31/136) correlações, das quais (10/136) são moderadas, (15/136) fortes e (6/136) muito fortes.

**Tabela 6.8 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Tucunaré – outubro de 2012.**

Correlação - Outubro de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação ( $\rho$ )	Significância
Na	K	0,6837	**
Na	Ca	0,3435	ns
Na	Mg	0,7388	**
Na	Cl	0,9189	**
Na	SO <sub>4</sub>	0,2539	ns
Na	CE	0,8789	**
Na	STD	0,8629	**
Na	pH	-0,0551	ns
Na	Eh	0,1798	ns
Na	Alcalinidade	-0,0298	ns
Na	NO <sub>2</sub>	0,0552	ns
Na	NO <sub>3</sub>	0,9714	**
Na	NH <sub>3</sub>	0,4117	*
Na	Fe	0,0648	ns
Na	CO <sub>3</sub>	0,2333	ns
Na	HCO <sub>3</sub>	-0,0865	ns
K	Ca	0,6395	**
K	Mg	0,8474	**
K	Cl	0,84	**
K	SO <sub>4</sub>	0,3291	ns
K	CE	0,7717	**
K	STD	0,7735	**
K	pH	-0,258	ns
K	Eh	0,282	ns
K	Alcalinidade	0,278	ns
K	NO <sub>2</sub>	0,1568	ns
K	NO <sub>3</sub>	0,7025	**

**Tabela 6.8** – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Tucunaré – outubro de 2012 (Continuação).

Correlação - Outubro de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação ( $\rho$ )	Significância
K	NH <sub>3</sub>	0,6829	**
K	Fe	0,0541	ns
K	CO <sub>3</sub>	0,2602	ns
K	HCO <sub>3</sub>	0,2182	ns
Ca	Mg	0,5013	**
Ca	Cl	0,463	*
Ca	SO <sub>4</sub>	-0,0294	ns
Ca	CE	0,3957	*
Ca	STD	0,4488	*
Ca	pH	-0,0691	ns
Ca	Eh	0,0026	ns
Ca	Alcalinidade	0,1007	ns
Ca	NO <sub>2</sub>	-0,0911	ns
Ca	NO <sub>3</sub>	0,4099	*
Ca	NH <sub>3</sub>	0,192	ns
Ca	Fe	0,2195	ns
Ca	CO <sub>3</sub>	0	ns
Ca	HCO <sub>3</sub>	0,1108	ns
Mg	Cl	0,8329	**
Mg	SO <sub>4</sub>	0,43	*
Mg	CE	0,8434	**
Mg	STD	0,8401	**
Mg	pH	-0,156	ns
Mg	Eh	0,1943	ns
Mg	Alcalinidade	-0,0456	ns
Mg	NO <sub>2</sub>	0,1064	ns
Mg	NO <sub>3</sub>	0,7844	**
Mg	NH <sub>3</sub>	0,4941	**
Mg	Fe	0,1185	ns
Mg	CO <sub>3</sub>	0,3182	ns
Mg	HCO <sub>3</sub>	-0,068	ns
Cl	SO <sub>4</sub>	0,1853	ns
Cl	CE	0,9002	**
Cl	STD	0,8889	**
Cl	pH	-0,1266	ns

**Tabela 6.8 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Tucunaré – outubro de 2012 (Continuação).**

Correlação - Outubro de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação ( $\rho$ )	Significância
Cl	Eh	0,1698	ns
Cl	Alcalinidade	0,0381	ns
Cl	NO <sub>2</sub>	0,1632	ns
Cl	NO <sub>3</sub>	0,9163	**
Cl	NH <sub>3</sub>	0,5746	**
Cl	Fe	0,0912	ns
Cl	CO <sub>3</sub>	0,3239	ns
Cl	HCO <sub>3</sub>	-0,0227	ns
SO <sub>4</sub>	CE	0,2755	ns
SO <sub>4</sub>	STD	0,2679	ns
SO <sub>4</sub>	pH	0,0037	ns
SO <sub>4</sub>	Eh	0,2686	ns
SO <sub>4</sub>	Alcalinidade	0,2076	ns
SO <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	-0,0978	ns
SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	0,2139	ns
SO <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>	0,2036	ns
SO <sub>4</sub>	Fe	-0,0459	ns
SO <sub>4</sub>	CO <sub>3</sub>	-0,0973	ns
SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	0,1751	ns
CE	STD	0,9722	**
CE	pH	-0,0718	ns
CE	Eh	0,1368	ns
CE	Alcalinidade	0,0383	ns
CE	NO <sub>2</sub>	0,0974	ns
CE	NO <sub>3</sub>	0,8965	**
CE	NH <sub>3</sub>	0,5407	**
CE	Fe	0,1883	ns
CE	CO <sub>3</sub>	0,2005	ns
CE	HCO <sub>3</sub>	0,0078	ns
STD	pH	-0,0667	ns
STD	Eh	0,1332	ns
STD	Alcalinidade	-0,0087	ns
STD	NO <sub>2</sub>	0,1488	ns
STD	NO <sub>3</sub>	0,8784	**
STD	NH <sub>3</sub>	0,4704	**

**Tabela 6.8 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Tucunaré – outubro de 2012 (Continuação).**

Correlação - Outubro de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação ( $\rho$ )	Significância
STD	Fe	0,1613	ns
STD	CO <sub>3</sub>	0,1055	ns
STD	HCO <sub>3</sub>	-0,034	ns
pH	Eh	-0,6562	**
pH	Alcalinidade	-0,0517	ns
pH	NO <sub>2</sub>	-0,2851	ns
pH	NO <sub>3</sub>	-0,0834	ns
pH	NH <sub>3</sub>	-0,2487	ns
pH	Fe	0,1042	ns
pH	CO <sub>3</sub>	-0,1111	ns
pH	HCO <sub>3</sub>	0,0816	ns
Eh	Alcalinidade	0,0747	ns
Eh	NO <sub>2</sub>	0,0944	ns
Eh	NO <sub>3</sub>	0,157	ns
Eh	NH <sub>3</sub>	0,2092	ns
Eh	Fe	-0,5401	**
Eh	CO <sub>3</sub>	0,0909	ns
Eh	HCO <sub>3</sub>	-0,041	ns
Alcalinidade	NO <sub>2</sub>	-0,0732	ns
Alcalinidade	NO <sub>3</sub>	-0,0813	ns
Alcalinidade	NH <sub>3</sub>	0,4195	*
Alcalinidade	Fe	0,0626	ns
Alcalinidade	CO <sub>3</sub>	-0,0773	ns
Alcalinidade	HCO <sub>3</sub>	0,9141	**
NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	0,0367	ns
NO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	0,1835	ns
NO <sub>2</sub>	Fe	-0,0906	ns
NO <sub>2</sub>	CO <sub>3</sub>	0	ns
NO <sub>2</sub>	HCO <sub>3</sub>	-0,078	ns
NO <sub>3</sub>	NH <sub>3</sub>	0,387	*
NO <sub>3</sub>	Fe	0,1321	ns
NO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	0,1667	ns
NO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	-0,1338	ns



**Tabela 6.8** – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Tucunaré – outubro de 2012 (Continuação).

Correlação - Outubro de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação ( $\rho$ )	Significância
NH <sub>3</sub>	Fe	-0,0842	ns
NH <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	0,4332	*
NH <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	0,3622	*
Fe	CO <sub>3</sub>	-0,0952	ns
Fe	HCO <sub>3</sub>	0,036	ns
CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	-0,0763	ns

Legenda:

\*\* = significativo ao nível de 1% de significância ( $p < 0,01$ )

\* = significativo ao nível de 5% de significância ( $0,01 \leq p < 0,05$ )

ns = não significativo ( $p \geq 0,05$ )

### **Discussão sobre as correlações**

Das 136 correlações apresentadas de parâmetros químicos em cada uma das campanhas, conforme **tabelas 6.7 e 6.8**, verifica-se que em termos médios 70% das mesmas são totalmente destituídas de significância. Correlações muito significativas, também chamadas de altamente significativas quando resultantes de Teste t ao nível de 1%, como é o caso, representam apenas 16% do total, ou seja, (22/136).

As correlações existentes entre Na (sódio), K (potássio), Ca (cálcio), Mg (magnésio), Cl (cloreto), CE (condutividade elétrica) e STD (sólidos totais dissolvidos) indicam influência de intrusão salina pelo fenômeno da ressaca (**item 6.2**), por conta da elevada presença de íons, e também do intemperismo químico, haja vista, que os seus teores foram encontrados em poucas quantidades, o que corrobora com a ideia de que esses elementos foram liberados há anos ao longo da interação água x rocha, e que se apresentam extremamente diluídos devido a elevada precipitação associada a constante renovação das águas na planície amazônica.

Os parâmetros Na (sódio), K (potássio), Cl (cloreto), CE (condutividade elétrica), STD (sólidos totais dissolvidos), NO<sub>3</sub> (nitrito), NH<sub>3</sub> (amônia) e SO<sub>4</sub> (sulfato), apresentaram correlação entre si, o que sugere poluição nas águas subterrâneas oriunda de atividade antrópica, principalmente lançamento de esgoto *in natura*, haja vista que tais constituintes representam uma medida indireta de concentração de poluentes. Além disso, as correlações altamente significativas envolvendo as variáveis, nitrito e amônia se devem principalmente ao contato das águas subterrâneas com as fossas negras, vazamento nas redes coletoras de esgoto e influência de rios próximos à área de captação dos poços. Tal justificativa é plausível na área de estudo, haja vista a ausência de esgotamento sanitário e a falta de proteção sanitária na instalação dos poços.

## 6.8 – Interpretação dos Resultados Analíticos das águas subterrâneas do Aquífero Tucunaré

### 6.8.1 – Cor

A estatística descritiva da cor apresentada na **tabela 6.9** variou no ano de 2012, de 4,9 a 690 uH no período chuvoso, com média de 27,7 e mediana de 4,9 uH. No período seco a variação entre o mínimo e o máximo foi de 4,9 a 6,0 uH, com média de 4,9 e mediana de 4,9 uH.

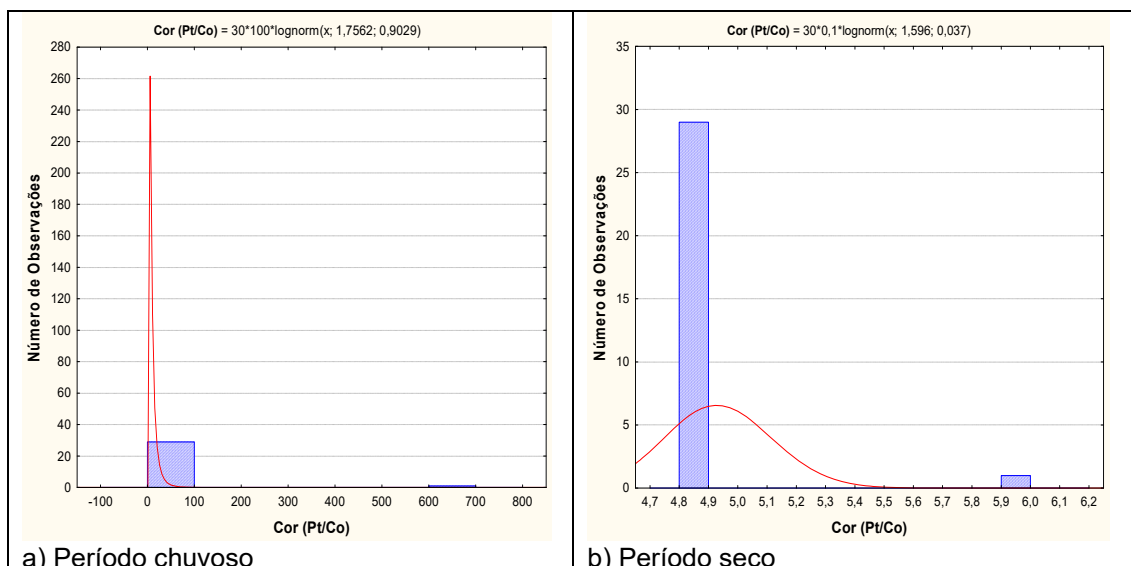
**Tabela 6.9** – Estatística descritiva da Cor do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (Cor-1) - abril de 2012 e no período seco (Cor-2) - outubro de 2012.

Cor	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
Cor-1	30	27,7	-18,9	74,4	4,9	4,9	690,0	125,1	22,8	5,5
Cor-2	30	4,9	4,9	5,0	4,9	4,9	6,0	0,2	0,04	5,5

Os resultados obtidos no aquífero Tucunaré no período chuvoso mostraram em 87% (26/30) das amostras coletadas, valores de cor < 5,0, ou seja, inferiores ao LD (limite de detecção); enquanto que no período de estiagem, 97% (29/30) das amostras apresentaram resultados inferiores a 5.

Dentre os quatro valores quantificáveis na primeira campanha, apenas o poço MPA29 ultrapassou o VMP de potabilidade da Portaria MS 2914/2011, ao passo que na segunda campanha o único valor quantificável ficou dentro dos padrões. Esse valor anômalo de 690 uH obtido no poço MPA29, provavelmente, se deve a contaminação por lançamento de esgoto *in natura*, próximo ao local de instalação do poço, que se encontra em terreno alagado e baldio em uma zona de ressaca, como pode ser observado na **foto 6.1**.

Os histogramas de frequência modelados por uma Função de Distribuição de Probabilidade (fdp) lognormal, tão somente com a finalidade de estimar os valores não amostrados com risco calculado, apresentados na **figura 6.3**, confirmam exatamente o que foi dito sobre a distribuição truncada pelo limite de quantificação, que exhibe respectivamente, 87 e 97% dos valores < 5,0, no período chuvoso e de estiagem, ou seja, inferiores ao LQ.



**Figura 6.3** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Cor do Aquífero Tucunaré, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

O modelo de fdp usado para elaborar os histogramas permite concluir com risco calculado (**tabela 6.10**) que no período de estiagem o parâmetro cor tende a ser maior quando comparado ao período chuvoso. Entende-se que tal resultado não condiz com a realidade, pois a média e o desvio padrão da distribuição estão fortemente influenciados pela presença de valor anômalo de cor igual a 690 uH, quando a quase totalidade dos indivíduos das amostras, em ambas as campanhas, apresentaram valores abaixo do limite de detecção. Portanto, admite-se que o parâmetro cor das águas subterrâneas no aquífero Tucunaré não sofre influência da sazonalidade, haja vista que isso é o comum na maioria das águas subterrâneas.

**Tabela 6.10** – Distribuição de probabilidade da Cor do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (Cor-1) - abril de 2012 e no período seco (Cor-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Cor-1	5,8	2,7	1,8	1,3	0,9	0,7
Cor-2	4,9	3,6	3,1	2,7	2,3	2,1
Razão	1,2	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3



Foto 6.1 – Lançamento de esgoto *in natura*, em frente à residência situada a cerca de 85 m de distância do poço MPA29, no aquífero Tucunaré.

### 6.8.2 – Turbidez

Nas amostras de água do aquífero Tucunaré foram detectados valores de turbidez (uT) em 77% (23/30) das análises do período chuvoso e em apenas 47% (14/30) das análises do período de estiagem. Nas demais amostras os valores ficaram abaixo do LD (limite de detecção), que é igual a 0,1.

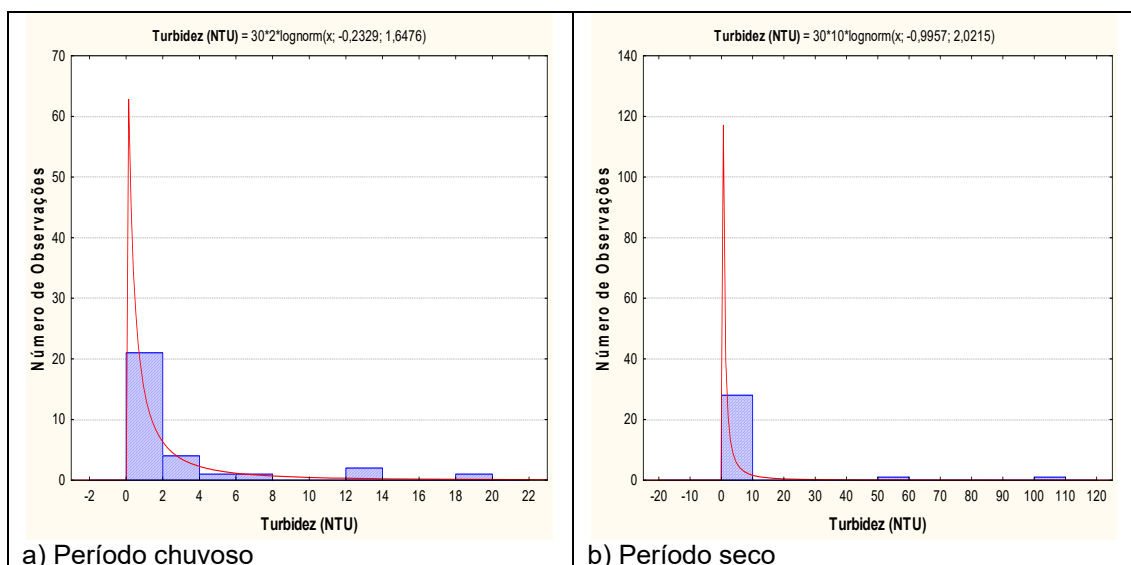
Os valores detectados pela estatística descritiva (**tabela 6.11**) variaram de 0,09 a 19 uT, com mediana de 0,7 no período chuvoso; enquanto que no período seco, se distribuíram entre 0,09 a 106 uT, com mediana de 0,1 uT.

Na primeira campanha 13% (4/30) dos poços apresentaram valores acima do VMP de potabilidade da Portaria MS 2914/2011 (**item 2.2**), ao passo que na segunda campanha, apenas 10% (3/30) dos poços ultrapassam os padrões.

**Tabela 6.11** – Estatística descritiva da Turbidez do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (Tu-1) - abril de 2012 e no período seco (Tu-2) - outubro de 2012.

Tu	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
Tu-1	30	2,7	1,0	4,5	0,71	0,09	19,0	4,7	0,9	2,5
Tu-2	30	6,3	-1,8	14,4	0,09	0,09	106,0	21,6	3,9	4,1

Os histogramas de frequência da turbidez nos dois períodos de amostragem (**figura 6.4**) foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal. Esse modelo de fdp permite concluir com risco calculado (**tabela 6.12**) que os valores de turbidez estimados para o período chuvoso apresentam um ligeiro aumento no período chuvoso, indicando que há alguma influência da sazonalidade, haja vista que a razão entre os valores das campanhas é superior a 1 (um). Isto, provavelmente, se deve ao fato de que no período chuvoso, as águas são mais ricas em sedimentos em suspensão. Aliado a isso, existe o fato de que nesse período ocorre o fenômeno das ressacas (**item 6.2**), o qual provavelmente carrega quantidade considerável de sedimentos que infiltram e entram em contato com as águas subterrâneas.



**Figura 6.4** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Turbidez do Aquífero Tucunaré, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

**Tabela 6.12** – Distribuição de probabilidade da Turbidez do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (Tu-1) - abril de 2012 e no período seco (Tu-2) - outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Tu-1	0,7922	0,1980	0,0959	0,0527	0,0269	0,0171
Tu-2	0,3695	0,0674	0,0277	0,0133	0,0058	0,0034
Razão	2,1	2,9	3,5	3,96	4,6	5,03

As águas subterrâneas normalmente não apresentam problemas em relação a turbidez, porém, em alguns casos, águas ricas em íons Fe podem apresentar uma elevação de sua turbidez quando entram em contato com o oxigênio do ar (Narciso & Gomes, 2004), o que é plausível na área de estudo.

### 6.8.3 – Condutividade Elétrica (CE)

A condutividade elétrica das águas do aquífero Tucunaré, de acordo com a estatística descritiva (**tabela 6.13**), variou no ano de 2012 de 46  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 274  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no período chuvoso, com média de 141,9  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e mediana de 128,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . No período seco a variação entre o mínimo e o máximo foi de 11  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 236  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , com média de 83  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e mediana de 84,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Os valores de condutividade elétrica obtidos no aquífero Tucunaré, em sua maioria, são baixos, haja vista que, 73% e 97% dos poços, respectivamente, na primeira e segunda coletas apresentaram resultados inferiores a 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Isto é reflexo do clima da região amazônica, com alta incidência de chuvas, o que assegura a renovação constante das águas dos aquíferos e dos rios ali presentes.

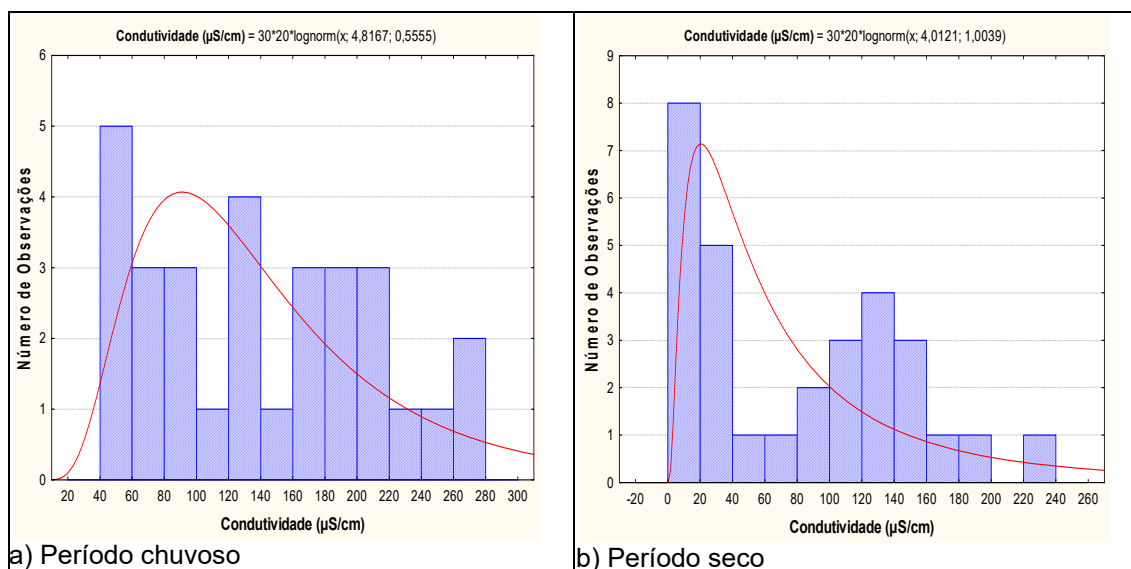
**Tabela 6.13** – Estatística descritiva da Condutividade Elétrica do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (CE-1) - abril de 2012 e no período seco (CE-2) - outubro de 2012.

CE	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
CE-1	30	141,9	115,3	168,4	128,5	46,0	274,0	71,2	13,0	0,3
CE-2	30	83,0	59,1	106,9	84,5	11,0	236,0	64,1	11,7	0,5

Os valores de CE acima de 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  encontrados no período chuvoso em 27% (8/30) das amostras e 3% (1/30) no período seco são coerentes, pois segundo Esteves (1998), a condutividade elétrica depende da composição iônica dos corpos d'água, e pode ser influenciada também pelo volume de chuvas, o que é bastante frequente na região estudada.

De acordo com Celligoi (1999), quanto à condutividade elétrica, as águas subterrâneas podem ser classificadas em água destilada, quando a CE varia de 0,5 a 2  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; água potável, quando a CE varia de 50 a 1.500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; e água poluída, quando a CE é  $> 10.000 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Nesse caso, as águas do aquífero Tucunaré, em ambos os períodos de coleta, podem ser classificadas como potável.

Os histogramas de frequência da condutividade elétrica ilustrados na **figura 6.5** nos dois períodos de amostragem foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal. Esse modelo de fdp permite concluir com risco calculado (**tabela 6.14**) que os valores de CE estimados apresentam alguma influência da sazonalidade, haja vista que os valores no período chuvoso são superiores ao período seco.



**Figura 6.5** – Histogramas de frequência e curvas lognormais de distribuição de probabilidade da Condutividade Elétrica (CE) do Aquífero Tucunaré, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Tais resultados sugerem a influência do fenômeno da ressaca na área de estudo (**item 6.2**), pois no inverno, as águas do rio sob a influência da maré invadem a região, facilitando a intrusão de águas de origem salina, que possuem em sua constituição elevadas quantidades de íons, os quais elevam a condutividade elétrica. Aliado a isso, existe o fato de que no período chuvoso

as águas encontram-se ricas em sólidos dissolvidos, o que também contribui para a elevação da CE.

Outro fator que também pode contribuir para a elevação da condutividade elétrica é a ausência de esgotamento sanitário na área de estudo, haja vista que em ambos os períodos de coleta, foi verificada correlação significativa, entre as variáveis CE, NH<sub>3</sub> e NO<sub>3</sub>, como pode ser observado no **item 6.7**, o que sugere contaminação das águas subterrâneas a partir da infiltração do esgoto *in natura*.

**Tabela 6.14** – Distribuição de probabilidade da Condutividade Elétrica do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (CE-1) - abril de 2012 e no período seco (CE-2) - outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
CE-1	123,6	77,4	60,6	49,6	39,5	33,9
CE-2	55,3	23,7	15,3	10,6	7,0	5,3
Razão	2,2	3,3	4,0	4,7	5,6	6,3

#### 6.8.4 – Temperatura

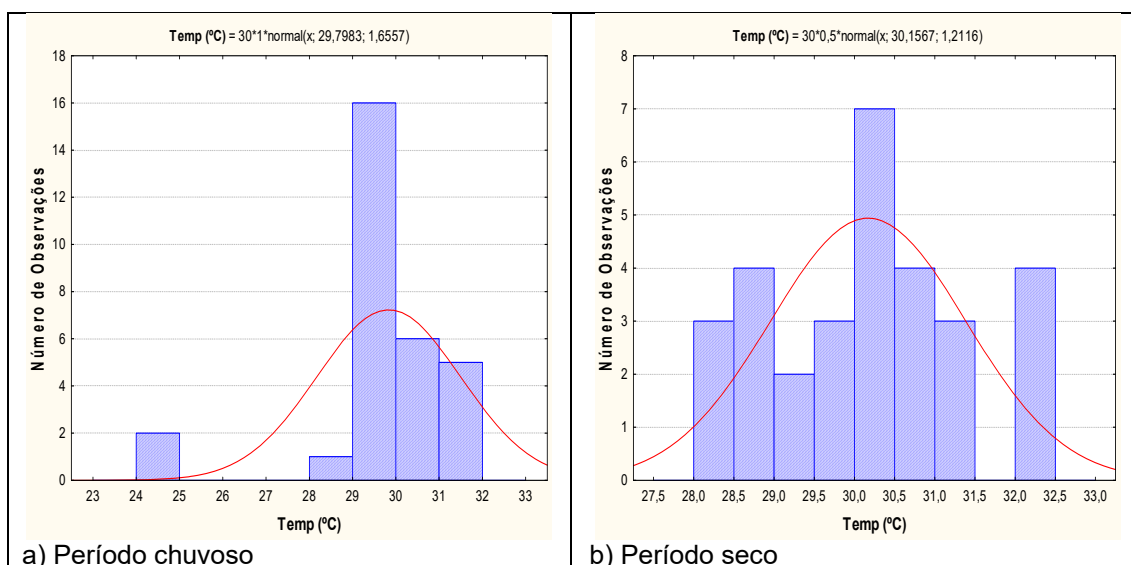
A estatística descritiva da temperatura das águas subterrâneas do aquífero Tucunaré (**tabela 6.15**) indica que no período chuvoso a temperatura das águas coletadas no aquífero variou de 24,4°C a 31,9°C, apresentando uma amplitude térmica de 7,5°C, com média de 29,8°C e mediana de 29,9°C. No período de estiagem as temperaturas foram mais altas, variando de 28,2°C a 32,3°C, porém, com uma amplitude térmica de apenas 4,1°C, apresentando média e mediana igual a 30,2°C. A média e a mediana, tanto no período chuvoso quanto no período seco, assumem valores muito próximos, em torno de 30°C caracterizando uma distribuição normal.

**Tabela 6.15** – Estatística descritiva da Temperatura (°C) do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (T-1) - abril de 2012 e no período seco (T-2) - outubro de 2012.

T	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
T-1	30	29,8	29,2	30,4	29,9	24,4	31,9	1,7	0,3	-2,2
T-2	30	30,2	29,7	30,6	30,2	28,2	32,3	1,2	0,2	0,2

Os histogramas de frequência da temperatura das águas subterrâneas do aquífero Tucunaré, modelados por curvas normais de distribuição de probabilidade na amostragem do período chuvoso (abril de 2012) e do período de estiagem, em outubro de 2012, são mostrados na **figura 6.6**.





**Figura 6.6** – Histogramas de frequência e curvas normais de distribuição de probabilidade da Temperatura (°C) das águas do Aquífero Tucunaré, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Os resultados da **tabela 6.16** permitem concluir que as temperaturas das águas subterrâneas do aquífero Tucunaré são praticamente as mesmas, tanto no período chuvoso quanto no período de estiagem, e não indicam efeito da sazonalidade, haja vista que a razão entre os valores das campanhas é da ordem de 1 (um). A média relativamente alta de 30°C, possivelmente decorre da influência da temperatura ambiente sobre as águas subterrâneas, uma vez que as águas do aquífero Tucunaré são pouco profundas e influenciadas pelas águas superficiais. De fato, medidas de temperatura da água do rio Amazonas em Macapá (Gonçalves, 2009), efetuadas em duas áreas distintas, indicaram na primeira, no período chuvoso, média de 29°C em abril e no período de estiagem, 30°C em novembro; na segunda área, a média foi de 30°C, sendo de 31,9°C em maio (período chuvoso) e de 27,3°C em novembro (período de estiagem).

**Tabela 6.16** – Distribuição de probabilidade da temperatura T(°C) do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (T-1) - abril de 2012 e no período seco (T-2) - outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
T-1	29,8	28,4	27,7	27,1	26,4	25,9
T-2	30,2	29,1	28,6	28,2	27,7	27,3
Razão	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9

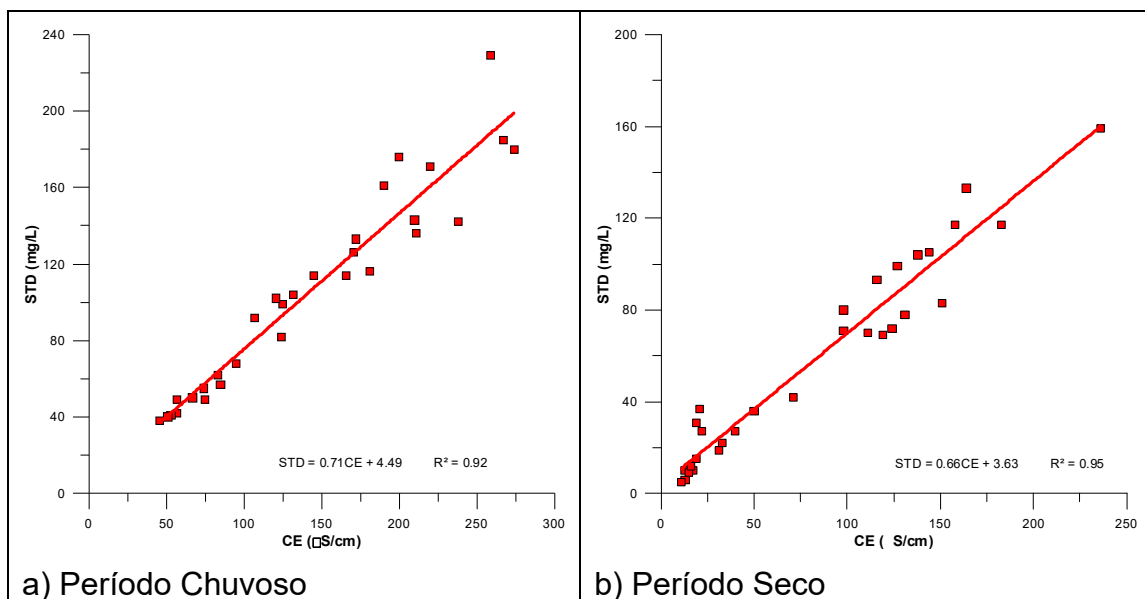
### 6.8.5 – Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

De acordo com Suassuna (2007), na maioria das águas naturais, os sólidos totais dissolvidos (STD) se relacionam com a condutividade elétrica (CE) através de uma equação linear com coeficiente angular situado na faixa de 0,55 a 0,75. No caso do aquífero Tucunaré, os dados desses parâmetros são apresentados na **tabela 6.17**.

**Tabela 6.17** – Valores de condutividade elétrica CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e sólidos totais dissolvidos STD (mg/L) no aquífero Tucunaré nas duas campanhas de amostragem.

Poço	Abril de 2012		Outubro de 2012	
	CE	STD	CE	STD
MPA01	95	68	98	80
MPA02	85	57	131	78
MPA03	57	42	19	15
MPA04	200	176	127	99
MPA05	46	38	151	83
MPA06	267	185	236	159
MPA07	210	143	116	93
MPA08	132	104	21	37
MPA09	125	99	13	6
MPA10	121	102	144	105
MPA11	57	49	164	133
MPA12	75	49	183	117
MPA13	220	171	119	69
MPA14	107	92	11	5
MPA15	190	161	71	42
MPA16	259	229	138	104
MPA17	53	41	19	31
MPA18	145	114	17	10
MPA19	83	62	111	70
MPA20	74	55	98	71
MPA21	172	133	22	27
MPA22	67	50	124	72
MPA23	171	126	31	19
MPA24	51	40	50	36
MPA25	211	136	40	27
MPA26	124	82	13	10
MPA27	238	142	15	9
MPA28	274	180	16	12
MPA29	166	114	33	22
MPA30	181	116	158	117

Na correlação linear estabelecida com os dados da **tabela 6.17** os coeficientes angulares encontrados são, respectivamente, iguais a 0,71 no período chuvoso e 0,66 no período seco, como ilustrado na **figura 6.7**. Isso demonstra que nas águas do aquífero Tucunaré, existe uma forte correlação linear entre STD e CE, conforme revelam os valores dos coeficientes de determinação da regressão ( $R^2$ ), respectivamente iguais a 0,92 no período chuvoso e 0,95 no período de estiagem.



**Figura 6.7** – Relações entre a condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos no aquífero Tucunaré, no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012).

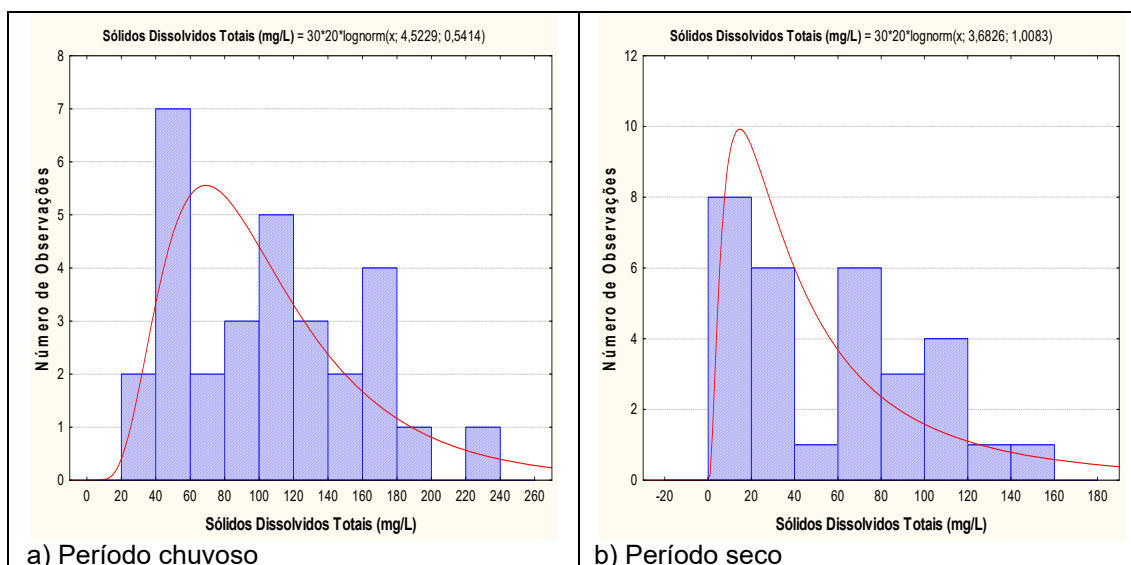
Os teores de STD nas águas subterrâneas do aquífero Tucunaré, segundo a estatística descritiva mostrada na **tabela 6.18**, variam de 38 mg/L a 229 mg/L, no período chuvoso, com média de 105,2 mg/L e mediana de 103 mg/L. No período de estiagem, o mínimo observado foi de 5 mg/L e o máximo de 159 mg/L, com média de 58,6 mg/L e mediana de 55,5 mg/L. Os valores de STD obtidos nas duas campanhas estão abaixo do VMP da Portaria MS 2914/2011, que recomenda o valor de 1.000 mg/L como padrão organoléptico de potabilidade (**item 2.5**). Em ambas as campanhas, todas as amostras apresentaram resultados de STD abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 396/2008, de 1.000.000  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ , indicando que as águas podem ser usadas para consumo humano, em relação a esse parâmetro (**item 2.5**).

**Tabela 6.18** – Estatística descritiva dos teores de STD (mg/L) do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (STD-1) - abril de 2012 e no período seco (STD-2) - outubro de 2012.

STD	N	Média	Confiança 95%	Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria	
STD-1	30	105,2	85,6	124,8	103,0	38,0	229,0	52,5	9,6	0,5
STD-2	30	58,6	42,3	74,9	55,5	5,0	159,0	43,7	8,0	0,5

De modo geral, os valores de STD obtidos nas águas do aquífero Tucunaré são baixos, o que pode ser justificado pela constante renovação das águas associada a elevada precipitação na região, típica da floresta amazônica.

As funções lognormais de distribuição de probabilidade que modelam os histogramas de frequência do STD na primeira e na segunda campanhas de amostragem de água (**figura 6.8**) permitiram avaliar, com risco calculado, que no período chuvoso a concentração de STD é maior do que no período de estiagem (**tabela 6.19**), indicando uma influência da sazonalidade, haja vista que o valor da razão entre as duas campanhas é superior a 1 (um).



**Figura 6.8** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade dos Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero Tucunaré, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Os resultados acima apresentados indicam que na época de estiagem as águas subterrâneas se apresentam mais diluídas e, portanto, com menores valores de STD. Na região onde o aquífero Tucunaré está localizado, há influência de infiltrações de origem fluvial através do rio Amazonas, onde no pico do período de altas águas ocorre o fenômeno ressaca e inunda as "áreas de ressaca" (item 6.2). Essas águas são mais ricas em constituintes sólidos dissolvidos do que as águas meteóricas. Do mês de maio em diante, com o decaimento do nível do rio Amazonas até o período de estiagem (outubro), as infiltrações tendem a se realizar, no trimestre maio-julho, a partir das precipitações, cujas águas são muito mais diluídas do que as águas superficiais.

**Tabela 6.19** – Distribuição de probabilidade dos Sólidos Dissolvidos Totais do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (STD-1) - abril de 2012 e no período seco (STD-2) - outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
STD-1	92,1	58,4	46,0	37,8	30,3	26,1
STD-2	39,7	17,0	10,9	7,6	5,0	3,8
Razão	2,3	3,4	4,2	5,0	6,0	6,9

Além do fenômeno da ressaca que ocorre na região, outro fator que justifica os altos teores de STD encontrados, principalmente no período chuvoso, nas águas do aquífero Tucunaré, são as contaminações do lençol freático, resultantes da ausência de esgotamento sanitário, haja vista que a área de estudo está inserida em local bastante urbanizado. Essa situação é tão flagrante que se encontra constantemente noticiada na imprensa, como por exemplo, se lê na reportagem do Jornal - *O Estado de São Paulo*, em 03/09/2013, que "a cidade de Macapá possui 17% de sua população residente em áreas de ressaca, e apenas 3% da área do município é servida por rede de coleta de esgoto". Ainda segundo a notícia, "a maioria da população utiliza

fossas sanitárias, que em muitos casos são cavadas ao lado de poços d'água, e como cerca de 60% das casas não possuem água encanada, essa realidade do saneamento básico transforma Macapá, capital do Amapá, com 407 mil habitantes, no retrato do descaso. Todos os dias, crianças lotam hospitais com verminoses, dor de barriga e doenças de pele".

#### 6.8.6 – Potencial Hidrogeniônico (pH)

Segundo a Resolução CONAMA 396/2008 e a Portaria MS 2914/11 não há um limite máximo de pH definido para o consumo humano, conforme descrito no **item 2.6**. Contudo, a Portaria MS 2914/11, no art. 39, § 1º, recomenda que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5 para atender aos padrões organolépticos de potabilidade. No caso específico do aquífero Tucunaré para os 30 poços cujas águas foram analisadas quimicamente, o pH é ácido no momento da coleta, mas tão logo sofre aeração no reservatório ou até mesmo dentro do próprio poço, tende a atingir a neutralidade e ao final normalmente se enquadra na faixa prescrita pela Portaria MS 2914/11.

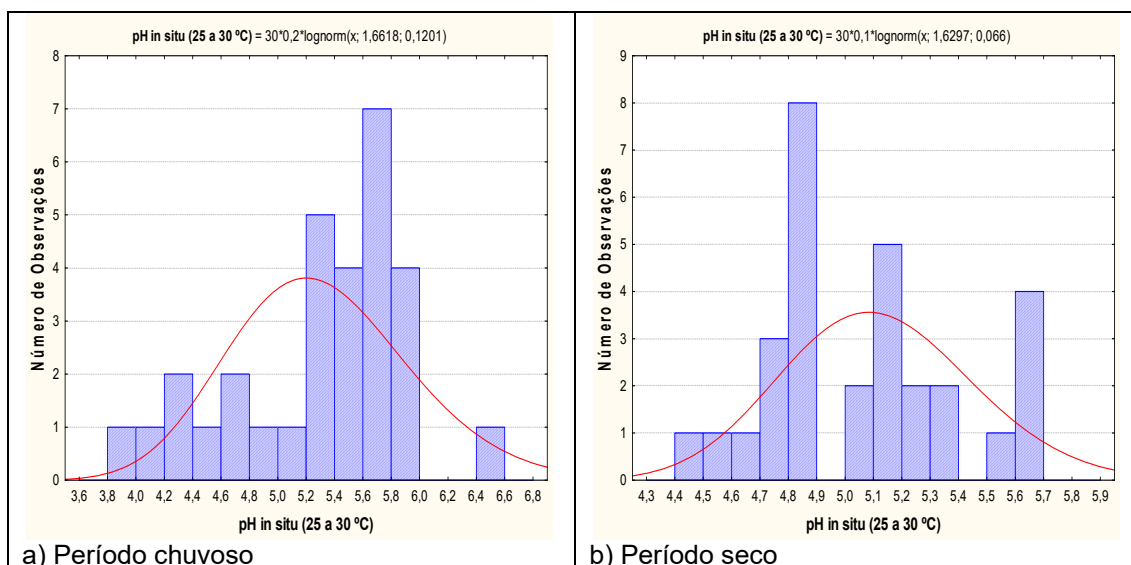
De acordo com a estatística descritiva (**tabela 6.20**), nas águas subterrâneas do aquífero Tucunaré, os valores de pH *in situ* encontrados no período chuvoso ficaram compreendidos entre 4,0 e 6,4, com média de 5,3 e mediana de 5,5. No período seco os valores oscilaram entre um mínimo de 4,5 e máximo de 5,7, com média e mediana igual a 5,1.

**Tabela 6.20** – Estatística descritiva do pH *in situ* no período chuvoso – abril de 2012 (pH-1) e no período seco – outubro de 2012 (pH-2).

pH	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
pH-1	30	5,3	5,1	5,5	5,5	4,0	6,4	0,6	0,1	-0,7
pH-2	30	5,1	5,0	5,2	5,1	4,5	5,7	0,3	0,1	0,4

A **figura 6.9** apresenta os histogramas de frequência e as respectivas curvas ajustadas a lei normal de distribuição de probabilidade para a primeira e segunda campanha de amostragem, realizadas respectivamente em abril e outubro de 2012.

Na **tabela 6.21** são indicados com risco calculado, os valores estimados do pH *in situ* no período chuvoso e no período seco. Os resultados mostram que em ambas as campanhas, as águas se caracterizam essencialmente como ácidas, e que não há influência da sazonalidade, haja vista que a razão dos valores medidos nas coletas são muito próximas ou iguais a 1 (um).



**Figura 6.9** – Histograma de frequência e curvas normais ajustadas de distribuição de probabilidade do pH *in situ* do Aquífero Tucunará, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Os resultados obtidos no aquífero Tucunará se devem a alta pluviosidade da região amazônica, pois a água da chuva é o principal agente do intemperismo químico, que infiltra e percola as rochas. De acordo com Teixeira *et al.* (2000), isso ocorre, pois a água da chuva é rica em O<sub>2</sub>, que interage com o CO<sub>2</sub> da atmosfera e adquire caráter ácido, e em contato com o solo, onde a respiração das plantas pelas raízes e a oxidação da matéria orgânica enriquecem o ambiente em CO<sub>2</sub>, diminuem ainda mais o seu pH.

**Tabela 6.21** – Distribuição de probabilidade do pH *in situ* no período chuvoso – abril de 2012 (pH-1) e no período seco – outubro de 2012 (pH-2).

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
pH-1	5,3	4,8	4,5	4,3	4,1	4,0
pH-2	5,1	4,8	4,7	4,6	4,5	4,4
Razão	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9

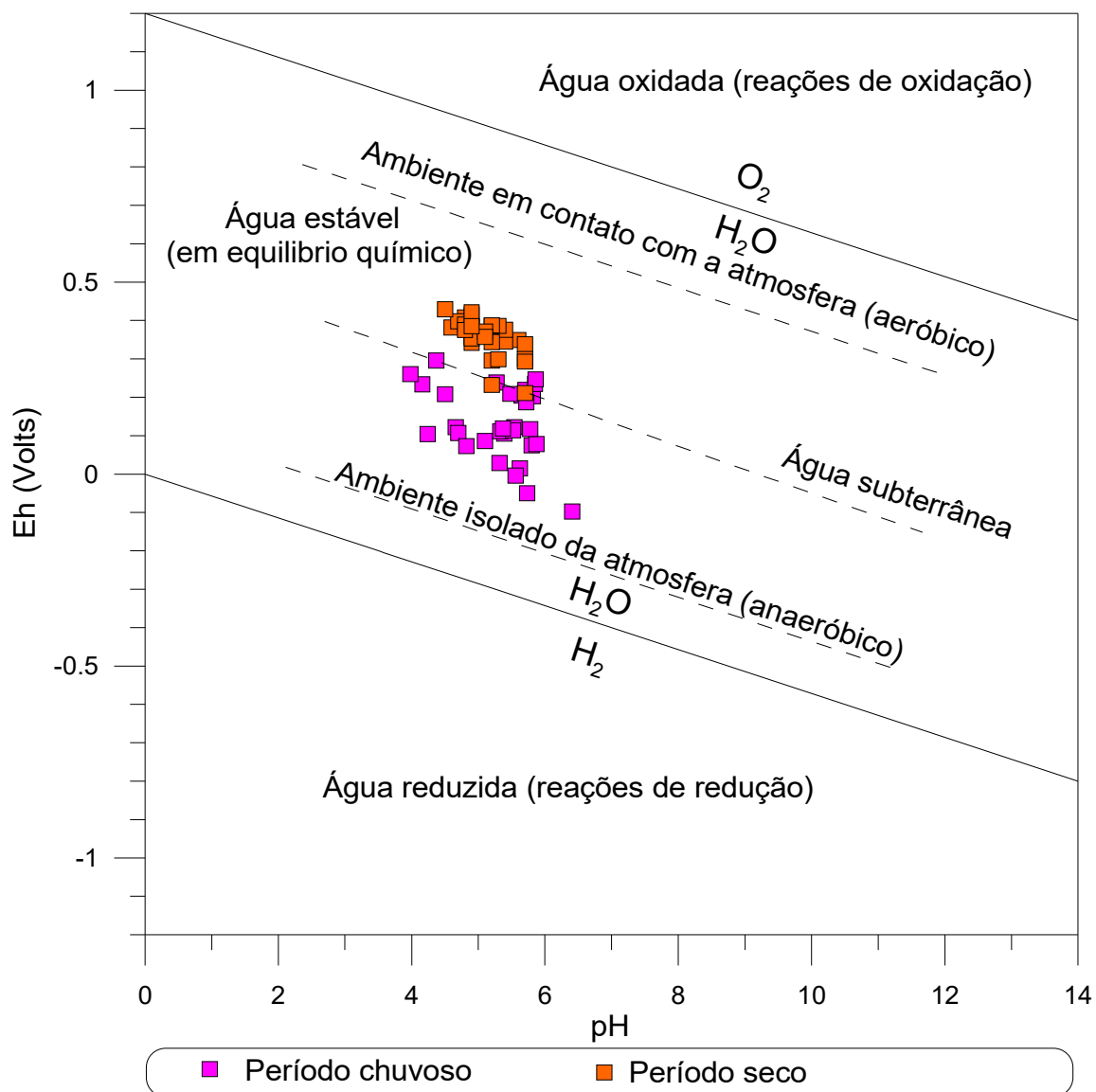
### 6.8.7 – Potencial Redox (Eh)

No aquífero Tucunará, os diagramas pH-Eh elaborados, a partir dos conceitos descritos no **item 2.7**, revelam os ajustes lineares (**figura 6.10**) feitos por meio dos dados medidos em campo, que foram os seguintes:

No período chuvoso:  $Eh = -0,097 \text{ pH} + 0,637$  com  $R^2 = 0,27$

No do período seco:  $Eh = -0,099 \text{ pH} + 0,862$  com  $R^2 = 0,43$

Os baixíssimos coeficientes de determinação desses ajustes mostram que não existe correlação significativa entre pH e Eh de acordo com as medidas efetuadas em campo. Isto pode significar, para fins de modelagem termodinâmica, que a distribuição das espécies químicas não pode ser deduzida da concentração total de elementos via potencial redox medido.



**Figura 6.10** – Diagrama *pH versus Eh* (mV), de amostras de águas subterrâneas dos poços monitorados no aquífero Tucunaré (Temperatura *in situ* variou de 25 a 32°C) nas duas campanhas de amostragem.

A estatística descritiva do Eh no aquífero Tucunaré, expressa na **tabela 6.22**, mostra que no período chuvoso os valores de Eh oscilaram entre -97,4 e 295,4 mV, com média de 132,2 mV e mediana igual a 118,1 mV. No período de estiagem os valores se apresentaram bem mais altos, oscilando entre 211 e 429 mV, com média de 356,3 mV e mediana de 373 mV.

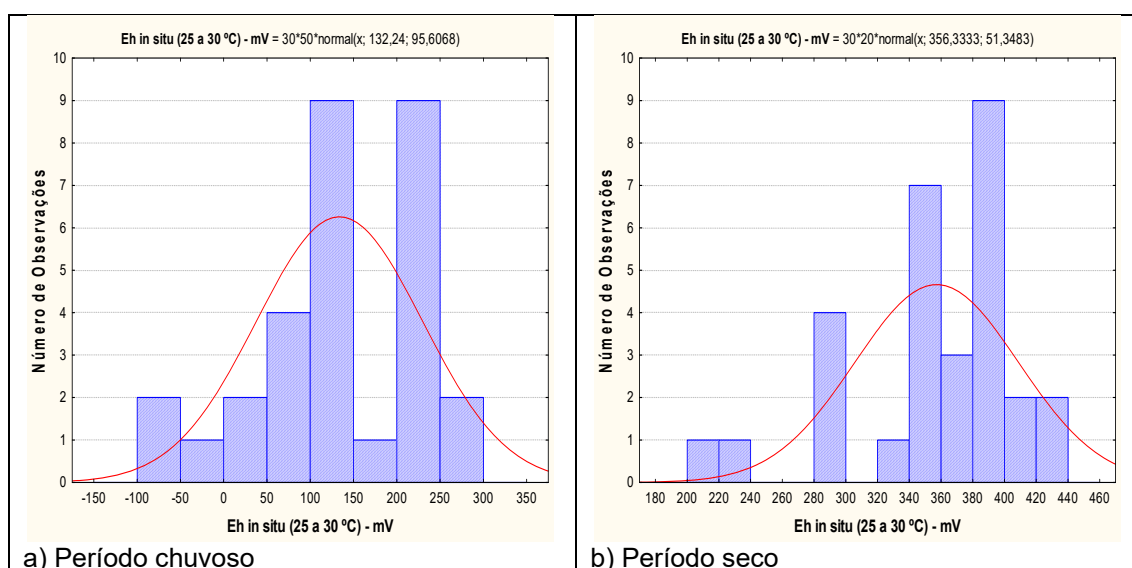
No período chuvoso, 90% (27/30) das amostras apresentaram resultados de Eh positivo, enquanto que no período de estiagem, 100% (30/30) das amostras obtiveram valores de Eh positivos, indicando que as águas do aquífero Tucunaré se encontram em condições oxidantes.

**Tabela 6.22** – Estatística descritiva do Eh no período chuvoso – abril de 2012 (Eh-1) e no período seco – outubro de 2012 (Eh-2).

Eh (mV)	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
Eh-1	30	132,2	96,5	167,9	118,1	-97,4	295,4	95,6	17,5	-0,4
Eh-2	30	356,3	337,2	375,5	373,0	211,0	429,0	51,3	9,4	-1,2

De acordo com Bohn (1970) *in* Lima *et al.* (2005), o potencial redox ou atividade de elétrons influencia o estado de oxidação do hidrogênio, carbono, nitrogênio, oxigênio, enxofre, manganês, ferro, cobalto e cobre no sistema aquoso e representa uma medida quantitativa da tendência de um dado sistema oxidar ou reduzir substâncias ou elementos susceptíveis a esses fenômenos. Valores altos e positivos do potencial indicam uma baixa atividade de elétrons e, portanto, condições oxidantes; enquanto valores baixos e negativos do potencial, condições redutoras. Dessa forma, um sistema natural raramente alcançará o equilíbrio entre oxidação e redução, em razão da contínua adição de doadores de elétrons, isto é, compostos orgânicos oxidáveis, o que acarreta, no caso do aquífero Tucunaré, as diferenças de valores de Eh nas duas campanhas.

Os histogramas de frequência e as respectivas curvas de distribuição de probabilidade do Eh, modelados pela lei normal, são apresentados na **figura 6.11**.



**Figura 6.11** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Eh do Aquífero Tucunaré, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

A estimativa dos valores da razão de Eh revelados pelo modelo estatístico (**tabela 6.23**), embora não apresentem uma tendência para um valor definido, mostram claramente que os valores do período chuvoso são muito menores do que os do período de estiagem, como atestam os valores inferiores a 1.



**Tabela 6.23** – Distribuição de probabilidade do Eh no período chuvoso – abril de 2012 (Eh-1) e no período seco – outubro de 2012 (Eh-2).

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Eh -1	132,2	51,8	9,7	-25,0	-64,1	-90,2
Eh -2	356,3	313,1	290,5	271,9	250,9	236,9
Razão	0,4	0,2	0,03	-0,09	-0,3	-0,4

Os resultados de Eh obtidos no aquífero Tucunaré são coerentes, pois de acordo com Costa & Ávila (2010), na zona não saturada há, geralmente, oxigênio suficiente na fase gasosa para garantir elevados valores de potencial redox (500 a 800 mV) na água. Apesar disso, condições redutoras ou parcialmente redutoras podem ocorrer em pequenos poros (micro-meios). Nos aquíferos perto da superfície as condições de oxidação prevalecem, assim, potenciais redox baixos nestes aquíferos podem indicar contaminação antropogênica. No caso do aquífero Tucunaré, os valores de Eh mais elevados na estiagem são consistentes com a ideia acima apresentada, pois a zona de aeração, que no período chuvoso se encontra quase totalmente saturada por águas de infiltração em movimento, volta a ter espaços vazios preenchidos por oxigênio, o que conseqüentemente eleva o valor de Eh.

## 6.8.8 – Cátions

### 6.8.8.1 – Sódio

A estatística descritiva (**tabela 6.24**) indica que os teores de sódio nas águas do aquífero Tucunaré variam entre 2 e 39,4 mg/L no período chuvoso, com média de 15,7 mg/L e mediana de 13,2 mg/L; no período de estiagem os teores estão compreendidos entre 0,8 e 28,6 mg/L, com média de 10,1 mg/L e mediana igual a 6,1. De acordo com a Portaria MS 2914/2011, todos os valores de sódio encontrados nas duas campanhas, estão abaixo do VMP de 200 mg/L, padrão definido como de potabilidade para humanos, conforme descrito no **item 2.8.1**.

**Tabela 6.24** – Estatística descritiva do Sódio do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (Na-1) - abril de 2012 e no período seco (Na-2) - outubro de 2012.

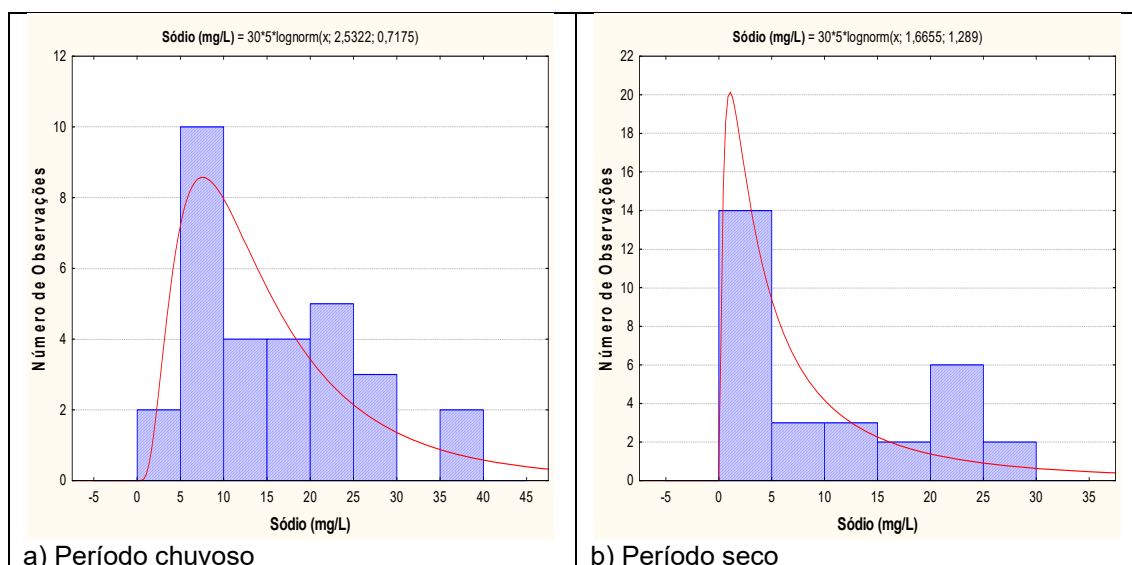
Na	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
Na-1	30	15,7	12,0	19,4	13,2	2,0	39,4	10,0	1,8	0,8
Na-2	30	10,1	6,5	13,7	6,1	0,8	28,6	9,6	1,8	0,6

Em ambas as campanhas, todas as amostras apresentaram resultados abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 396/2008, de 200 e 300 mg/L, indicando que as águas podem ser usadas para consumo humano e recreação, respectivamente.

O modelo de distribuição de probabilidade lognormal ajustado aos histogramas da **figura 6.12** permitiu estimar, com risco calculado, os valores para o período chuvoso e para o período de estiagem.

Os resultados da **tabela 6.25** mostram que os teores de sódio são maiores no período chuvoso, indicando que existe influência da sazonalidade no tocante às concentrações de sódio no aquífero Tucunaré, haja vista que o valor da razão entre as duas campanhas é superior a 1 (um). A justificativa provável é de que

a ocorrência do fenômeno ressaca favorece a intrusão de águas marinhas, através das "áreas de ressaca" na região (item 6.2), que se constituem em planícies aluviais, as quais são periodicamente inundadas pelo rio Amazonas, o que pode resultar em níveis mais elevados de sódio.



**Figura 6.12** – Histogramas de frequência e curvas aproximadas de distribuição de probabilidade lognormal do Sódio do Aquífero Tucunará, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

**Tabela 6.25** – Distribuição de probabilidade do Sódio do Aquífero Tucunará no período chuvoso (Na-1) - abril de 2012 e no período seco (Na-2) - outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Na-1	12,581	6,922	5,065	3,913	2,927	2,412
Na-2	5,288	1,787	1,014	0,635	0,375	0,264
Razão	2,4	3,9	5,0	6,2	7,8	9,1

### 6.8.8.2 – Potássio

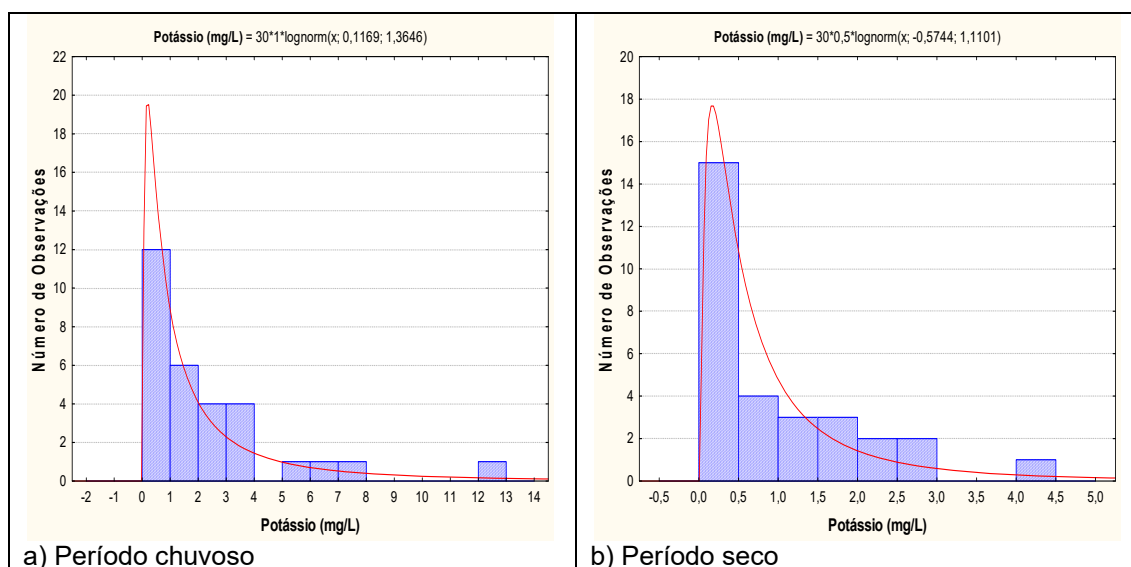
A **tabela 6.26** mostra a estatística descritiva dos teores de potássio no aquífero Tucunará. No período chuvoso as concentrações de potássio medidas nos 30 poços oscilaram entre 0,02 e 12,5 mg/L, com média de 2,3 mg/L e mediana de 1,3 mg/L. No período de estiagem, a variação foi de 0,1 a 4,1 mg/L, com média de 1,0 mg/L e mediana de 0,5 mg/L.

**Tabela 6.26** – Estatística descritiva do Potássio do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (K-1) - abril de 2012 e no período seco (K-2) - outubro de 2012.

K	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
K-1	30	2,3	1,3	3,3	1,3	0,02	12,5	2,8	0,5	2,2
K-2	30	1,0	0,6	1,4	0,5	0,12	4,1	1,0	0,2	1,4

Segundo Pereira *et al.* (2008), o potássio nas águas subterrâneas ocorre em pequena quantidade, normalmente valores de até 10 mg/L, pois é facilmente absorvido pelo solo através dos compostos do húmus, por intermédio de argilas ou de zeólitos naturais. Na área de estudo, os valores mínimo e máximo de potássio encontrados em ambas as campanhas foi de 0,02 e 12,5 mg/L, respectivamente.

A modelagem dos histogramas de frequência da **figura 6.13** por funções de distribuição de probabilidade permitiu avaliar com risco calculado os valores estimados das concentrações de potássio para o período chuvoso e para o período de estiagem.



**Figura 6.13** – Histogramas de frequência e curvas lognormal de distribuição de probabilidade do Potássio do Aquífero Tucunaré, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Os valores apresentados na **tabela 6.27** mostram que os teores de potássio são um pouco maiores no período chuvoso, indicando que existe influência da sazonalidade no tocante às concentrações de potássio no aquífero Tucunaré, proveniente especialmente devido ao fenômeno da ressaca.

De acordo com Celligoi (1999), o potássio tem pouca mobilidade geoquímica nas águas doces e é raramente encontrado em concentrações iguais ou maiores que o sódio. Essa afirmação é plausível na área de estudo, haja vista que as águas do aquífero Tucunaré são predominantemente doces, onde os teores de STD em ambas as campanhas são inferiores a 1.000 mg/L, assim como, todos os teores de potássio estão abaixo dos valores de sódio encontrados.

Os baixos teores de potássio também podem ser justificados pela alta pluviosidade na região amazônica, a qual favorece a constante renovação das águas, e consequentemente a diluição dos elementos ali presentes.

**Tabela 6.27** – Distribuição de probabilidade do Potássio do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (K-1) - abril de 2012 e no período seco (K-2) - outubro de 2012.

P(x>=a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
K-1	1,124	0,356	0,196	0,119	0,068	0,047
K-2	0,563	0,223	0,137	0,092	0,059	0,043
Razão	2,0	1,6	1,4	1,3	1,15	1,09

### 6.8.8.3 – Cálcio

A **tabela 6.28a** mostra a estatística descritiva dos teores de cálcio medidos no aquífero Tucunaré. No período chuvoso os valores medidos estão compreendidos entre 0,03 e 10,6 mg/L, com média de 1,6 mg/L e mediana de 0,9 mg/L. Na estiagem, as concentrações de cálcio variam de 0,1 a 4,9 mg/L, sendo a média igual a 1,0 mg/L e a mediana de 0,7 mg/L. Todavia, o modelo geoestatístico proposto sugere (**tabela 6.29a**) que nessa estatística descritiva existe uma inconsistência dos dados para cálcio, que no período chuvoso apresentam 5/30 valores (17%) inferiores ao valor mínimo medido no período seco, o que não é de esperar em face da sazonalidade. Em virtude desses valores o modelo conduz a um resultado oposto ao esperado.

**Tabela 6.28a** – Estatística descritiva do Cálcio do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (Ca-1) - abril de 2012 e no período seco (Ca-2) - outubro de 2012 (valores inconsistentes para o período chuvoso).

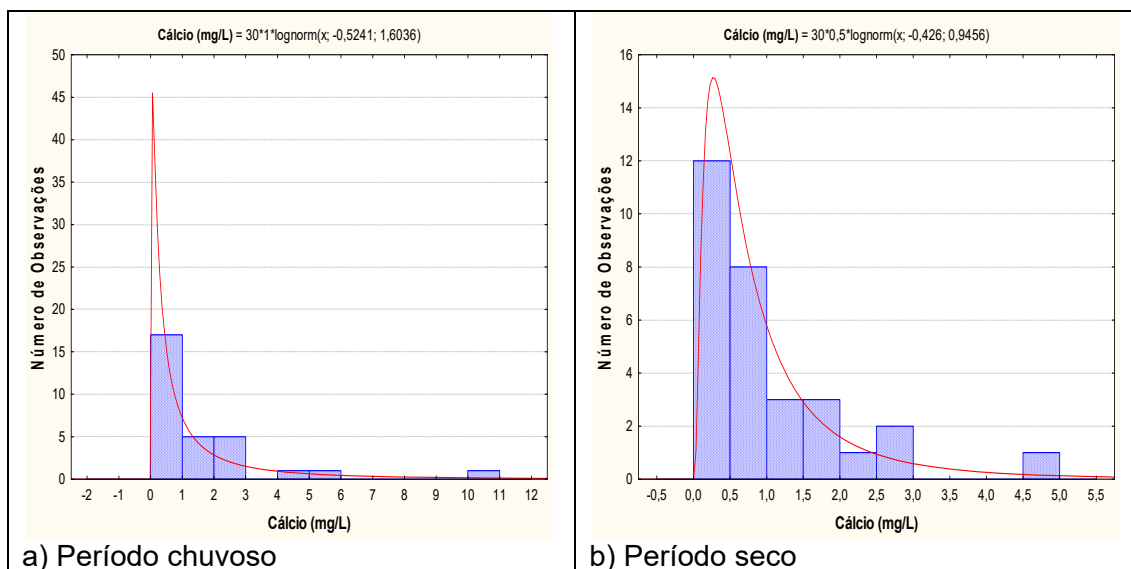
Ca	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
Ca-1	30	1,6	0,7	2,4	0,9	0,03	10,6	2,2	0,4	2,8
Ca-2	30	1,0	0,6	1,4	0,7	0,1	4,9	1,0	0,2	2,2

Tanto isso é plausível que a inversão desses 5 (cinco) valores do período chuvoso para o período de estiagem resulta na estatística descrita na **tabela 6.28b**.

**Tabela 6.28b** – Estatística descritiva do Cálcio do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (Ca-1) - abril de 2012 e no período seco (Ca-2) - outubro de 2012 (valores consistentes para o período chuvoso).

Ca	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
Ca-1	30	1,7	0,9	2,5	1,1	0,10	10,6	2,1	0,4	2,9
Ca-2	30	0,8	0,4	1,2	0,4	0,03	4,9	1,1	0,2	2,4

Os histogramas de frequência modelados pela lei lognormal de distribuição de probabilidade (**figura 6.14a**) com os dados inconsistentes permitiram estimar, com nível de risco calculado, os teores de cálcio para o período chuvoso e para o período de estiagem.



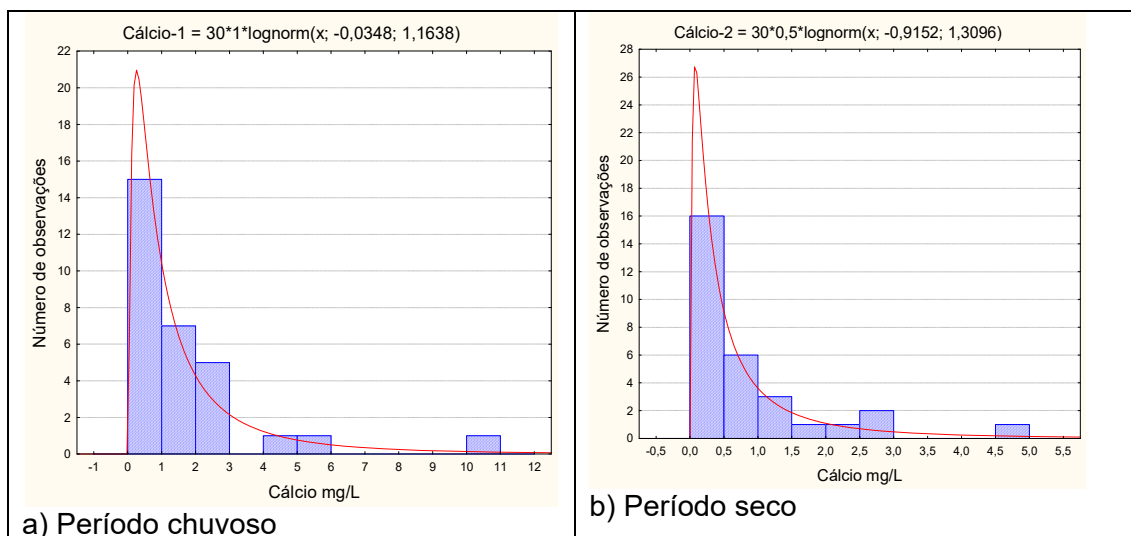
**Figura 6.14a** – Histogramas de frequência e curvas lognormais de distribuição de probabilidade do Cálcio do Aquífero Tucunaré no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012 (histogramas com dados inconsistentes).

Como mostra a **tabela 6.29a**, com os dados inconsistentes o efeito da sazonalidade para o cálcio seria o inverso do esperado, ou seja, haveria mais cálcio no período seco.

**Tabela 6.29a** – Distribuição de probabilidade do Cálcio do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (Ca-1) - abril de 2012 e no período seco (Ca-2) - outubro de 2012, com dados inconsistentes.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Ca-1	0,592	0,154	0,076	0,042	0,022	0,014
Ca-2	0,653	0,295	0,194	0,138	0,094	0,072
Razão	0,9	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2

Já com os histogramas de frequência (**figura 6.14b**) modelados pela lei lognormal de distribuição de probabilidade com os dados consistentes, foi possível obter, com nível de risco calculado, os teores de cálcio para o período chuvoso e para o período de estiagem (**tabela 6.29b**).



**Figura 6.14b** – Histogramas de frequência e curvas lognormais de distribuição de probabilidade do Cálcio do Aquífero Tucunaré no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012 (histogramas com dados consistentes).

Como mostra a **tabela 6.29b**, com os dados consistentes o efeito da sazonalidade para o cálcio é o esperado, ou seja, ocorrência de mais cálcio no período chuvoso.

**Tabela 6.29b** – Distribuição de probabilidade do Cálcio do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (Ca-1) - abril de 2012 e no período seco (Ca-2) - outubro de 2012, com dados consistentes.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Ca-1	0,965	0,362	0,217	0,142	0,088	0,064
Ca-2	0,400	0,133	0,074	0,046	0,027	0,019
Razão	2,4	2,7	2,9	3,1	3,3	3,4

Mediante análise dos resultados físico-químicos é possível verificar que os teores de cálcio no período chuvoso são ligeiramente superiores aos do período seco. A justificativa provável é de que a ocorrência do fenômeno ressaca favorece a intrusão de águas marinhas, através das "áreas de ressaca" na região (**item 6.2**).

#### 6.8.8.4 – Magnésio

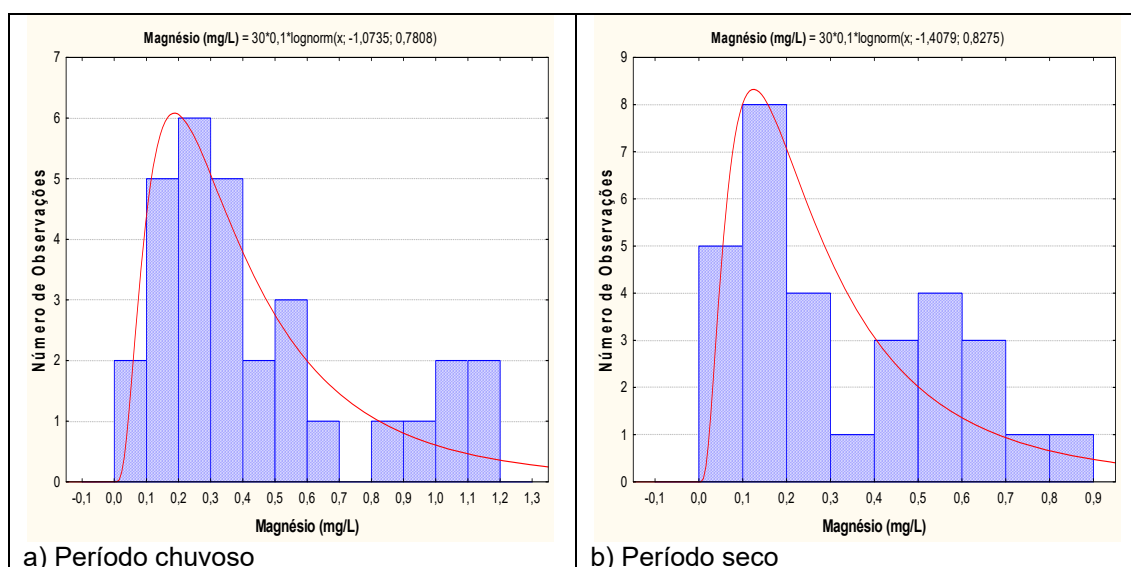
A estatística descritiva na **tabela 6.30** mostra que os teores de magnésio coletados nas águas subterrâneas do aquífero Tucunaré variam de 0,07 a 1,15 mg/L no período chuvoso, com média de 0,5 mg/L e mediana de 0,3 mg/L. No período de estiagem o valor mínimo foi de 0,06 mg/L e o máximo de 0,8 mg/L, com média de 0,3 mg/L e mediana igual a 0,2 mg/L.

**Tabela 6.30** – Estatística descritiva do Magnésio do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (Mg-1) - abril de 2012 e no período seco (Mg-2) - outubro de 2012.

Mg	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
Mg-1	30	0,5	0,3	0,6	0,3	0,07	1,15	0,3	0,1	1,0
Mg-2	30	0,3	0,2	0,4	0,2	0,06	0,8	0,2	0,0	0,6

Em suma, os teores de magnésio encontrados nas águas do aquífero Tucunaré são muito baixos. Segundo Celligoi (1999), o magnésio possui grande solubilidade, porém é encontrado em menores quantidades nas águas doces, mais provavelmente pela sua baixa abundância geoquímica (17.600 mg/kg nas rochas ígneas), o que é plausível na área de estudo, haja vista que as águas são predominantemente doces.

Os histogramas de frequência dos valores amostrados no período chuvoso (abril de 2012) e período de estiagem (outubro de 2012) são apresentados na **figura 6.15**. Modelados por uma lei lognormal de distribuição lognormal de probabilidade, esses histogramas permitem avaliar, com risco calculado, os teores de magnésio nas águas subterrâneas do aquífero Tucunaré, de acordo com a sazonalidade.



**Figura 6.15** – Histogramas de frequência e curvas ajustadas de distribuição lognormal de probabilidade de ocorrência de Magnésio no Aquífero Tucunaré, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Os valores apresentados na **tabela 6.31** mostram que os teores de magnésio (mg/L) no período chuvoso são ligeiramente maiores quando comparados ao período seco, e a razão entre os dois períodos é superior a 1 (um), o que configura alguma influência da sazonalidade. Esse comportamento sugere uma influência marinha, através de recarga fluvial sobre as águas subterrâneas do aquífero Tucunaré, que está inserido em região litorânea, afetada pelo fenômeno da ressaca no período chuvoso de janeiro a maio (**item 6.2**).

**Tabela 6.31** – Distribuição de probabilidade dos teores de Magnésio (mg/L) do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (Mg-1) - abril de 2012 e no período seco (Mg-2) - outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Mg-1	0,342	0,177	0,126	0,095	0,069	0,056
Mg-2	0,245	0,122	0,085	0,063	0,045	0,036
Razão	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6

## 6.8.9 – Ânions

### 6.8.9.1 – Cloreto

A **tabela 6.32** mostra a estatística descritiva dos teores de cloreto nas águas subterrâneas do aquífero Tucunaré. No período chuvoso (abril de 2012), os valores de cloreto variaram de 2,1 a 51,6 mg/L, com média de 17,4 mg/L e mediana igual a 12,4 mg/L. No período de estiagem (outubro de 2012), a variação entre o mínimo e o máximo foi de 0,8 a 23,4 mg/L, com média de 8,2 mg/L e mediana de 3,8 mg/L. Todos os poços amostrados em ambas as campanhas apresentaram resultados de cloreto inferiores ao VMP estabelecido pelo Portaria MS 2914/11 (**item 2.9.1**).

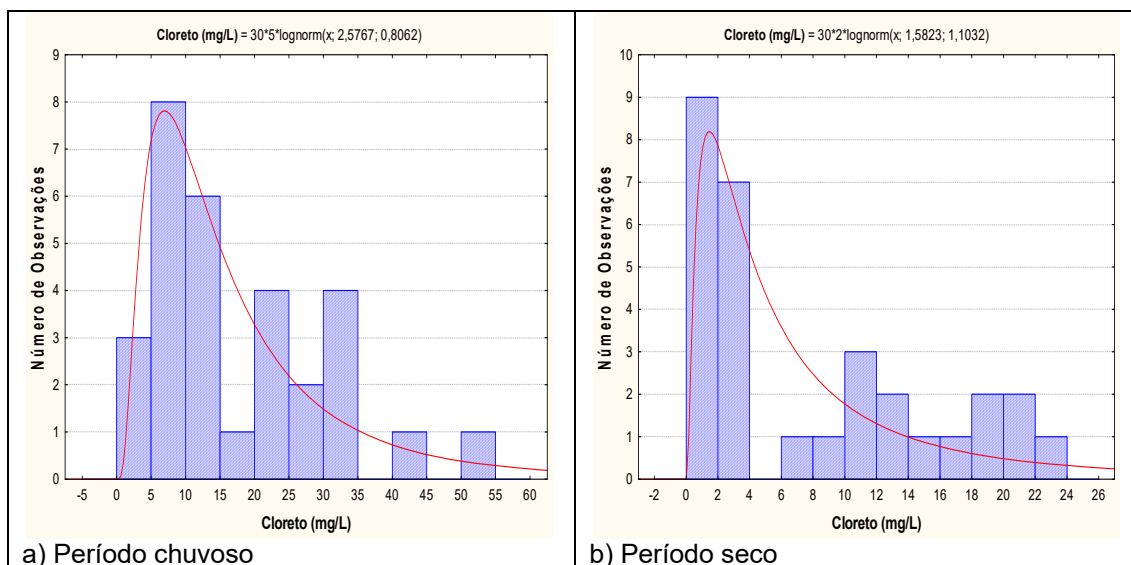
**Tabela 6.32** – Estatística descritiva do Cloreto do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (CI-1) - abril de 2012 e no período seco (CI-2) - outubro de 2012.

CI	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
CI-1	30	17,4	12,7	22,2	12,4	2,1	51,6	12,7	2,3	1,0
CI-2	30	8,2	5,4	11,0	3,8	0,8	23,4	7,5	1,4	0,7

Em ambas as coletas, todas as amostras apresentaram teores de cloreto inferiores aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 396/2008, de 250 mg/L para consumo humano; 100 a 700 mg/L para irrigação; e de 400 mg/L para recreação, indicando que as águas do aquífero Tucunaré podem ser empregadas para tais usos (**item 2.9.1**).

Na **figura 6.16** se encontram os histogramas de frequência dos teores de cloreto amostrados nas duas campanhas e as respectivas curvas fornecidas pelo modelo de distribuição de probabilidade lognormal aplicado para estimativa, com risco calculado, dos teores de cloreto no aquífero Tucunaré, no período chuvoso e de estiagem.





**Figura 6.16** – Histogramas de frequência e curvas lognormais de distribuição de probabilidade do Cloreto do Aquífero Tucunaré, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Na **tabela 6.33** encontram-se os teores de cloreto com probabilidade de ocorrência no período chuvoso e no período seco no aquífero Tucunaré. Nota-se que os valores no período chuvoso são superiores aos do período seco e que a razão entre as duas campanhas é superior a 1 (um), indicando alguma influência da sazonalidade. Isto provavelmente se deve a ocorrência do fenômeno ressaca, onde ocorre uma intrusão de águas fluviais com uma maior presença de cloreto, o qual forma compostos muito estáveis e possui uma tendência de se enriquecer, junto com o sódio, a partir das zonas de recarga das águas subterrâneas.

Além disso, é importante destacar que teores de cloreto mais elevados sugerem influência antrópica, pois segundo Hindi (2001), a presença de nitrato, cloreto e sódio podem ser indicativos de contaminação nas águas subterrâneas por efluentes domésticos. E como a área de estudo é muito plana e periodicamente afetada por inundações, pode ocorrer o transbordamento de fossas sépticas, cujos dejetos se misturam às águas superficiais, de modo que pode haver infiltração de água contaminada, especialmente no período chuvoso.

**Tabela 6.33** – Distribuição de probabilidade do Cloreto do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (CI-1) - abril de 2012 e no período seco (CI-2) - outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
CI-1	13,154	6,674	4,681	3,493	2,512	2,016
CI-2	4,866	1,923	1,184	0,793	0,505	0,374
Razão	2,7	3,5	4,0	4,4	5,0	5,4

### 6.8.9.2 – Sulfato

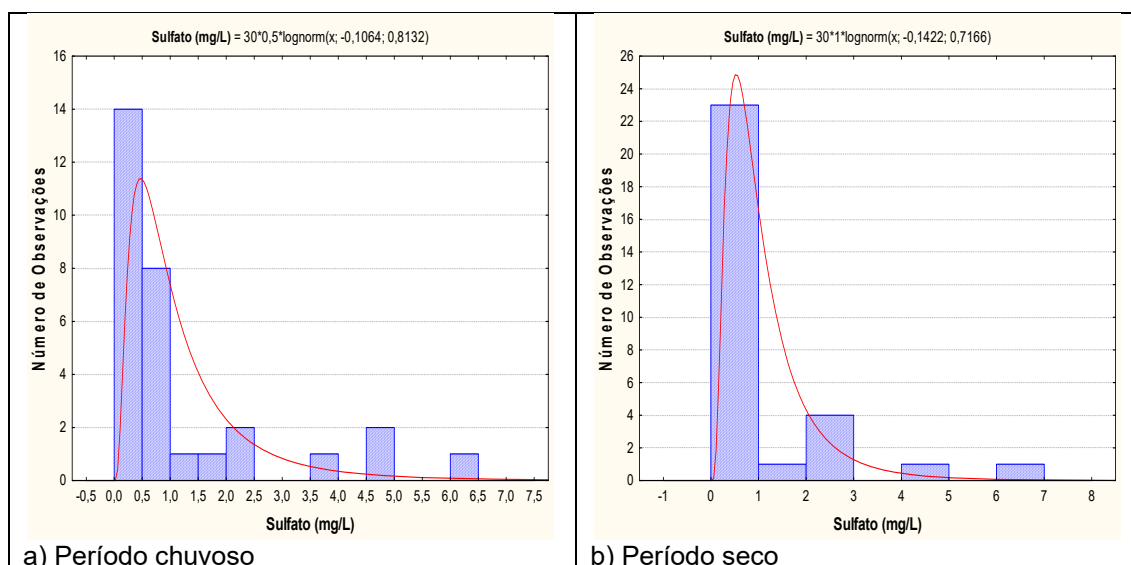
A estatística descritiva apresentada na **tabela 6.34** indica que os teores de sulfato nas águas subterrâneas do aquífero Tucunaré no período chuvoso variam de 0,49 a 6,4 mg/L, apresentando média de 1,4 mg/L e mediana de 0,5 mg/L. No período seco, os teores variaram de 0,49 a 6,8 mg/L, com média de 1,2 mg/L e mediana igual a 0,7 mg/L. Na primeira campanha, 47% (14/30) dos poços apresentaram teores de sulfato abaixo do limite de detecção de 0,5 mg/L, enquanto que na segunda campanha foram 40% (12/30).

**Tabela 6.34** – Estatística descritiva do Sulfato do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (S-1) - abril de 2012 e no período seco (S-2) - outubro de 2012.

Sulfato	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
S-1	30	1,4	0,8	1,9	0,5	0,49	6,4	1,6	0,3	2,2
S-2	30	1,2	0,7	1,7	0,7	0,49	6,8	1,4	0,3	2,9

Em ambas as coletas, todas as amostras apresentaram teores de sulfato inferiores aos limites estabelecidos pela Portaria MS 2914/2011, assim como, dentro dos padrões definidos pela Resolução CONAMA 396/2008, para consumo humano ( $250.000 \mu\text{g.L}^{-1}$ ), dessedentação animal ( $1.000.000 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) e recreação ( $400.000 \mu\text{g.L}^{-1}$ ), conforme descrito no **item 2.9.2**.

Os histogramas da **figura 6.17**, representativos dos pontos amostrados nas campanhas de abril e outubro de 2012, foram modelados por uma função de distribuição de probabilidade lognormal. Essa função permitiu estimar com risco calculado que não há influência de sazonalidade no que diz respeito aos teores de sulfato, haja vista que não houve diferença significativa para a razão entre os dois períodos de coleta, conforme pode ser observado na **tabela 6.35**.



**Figura 6.17** – Histogramas de frequência e curvas lognormais de distribuição de probabilidade do Sulfato Aquífero Tucunaré, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

A presença de sulfatos nas águas do aquífero Tucunaré, em ambas as campanhas, se deve provavelmente ao contato dos poços com as fossas

sanitárias, as quais em muitos casos são cavadas muito próximas, o que favorece a infiltração do esgoto *in natura* e conseqüentemente a contaminação das águas subterrâneas. Fazzio *et al.* (2009) descrevem que o crescente aumento da população urbana tem ocasionado um somatório de contaminantes lançados nas águas subterrâneas, oriundos das mais diversas fontes, relacionadas com o espaço urbano, tais como, fossas sépticas, cemitérios, vazamentos em postos de combustível, lixões, agrotóxicos, poços profundos mal instalados ou abandonados, lançamento de resíduos domésticos e industriais, dentre outros.

**Tabela 6.35** – Distribuição de probabilidade do Sulfato do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (S-1) - abril de 2012 e no período seco (S-2) - outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
S-1	0,899	0,453	0,317	0,236	0,169	0,136
S-2	0,867	0,475	0,346	0,267	0,199	0,164
Razão	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8

### 6.8.9.3 – Bicarbonato

A estatística descritiva dos teores de bicarbonato nas águas subterrâneas do aquífero Tucunaré (**tabela 6.36**) revela que 83% (25/30) das amostras na primeira e na segunda campanha obtiveram valores iguais a zero.

**Tabela 6.36** – Estatística descritiva do Bicarbonato do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (B-1) - abril de 2012 e no período seco (B-2) - outubro de 2012.

Bicarbonato	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
B-1	30	1,53	0,2	2,87	0	0,0	13,0	3,73	0,68	2,40
B-2	30	1,53	0,2	2,86	0	0,0	14,0	3,71	0,68	2,37

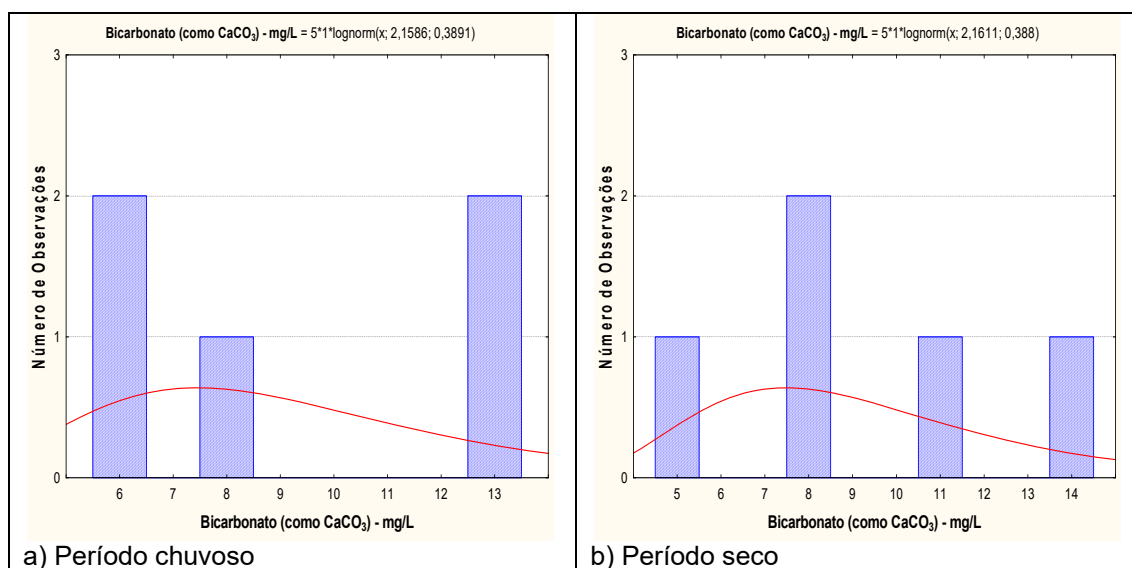
No período chuvoso, as concentrações de bicarbonato oscilaram entre 0 e 13,0 mg/L; enquanto que no período de estiagem as concentrações ficaram compreendidas entre 0 e 14,0 mg/L.

De acordo com a Resolução CONAMA 396/2008 e com a Portaria MS 2914/11 não há restrição quanto às concentrações de bicarbonato para o consumo humano, ou seja, não é definido um valor máximo permitido, conforme desrito no **item 2.9.3**.

Devido ao baixo número de amostras que apresentaram algum teor de bicarbonato (5/30), em ambas as campanhas, optou-se por elaborar os histogramas e realizar a modelagem geoestatística apenas utilizando tais valores, sem a inserção das amostras restantes (25/30) que apresentaram ausência de bicarbonato, pois a inclusão de zero não permite avaliar distribuição de probabilidade. Assim, os histogramas da **figura 6.18**, representativos dos pontos amostrados nas campanhas de abril e de outubro de 2012, foram modelados por uma função de distribuição de probabilidade lognormal. Essa função permitiu estimar, com risco calculado, os teores de bicarbonato no aquífero Tucunaré (**tabela 6.37**), onde se verificou que não há

influência de sazonalidade, pois não tem diferença entre os valores das duas campanhas, sendo a razão igual a 1 (um).

Segundo Lopes *et al.* (2013), os valores extremamente baixos de bicarbonato podem estar relacionados com as variações da alcalinidade total, uma vez que uma alteração nas concentrações dos íons carbonato e bicarbonato provoca também alterações nos valores de pH de uma solução, já que esses três íons ( $H^+$ ,  $CO_3^{2-}$  e  $HCO_3^-$ ) constituem um verdadeiro sistema em equilíbrio. Assim, a reação entre os dois primeiros, com a formação do terceiro, provoca uma diminuição das concentrações do carbonato e um aumento das concentrações do bicarbonato. O que torna o processo dinâmico e faz com que um elemento seja facilmente convertido em outro por meio de reações que ocorrem no ambiente.



**Figura 6.18** – Histograma de frequência e curva lognormal de distribuição de probabilidade do Bicarbonato do Aquífero Tucunaré, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Para Obiefuna & Sheriff (2011) a origem do bicarbonato nas águas subterrâneas está relacionada principalmente aos processos que produzem o gás carbônico no solo por meio da decomposição e oxidação da matéria orgânica e à respiração das raízes das plantas.

**Tabela 6.37** – Distribuição de probabilidade do Bicarbonato do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (B-1) - abril de 2012 e no período seco (B-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
B-1	8,7	6,2	5,3	4,6	3,9	3,5
B-2	8,7	6,3	5,3	4,6	3,9	3,5
Razão	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

### 6.8.10 – Dureza

Segundo a classificação de Von Sperling (2005) descrita no **item 2.10**, as águas do aquífero Tucunaré, tanto no período chuvoso como no seco, são 100% (30/30) do tipo mole. Isto provavelmente se deve ao clima da região amazônica, no qual as chuvas são muito frequentes, e há uma constante renovação das águas, o que favorece a baixa mineralização. Valores anômalos apresentados são atribuídos a contaminações oriundas de atividades antrópicas.

Nas duas campanhas, nenhum dos poços amostrados ultrapassaram o VMP recomendável pela Portaria MS 2914/2011, de 500 mg/L de CaCO<sub>3</sub> (**item 2.10**).

A estatística descritiva da dureza das águas subterrâneas do aquífero Tucunaré (**tabela 6.38a**) mostra que no período chuvoso os valores oscilaram entre 0,4 e 29,3 mg/L, com média de 5,8 mg/L e mediana de 3,4 mg/L. No período de estiagem, a dureza variou de 0,6 a 15,1 mg/L, com média de 3,9 mg/L e mediana de 3,2 mg/L.

**Tabela 6.38a** – Estatística descritiva da Dureza do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) - outubro de 2012, com valores inconsistentes de cálcio.

Dureza	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
D-1	30	5,8	3,4	8,1	3,4	0,4	29,3	6,3	1,2	2,1
D-2	30	3,9	2,7	5,1	3,2	0,6	15,1	3,2	0,6	1,8

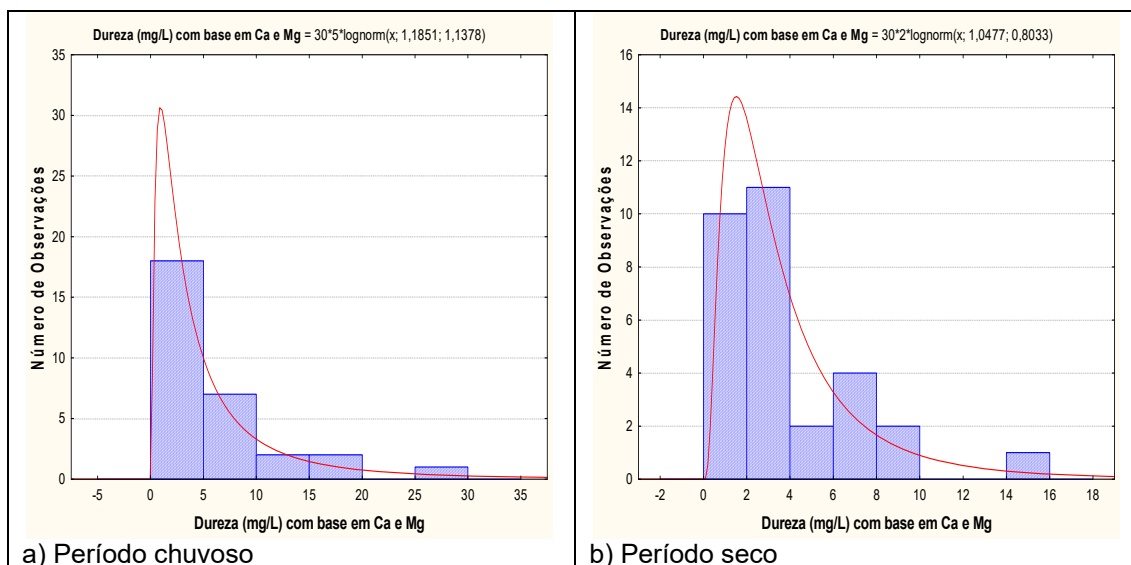
Embora a média e a mediana da dureza sejam maiores no período chuvoso, os resultados da modelagem geoestatística, baseada nos histogramas da **figura 6.19a** e realizada com dados inconsistentes de cálcio, indicam com probabilidades acima de 50% (**tabela 6.39a**), que a dureza tenderia a ser maior no período seco.

Por outro lado, com valores consistentes de cálcio (**item 6.8.8.3**) a estatística descritiva da dureza assume os valores mostrados na **tabela 6.38b** e a modelagem, baseada nos histogramas da **figura 6.19b**, comprova que, de fato, a dureza com risco calculado é maior no período chuvoso (**tabela 6.39b**).

**Tabela 6.38b** – Estatística descritiva da Dureza do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) - outubro de 2012, com valores consistentes de cálcio.

Dureza	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
D-1	30	6,2	3,9	8,4	4,4	0,55	29,3	6,1	1,1	2,2
D-2	30	3,4	2,2	4,6	2,6	0,42	15,1	3,2	0,6	2,1

Os histogramas de frequência de dureza das águas subterrâneas do aquífero Tucunaré com valores inconsistentes de cálcio e as curvas de distribuição probabilidade lognormal ajustada (**figura 6.19a**) são apresentados para o período chuvoso (abril de 2012) e para o período de estiagem (outubro de 2012).

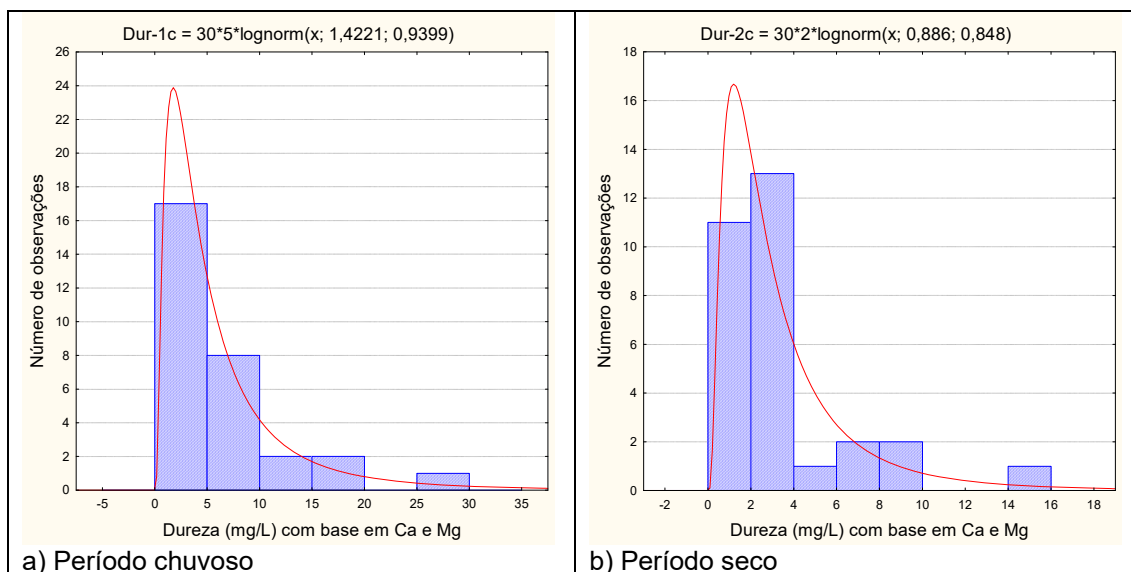


**Figura 6.19a** – Histogramas de frequência e curvas normais ajustadas de distribuição de probabilidade da Dureza do Aquífero Tucunará, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012, com valores inconsistentes de cálcio.

**Tabela 6.39a** – Distribuição de probabilidade da Dureza do Aquífero Tucunará no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) - outubro de 2012, com dados consistentes de cálcio.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
D-1	3,271	1,255	0,761	0,503	0,316	0,232
D-2	2,851	1,450	1,018	0,761	0,548	0,440
Razão	1,1	0,9	0,7	0,7	0,6	0,5

Os histogramas de frequência de dureza das águas subterrâneas do aquífero Tucunará com valores consistentes de cálcio e as curvas de distribuição probabilidade lognormal ajustada (**figura 6.19b**) são apresentados para o período chuvoso (abril de 2012) e para o período de estiagem (outubro de 2012).



**Figura 6.19b** – Histogramas de frequência e curvas normais ajustadas de distribuição de probabilidade da Dureza do Aquífero Tucunaré, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012, com valores consistentes de cálcio.

**Tabela 6.39b** – Distribuição de probabilidade da Dureza do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) - outubro de 2012, com dados consistentes de cálcio.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
D-1	4,145	1,879	1,243	0,883	0,601	0,465
D-2	2,425	1,188	0,818	0,601	0,425	0,337
Razão	1,7	1,6	1,5	1,5	1,4	1,4

## 6.8.11 – Compostos Nitrogenados

### 6.8.11.1 - Nitrato

A **tabela 6.40** mostra a estatística descritiva dos teores de nitrato presentes nas águas subterrâneas do aquífero Tucunaré nas duas campanhas de coleta de água realizadas. No período chuvoso, as concentrações de nitrato variam de 0,19 a 14,9 mg/L, com média de 6,9 mg/L e mediana igual a 5,9 mg/L. No período seco, os teores variam de 0,09 a 11,2 mg/L, com média de 3,9 mg/L e mediana de 2,6 mg/L.

**Tabela 6.40** – Estatística descritiva do Nitrato do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) - outubro de 2012.

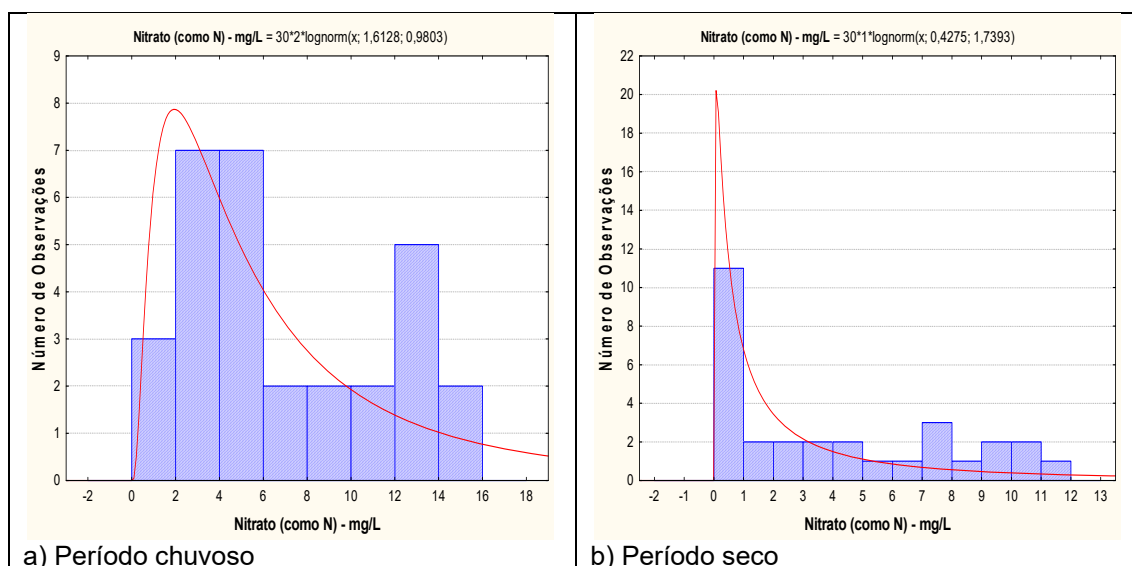
Nitrato	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
N-1	30	6,9	5,2	8,7	5,9	0,19	14,9	4,6	0,8	0,3
N-2	30	3,9	2,5	5,4	2,6	0,09	11,2	3,9	0,7	0,5

Na primeira campanha, apenas 3% (1/30) das amostras apresentaram teores de nitrato abaixo do limite de detecção de 0,2 mg/L; enquanto que na segunda campanha, cerca de 13% (4/30) dos poços obtiveram resultados abaixo do

limite quantificável de 0,1 mg/L. Os limites de detecção dependem do método utilizado e podem variar para o mesmo parâmetro (item 1.4).

Dentre o total de amostras analisadas nas duas campanhas, 30% (9/30) dos poços no período chuvoso e 10% (3/30) no período de estiagem, apresentaram valores que ultrapassaram o VMP de potabilidade recomendável pela Portaria MS 2914/2011 (item 2.11), além de não serem indicadas para consumo humano e para recreação segundo a Resolução CONAMA 396/2008 (item 2.11). Contudo, todas as amostras analisadas nas duas campanhas poderiam ser utilizadas para a dessedentação animal, haja vista que não ultrapassaram os limites definidos pela Resolução citada.

Os histogramas de frequência de nitrato (figura 6.20), representativos dos pontos amostrados nas coletas de abril e outubro de 2012, foram modelados por uma função de distribuição de probabilidade lognormal. Essa função permitiu estimar, com risco calculado, valores de nitrato nas duas campanhas no aquífero Tucunaré.



**Figura 6.20** – Histogramas de frequência e curvas normais ajustadas de distribuição de probabilidade do Nitrato do Aquífero Tucunaré, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Com base na **tabela 6.41** é possível verificar que os valores do período chuvoso são maiores do que os do período seco, o que sugere alguma influência da sazonalidade, pois a razão das duas campanhas é superior a 1 (um). Tal resultado é justificável, haja vista que no período chuvoso ocorre o fenômeno da ressaca na região (item 6.2), e provavelmente as fossas sépticas transbordam juntamente com as galerias pluviais, que se misturam as águas superficiais e posteriormente infiltram no lençol freático, ocasionando a sua contaminação.



**Tabela 6.41** – Distribuição de probabilidade do Nitrato do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) - outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
N-1	5,017	2,198	1,428	1,000	0,670	0,513
N-2	1,533	0,355	0,165	0,088	0,043	0,027
Razão	3,3	6,2	8,7	11,4	15,6	19,1

Segundo Mello *et al.* (1984), o nitrato e o nitrito são substâncias químicas derivadas do nitrogênio e são encontrados de forma natural na água e no solo em baixas concentrações. A deposição de matéria orgânica no solo, como acontece quando se utiliza fossas e sumidouros, aumenta drasticamente a quantidade de nitrogênio. Esse nitrogênio é biotransformado e por fim se transforma na substância inorgânica denominada nitrato que possui grande mobilidade no solo alcançando o manancial subterrâneo e ali se depositando. O nitrato por possuir essas características, se torna um ótimo indicativo para avaliar se um dado manancial subterrâneo está sendo contaminado pela atividade antrópica sobre ele exercida.

Diante disso, fica evidente que os valores de nitrato encontrados nas águas do aquífero Tucunaré superiores aos limites permitidos para consumo humano se devem a contaminação oriunda principalmente da ausência de saneamento básico, haja vista em muitos casos, a proximidade das fossas com os poços.

#### 6.8.11.2 – Nitrito

A **tabela 6.42** mostra a estatística descritiva dos teores de nitrito presentes nas águas subterrâneas do aquífero Tucunaré, nas duas campanhas de amostragem realizadas. No período chuvoso (abril de 2012), todas as amostras apresentaram valores abaixo do limite de detecção, sendo 97% (29/30) com resultados inferiores a 0,02 mg/L, e 3% (1/30) com valores de nitrito abaixo de 0,01 mg/L.

**Tabela 6.42** – Estatística descritiva do Nitrito do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) - outubro de 2012.

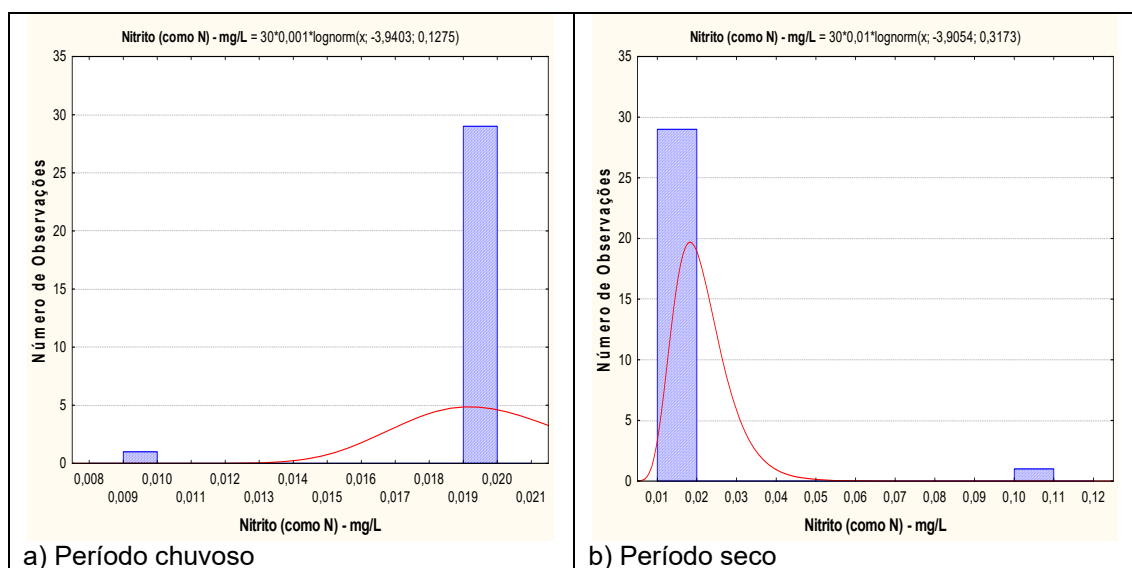
Nitrito	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
N-1	30	0,0196	0,0190	0,0190	0,0199	0,0099	0,0199	0,0018	0,0003	-5,4772
N-2	30	0,0220	0,0190	0,0090	0,1080	0,0190	0,11	0,0162	0,0030	5,4772

No período de estiagem (outubro de 2012), 97% (29/30) dos poços amostrados tiveram concentrações de nitrito abaixo do limite de quantificação de 0,02 mg/L. Portanto, de modo geral, a ocorrência de nitrogênio sob a forma de nitrito é praticamente desprezível, haja vista que o maior valor encontrado foi de 0,11 mg/L, na segunda campanha.

Todas as amostras analisadas nas duas coletas apresentaram teores de nitrito dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria MS 2914/2011 de 1 mg/L, assim como, poderiam ser usadas para o consumo humano, dessedentação de animais, irrigação e recreação, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008, em relação a esse parâmetro (**item 2.11**).

Os baixos teores de nitrito encontrados nas águas do aquífero Tucunaré são coerentes, pois de acordo com Campos & Rohlfs (2010) nas águas subterrâneas, os nitratos ocorrem em teores, geralmente, abaixo de 5 mg/L, enquanto que nitritos e amônia são ausentes, devido à velocidade com que são convertidos em nitrato pelas bactérias.

Os histogramas de frequência de nitrito (**figura 6.21**), representativos dos pontos amostrados nas coletas de abril e outubro de 2012, foram modelados por uma função de distribuição de probabilidade lognormal, que permitiu estimar, com risco calculado, valores de nitrito, conforme apresentado na **tabela 6.43**, onde se pode verificar que não há influência da sazonalidade nos teores de nitrito, haja vista que a razão entre as duas campanhas é da ordem de 1 (um).



**Figura 6.21** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Nitrito do Aquífero Tucunaré, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

**Tabela 6.43** – Distribuição de probabilidade do Nitrito do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) - outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
N-1	0,0194	0,0175	0,0165	0,0158	0,0150	0,0145
N-2	0,0201	0,0154	0,0134	0,0119	0,0105	0,0096
Razão	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5

### 6.8.11.3 - Amônia

A **tabela 6.44** mostra a estatística descritiva dos teores de amônia presentes nas águas subterrâneas do aquífero Tucunaré nas duas campanhas de coleta de água realizadas. No período chuvoso, as concentrações de amônia variam de 0,09 a 2,6 mg/L, com média de 0,7 mg/L e mediana de 0,4 mg/L. No período seco, os teores ficaram compreendidos entre 0,09 a 3,0 mg/L, com média de 0,4 mg/L e mediana de 0,1 mg/L.

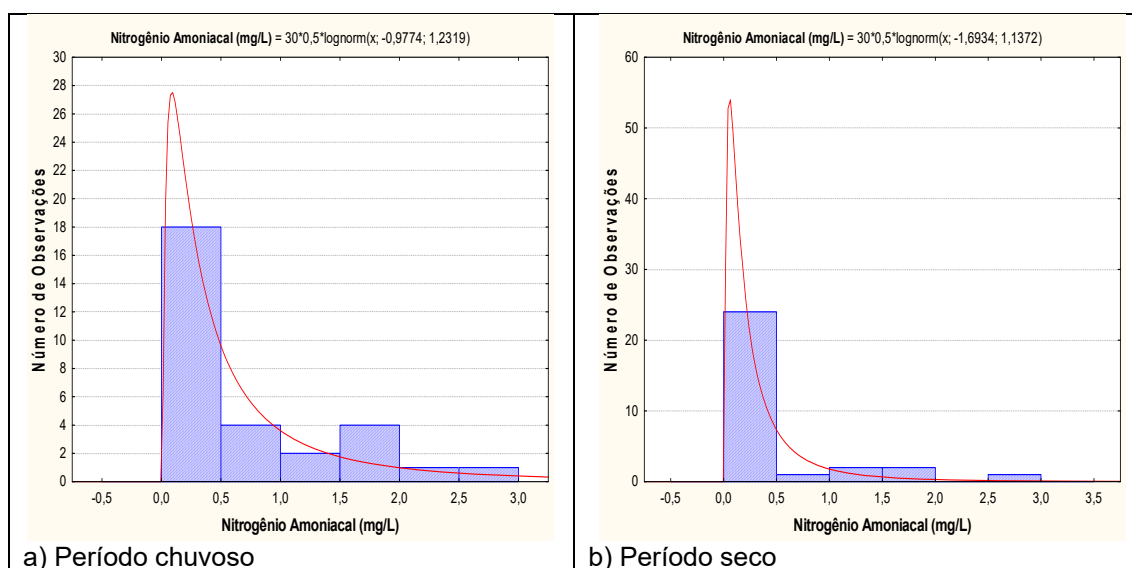
**Tabela 6.44** - Estatística descritiva da Amônia do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (A-1) - abril de 2012 e no período seco (A-2) - outubro de 2012.

Amônia	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
A-1	30	0,7	0,4	1,0	0,4	0,09	2,6	0,8	0,1	1,0
A-2	30	0,4	0,2	0,7	0,1	0,09	3,0	0,7	0,1	2,5

Na coleta de abril de 2012, 27% (8/30) das amostras apresentaram valores de amônia inferiores ao limite de detecção de 0,1 mg/L; enquanto que na coleta de outubro de 2012, 57% (17/30) dos poços tiveram resultados de amônia abaixo do limite de detecção.

Na primeira e segunda campanha, respectivamente, 20% (6/30) e 10% (3/30) das amostras analisadas apresentaram valores de amônia que ultrapassaram o VMP recomendável pela Portaria MS 2914/2011 para consumo humano de 1,5 mg/L (item 2.11).

Os histogramas de frequência de amônia (figura 6.22), representativos dos pontos amostrados nas coletas de abril e outubro de 2012, foram modelados por uma função de distribuição de probabilidade lognormal, que permitiu estimar, com risco calculado, valores de amônia nas duas campanhas, conforme apresentado na tabela 6.45.



**Figura 6.22** – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Amônia no Aquífero Tucunaré, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Assim, é possível notar que os valores de amônia no período chuvoso foram maiores quando comparados ao período seco, indicando que há alguma influência de sazonalidade, haja vista que a razão entre os dois períodos é superior a 1 (um). Isto provavelmente ocorre porque no período chuvoso as fossas sépticas localizadas próximas aos poços transbordam e se misturam com as águas superficiais associadas ao fenômeno da ressaca e inundam a região do aquífero Tucunaré, contaminando os mananciais próximos.

**Tabela 6.45** – Distribuição de probabilidade da Amônia no Aquífero Tucunaré no período chuvoso (A-1) - abril de 2012 e no período seco (A-2) - outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
A-1	0,376	0,133	0,078	0,050	0,030	0,021
A-2	0,184	0,071	0,043	0,028	0,018	0,013
Razão	2,0	1,9	1,8	1,8	1,7	1,6

De acordo com Resende (2002), a amônia (NH<sub>3</sub>) originada no solo ou aplicada via fertilizantes tende a ser rapidamente convertida em amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e esse, por sua vez, é convertido em nitrato pelo processo microbiano da nitrificação.

Por esse motivo, os teores de amônia obtidos nas duas campanhas do aquífero Tucunaré, foram muito baixos, pois provavelmente a amônia existente proveniente dos dejetos das fossas sépticas está sendo convertida em nitrato, o que justifica alguns teores de nitrato superiores ao padrão de potabilidade permitido pela Portaria MS 2914/2011.

## 6.8.12 – Ferro e Manganês

### 6.8.12.1 – Ferro

A estatística descritiva dos teores de ferro nas águas subterrâneas do aquífero Tucunaré (**tabela 6.46**) mostra, no período chuvoso, valores compreendidos entre 0,005 e 9,5 mg/L, com média de 0,98 mg/L. No período seco a faixa de variação é de 0,007 a 2,5 mg/L, com média de 0,51 mg/L. A mediana é de 0,1 mg/L, em ambos os períodos de coleta.

**Tabela 6.46** – Estatística descritiva do Ferro (mg/L) do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (Fe-1) - abril de 2012 e no período seco (Fe-2) - outubro de 2012.

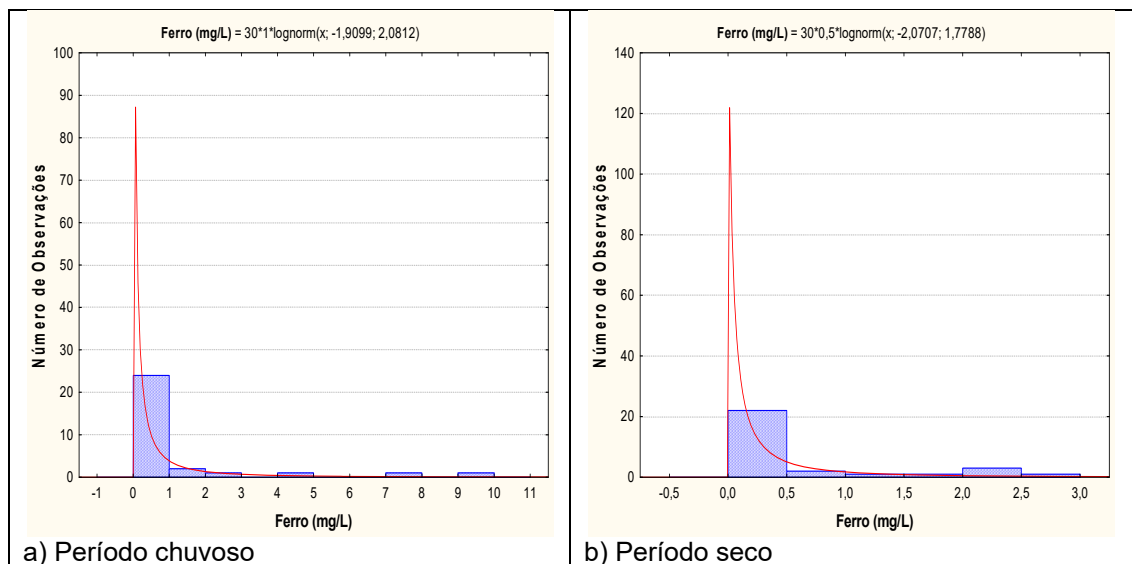
Fe	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
Fe-1	30	0,98	0,2	1,8	0,1	0,005	9,5	2,2	0,4	3,1
Fe-2	30	0,51	0,2	0,8	0,1	0,007	2,5	0,8	0,2	1,6

Dentre o total de amostras analisadas nas duas campanhas, 37% (11/30) dos poços no período chuvoso e 30% (9/30) no período de estiagem, apresentaram valores que ultrapassaram o VMP de potabilidade recomendável pela Portaria MS 2914/2011, além de não serem indicadas para consumo humano e para recreação, segundo a Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.12**).

Além disso, 7% (2/30), dos poços amostrados na primeira campanha apresentaram teores de ferro que ultrapassaram os limites recomendados para irrigação, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008.

As águas do aquífero Tucunaré são essencialmente ácidas, e conforme já descrito anteriormente no **item 2.12**, os altos teores de ferro dissolvido nas águas subterrâneas dos aquíferos que compõem a PHA não resultam diretamente do processo de intemperismo químico das rochas, mas das condições de pH e Eh em águas ácidas.

Os histogramas de frequência de ferro (**figura 6.23**), representativos dos pontos amostrados nas coletas de abril e outubro de 2012, foram modelados por uma função de distribuição de probabilidade lognormal. Essa função permitiu estimar com risco calculado os valores de ferro no aquífero Tucunaré (**tabela 6.47**), onde se verificou que há influência de sazonalidade, pois a razão das duas campanhas é inferior a 1 (um), para probabilidades superiores a 80%.



**Figura 6.23** – Histogramas de frequência e curvas lognormais de distribuição de probabilidade do Ferro do Aquífero Tucunaré, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Os valores de ferro mais elevados no período de estiagem no aquífero Tucunaré são consistentes, pois a zona de aeração, que no período chuvoso se encontra quase totalmente saturada por águas de infiltração em movimento, volta a ter espaços vazios preenchidos por oxigênio, o que, conseqüentemente, eleva o valor de Eh produzindo a oxidação do ferro.

Segundo Mazzeo (1991), as águas subterrâneas da região amazônica apresentam concentrações elevadas de ferro e outros elementos sendo sua retirada um dos principais problemas enfrentados pelas estações de tratamento de água.

**Tabela 6.47** – Distribuição de probabilidade do Ferro (mg/L) do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (Fe-1) - abril de 2012 e no período seco (Fe-2) - outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Fe-1	0,148	0,026	0,010	0,005	0,002	0,0012
Fe-2	0,126	0,028	0,013	0,007	0,003	0,0020
Razão	1,2	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6

### 6.8.12.2 – Manganês

A estatística descritiva das concentrações de manganês nas águas subterrâneas do aquífero Tucunaré (**tabela 6.48**) revela que os teores de manganês no período chuvoso variam de 0,00009 a 0,08 mg/L, com média de 0,008 mg/L. No período seco, os valores ficam entre um mínimo de 0,0009 e um máximo de 0,06 mg/L, sendo a média igual a 0,006 mg/L.

**Tabela 6.48** – Estatística descritiva do Manganês (mg/L) do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (Mn-1) - abril de 2012 e no período seco (Mn-2) - outubro de 2012.

Mn	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
Mn-1	30	0,008	0,000	0,010	0,003	0,00009	0,08	0,016	0,003	4,031
Mn-2	30	0,006	0,000	0,000	0,003	0,0009	0,06	0,012	0,002	4,016

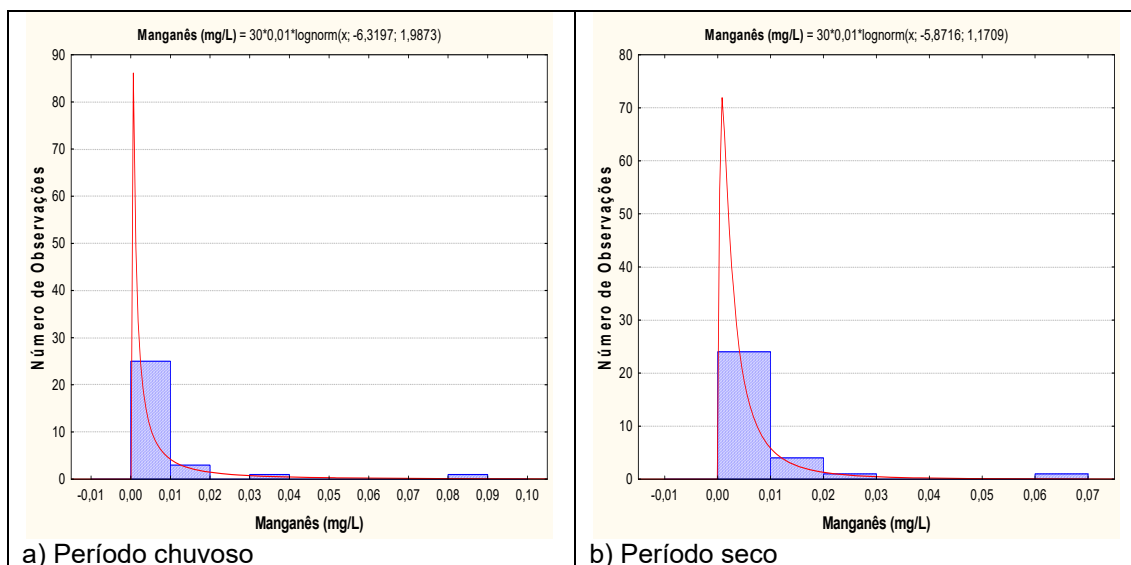
Na primeira campanha, 23% (7/30) das amostras apresentaram teores de manganês abaixo do limite de detecção de 0,0001 mg/L; enquanto que na segunda campanha, 33% (10/30) dos poços obtiveram valores abaixo do limite quantificável de 0,001 mg/L. Os limites de detecção dependem do método utilizado e podem variar para o mesmo parâmetro (**item 1.4**).

Em ambas as campanhas, observou-se que nenhum dos poços apresentou teores de manganês acima do VMP de 0,1 mg/L estabelecido pela Portaria MS 2914/2011, bem como, ultrapassou os limites previstos na Resolução CONAMA 396/2008, no que se refere aos usos da água para consumo humano, irrigação e recreação (**item 2.12**).

Além disso, 3% (1/30) dos poços amostrados no período chuvoso e 3% (1/30) dos poços no período de estiagem apresentaram teores de manganês que ultrapassaram os limites recomendados para dessedentação animal, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.12**).

Os histogramas de frequência de manganês (**figura 6.24**), representativos dos pontos amostrados nas coletas de abril e outubro de 2012, foram modelados por uma função de distribuição de probabilidade lognormal. Essa função permitiu estimar, com risco calculado, os valores de manganês no aquífero Tucunaré (**tabela 6.49**), onde se verificou que os valores do período seco são maiores do que os do período chuvoso, o que reflete alguma influência de sazonalidade, pois a razão das duas campanhas é inferior a 1 (um).

Isso é justificável, pois a maior presença de oxigênio na zona não saturada no período de estiagem dá lugar a oxidações do manganês, aumentando a sua concentração na zona saturada.



**Figura 6.24** – Histogramas de frequência e curvas lognormais de distribuição de probabilidade do Manganês do Aquífero Tucunaré, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

De acordo com Feitosa *et al.* (2008), o manganês, frequentemente está presente com baixos teores, <0,2 mg/L em quase todas as águas naturais, sendo mais abundante nas águas ácidas. Isso corrobora com os dados do aquífero Tucunaré, onde no período de estiagem, as águas são mais ácidas, com pH médio de 5,1, e conseqüentemente ocorrem teores mais elevados de manganês quando comparados ao período chuvoso.

**Tabela 6.49** – Distribuição de probabilidade do Manganês (mg/L) do Aquífero Tucunaré no período chuvoso (Mn-1) - abril de 2012 e no período seco (Mn-2) - outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Mn-1	0,00180	0,00034	0,00014	0,00007	0,00003	0,00002
Mn-2	0,00308	0,00115	0,00069	0,00045	0,00028	0,00020
Razão	0,6	0,3	0,2	0,15	0,1	0,1

### 6.8.13 – Metais Pesados

Os resultados analíticos de metais pesados das amostras de água do aquífero Tucunaré, coletadas durante a segunda campanha de amostragem, realizada em outubro de 2012, podem ser observados no **anexo 8.4.3**. Os metais pesados analisados foram: Arsênio, Bário, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Mercúrio, Níquel e Zinco. Como esses parâmetros apresentam risco à saúde humana, a Portaria MS 2914/2011 e a Resolução CONAMA 396/2008 estabeleceram limites máximos de padrão de potabilidade, conforme descrito no **item 2.13**.

### **Arsênio**

Todos os 10 (dez) poços amostrados no aquífero Tucunaré, na segunda campanha realizada em outubro de 2012, apresentaram valores de arsênio abaixo do limite de detecção, ou seja, resultados <0,001 mg/L.

### **Bário**

Dentre as 10 (dez) análises de amostras de água do aquífero Tucunaré, apenas 1 (uma) apresentou teor de bário abaixo do limite de detecção de 0,001mg/L. Tendo sido detectada a presença de bário em 90% (9/10) dos poços. Os teores encontrados variaram de 0,0026 a 0,034 mg/L. Nenhuma das amostras analisadas ultrapassou o limite organoléptico de potabilidade estabelecido pela Portaria MS 2914/2011 (**tabela 2.5**), bem como, poderia ser indicada para consumo humano e recreação segundo os padrões definidos na resolução CONAMA 396/2008 (**tabela 2.6**).

### **Cádmio**

No período de estiagem (outubro de 2012), as 10 (dez) análises realizadas no aquífero Tucunaré apresentaram teores de cádmio abaixo dos limites de detecção de 0,001 mg/L.

### **Chumbo**

Do total de amostras analisadas na segunda campanha, 80% (8/10) apresentaram teores de chumbo inferiores ao limite de detecção de 0,001 mg/L. Os demais poços revelaram valores de chumbo que variaram de 0,004 a 0,02 mg/L. Apenas o poço MPA14 ultrapassou o limite de potabilidade da Portaria MS 2914/2011 (**tabela 2.5**), não sendo as suas águas recomendadas para consumo humano, segundo a Resolução CONAMA 396/2008 (**tabela 2.6**). Os poços restantes apresentaram teores de chumbo abaixo dos padrões definidos pela Portaria MS 2914/2011 e Resolução CONAMA 396/2008, o que indica que as águas podem ser usadas para todos os usos nela prescritos.

### **Cobre**

As análises de metais pesados realizadas nas águas subterrâneas do aquífero Tucunaré indicaram que 60% (6/10) das amostras apresentaram teores de cobre abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L, enquanto que os 40% (4/10) restantes obtiveram resultados de cobre que variaram de 0,0012 a 0,2342 mg/L. O poço MPA14 foi o único que ultrapassou o limite estabelecido pela Resolução CONAMA 396/2008, não sendo suas águas recomendadas para irrigação. Os teores encontrados nos demais poços estão abaixo do VMP estabelecido pela Portaria MS 2914/2011 (**tabela 2.5**), assim como, dentro dos padrões definidos pela Resolução CONAMA 396/2008 (**tabela 2.6**), indicando que as águas podem ser usadas para consumo humano, dessedentação de animais, irrigação e recreação.

### **Cromo**

Na segunda campanha, realizada em outubro de 2012, as 10 (dez) amostras analisadas apresentaram teores de cromo abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L



### ***Mercúrio***

Todas as 10 (dez) amostras do aquífero Tucunaré analisadas na segunda campanha apresentaram teores de mercúrio abaixo do limite de detecção de 0,0001 mg/L.

### ***Níquel***

As análises de metais pesados realizadas nas águas subterrâneas do aquífero Tucunaré indicaram que 70% (7/10) das amostras apresentaram teores de níquel abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L, enquanto que os 30% (3/10) restantes obtiveram resultados de níquel que variaram de 0,005 a 0,07 mg/L. Todas as amostras analisadas apresentaram valores de níquel dentro dos padrões de potabilidade definido pela Portaria MS 2914/2011 (**tabela 2.5**). Com relação à indicação dos usos, 90% (9/10) das amostras indicam que as águas do aquífero Tucunaré poderiam servir para o consumo humano, dessedentação animal, irrigação e recreação, conforme os padrões da Resolução CONAMA 396/2008. A água do poço MPA28 não seria indicada para o consumo humano, haja vista que superou o limite estabelecido pela Resolução citada (**tabela 2.6**).

### ***Zinco***

No aquífero Tucunaré foi detectada a presença de zinco, com teores que ficaram compreendidos entre 0,011 e 0,22 mg/L. Apesar das 10 (dez) amostras apresentarem presença de zinco, todas estavam com valores abaixo do VMP de potabilidade definido pela Portaria MS 2914/2011 (**tabela 2.5**), bem como, dentro dos limites da Resolução CONAMA 396/2008 (**tabela 2.6**), indicando que as águas do aquífero Tucunaré poderiam ser utilizadas para todos os usos nela prescritos sem restrições.

### ***Conclusão***

Os resultados das análises de metais pesados que apresentaram teores de chumbo, cobre e níquel acima dos padrões estabelecidos pela Portaria MS 2914/2011 e/ou Resolução CONAMA 396/2008, se devem provavelmente a contaminação oriunda de atividades antrópicas, principalmente descarte inadequado de resíduos sólidos.

Na área da propriedade em que o poço MPA14 está inserido há descarte de resíduos sólidos no solo de forma inapropriada (**foto 6.2**), o que provavelmente contribuiu para os teores de chumbo e cobre elevados em suas águas, haja vista que o lixo doméstico pode conter pilhas, baterias de eletrônicos, embalagens laminadas e latas de embutidos.



**Foto 6.2** – Descarte de resíduos sólidos em frente à propriedade, onde está localizado o poço MPA14.

O mesmo ocorre na área da propriedade do poço MPA28, onde está localizada uma oficina mecânica de consertos de caminhões (**foto 6.3**), onde possivelmente ocorre o descarte inadequado de peças automotivas e de baterias, as quais contêm alto teor de metais, e mediante a ação da chuva e exposição temporal, entram em processo de corrosão liberando líquido contaminante que pode infiltrar no solo e atingir o lençol freático. Por tal motivo, provavelmente as águas do poço MPA28 apresentaram valores elevados de níquel.



**Foto 6.3** – Galpão de oficina mecânica, onde está localizado o poço MPA28.

Segundo Tenório & Espinosa (2004), a decomposição do lixo produz chorume, líquido proveniente da umidade natural dos resíduos, das águas das chuvas e da ação de microorganismos sobre a matéria orgânica. O chorume pode apresentar, dependendo do tipo de lixo e do seu estado de degradação, além de alto teor de matéria orgânica, quantidades significativas de íons metálicos capazes de comprometer o meio ambiente.

De acordo com Fortunato (2009), a procedência dos íons metálicos no lixo é variada, podendo ser de: baterias recarregáveis que liberam para o ambiente níquel ( $\text{Ni}^{2+}$ ), cádmio ( $\text{Cd}^{2+}$ ) e chumbo ( $\text{Pb}^{2+}$ ); materiais eletrônicos, que liberam íons de cobre ( $\text{Cu}^{+2}$ ); latas, que contém ferro ( $\text{Fe}^{2+}$ ); pilhas comuns e alcalinas, que possuem mercúrio ( $\text{Hg}^{2+}$ ); solventes orgânicos que são responsáveis pela liberação de cromo ( $\text{Cr}^{3+}$  e  $\text{Cr}^{6+}$ ); latas descartáveis, utensílios domésticos e embalagens laminadas que liberam alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ).

#### **6.8.14 – BTEX e Fenóis**

##### **6.8.14.1 – BTEX**

O grupo de compostos BTEX formado pelo Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos (orto, meta e para) são extremamente tóxicos à saúde humana, apresentando toxicidade crônica mesmo em pequenas concentrações, podendo levar a lesões do sistema nervoso central.

Devido ao risco potencial a saúde humana que esse grupo de compostos oferece a Portaria MS 2914/2011 e a Resolução CONAMA 396/2008 estabeleceram limites para que a água seja considerada potável, como pode ser observado no **item 2.14.1**.

Na segunda campanha de amostragem das águas do aquífero Tucunaré, dentre todos os componentes do BTEX, apenas o Tolueno apresentou duas amostras com teores de 0,0034 e 0,0036 mg/L, respectivamente. Ou seja, nenhum dos demais componentes do BTEX foi detectado pelas análises realizadas.

Além disso, ressalta-se que os teores de Tolueno detectados estão abaixo do VMP estabelecido pela Portaria MS 2914/2011 (**tabela 2.7**), bem como, dentro dos limites da Resolução CONAMA 396/2008, indicando que as águas subterrâneas podem ser utilizadas para os usos nela prescritos (**tabela 2.8**).

Vale ressaltar que a presença de tolueno encontrado na análise da água de 02 (dois) poços se deve a contaminação por postos de combustível, pois de acordo com Kao & Wang (2000), os problemas mais graves de contaminação das águas subterrâneas são atribuídos aos hidrocarbonetos aromáticos, ocorrendo, na maioria dos casos, devido ao vazamento de tanques subterrâneos que armazenam combustíveis derivados de petróleo. Dentre os constituintes da gasolina, principal derivado do petróleo, os que merecem maior preocupação são os hidrocarbonetos voláteis monoaromáticos, benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX), devido a sua toxicidade e solubilidade em água (Kuntasal *et al.*, 2005).

Por tal motivo é extremamente importante o monitoramento das águas subterrâneas na área de estudo, pois esses compostos apresentam risco à saúde humana quando presentes na água.

### 6.8.14.2 – Fenóis

O fenol (CH<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH) é um sólido branco cristalino em seu estado puro. Geralmente é vendido e utilizado na forma líquida, possui odor forte, levemente doce e irritante.

Considerando os efeitos toxicológicos do fenol, a Resolução CONAMA 396/2008 estabeleceu limites máximos aceitáveis para a água subterrânea, de acordo com os usos considerados preponderantes, como pode ser observado no **item 2.14.2**.

No período de estiagem (outubro de 2012), foram realizadas amostragens de água no aquífero Tucunaré para avaliação dos teores de fenóis, onde se verificou que 80% (8/10) das amostras analisadas apresentaram resultados inferiores ao limite de detecção de 0,001 mg/L. Enquanto que os 20% (2/10) restantes dos poços apresentaram valores de fenóis que variaram de 0,0015 a 0,0017 mg/L.

De acordo com a resolução CONAMA 396/2008, as águas dos poços amostrados poderiam ser aproveitadas para todos os usos nela prescritos (**tabela 2.9**).

### 6.8.15 – Isótopos Ambientais

#### 6.8.15.1 – Oxigênio 18 e Deutério

Em hidrologia isotópica, a **equação 2.2** que define a linha de água meteórica global (GMWL) de Harmon Craig (1961) é uma referência para a interpretação da origem das águas subterrâneas, conforme pode ser observado no **item 2.15.1**.

Desse modo, a partir da referência supracitada e com base nos resultados das análises (**tabela 6.50**) para o aquífero Tucunaré foi elaborado o diagrama (**figura 6.25**) que mostra que a **Linha de Água Subterrânea (LAS)** ou **Reta de Água Subterrânea (RAS)** do aquífero Tucunaré apresenta um comportamento muito próximo daquele da **Reta de Água Meteórica (RMM)** da região, conforme se pode comprovar comparando as equações das retas RAS e RMM (fazendo  $\delta^2\text{H}^0/_{00} = 0$ ), ou seja:

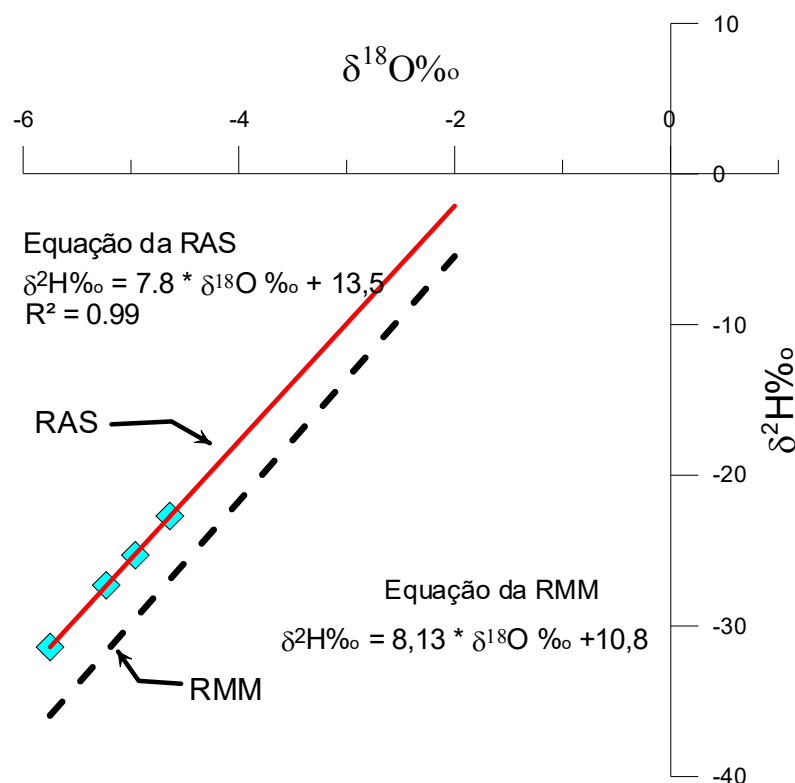
$$\text{Para a RAS: } \delta^{18}\text{O} = - \frac{13,5}{7,8} = -1,73 \text{ ‰}$$

$$\text{Para a RMM: } \delta^{18}\text{O} = \frac{10,8}{8,13} = -1,33 \text{ ‰}$$

Ocorre, portanto, uma variação de -0,4 na concentração isotópica de  $\delta^{18}\text{O}^0/_{00}$  das precipitações, indicando águas subterrâneas provenientes de chuvas com 30% de perda de  $\delta^{18}\text{O}$  por evaporação.

**Tabela 6.50** – Valores de deutério e oxigênio-18 dosados nas amostras coletadas no aquífero Tucunaré no período seco (outubro de 2012).

Poço	$\delta D\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}\text{‰}$
MPA01	-31,45	-5,75
MPA08	-27,31	-5,23
MPA14	-25,32	-4,96
MPA26	-22,67	-4,64

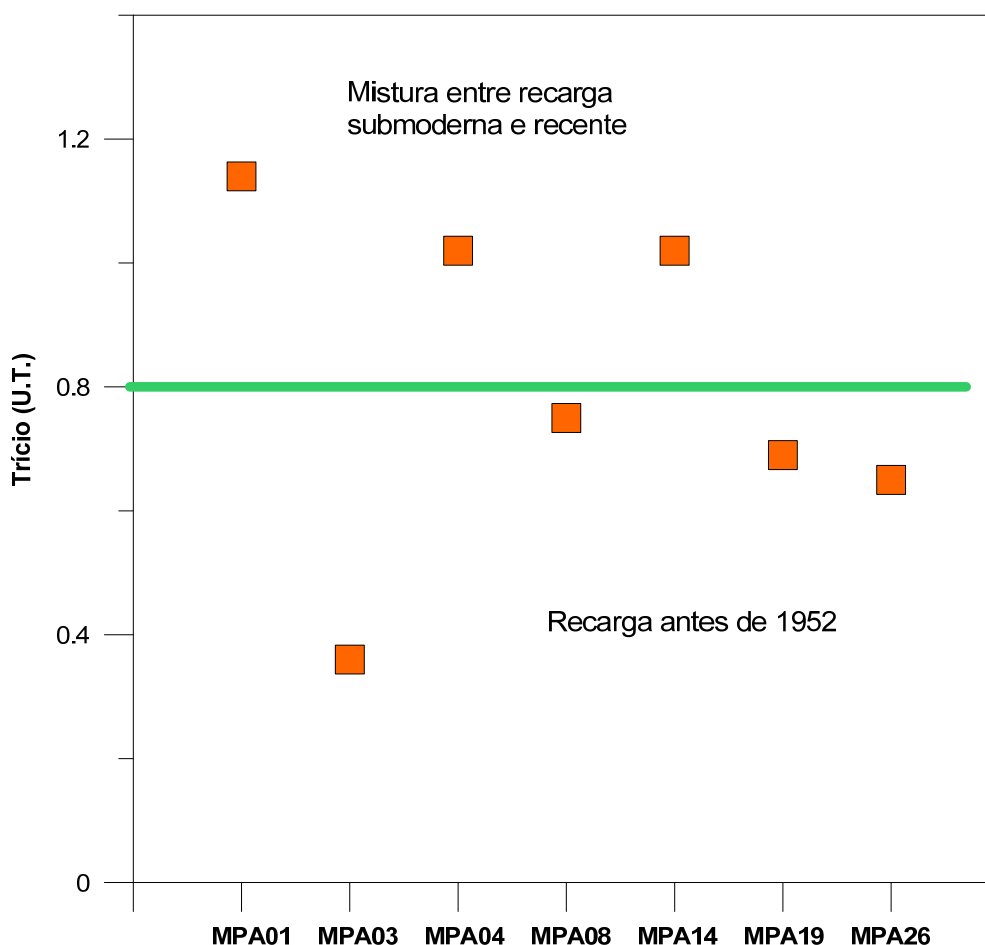


**Figura 6.25** – Diagrama mostrando que a água subterrânea do aquífero Tucunaré tem origem nas precipitações e apresenta, em relação às mesmas, uma redução de 30% no conteúdo de  $\delta^{18}\text{O}$  devido a perdas por evaporação da água meteórica durante o processo de recarga por infiltração direta das águas de chuva.

### 6.8.15.2 – Trício

Clark & Fritz (1997) realizaram uma proposta de interpretação qualitativa de dados de  $^3\text{H}$  para dados de regiões costeiras e de baixa latitude, onde é feita uma relação entre os valores de unidades de trício (U.T.) com a idade das águas subterrâneas (**tabela 2.10**), conforme descrito no **item 2.15.2**.

Sendo assim, com base nessa relação e nos dados de  $^3\text{H}$  obtidos nas 7 (sete) amostras coletadas no aquífero Tucunaré (**figura 6.26**) é possível verificar que o aquífero possui água de recarga anterior a 1952 e mistura de água submoderna com recarga recente.



**Figura 6.26** – Idade qualitativa da recarga do aquífero Tucunará, segundo os dados de trício de 7 (sete) amostras coletadas.

### 6.8.15.3 – Carbono 14

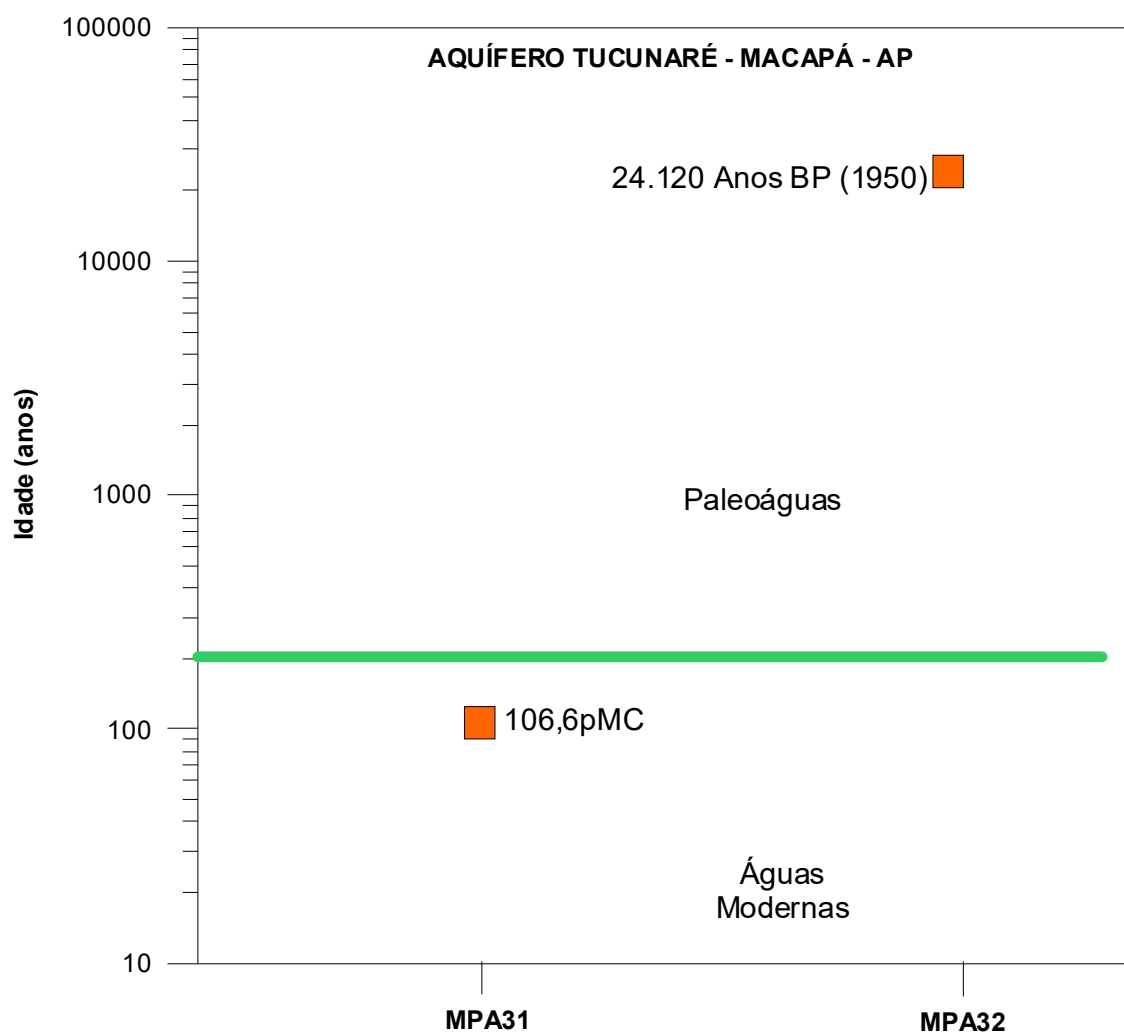
De acordo com a metodologia proposta por Münnich (1957), descrita no **item 2.15.3**, e com base nos dados contidos na **tabela 6.51**, o diagrama da **figura 6.27** indica que no aquífero Tucunará ocorre a presença de águas modernas (106,6 pMC) e paleoáguas, com 24120 anos BP.

**Tabela 6.51** – Idades aparentes ou convencionais do radiocarbono ( $^{14}\text{C}$ ) em anos BP (*before present* – 1950) e, quando inferior a 200 anos, dita “Moderna” por convenção e expressa em %M ou pMC (*percent modern carbon*).

Resultado	MPA31	MPA32
Idade Aparente C14 (Fração Moderna)	106,6+/-0,4 pMC	24120+/-130 BP
Fmdn- fração de carbono moderno	1,0655 +/-0,0040	0,0497 +/-0,0008
Razão C13/C12 (‰)	-23,3	-24,4

As águas modernas são provenientes do poço MPA31 com 31 m de profundidade e seção filtrante instalada no intervalo de 24 a 30 m; enquanto que a paleoágua foi coletada no poço MPA32 com 160 m de profundidade. Provém das seções filtrantes existentes nos intervalos de 90 m a 102 m e de 130 m a 142 m de profundidade. Dessa forma, observa-se que as idades das

águas subterrâneas do aquífero Tucunaré são consistentes com as respectivas profundidades de coleta.



**Figura 6.27** – Idades medidas com carbono 14 de amostras de água do aquífero Tucunaré.

#### 6.8.15.4 – Conclusão

Os estudos dos isótopos ambientais realizados no âmbito desse projeto permitiram alcançar os seguintes resultados:

- As análises de Oxigênio-18 e Deutério levaram a concluir que a recarga do aquífero Tucunaré, provém de águas meteóricas, ou seja, águas de chuva com 30% de perda de  $\delta^{18}\text{O}$  por evaporação;
- As datações radiométricas de Carbono-14 revelaram a presença de águas modernas, com menos de 200 anos BP, expressas por convenção em pMC e de paleoáguas com idade da ordem de 20.000 anos BP expressas em Fmdn;
- As datações efetuadas com Trício foram baseadas na proposta de interpretação qualitativa de Clark & Fritz (1997) e indicaram que as águas do aquífero Tucunaré têm idade submoderna com recarga anterior a 1952 e mistura de água submoderna com recarga recente.

## 6.8.16 – Parâmetros Biológicos

### ***Coliformes Totais***

A qualidade bacteriológica de uma água para avaliar a contaminação por dejetos humanos e de outros animais de sangue quente é feita através de bactérias do grupo coliformes, principalmente os Coliformes Totais e *Escherichia Coli* ou Coliformes Termotolerantes, conforme descrito no **item 2.16**. A Portaria MS 2914/2011 estabelece como padrão microbiológico da água para consumo humano, a ausência de coliformes totais em 100 mL de água.

No período chuvoso (abril de 2012), as águas do aquífero Tucunaré apresentaram em 63% (19/30) dos casos a presença de coliformes totais, enquanto que no período de estiagem (outubro de 2012), a presença ocorreu em 40% (12/30) das amostras.

Com base nos padrões microbiológicos definidos pela Portaria MS 2914/2011, apenas 37% (11/30) dos poços na primeira campanha e 60% (18/30) na segunda campanha apresentaram águas recomendadas para consumo humano, o que é extremamente preocupante, haja vista que a população da área de estudo utiliza a água dos poços para todos os usos principalmente o doméstico.

Tais resultados ocorrem no aquífero Tucunaré, pois a área de estudo está inserida numa região bastante urbanizada e que não possui sistema de esgotamento sanitário, o que segundo Zoby (2008) é extremamente preocupante, pois a falta de saneamento representa um risco direto à potabilidade das águas subterrâneas pela infiltração por fossas sépticas e pelo vazamento de redes de esgoto.

### ***Escherichia Coli***

É uma bactéria não patogênica do grupo de coliformes fecais (termotolerantes), que normalmente habita os intestinos dos animais superiores. É encontrada em esgotos, efluentes tratados e águas naturais sujeitas à contaminação recente por seres humanos, atividades agropecuárias, animais selvagens e pássaros, conforme descrito no **item 2.16**.

A Portaria MS 2914/2011 e a Resolução CONAMA 396/2008 estabeleceram como padrão biológico para consumo humano a ausência de *E. coli* em 100 mL de água. A Resolução CONAMA também estabelece limites para dessedentação animal e recreação, conforme pode ser observado na **tabela 2.11 (item 2.16)**.

Em ambas as campanhas de amostragem realizadas nas águas do aquífero Tucunaré, no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012), foram detectadas a presença de *E. coli* em 10% (3/30) das amostras.

Com base nos resultados das análises verifica-se que em ambas as campanhas, 90% (27/30) dos poços apresentaram águas dentro dos padrões biológicos recomendados pela Portaria MS 2914/2011, bem como, nos limites definidos pela Resolução CONAMA 396/2008, indicando que as suas águas



podem ser utilizadas para consumo humano, dessedentação animal e recreação (**tabela 2.11**).

De acordo com Colvara *et al.* (2009), vários fatores podem ser responsáveis pela contaminação da água de poços artesianos em nível de propriedade, tanto rural quanto urbana, a exemplo, da falta de manutenção do reservatório; localização inadequada do poço; e falta de cuidado e higiene com a água antes do consumo.

Silva & Araújo (2003) relatam que o destino final do esgoto doméstico e industrial em fossas e tanques sépticos, a disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos e industriais, postos de combustíveis e de lavagem e a modernização da agricultura representam fontes de contaminação das águas subterrâneas por bactérias e vírus patogênicos, parasitas e substâncias orgânicas e inorgânicas.

Dessa forma, fica evidente que a presença de *E. coli* no aquífero Tucunaré se deve provavelmente pelo lançamento de esgoto *in natura*, que infiltra no solo e contribui para a contaminação do lençol freático, o que é extremamente preocupante, pois pode acarretar na população ribeirinha doenças de veiculação hídrica, tais como, amebíase, giardíase, gastroenterite, febres tifoide e paratifoide, hepatite infecciosa e cólera.

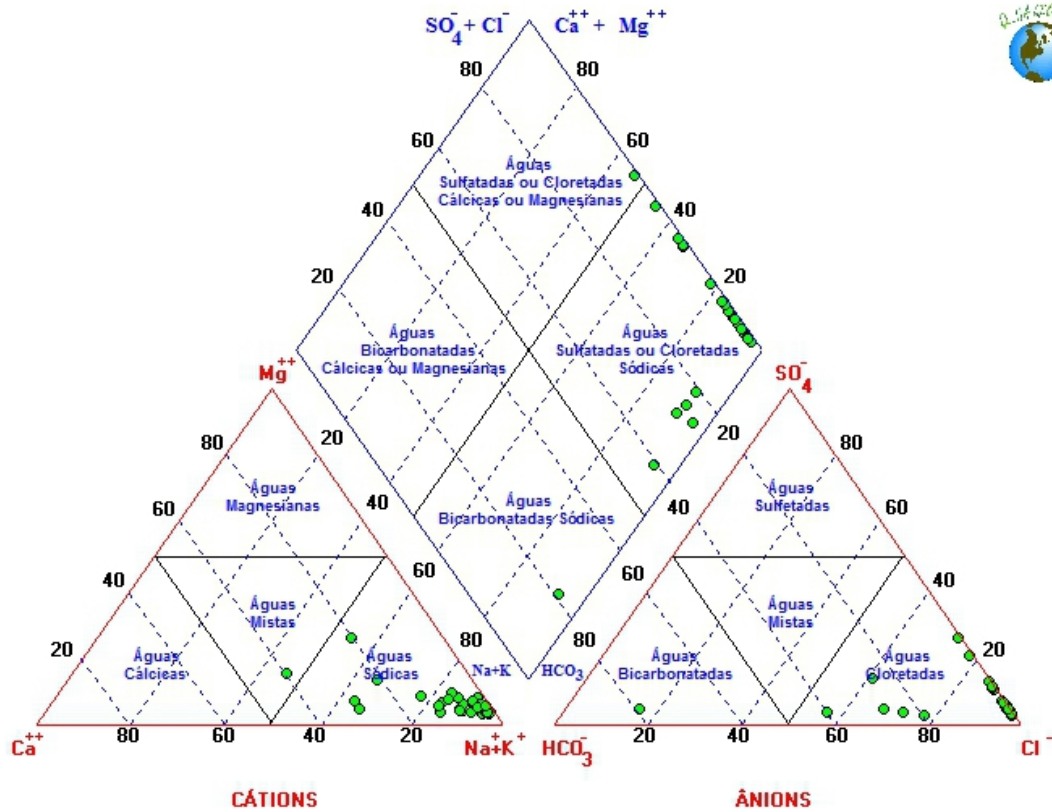
#### **6.8.17 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquífero Tucunaré Segundo a Composição Química**

Vários são os métodos existentes para a classificação das águas segundo a composição química. Todos eles se baseiam em representações gráficas dos percentuais ou frações dos cátions e ânions dominantes, normalmente expressos em meq/L. As representações são as mais diversas, incluindo diagramas colunares, circulares, triangulares e polígonos irregulares. Dentre os mais utilizados, estão o diagrama triangular de Piper e o polígono de Stiff, a seguir apresentados para a classificação das águas subterrâneas do aquífero Tucunaré, com base nos dados coletados na rede de 30 (trinta) poços de monitoramento, em duas campanhas: a primeira, no período chuvoso (abril de 2012) e a segunda no período de estiagem (outubro de 2012).

##### **6.8.17.1 – Diagrama Triangular de Piper**

###### ***Período chuvoso***

A classificação das águas por meio do Diagrama de Piper se baseia na identificação dos ânions e cátions predominantes. Mediante observação da **figura 6.28**, é possível identificar que as águas do aquífero Tucunaré, no período chuvoso (abril de 2012), no que se refere aos ânions são 96,7% (29/30) cloretadas e 3,3% (1/30) bicarbonatadas, como mostra a **tabela 6.52**. Já no que concerne a presença de cátions, as águas são 96,7% (29/30) sódicas e 3,3% (1/30) mistas, como demonstra a **tabela 6.52**.



Aquífero Tucunaré - Período chuvoso (abril de 2012)

**Figura 6.28** – Classificação das águas do aquífero Tucunaré, coletadas no período chuvoso (abril de 2012) segundo o diagrama Triangular de Piper.

**Tabela 6.52** - Classificação das Águas do Aquífero Tucunaré segundo a composição química - Período Chuvoso (abril de 2012).

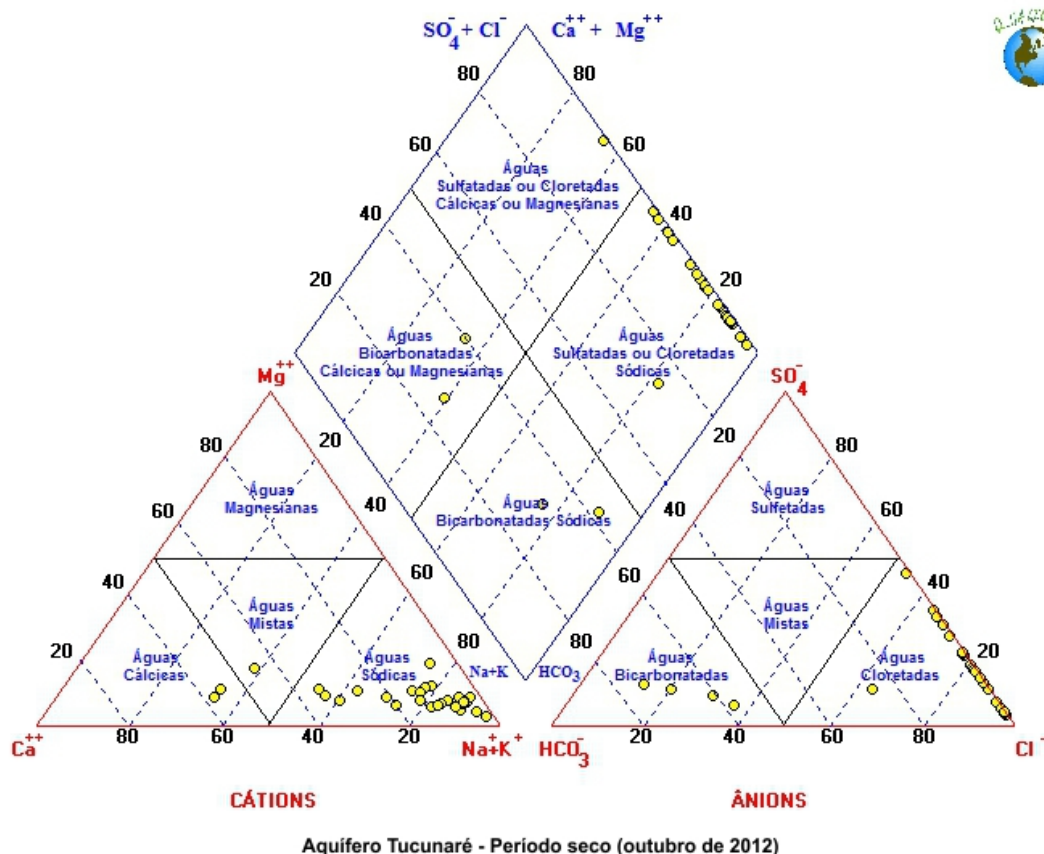
Cátions	Poços	%	Ânions	Poços	%	Geral	Poços	%
Águas Magnésianas	0	0,0	Águas Sulfetadas	0	0,0	Águas Cloretadas Cálceas	1	3,3
Águas Cálceas	0	0,0	Águas Bicarbonatadas	1	3,3	Águas Bicarbonatadas Cálceas ou Magnésianas	0	0,0
Águas Sódicas	29	96,7	Águas Cloretadas	29	96,7	Águas Bicarbonatadas Sódicas	1	3,3
Águas Mistas	1	3,3	Águas Mistas	0	0,0	Águas Cloretadas Sódicas	28	93,3

Com base nos dados apresentados na **figura 6.28** e na **tabela 6.52**, é possível afirmar que, a maioria (93,3%) das águas do aquífero tucunaré, coletadas em abril de 2012, são *Cloretadas Sódicas*. Os 6,6% restantes dos poços apresentam águas de composição química diversa, dentre elas, cloretada cálcica (3,3%) e bicarbonatada sódica (3,3%).

A ocorrência desses tipos fora do padrão é atribuída possivelmente a influências antrópicas, haja vista que a área de estudo está inserida em região urbana.

### Período de estiagem

De acordo com a **figura 6.29** e **tabela 6.53** verifica-se que as águas do aquífero Tucunaré, no período seco (outubro de 2012), quanto à presença de ânions, são 86,7% (26/30) cloretadas e 13,3% (4/30) bicarbonatadas. Com relação aos cátions é possível identificar que 90% (27/30) das águas são sódicas, 6,7% (2/30) são cálcicas, e 3,3% (1/30) são mistas.



**Figura 6.29** – Classificação das águas subterrâneas do aquífero Tucunaré, através do Diagrama de Piper, com base em amostras de água coletadas em outubro de 2012.

Mediante análise dos dados da **tabela 6.53** e **figura 6.29** é possível afirmar que a maioria das águas do aquífero Tucunaré são *Cloretadas Sódicas*, o que corresponde a 83,3% das amostras. Os 16,7% restantes das amostras possuem composição química diversa, dentre as quais se encontram cloretada cálcica (3,3%), bicarbonatada cálcica (6,7%) e bicarbonatada sódica (6,7%), como pode ser observado na **tabela 6.53**.

A ocorrência desses tipos fora do padrão é provavelmente atribuída a influências antrópicas, pois a área de estudo está localizada em espaço geográfico bastante urbanizado.

**Tabela 6.53** - Classificação das Águas do Aquífero Tucunaré, de acordo com a composição química - Período seco (outubro de 2012).

Cátions	Poços	%	Ânions	Poços	%	Geral	Poços	%
Águas Magnesianas	0	0,0	Águas Sulfetadas	0	0,0	Águas Cloretadas Cálcidas	1	3,3
Águas Cálcidas	2	6,7	Águas Bicarbonatadas	4	13,3	Águas Bicarbonatadas Cálcidas	2	6,7
Águas Sódicas	27	90,0	Águas Cloretadas	26	86,7	Águas Bicarbonatadas Sódicas	2	6,7
Águas Mistas	1	3,3	Águas Mistas	0	0,0	Águas Cloretadas Sódicas	25	83,3

Analisando os resultados das duas campanhas, nota-se que a composição química das águas subterrâneas do aquífero Tucunaré não se modifica com a sazonalidade, sendo em sua maioria classificadas como *Cloretadas Sódicas*.

#### 6.8.17.2 – Diagrama de Stiff

Com base nos resultados das coletas realizadas nos meses de abril e outubro de 2012, em 30 poços situados no aquífero Tucunaré, foram elaborados para fins de classificação das águas, segundo a composição química, Diagramas de Stiff, através dos quais é possível visualizar facilmente por meio de polígonos, os íons predominantes em cada um dos poços analisados.

#### **Período chuvoso**

Os resultados da primeira campanha, assim como a classificação das águas do aquífero Tucunaré segundo a predominância de íons, estão apresentados na **tabela 6.54**.

**Tabela 6.54** - Classificação das Águas do Aquífero Tucunaré, de acordo com a predominância de íons - Período chuvoso (abril de 2012).

Classificação	Poços	%
Água Bicarbonatada Sódica	01	3,3
Água Cloretada Sódica	29	96,7

Verificou-se que as amostras do aquífero Tucunaré coletadas no período chuvoso, em abril de 2012, são 96,7% (29/30) cloretadas sódicas (**figura 6.30a**) e 3,3% (1/30) bicarbonatada sódica (**figura 6.30b**). Tais dados permitem classificar as águas do aquífero Tucunaré, em abril de 2012, na sua maioria como *Cloretadas Sódicas*.

### Aquífero Tucunaré (Águas Cloretadas Sódicas) – abril de 2012

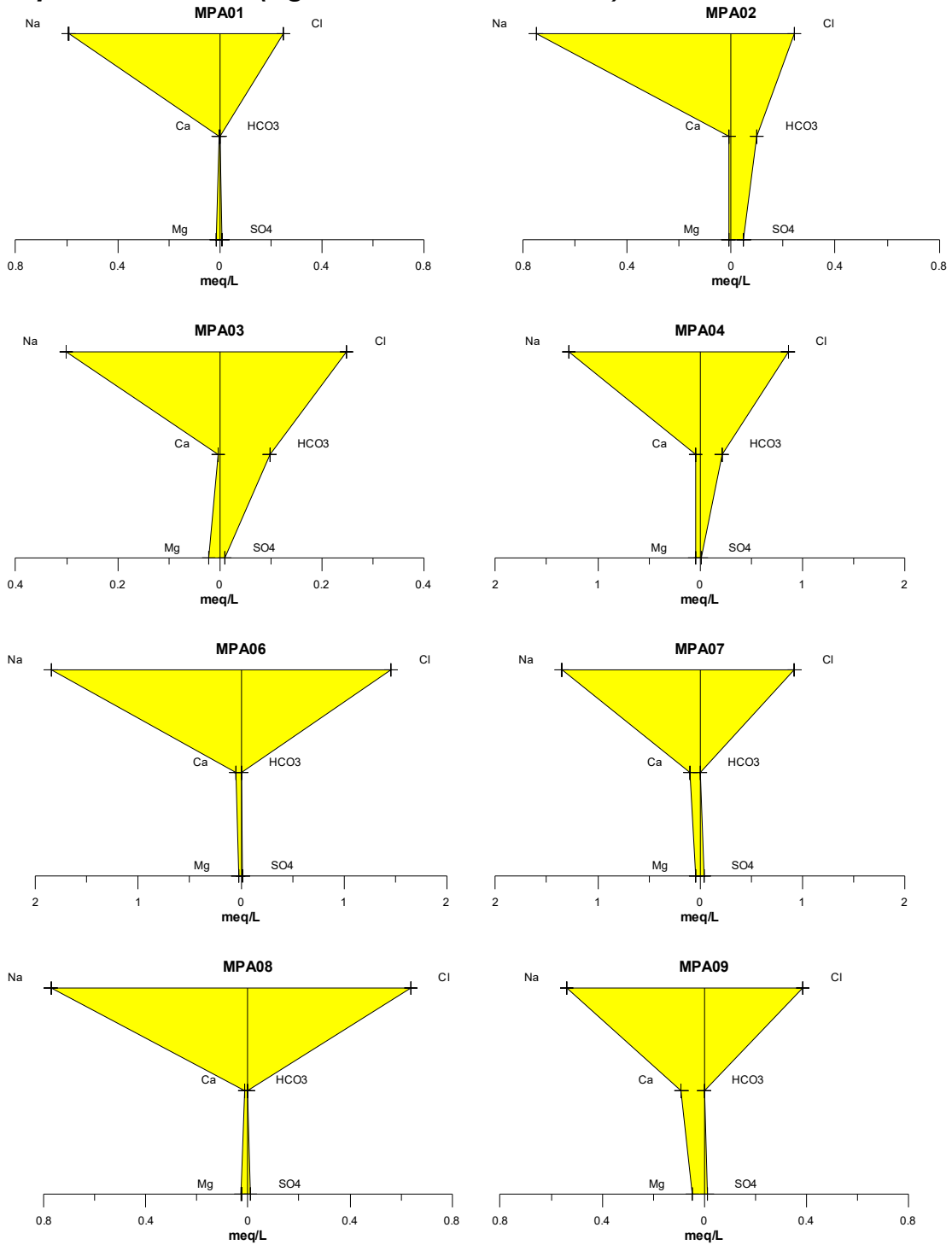
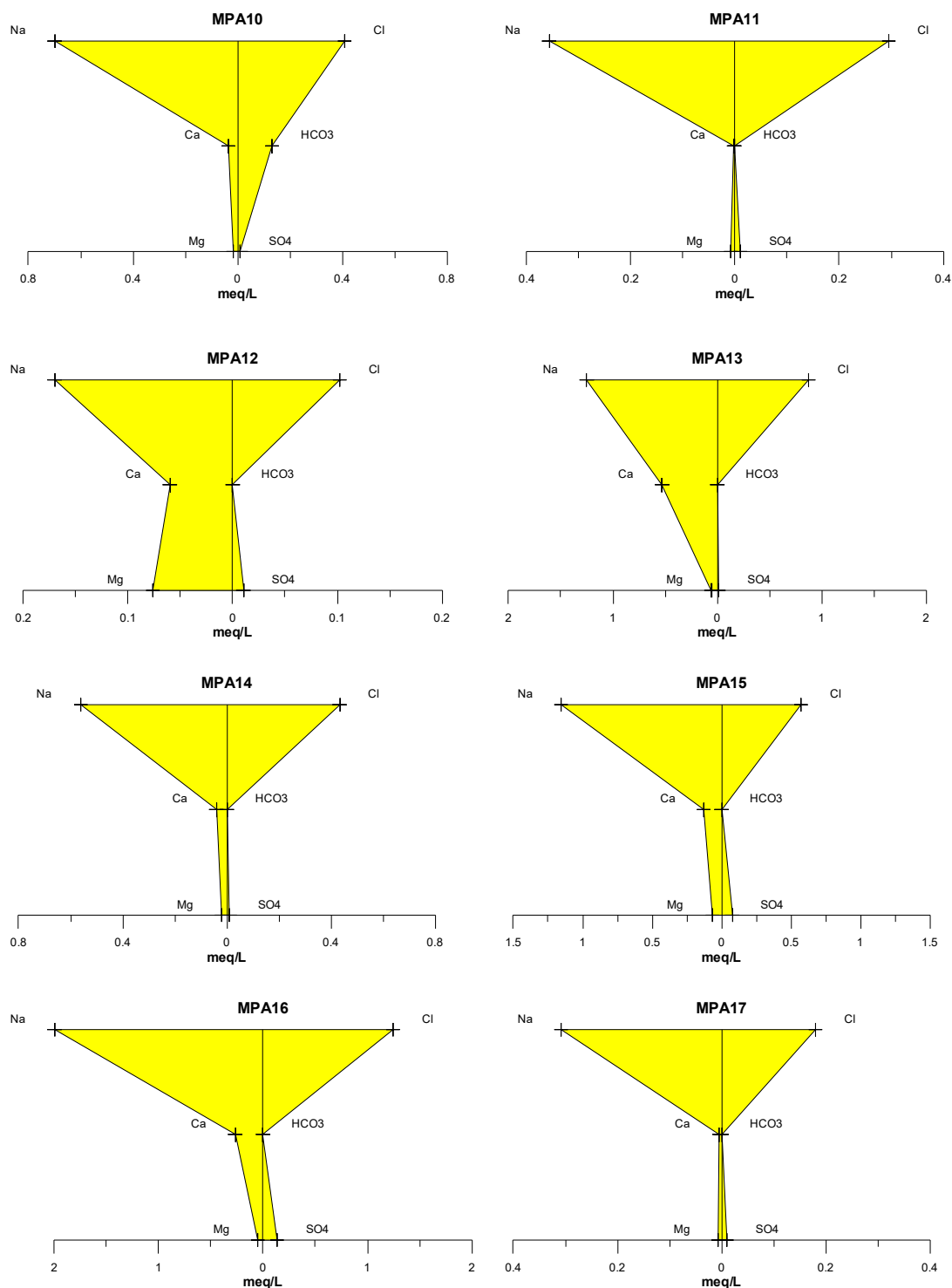


Figura 6.30a – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Tucunaré.

## Continuação

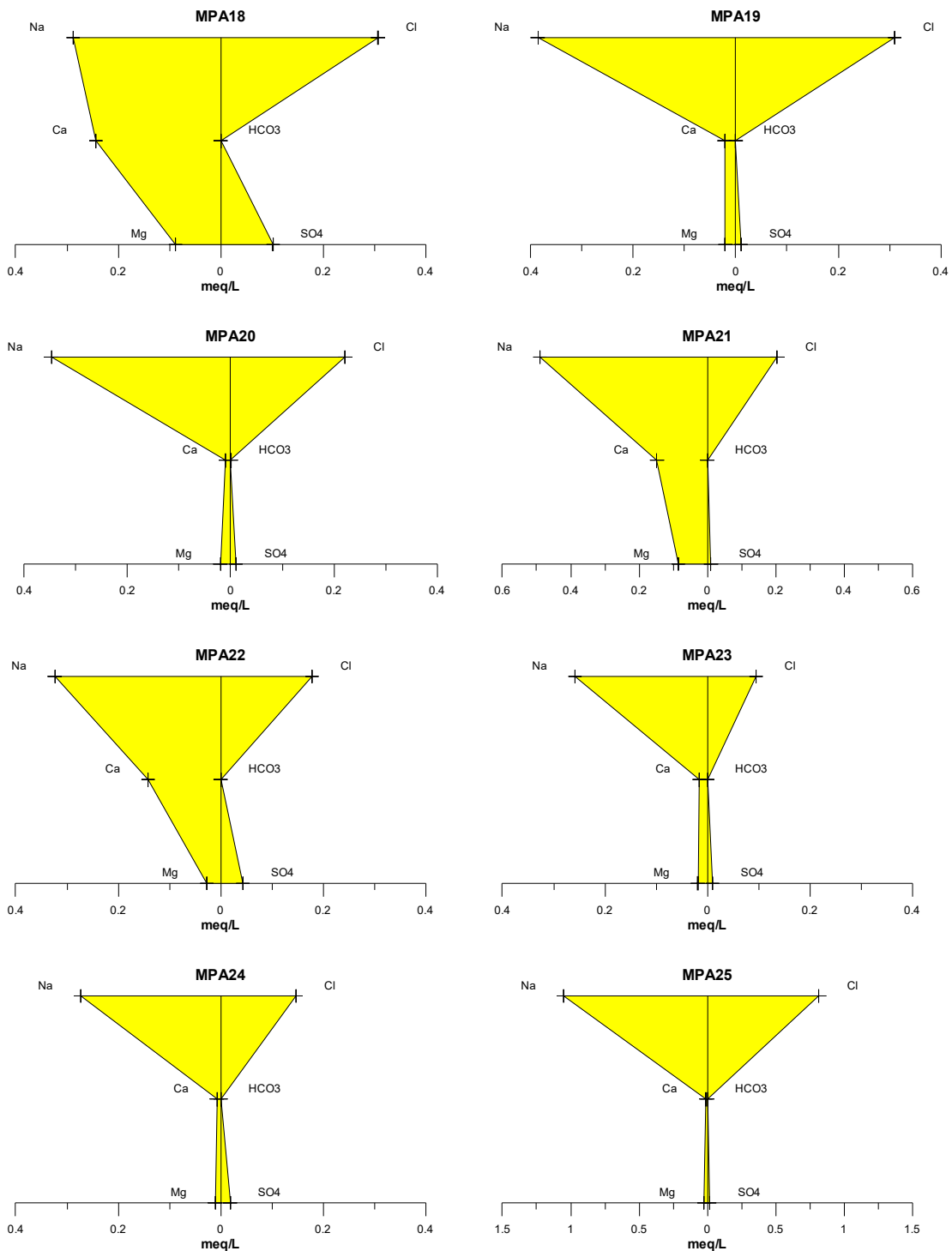
### Aquífero Tucunaré (Águas Cloretadas Sódicas) – abril de 2012



**Figura 6.30a** – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Tucunaré (Continuação).

**Continuação**

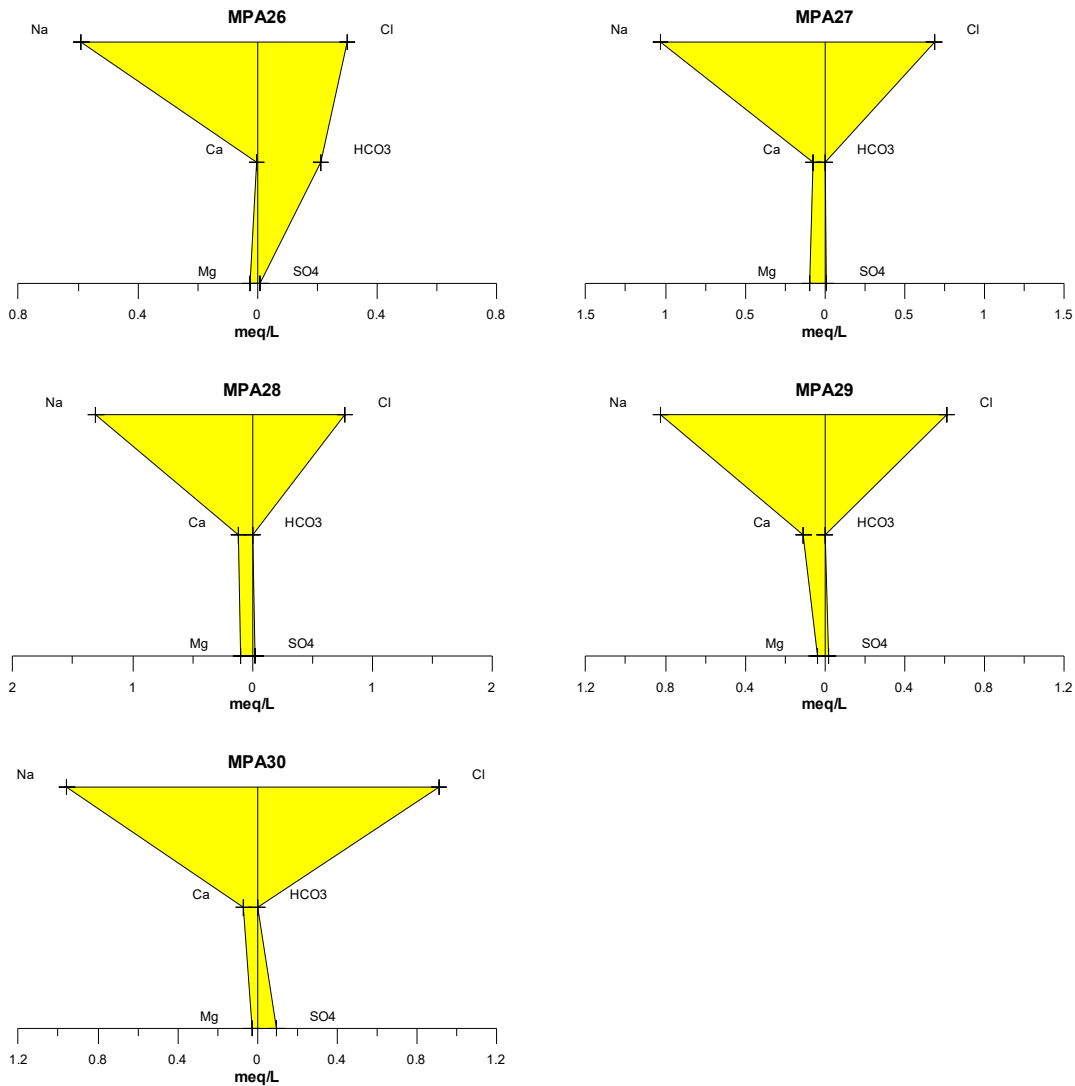
**Aquífero Tucunaré (Águas Cloretadas Sódicas) – abril de 2012**



**Figura 6.30a** – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Tucunaré (Continuação).

**Continuação**

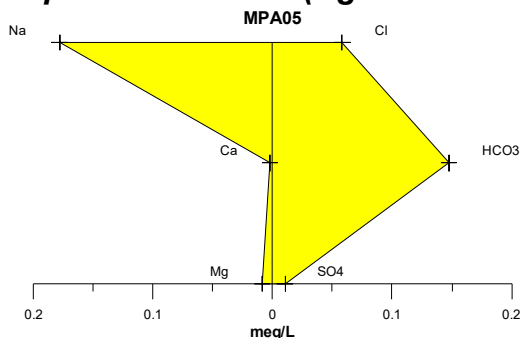
**Aquífero Tucunaré (Águas Cloretadas Sódicas) – abril de 2012**



**Figura 6.30a** – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Tucunaré (Continuação).



### Aquífero Tucunaré (Água Bicarbonatada Sódica) – abril de 2012



**Figura 6.30b** – Água bicarbonatada sódica classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Tucunaré.

### Período de estiagem

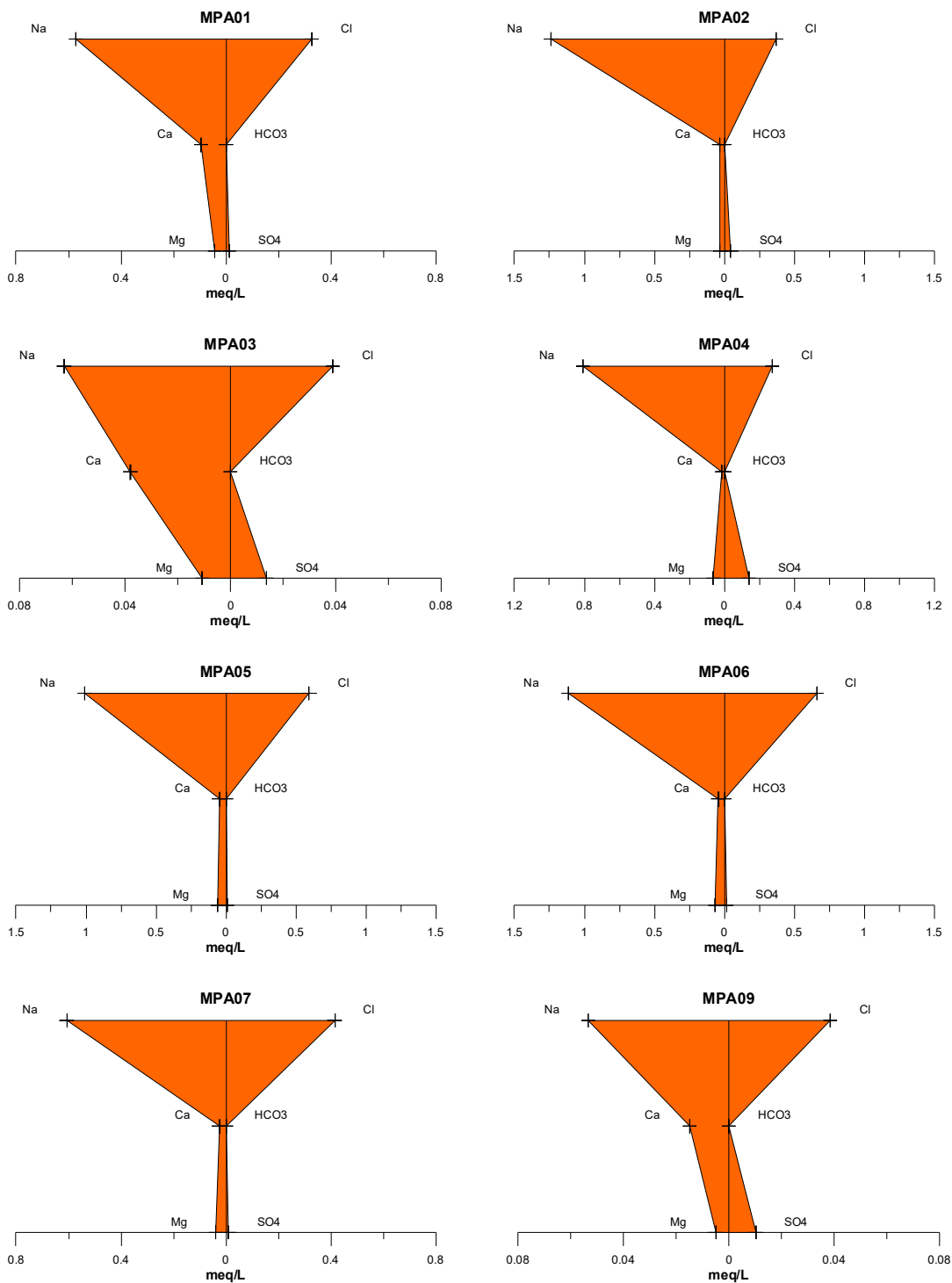
Os resultados da primeira campanha, assim como a classificação das águas do aquífero Tucunaré segundo a predominância de íons, estão apresentados na **tabela 6.55**.

**Tabela 6.55** - Classificação das Águas do Aquífero Tucunaré, de acordo com a predominância de íons - Período seco (outubro de 2012).

Classificação	Poços	%
Água Bicarbonatada Sódica	02	6,7
Água Cloretada Sódica	25	83,3
Água Bicarbonatada Cálcica	02	6,7
Água Cloretada Cálcica	01	3,3

Analisando os resultados das amostras do aquífero Tucunaré, coletadas no período seco, em outubro de 2012, verificou-se que 83,3% (25/30) das águas são classificadas como cloretadas sódicas (**figura 6.31a**); 6,7% (2/30) bicarbonatadas sódicas (**figura 6.31b**); 6,7% (2/30) bicarbonatadas cálcicas (**figura 6.31c**); e 3,3% (1/30) cloretada cálcica (**figura 6.31d**). Sendo, portanto, classificadas as águas do aquífero Tucunaré na sua maioria, como *Cloretadas Sódicas* para este período.

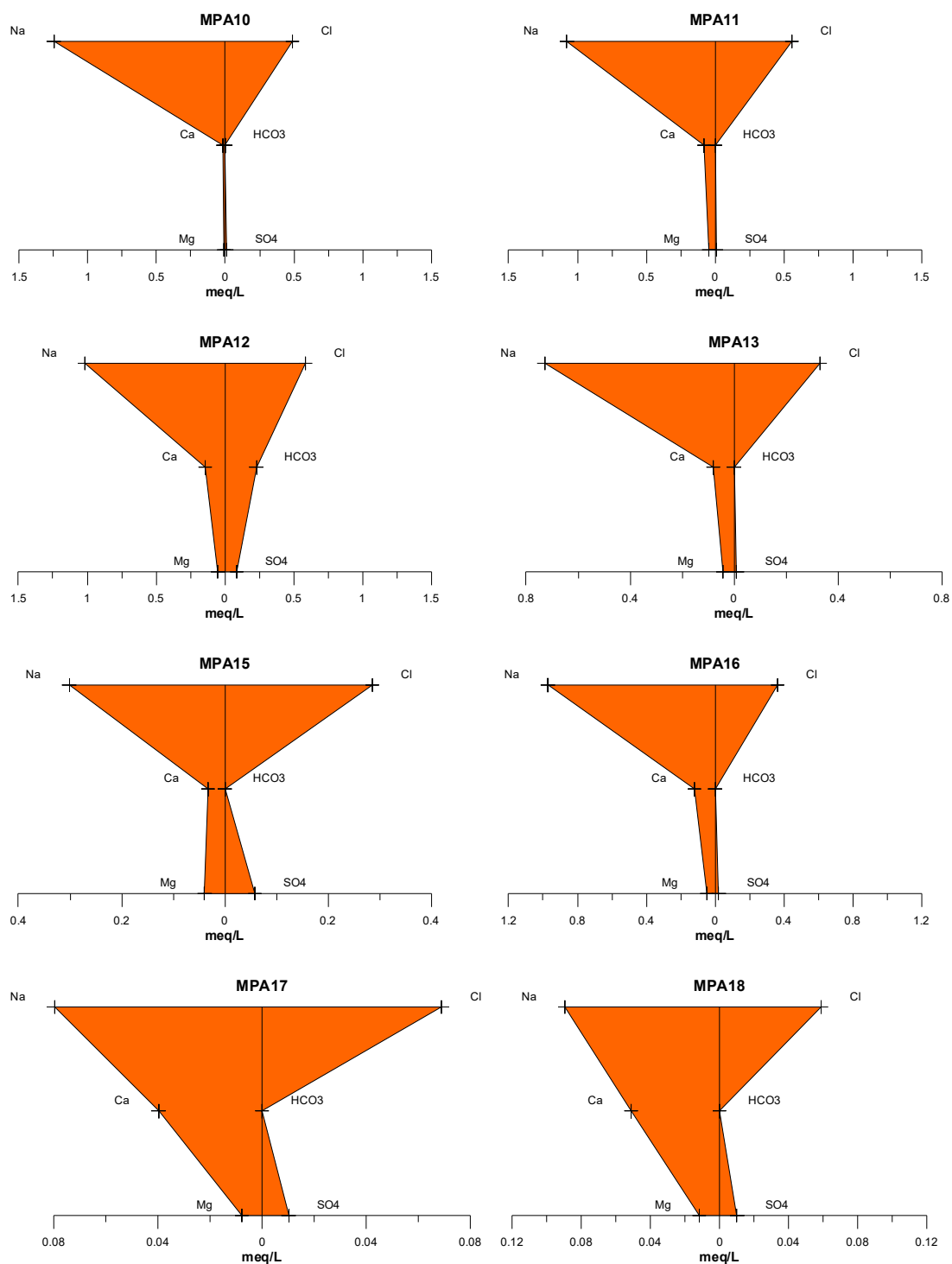
**Aquífero Tucunaré (Águas Cloretadas Sódicas)- outubro de 2012**



**Figura 6.31a** – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Tucunaré.

## Continuação

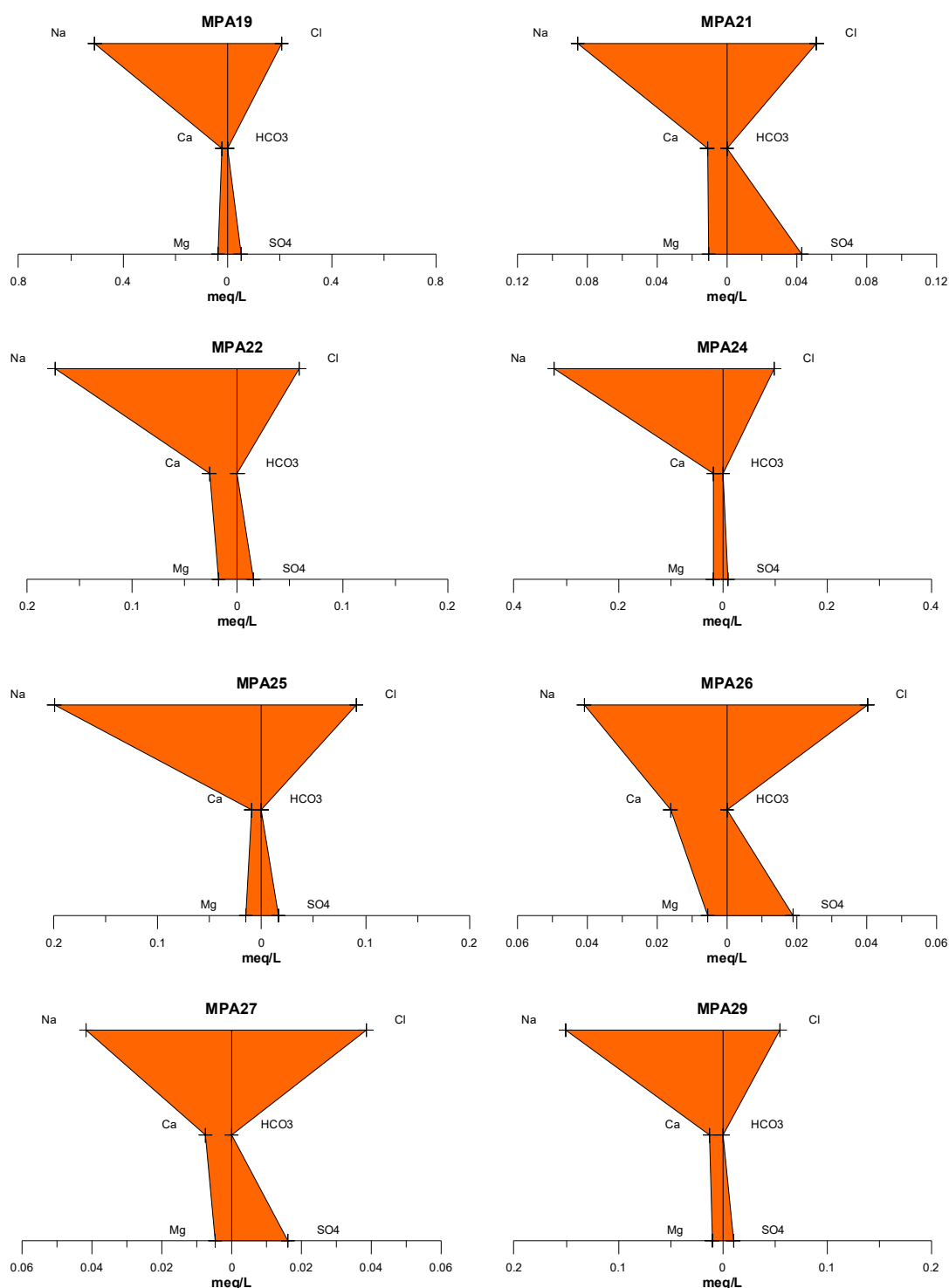
### Aquífero Tucunaré (Águas Cloretadas Sódicas)- outubro de 2012



**Figura 6.31a** – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Tucunaré (Continuação).

## Continuação

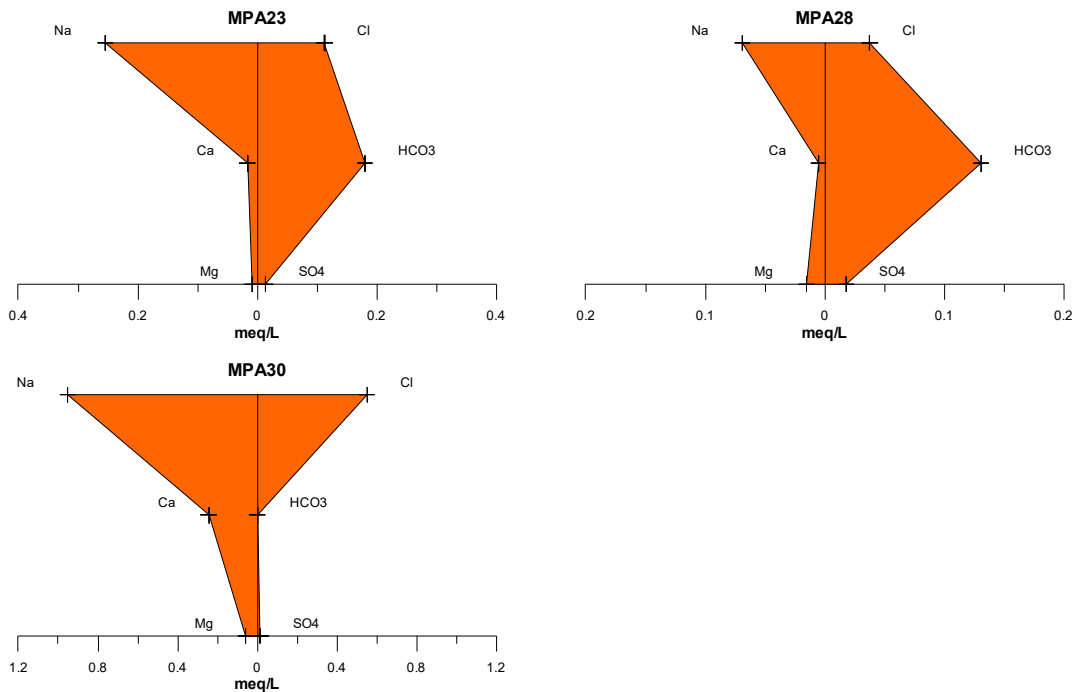
### Aquífero Tucunaré (Águas Cloretadas Sódicas)- outubro de 2012



**Figura 6.31a** – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Tucunaré (Continuação).

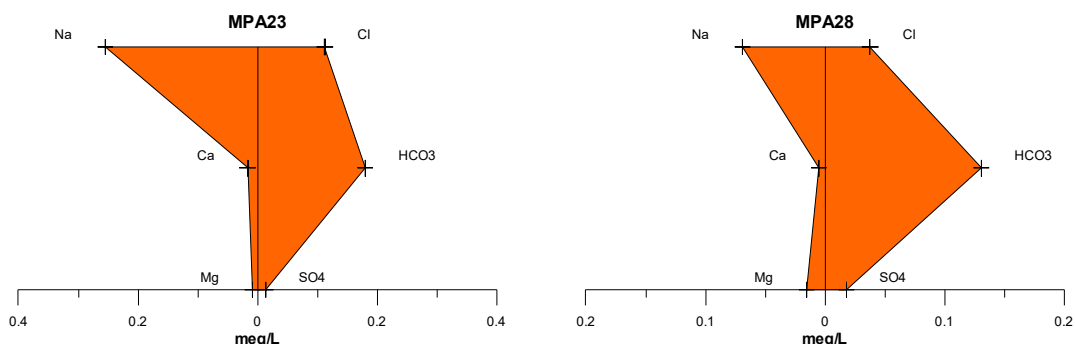
## Continuação

### Aquífero Tucunaré (Águas Cloretadas Sódicas)- outubro de 2012



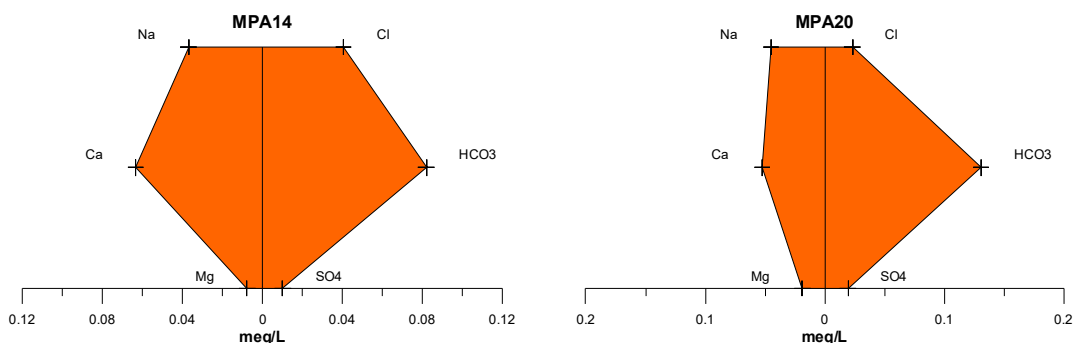
**Figura 6.31a** – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Tucunaré (Continuação).

### Aquífero Tucunaré (Águas Bicarbonatadas Sódicas) - outubro de 2012



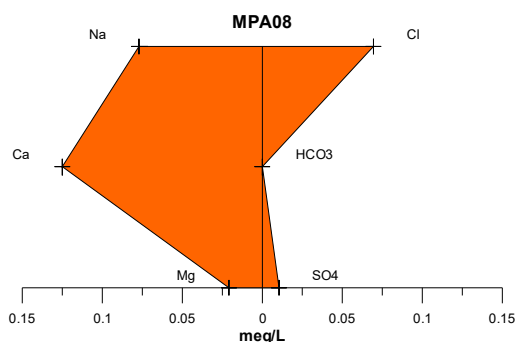
**Figura 6.31b** – Águas bicarbonatadas sódicas, classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Tucunaré.

### ***Aquífero Tucunaré (Águas Bicarbonatadas Cálcicas) - outubro de 2012***



**Figura 6.31c** – Águas bicarbonatadas cálcicas, classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Tucunaré.

### ***Aquífero Tucunaré (Água Cloretada Cálcica) - outubro de 2012***

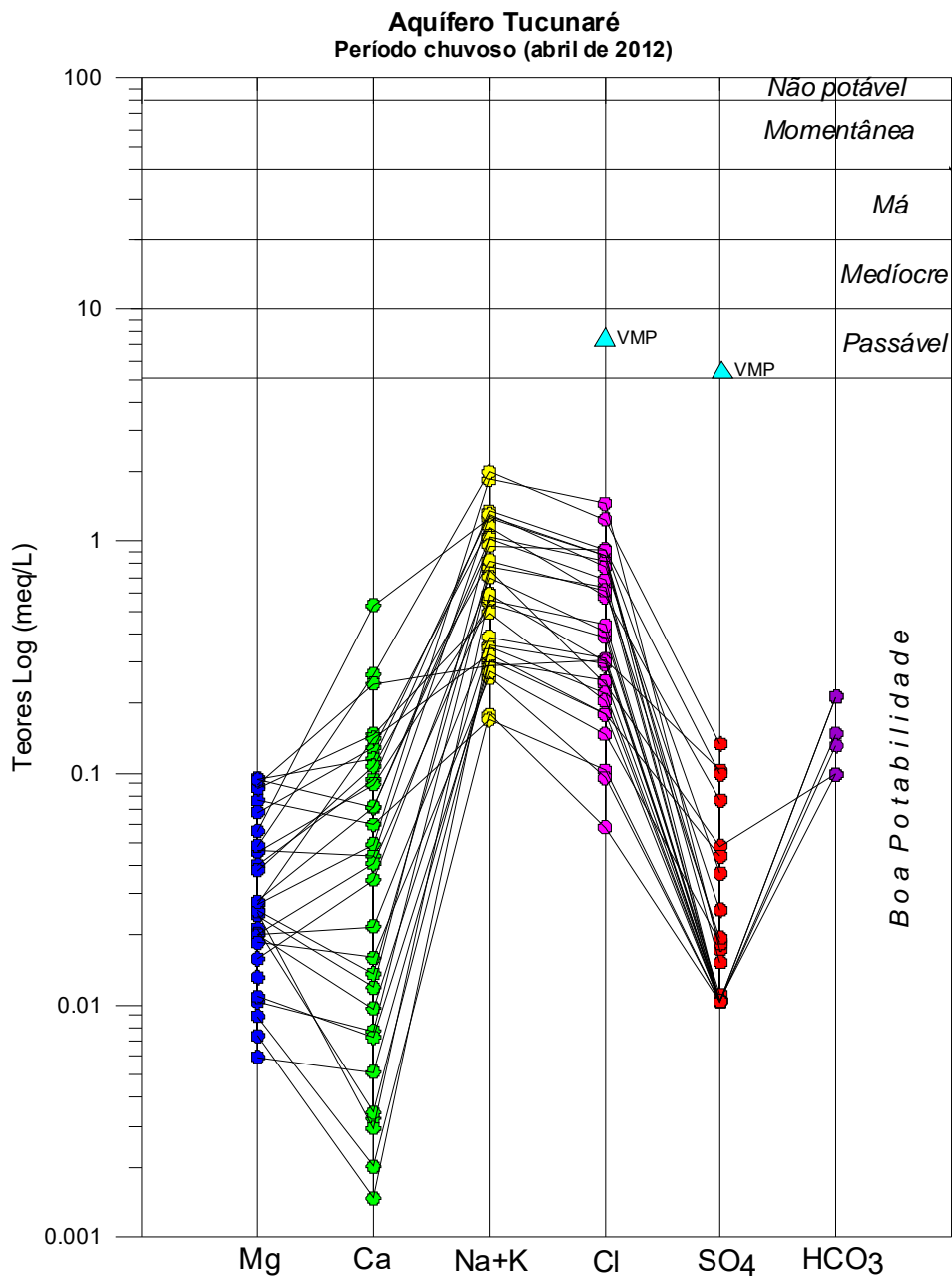


**Figura 6.31d** – Água cloretada cálcica, classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Tucunaré.

## **6.8.18 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquífero Tucunaré Segundo o Uso**

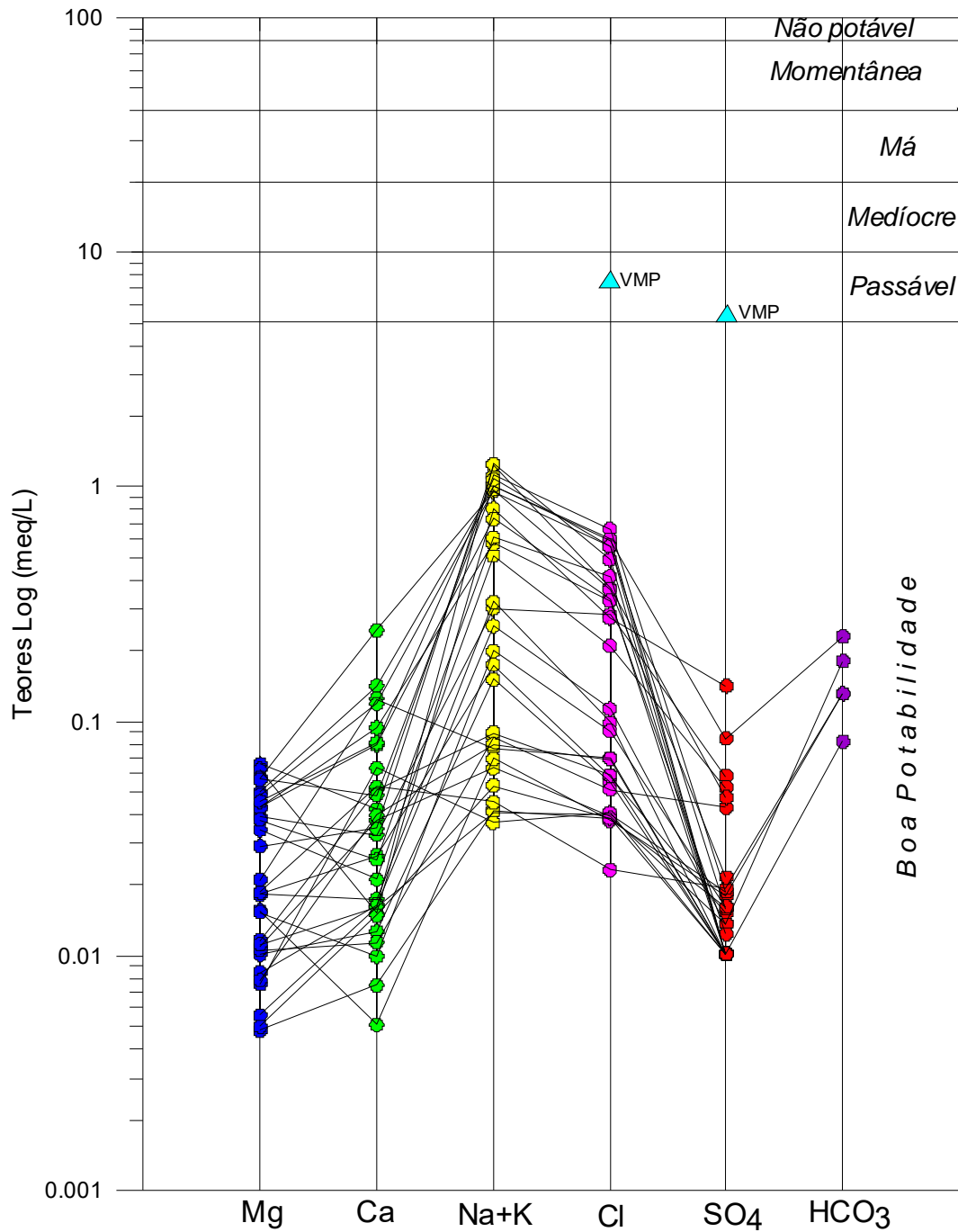
### **6.8.18.1 – Diagramas de Schoeller-Berkaloff para o Consumo Humano**

A potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Tucunaré para consumo humano, avaliada através do Diagrama de Schoeller-Berkaloff, é apresentada na **figura 6.32** para o período chuvoso e na **figura 6.33** para o período de estiagem. Em ambos os períodos verifica-se que a potabilidade se classifica como boa.



**Figura 6.32** – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Tucunaré no período chuvoso segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff.

**Aquífero Tucunaré**  
Período seco (outubro de 2012)



**Figura 6.33** – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Tucunaré no período de estiagem segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff.

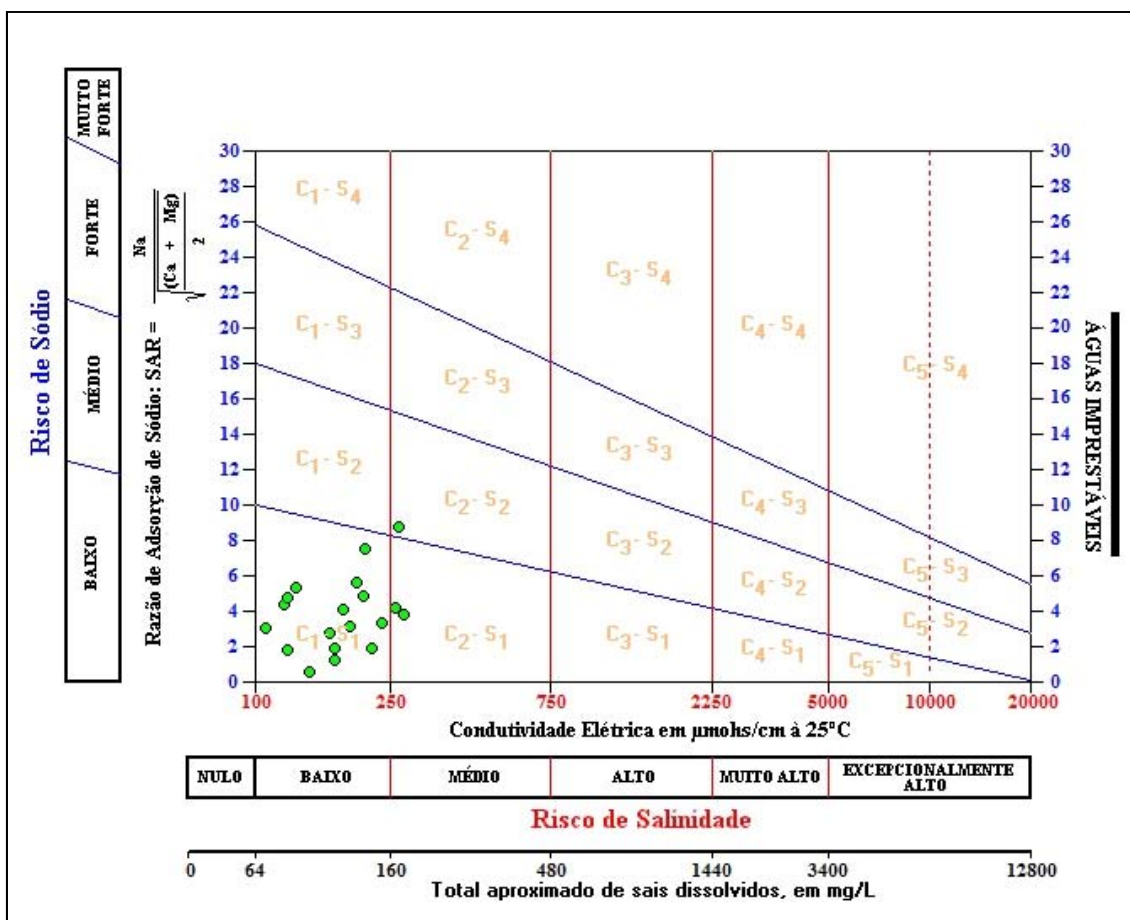
**6.8.18.2 – Diagramas de Risco de Sódio e Salinidade para Irrigação**

Para a avaliação das águas do aquífero Tucunaré quanto ao uso na irrigação foi utilizada a classificação proposta pelo *United States Salinity Laboratory* (USSL), que se baseia na Razão de Adsorção de Sódio (SAR) e na condutividade elétrica da água para classificar as águas em categorias de acordo com a salinidade e o risco de sódio.



## Período chuvoso

Com base na referida classificação, verificou-se que as amostras coletadas em abril de 2012 apresentaram risco de sódio baixo em 97% dos casos, ou seja, classificação S<sub>1</sub>, que significa águas fracamente sódicas, que podem ser utilizadas em quase todos os solos com fraco risco de formação de teores nocivos de sódio susceptível de troca, servindo para o cultivo de quase todos os vegetais. Os 3% restantes têm classificação S<sub>2</sub>, que indica águas medianamente sódicas, que apresentam perigo de sódio para os solos de textura fina e com forte capacidade de troca de cátions, e que podem ser utilizadas nos solos de textura grosseira ou ricos em matéria orgânica, com boa permeabilidade (figura 6.34).

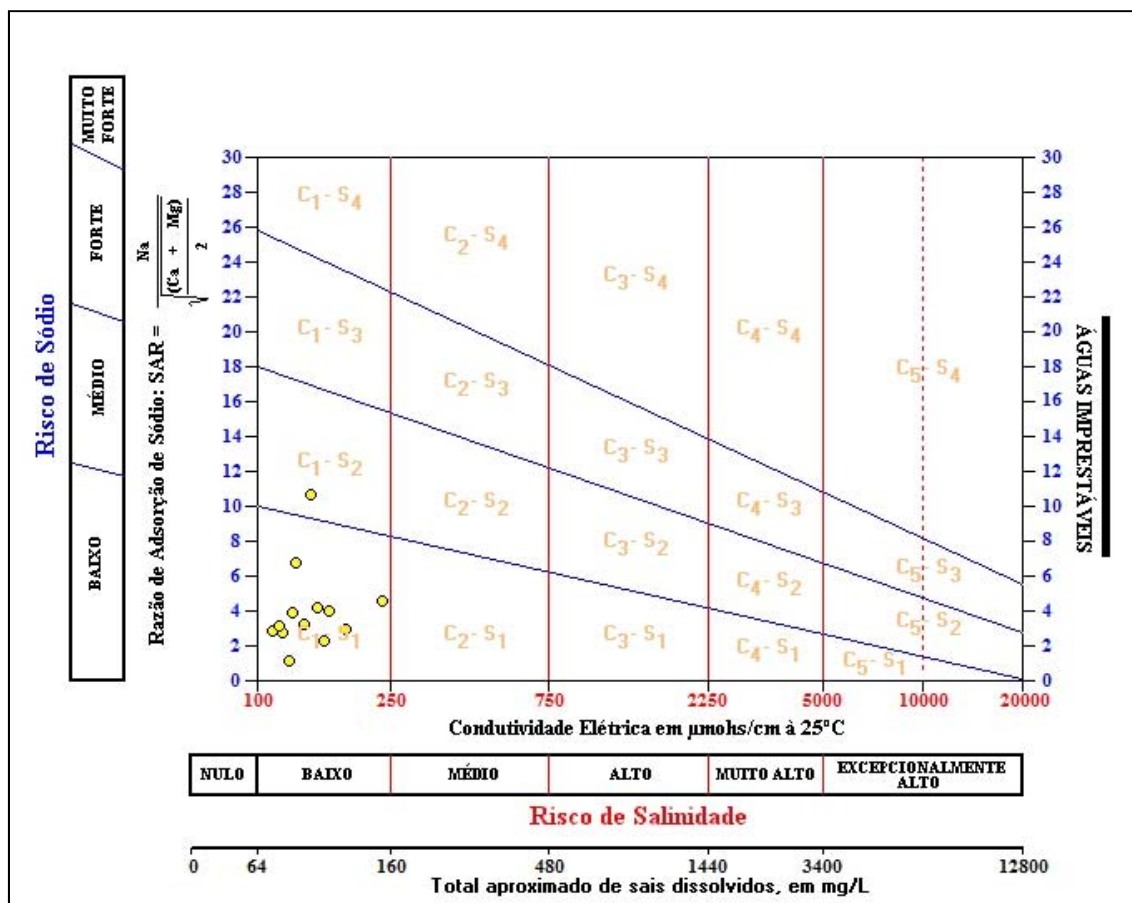


**Figura 6.34** – Classificação das águas do Aquífero Tucunaré para fins de irrigação – Abril de 2012.

Quanto à salinidade, as amostras de abril de 2012 apresentaram em 53% dos casos a classificação C<sub>1</sub>, indicativa de que são águas de salinidade fraca, que podem ser utilizadas para irrigar a maioria das culturas, na maioria dos solos, com pequeno risco de salinização do solo, exceto se a permeabilidade do solo for extremamente fraca; ao passo que 37% apresentaram classificação C<sub>0</sub>, que corresponde a águas de salinidade fraquíssima, que podem ser utilizadas sem restrições para irrigação. Os 10% restantes, com classificação C<sub>2</sub>, são águas de salinidade média, que devem ser usadas com precaução, podendo ser utilizadas em solos silte-arenosos, siltosos ou areno-argilosos quando houver uma lixiviação moderada do solo (figura 6.34).

### Período de estiagem

Os resultados das amostras coletadas em outubro de 2012 revelaram que em 97% dos casos, as águas apresentaram risco de sódio baixo, o que corresponde à classificação S<sub>1</sub>, águas fracamente sódicas que podem ser usadas em quase todos os solos e servem para cultivar boa parte dos vegetais. Os 3% restantes possuem classificação S<sub>2</sub>, indicando águas medianamente sódicas, que apresentam perigo de sódio para os solos de textura fina e com forte capacidade de troca de cátions, e que podem ser utilizadas nos solos de textura grosseira ou ricos em matéria orgânica, com boa permeabilidade, como indica a **figura 6.35**.



**Figura 6.35** – Classificação das águas do Aquífero Tucunaré para fins de irrigação – Outubro de 2012.

Com relação à salinidade, as amostras de outubro de 2012 apresentaram em 57% dos casos a classificação C<sub>0</sub>, que corresponde a águas de salinidade fraquíssima, que podem ser utilizadas sem restrições para irrigação; e em 43% dos casos a classificação C<sub>1</sub>, ou seja, águas de salinidade fraca, que podem ser utilizadas para irrigar a maioria das culturas (**figura 6.35**).

De modo geral, verifica-se que ambas as campanhas de amostragem apresentaram águas propícias para fins de irrigação, o que pode representar uma alternativa local de fonte de renda (**tabela 6.56**).

**Tabela 6.56** - Classificação das águas coletadas nas duas campanhas de amostragem de acordo com o risco de salinidade e de sódio, segundo USSL.

Poço	Período chuvoso (abril de 2012)			Período seco (outubro de 2012)		
	Classe USSL	Risco		Classe USSL	Risco	
		Salinidade	Sódio		Salinidade	Sódio
MPA01	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
MPA02	C0-S1	Nulo	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
MPA03	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
MPA04	C1-S1	Baixo	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
MPA05	C0-S1	Nulo	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
<b>MPA06</b>	<b>C2-S2</b>	<b>Médio</b>	<b>Médio</b>	C1-S1	Baixo	Baixo
MPA07	C1-S1	Baixo	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
MPA08	C1-S1	Baixo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
MPA09	C1-S1	Baixo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
MPA10	C1-S1	Baixo	Baixo	C1-S2	Baixo	Médio
MPA11	C0-S1	Nulo	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
MPA12	C0-S1	Nulo	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
MPA13	C1-S1	Baixo	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
MPA14	C1-S1	Baixo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
MPA15	C1-S1	Baixo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
<b>MPA16</b>	<b>C2-S1</b>	<b>Médio</b>	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
MPA17	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
MPA18	C1-S1	Baixo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
MPA19	C0-S1	Nulo	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
MPA20	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
MPA21	C1-S1	Baixo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
MPA22	C0-S1	Nulo	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
MPA23	C1-S1	Baixo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
MPA24	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
MPA25	C1-S1	Baixo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
MPA26	C1-S1	Baixo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
MPA27	C1-S1	Baixo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
<b>MPA28</b>	<b>C2-S1</b>	<b>Médio</b>	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
MPA29	C1-S1	Baixo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
MPA30	C1-S1	Baixo	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo

Legenda:

Poços destacados em vermelho possuem salinidade média, de acordo com a classificação do USSL.

### 6.8.18.3 – Pecuária

A fim de avaliar se as águas coletadas nos trinta poços distribuídos no aquífero Tucunaré nos períodos de abril e outubro de 2012 servem para pecuária, empregou-se a metodologia adotada por McKee & Wolf (1963), os quais determinam os limites máximos admissíveis de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) na água para cada tipo de animal, como pode ser observado na **tabela 6.57**.

**Tabela 6.57** – Padrões de STD para uso animal, segundo McKee & Wolf (1963).

Animal	STD (mg/L)
Aves	2.860
Porcos	4.290
Cavalos	6.435
Gado (leite)	7.180
Gado (corte)	10.000
Bodes e Carneiros	12.900

Sendo assim, com base na classificação acima, é possível afirmar que as águas em ambos os períodos de coleta podem ser utilizadas para o consumo animal sem restrições, uma vez que os maiores teores encontrados de STD foram de 229 e 159 mg/L, respectivamente, para a 1ª e 2ª campanhas.

#### **6.8.19 – Conclusões Gerais sobre a Qualidade das Águas Subterrâneas do Aquífero Tucunaré**

O estudo hidrogeoquímico das águas do aquífero Tucunaré indicou, que de forma geral, os teores analisados se encontram em baixíssimas concentrações, devido ao clima chuvoso da Floresta Tropical Amazônica, e que alguns poucos valores extremos encontrados, inclusive acima do VMP estabelecido como de potabilidade pela Portaria MS 2914/2011, assim como, os usos preponderantes da água subterrânea definidos pela Resolução CONAMA 396/2008 se devem a fatores antrópicos, excetuando-se o ferro.

Tal comportamento é facilmente identificado nos parâmetros de STD, CE, sódio, magnésio, potássio, cloreto, amônia e nitrato, os quais no período chuvoso apresentaram altos teores quando comparados ao período de estiagem, o que se justifica, pois a área de estudo é muito plana e periodicamente é afetada por inundações, onde ocorre o transbordamento de fossas sépticas, cujos dejetos se misturam às águas superficiais, de modo que pode haver infiltração de água contaminada, no período chuvoso.

Aliado a isso, a avaliação dos parâmetros biológicos indicou a presença tanto de Coliformes totais, quanto de *E. Coli*, em ambas as campanhas, o que corresponde à contaminação das águas subterrâneas por fossas sépticas, devido à ausência de sistema de esgotamento sanitário na região, e também pelo fato de que os poços tubulares, em sua maioria são pouco profundos e construídos com técnicas inapropriadas, que deixam os espaços anelares sem a devida proteção sanitária. A ocorrência desses parâmetros biológicos é extremamente preocupante, pois pode ocasionar doenças de veiculação hídrica na população que utiliza dessas águas para os mais diversos usos, incluindo consumo humano.

Os altos teores de ferro dissolvidos em alguns pontos isolados nas águas do aquífero Tucunaré se devem a reações de oxi-redução, atuantes sobre o ferro insolúvel residual do intemperismo químico regional resultante da alta pluviosidade associada a elevadas temperaturas e acidez das águas, as quais favoreceram a decomposição das rochas ao longo do tempo geológico.

Quanto ao pH *in situ*, os resultados mostram que em ambos os períodos as águas subterrâneas do aquífero Tucunaré se caracterizam essencialmente como ácidas.

Todas as amostras analisadas dos metais pesados arsênio, cádmio, cromo e mercúrio apresentaram teores abaixo do limite de detecção, ao passo que bário e zinco obtiveram teores abaixo do VMP definido pela Portaria MS 2914/2011 e Resolução CONAMA 396/2008.

Alguns poços identificados nas proximidades de oficina mecânica e de áreas com presença de descarte inadequado de resíduos sólidos apresentaram teores de chumbo, cobre e níquel acima dos limites definidos pela Portaria MS 2914/2011 e da Resolução CONAMA 396/2008, não sendo suas águas indicadas para consumo humano.

No que se refere às análises de BTEX e fenóis todas as amostras respeitaram os limites de potabilidade definidos pela Portaria MS 2914/2011 e Resolução CONAMA 396/2008.

Os resultados dos isótopos ambientais revelaram que a recarga do aquífero Tucunaré, provém de águas meteóricas, de acordo com as análises de Oxigênio-18 e Deutério. Segundo as datações efetuadas com Trício as águas do aquífero estudado têm idade submoderna com recarga anterior a 1952 e mistura de água submoderna com recarga recente.

Quanto às idades convencionais de radiocarbono, há presença de águas modernas com menos de 200 anos, ou seja, águas mais rasas, e de paleoáguas com idade da ordem de 20.000 anos, o que indica águas mais profundas.

No que se refere à classificação das águas subterrâneas de acordo com a composição química é possível verificar que as águas do aquífero Tucunaré em sua maioria são Cloretadas Sódicas, e de boa potabilidade, segundo indicação dos diagramas de Piper, Stiff e Schoeller-Berkaloff.

No que concerne à avaliação das águas para irrigação verifica-se que as águas do aquífero Tucunaré possuem risco de sódio que varia de baixo a médio, e salinidade entre fraquíssima a média, indicando que as águas podem ser usadas para o cultivo de boa parte dos vegetais.

As águas podem ser utilizadas para a dessedentação animal sem restrições, haja vista que os teores de STD encontrados em ambas as campanhas foram baixíssimos.

Além dos fatores antrópicos que influenciam bastante a área de estudo, também é importante destacar o aumento significativo em alguns parâmetros, tais como, STD, CE, sódio, potássio, magnésio, cloreto e condutividade elétrica no período chuvoso, o que sugere uma elevada quantidade de íons nas águas, indicativos da intrusão de águas marinhas, através das "áreas de ressaca" na região, que são as planícies aluviais, as quais são periodicamente inundadas pelo rio Amazonas, que também representa uma fonte de recarga do aquífero Tucunaré. Aliado a isso, tem-se ainda a hipótese de que a recarga por precipitações se verifica, sobretudo, no trimestre maio-julho, motivo pelo qual as águas subterrâneas no período de estiagem, se apresentam mais diluídas do que no período chuvoso.

## **7 – Referências Bibliográficas**

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **A evolução da gestão dos recursos hídricos no Brasil**. Brasília: ANA, 2002.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Conjuntura dos Recursos Hídricos do Brasil: 2013**. Brasília: ANA, 2013. 432p.

ALABURDA, J.; NISHIHARA, L. Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços. **Revista de Saúde Pública**, vol. 32, n. 2, p.160-165, 1998.

ANDRADE, T. S.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; RODRIGUES, D. F. B. Variabilidade espaço-temporal da condutividade elétrica da água subterrânea na região semiárida de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol.16, nº5, p.496-504, 2012.

APPELO, C. A. J.; POSTMA, D. **Geochemistry, groundwater and pollution**. USA: CRC Press, 1993, 536p.

BARCELONA, M. J.; GIBB, J. P.; HELFRICH, J. A.; Garske, E. E. Practical Guide for Ground-Water Sampling. **Illinois State Water Survey Champaign**, Illinois - USA, 1985.

BITENCOURT, D. P.; QUADRO, M. F. L.; NURI, O. C. Análise de dois casos de ressaca no litoral da região Sul no verão de 2002. In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2002, Foz do Iguaçu - PR. **Anais**. Foz do Iguaçu: SBMET, 2002. p.3910-3917.

BOHN, H. L. Redox potentials. **Soil Science**, v. 112, nº 1, p.39-45, 1970.

BRASIL. Ministério da Saúde - MS. **Portaria MS nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011**. Brasília, DF, Diário oficial da União nº 239, de 14 de dezembro de 2011, Seção 1, páginas 39-46.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente - MMA. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**. Brasília, DF, Diário oficial da União nº 53, de 18 de março de 2005, Seção 1, páginas 58-63.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente - MMA. **Resolução CONAMA nº 396, de 03 de abril de 2008**. Brasília, DF, Diário oficial da União nº 66, de 07 de abril de 2008, Seção 1, páginas 64-68.

BRITO, F. V.; OLIVEIRA, A. S.; NEVES, H. C.; AZEVEDO, J. A. T.; BHERING, D. L.; REIS, S. M.; MACHADO, M. C. S.; AZEVEDO, G. C.; CARVALHAES, G. K. Estudo da Contaminação de Águas Subterrâneas por BTEX oriundas de postos de distribuição no Brasil. In: 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, 2005, Salvador – BA. **Anais**. Salvador: Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás (IBP) e UNIFACS, 2005.

CAMPOS, J. C. V. A problemática dos recursos hídricos subterrâneos na Amazônia na visão do Serviço Geológico do Brasil - CPRM. In: Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste, I, 2003, Petrópolis - RJ. **Anais**. Rio de Janeiro: ABAS, 2003. p.133-141.

CAMPOS, T. S.; ROHLFS, D. B. Avaliação dos valores de nitrato em águas subterrâneas e sua correlação com atividades antrópicas no município de Águas Lindas de Goiás. In: V Mostra de Produção Científica da Pós-Graduação Lato Sensu da PUC Goiás, 2010, São Paulo - SP. **Anais**. São Paulo: PUC, 2010.

CELLIGOI, A. Considerações sobre análises químicas de águas subterrâneas. **Revista Geografia**, Londrina, vol. 8, n. 1, p. 91-97, 1999.

CLARK, I.; FRITZ, P. **Environmental Isotopes in hydrogeology**. USA: Lewis Publishers, 1997. 328p.

COLVARA, J. G.; LIMA, A. S.; SILVA, W. P. Avaliação da contaminação de água subterrânea em poços artesianos no sul do Rio Grande do Sul. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, II SSA, 2009.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Ficha de Informação Toxicológica: Níquel e seus compostos**. São Paulo: Divisão de Toxicologia, Genotoxicidade e Microbiologia Ambiental, 2012.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Ficha de Informação Toxicológica: Zinco**. São Paulo: Divisão de Toxicologia, Genotoxicidade e Microbiologia Ambiental, 2012.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Ficha de Informação Toxicológica: Fenol**. São Paulo: Divisão de Toxicologia, Genotoxicidade e Microbiologia Ambiental, 2010.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo - Série Relatórios - Apêndice A: Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2009. 43p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Relatório de qualidade de águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo: Divisão de Toxicologia, Genotoxicidade e Microbiologia Ambiental, 2007.

COSTA, M. R. M.; ÁVILA, P. F. **Geoquímica das águas subterrâneas: Parte I: Reações de equilíbrio: conceitos teóricos e exercícios de aplicação**. Vila Real: UTAD, 2010.



CRAIG, H. Isotopic Variations in Meteoric Waters. Science, New Series, vol. 133, nº 3465, p.1702-1703, 1961.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. **Hidrologia Subterránea**. Madrid: Omega, vol. 2, 1983. 2359p.

DEUTSCH, C.V.; JOURNEL, A. G. GSLIB. **Geostatistical Software Library and User's Guide**. Oxford University Press, 1998. 1 CD-ROM.

ENZWEILER, J. **Aula 5: Amostragem de águas e parâmetros de qualidade**. São Paulo: UNICAMP, 2010. 12p. Disponível em: <<https://www.ige.unicamp.br/site/aulas/9/Aula5.pdf>>. Acesso em: 30 maio 2014.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602p.

FAZZIO, A. L.; SILVA, F. V.; XAVIER, H. V. S.; FERREIRA, I. V. L.; FREIRE, C. C. Avaliação da Contaminação das Águas Subterrâneas na Cidade de Maceió. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009, Campo Grande - MS. **Anais**. Campo Grande: ABAS, 2009. p.1-18.

FEITOSA, F. A. C.; Manoel Filho, J. (Org.). **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. Rio de Janeiro: CPRM-UFPE, 2000. 412p.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. (Org.). **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. Rio de Janeiro: CPRM – LABHID, 2008. 812p. 3ª Edição.

FELGUEIRAS, C. A. Modelagem ambiental com tratamento de incertezas em sistemas de informação geográfica: o paradigma geoestatístico por indicação. 1999. 212p. **Tese de Doutorado em Computação Aplicada** - INPE, São José dos Campos, 1999.

FORTI, M.C.; MOREIRA-NORDEMANN, L. M. Rainwater and throughfall chemistry in a “terra firme” rain forest: Central Amazonia. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, vol. 96, p. 7415-7421, 1991.

FORTUNATO, J. M. **Comportamento dos íons chumbo, cobre, níquel e zinco em área de manguezal associado a antigo lixão no município de Santos - SP**. 2009. 64 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) - Instituto de Geociências - USP, São Paulo, 2009.

FREEZE, R. A.; Cherry, J. A. **Groundwater**. USA: Prentice Hall, 1979. 604p.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS - FUNCEME. **Software Qualigraf**, 2010.

GONÇALES, V. G; GIAMPÁ, C. E. Q. **Águas Subterrâneas e poços tubulares profundos**. São Paulo: Signus Editora, 2006.

GONÇALVES, K. M. **Caracterização da dinâmica da comunidade de bacterioplâncton no estuário do Rio Amazonas (Canal do Norte) – AP.** 2009. 94p. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical) – Universidade Federal do Amapá – UNIFAP, Macapá, 2009.

GOOVAERTS, P. **Applied Geostatistics Series: Geostatistics for Natural Resources Evaluation.** New York: Oxford, 1997. 489p.

HEM, J. D. Restraints on dissolved ferrous iron imposed by bicarbonate, redox potential, and pH. **U.S. Geological Survey Water-Supply Paper**, 1459-B, p.33-55, 1960.

HEM, J. D. **Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water.** USA: U.S. Geological Survey, Water Supply Paper 2254, 1985. 248p.

HINDI, E. C.. Caracterização hidroquímica e hidrogeológica das fontes cársticas das bacias dos rios Tumiri, Água Comprida, Fervida e das Onças – Colombo - PR. **Boletim Paranaense de Geociências.** Editora da UFPR, n.9, p. 95-114, 2001.

KAO, C. M.; WANG, C. C. Control of BTEX Migration by Intrinsic Bioremediation at a Gasoline Spill Site. **Water Research**, vol. 34, n.13, p. 3413-3423, 2000.

KAUFMAN, S.; LIBBY, W. F. The natural distribution of tritium. **Phys. Review**, vol. 93, nº 6, p.1337-1344, 1954.

KEHEW, A. E. **Applied chemical hydrogeology.** Upper Saddle River, N. J.: Prentice-Hall, 2001. 368p.

KEITH, L. H. **Compilation of Epa's Sampling and Analysis Methods.** USA: CRC Press, 1996. 1696p.

KUNTASAL, O. O.; KARMAN, D.; WANG, D.; TUNCEL, S. G.; TUNCEL, G. Determination of volatile organic compounds in different microenvironments by multibed adsorption and short-path thermal desorption followed by gas chromatographic-mass spectrometric analysis. **Journal of Chromatography**, vol.1099, n.1-2, p.43-54, 2005.

LENZI, E.; FAVERO, L. O. B.; LUCHESE, E. B. **Introdução à Química da Água: Ciência, vida e sobrevivência.** Rio de Janeiro: LTC, 2009.

LEPRUN, J. C.; SANTOS, R. D.; CERRI, C. C. Composição das Águas de Percolação de Solos no Estado de Rondônia. **Geochimica Brasiliensis**, vol.3, nº 1, p.23-31, 1989.

LIMA, H. N.; MELLO, J. W. V.; SCHAEFER, C. E. G. R.; KER, J. C. Dinâmica da mobilização de elementos em solos da Amazônia submetidos à inundação. **Revista Acta Amazônica**, Manaus - AM, vol.35, nº 3, p.317-330, 2005.

LOGAN, J. **Interpretação de análises químicas d'água**. Recife: U.S Agency for International Development - USAID, 1965. 67p.

LOPES, F. C. C.; LIMA, J. R.; LIMA, J. O. G.; FRANÇA, A. M. M.; LOIOLA, H. G.; LEITÃO, J. C. Comportamento anual da alcalinidade em águas subterrâneas de Crateús - CE. In: 5º Congresso Norte-Nordeste de Química & 3º Encontro Norte-Nordeste de Ensino de Química, 2013, Natal - RN. **Anais**. Natal: UFRN, 2013.

MADARI, B. E.; CUNHA, T. J. F.; NOVOTNY, E. H.; MILORI, D. M. B. P.; MARTIN NETO, L.; BENITES, V. M.; COELHO, M. R.; SANTOS, G. A. Matéria orgânica dos solos antrópicos da Amazônia (Terra Preta de Índio): suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo. In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B.; LIMA, H. N.; WOODS, W. (Org.). **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua Caracterização e Uso deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas**. Manaus: EMBRAPA Amazônia Ocidental, 2009. p.172-188. cap. 13.

MAIA, R. G.; GODOY, H. K.; IAMAGUTTI, H. S.; MOURA, P. A.; COSTA, F. S. F.; HOLANDA, M. A.; COSTA, J. A. **Projeto Carvão no Alto Solimões: Relatório Final**. CPRM: Amazonas, 1977, 137 p.

MAZZEO, T. E. **Avaliação Ambiental dos Rios de Drenagem da Região Metropolitana de Belém - PA quanto a Distribuição dos Elementos: Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb e Zn**. 1991. 141f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal do Pará, Pará, 1991.

MCKEE, J. E.; WOLF, H. W. Water Quality Criteria. **State Water Quality Control Board**, Sacramento, California, Pub. 3-A, 1963.

MCNEELY, R. N.; NEIMANIS, V. P.; DWYER, L. **Water quality sourcebook: a guide to water quality parameters**. Canadá: Water Quality Branch, 1979. 89p.

MELIAN, R.; MIRLEAN, N.; GOURIEV, A.; MORARU, K.; RADSTAKE, F. Ground Water Quality and Rural Drinking-Water Supply in the Republic Moldova. **Hydrogeology Journal**, vol.7, n.2, p.188-196, 1999.

MELLO, F. A. F.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R. I.; NETTO, A. C.; KIEHL, J. **Fertilidade do solo**. São Paulo: Ed. Distribuidora, 1984. 400p.

MERKEL, B. J.; FRIEDRICH, B. P. **Groundwater geochemistry: a Practical Guide to Modeling of Natural and Contaminated Aquatic Systems**. USA: Springer, 2008. 230p.

MONTEIRO, I. L. G.; GIODA, A. Estudo da composição química de aerossóis e precipitação coletados na Região Amazônica e sua correlação com fontes locais e transporte de longa distância. In: PIBIC - Programa Institucional de Iniciação Científica do CNPq, XIX, 2011, Rio de Janeiro - RJ. **Anais**. Rio de Janeiro: PUC, 2011. 8p.

MORAES, D. **Bioma Amazônia**. Rio de Janeiro: FIOCRUZ, 1999. Disponível em: <<http://www.invivo.fiocruz.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=958&sid=2>>. Acesso em: 01 junho 2014.

MÜNNICH, K. O. Messungs des  $^{14}\text{C}$  gehaltes von hartem grundwasser. **Naturwiss**, 44, p. 32-39, 1957.

NARCISO, M. G.; GOMES, L. P. Qualidade da água subterrânea para abastecimento público na Serra das Areias, Aparecida de Goiânia - GO. **Revista Técnica da Sanepar**, Curitiba, vol.21, nº 21, p.4-18, 2004.

NIELSEN, D. M.; NIELSEN, G. L. **The Essential Handbook of Ground-water Sampling**. New York: CRC Press, 2007. 310 p.

OBIEFUNA, G. I.; SHERIFF, A. Assessment of Shallow Ground Water Quality of Pindiga Gombe Area, Yola Area, NE, Nigeria for Irrigation and Domestic Purposes. **Research Journal of Environmental and Earth Sciences**, vol.3, p.131-141, 2011.

PARRON, L. M.; MUNIZ, D. H. F.; PEREIRA, C. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2011. 67p.

PEDROSA, C. A.; CAETANO, F. A. **Águas Subterrâneas**. Brasília: Superintendência de Informações Hidrológicas - Agência Nacional de Águas (ANA), 2002. 85p.

PEREIRA FILHO, I. A.; SOBRINHO, J. B.; CRUZ, J. C.; KARAM, D.; COELHO, A. M. **Insumos e Equipamentos**. Brasília: Agência Embrapa de Informação Tecnológica - AGEITEC, 2011. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01\\_25\\_16\\_8200511158.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_25_16_8200511158.html)>. Acesso em: 22 abril 2014.

PEREIRA, P. Macapá, a capital sem água nem esgoto. *Jornal O Estado de São Paulo*, São Paulo, 03 set. 2013. Disponível em: <<http://marsemfim.com.br/macapa-a-capital-sem-agua-nem-esgoto-03092013/>>. Acesso em: 03 abril 2014.

PEREIRA, S.; CAVALCANTE, I. N.; GOMES, D. F.; GOMES, M. C. R.; MOURA, I. B. M. A qualidade das águas subterrâneas na porção Oeste da faixa costeira do município de Fortaleza, Ceará. In: XV CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2008, Natal - RN. **Anais**. Natal: ABAS, 2008. p.1-16.

PIVELI, R. P. **Curso: Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos - Aula 6: características químicas das águas: pH, acidez, alcalinidade e dureza**. São Paulo: LEB - ESALQ - USP, 2004. Disponível em: <<http://www.leb.esalq.usp.br/disciplinas/Fernando/leb360/Fasciculo%206%20-%20Alcalinidade%20e%20Acidez.pdf>>. Acesso em: 16 abril 2014.

- POHLING, R. **Reações químicas na análise de água**. Fortaleza: Arte Visual, 2009.
- PULS, R. W.; BARCELONA, M. J. Ground Water Sampling for Metals Analysis. In: BOULDING, J. R. (Edited by). **EPA - Environmental Assessment Sourcebook**. USA: Ann Arbor Press, p.337-345, 1989.
- RESENDE, A. V. **Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2002. 29p.
- SANTOS FILHO, H. **Mapeamento e classificação das áreas de ressaca na região metropolitana de Macapá utilizando imagens do satélite CBERS-2B**. 2011. 125f. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática e Computacional) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Minas Gerais, 2011.
- SANTOS, A.; RIBEIRO, M. N. G.; RIBEIRO, J. S.; BRINGEL, S. R. B. Hidroquímica da Amazônia Central III: Química de água de lavagem da floresta no ecossistema Campina Amazônia (Stemflow). **Acta Amazônica**, vol. 11, p. 335-346, 1981.
- SANTOS, U. M.; RIBEIRO, M. N. G. A hidroquímica do rio Solimões-Amazonas. **Acta Amazônica**, vol. 18, p.145-172, 1988.
- SANTOS, V. F.; COSTA, W. J. P.; SILVA, M. S.; SILVEIRA, O. F. M.; TORRES, A. M.; SILVA, A. Q.; MARTINS, M. H. A. **Projeto: Zoneamento Ecológico-Econômico do Setor Costeiro Estuarino do Estado do Amapá - ZEEC-AP. Tema I - Meio Natural: Capítulo 2 – Geologia**. Amapá: IEPA, 2004.
- SARGES, R. R.; NOGUEIRA, A. C. R.; FROTA, C. A.; SILVA, C. L. Depósitos argilosos Cenozóicos do estado do Amazonas: utilização como agregados de argilas calcinadas para pavimentações na região Amazônica. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium**, nº1, p.33-49, 2010.
- SCHMIDT, C. A. B. **Remediação in situ de solos e águas subterrâneas contaminados por líquidos orgânicos não miscíveis em água (NAPLs). Série Temática: Resíduos Sólidos e Geotecnia Ambiental – Volume 1**. Rio de Janeiro: COAMB / FEN / UERJ / 2010. 62 p.
- SCHOELLER, H. **Géochimie des Eaux Souterraines**. Paris: Revue de l'Institut Français du Pétrol, vol. 10, p. 230-244, 1955.
- SCHOELLER, H. **Les Eaux Souterraines**. Paris: Masson, 1962.
- SCHWARZBACH, M. S. R.; MORANDI, I. C. Avaliação da variabilidade temporal das características físico-químicas das águas subterrâneas dos poços tubulares profundos do município de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. In: 1st Joint World Congress on Groundwater, 2000, Fortaleza – CE. **Anais**. Fortaleza: ABAS, 2000. p.1-18.

SECRETARIA DO ESTADO DO MEIO AMBIENTE DO AMAPÁ - SEMA. **Ressacas, por que protegê-las?** Amapá: SEMA-AP, 2006. 24p.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. **Geodiversidade do estado do Amazonas: programa geologia do Brasil - levantamento da geodiversidade.** MAIA, M. A. M.; MARMOS, J. L. (Org.). CPRM: Manaus, 2010. 275p.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Amazonas: texto explicativo dos mapas geológico e de recursos minerais do estado do Amazonas - Escala 1:1.000.000.** REIS, N. J.; ALMEIDA, M. E.; RIKER, S. L.; FERREIRA, A. L. (Org.). CPRM: Manaus, 2006. 125p.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas & SIG.** BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. (Org.). CPRM: Brasília, 2003. 692p.

SILVA, Ê. F. F.; ANTI, G. R.; CARMELLO, Q. A. C.; DUARTE, S. N. Extratores de cápsulas porosas para o monitoramento da condutividade elétrica e do teor de potássio na solução de um solo. **Scientia Agricola**, vol.57, nº 4, p.785-789, 2000.

SILVA, F. A. S. Software ASSISTAT: versão 7.7. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, 2012.

SILVA, R. C. A.; ARAÚJO, T. M. Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA). **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, vol.8, n.4, p.1019-1028, 2003.

SNOEYINK, V. L.; JENKINS, D. **Water Chemistry.** New York: John Wiley & Sons, 1980. 463p.

SOUZA, E. L.; GALVÃO, P. H. F.; PINHEIRO, C. S. S.; BAESSA, M. P. M.; DEMÉTRIO, J. G. A.; BRITO, W. R. R. Síntese da Hidrogeologia nas bacias sedimentares do Amazonas e do Solimões: Sistemas Aquíferos Iça – Solimões e Alter do Chão. **Revista do Instituto de Geociências – USP**, vol.13, n.1, p.107-117, 2013.

SUASSUNA, J. O processo de salinização das águas superficiais e subterrâneas no Nordeste. Recife: Fundação Joaquim Nabuco, 2007. Disponível em: <http://www.fundaj.gov.br/geral/textos%20online/estudos%20avancados/salinizacao.pdf> acesso em abril de 2012. Acesso em: 16 abril 2014.

SZIKSZAY, M. **Geoquímica das Águas.** São Paulo: Scielo. Boletim IG-USP, Série Didática, nº 5, p.1-166, 1993. Disponível em: <<http://ppegeo.igc.usp.br/pdf/bigsd/n5/01.pdf>>. Acesso em: 08 maio 2014.

TAKIYAMA, L. R.; NERI, M. W. L.; SILVA, M. L. **Projeto zoneamento ecológico econômico urbano das áreas de ressacas de Macapá e Santana, Estado do Amapá: relatório técnico final**. Macapá: IEPA, 2012. 84p.

TCHOBANOGLIOUS, G.; BURTON, F. L.; STENSEL, H. D. **Wastewater Engineering: treatment, disposal and reuse**. Inc. METCALF & Eddy. New York: McGraw-Hill, 1991. 1334p.

TEIXEIRA, I. E. M. Águas da formação Açú. In: XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2002, Florianópolis - SC. **Anais**. Florianópolis: ABAS, 2002. p.1-25.

TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T. R.; TOLEDO, M. C. M.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 568p.

TENORIO, J. A. S.; ESPINOSA, D. C. R. Controle Ambiental de Resíduos. In: PHILLIPI JUNIOR, A.; ROMÉRIO, M. A.; BRUNA G. C. **Curso de Gestão Ambiental**. São Paulo: USP – Faculdade de Saúde Pública, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e Núcleo de Informações em Saúde Ambiental. 2004.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias – Vol. 1**. Belo Horizonte: Editora Universitária, 2005. vol. 1. 452p.

YOUNGER, P. L. Hydrogeochemistry of minewaters flowing from abandoned coal workings in County Durham. **Quarterly Journal of Engineering Geology**, vol. 28, p.101-113, 1995.

ZOBY, J. L. G. Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil. **Revista Águas Subterrâneas**, Natal, Supl. XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2008.

## **8 – ANEXOS**



## **8.1 – Resultados Hidrogeoquímicos das coletas de abril e outubro de 2012 do Aquífero Aluvial**

**8.1.1 – Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas no aquífero Aluvial durante a primeira campanha de amostragem de água no período chuvoso em abril de 2012.**

Poço	Município	UF	Aquífero	Temperatura (°C)	Cor (Pt/Co)	Turbidez (NTU)	CE (µS/cm)	Eh (mV)	pH in situ	pH a 20°C	STD (mg/L)	Alcalinidade Total (mg/L)	Dureza (mg/L)	Sódio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	E. coli - P/A em 100 mL	C. Totais (P/A em 100 mL)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Amônia (mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Carbonato (mg/L)	Bicarbonato (mg/L)
BEL027	Belém	PA	Aluvial	30,0	<5	4,10	338	14,0	6,69	7,2	236	182	169,60	3,94	3,32	49,80	11,00	0,902	0,156	4,78	6,47	0	1	<0,1	<0,02	<0,1	0,17	0,17	<0,5	0	180
BEL028	Belém	PA	Aluvial	29,4	<5	0,32	179	73,0	5,77	5,6	126	8	42,53	10,36	3,09	12,70	2,63	0,018	0,003	12,75	25,03	0	0	3,16	<0,02	3,00	0,58	3,58	6,7	0	8
EIR01	Eirunepé	AM	Aluvial	26,7	<5	<0,1	127	220,0	5,00	5,2	96	11	17,12	15,87	9,59	2,78	2,48	0,009	0,113	22,26	<0,5	1	1	1,89	<0,02	<0,1	0,10	0,10	2,0	0	9
EIR02	Eirunepé	AM	Aluvial	24,0	<5	1,20	16	206,0	5,40	5,4	12	<5	2,32	0,49	4,17	0,29	0,39	<0,0001	0,017	<1,0	<0,5	0	1	0,14	<0,02	<0,1	0,11	0,11	<0,5	0	0
EIR03	Eirunepé	AM	Aluvial	27,0	<5	0,36	30	193,0	5,80	5,8	24	13	3,95	4,20	2,67	0,74	0,51	0,014	0,071	<1,0	<0,5	1	1	<0,1	<0,02	<0,1	1,40	1,43	1,4	0	11
EIR04	Eirunepé	AM	Aluvial	26,0	<5	2,70	27	198,0	5,60	5,6	21	11	3,46	1,66	6,61	0,81	0,35	0,107	0,034	<1,0	<0,5	0	0	0,87	<0,02	<0,1	0,14	0,14	1,0	0	11
EIR05	Eirunepé	AM	Aluvial	27,3	<5	1,60	115	93,0	7,20	5,8	98	22	14,52	10,86	3,75	3,30	1,53	10,018	0,501	15,22	<0,5	0	1	<0,1	<0,02	<0,1	0,17	0,17	<0,5	0	22
ITB001	Itaituba	PA	Aluvial	27,9	<5	5,50	215	29,3	6,35	5,2	167	132	101,68	4,26	0,27	24,60	9,80	1,613	0,457	6,38	<1,0	0	1	<0,1	<0,02	<0,1	0,26	0,30	<0,5	0	130
ITB004	Itaituba	PA	Aluvial	26,7	<5	0,15	653	19,3	7,20	7,2	371	166	133,08	<0,01	4,77	30,60	13,80	0,005	0,006	108,37	14,68	0	1	<0,1	<0,02	0,30	0,13	0,43	<0,5	0	160
TBT01	Tabatinga	AM	Aluvial	27,5	<5	4,70	35	277,0	4,95	5,4	24	10	7,89	2,10	1,59	0,89	1,38	1,384	0,085	4,07	<0,5	0	0	0,55	<0,02	<0,1	0,31	0,31	0,9	0	9
TBT02	Tabatinga	AM	Aluvial	27,8	<5	0,12	49	293,6	4,61	7,2	32	13	2,70	3,88	1,25	0,22	0,52	0,036	0,026	10,00	2,64	0	0	2,07	<0,02	<0,1	0,57	0,57	2,6	0	18
TBT03	Tabatinga	AM	Aluvial	26,0	<5	3,20	172	297,3	4,47	5,5	154	0	5,85	16,46	3,42	0,73	0,98	1,227	0,093	29,75	<1,0	0	0	6,42	<0,02	<0,1	0,28	0,28	6,7	0	0
TBT04	Tabatinga	AM	Aluvial	25,9	<5	<0,1	65	259,0	5,22	5,2	57	11	11,04	3,58	1,89	1,40	1,84	0,010	0,049	7,93	<0,5	1	1	2,51	<0,02	<0,1	0,29	0,29	2,8	0	10
TBT05	Tabatinga	AM	Aluvial	28,0	<5	0,40	44	269,6	4,75	7,3	39	6	3,79	3,15	1,29	0,16	0,82	0,053	0,046	4,20	<0,5	0	0	2,28	<0,02	<0,1	0,28	0,28	2,6	0	6
TBT06	Tabatinga	AM	Aluvial	26,6	<5	0,38	26	417,0	2,31	6,1	19	8	4,25	1,16	1,03	0,36	0,81	0,350	0,041	1,68	<0,5	0	0	0,92	<0,02	<0,1	0,44	0,45	1,4	0	8
TBT07	Tabatinga	AM	Aluvial	27,6	<5	0,99	146	325,0	4,79	7,1	139	11	16,75	13,27	2,69	1,86	2,95	0,042	0,092	16,72	<0,5	0	0	6,66	<0,02	<0,1	0,14	0,14	6,8	0	11
TBT08	Tabatinga	AM	Aluvial	26,8	<5	0,51	40	188,3	5,46	6,0	25	25	7,20	1,84	1,14	1,35	0,93	0,354	0,026	<2,0	<1,0	0	1	<0,2	<0,02	<0,1	0,19	0,20	<0,5	0	22
TBT09	Tabatinga	AM	Aluvial	27,9	<5	<0,1	20	263,7	4,57	7,4	12	<5	0,83	0,44	0,20	0,13	0,13	0,015	0,008	<1,0	<0,5	0	0	0,48	<0,02	<0,1	0,22	0,22	0,7	0	0
TBT10	Tabatinga	AM	Aluvial	27,1	<5	<0,1	36	236,7	5,67	7,1	28	<5	2,86	2,93	0,68	0,59	0,34	0,002	0,006	3,72	<0,5	0	0	1,58	<0,02	<0,1	0,16	0,17	1,7	0	0
TBT11	Tabatinga	AM	Aluvial	27,6	<5	0,26	36	242,0	5,36	7,3	32	18	4,91	2,09	1,74	1,10	0,53	0,024	0,029	<1,0	0,84	0	0	0,68	<0,02	<0,1	0,16	0,16	0,8	0	18
TBT12	Tabatinga	AM	Aluvial	28,3	5,0	4,50	112	234,7	5,84	7,8	80	41	29,89	5,46	1,37	11,00	0,58	0,351	0,378	8,88	5,58	1	1	0,76	<0,02	0,45	<0,1	0,54	1,3	0	35
TBT13	Tabatinga	AM	Aluvial	26,2	<5	4,60	81	280,0	4,85	6,3	81	<5	2,48	8,82	0,90	0,18	0,49	0,055	0,034	18,26	<0,5	0	0	1,95	<0,02	<0,1	0,19	0,19	2,1	0	0
TBT14	Tabatinga	AM	Aluvial	28,3	<5	2,90	73	167,6	5,53	6,1	62	25	10,50	6,06	1,82	1,74	1,50	1,209	0,120	7,35	<1,0	0	1	0,42	<0,02	<0,1	0,18	0,18	0,6	0	24
TBT15	Tabatinga	AM	Aluvial	26,1	<5	0,11	45	231,0	5,18	7,4	43	15	6,07	3,29	1,64	1,03	0,85	0,046	0,041	2,45	<1,0	0	0	1,25	<0,02	<0,1	0,20	0,20	1,4	0	15

**8.1.2 - Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas no aquífero Aluvial durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012.**

Poço	Município	UF	Aquífero	Temperatura (°C)	Cor (Pt/Co)	Turbidez (NTU)	CE (µS/cm)	Eh (mV)	pH in situ	pH a 20°C	STD (mg/L)	Alcalinidade Total (mg/L)	Dureza (mg/L)	Sódio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	E. coli - P/A em 100 mL	C. Totais (P/A em 100 mL)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Amônia (mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Carbonato (mg/L)	Bicarbonato (mg/L)
BEL027	Belém	PA	Aluvial	29,7	<5	3,60	348	-28	7,5	7,4	228	188	158,28	7,49	3,47	49,14	8,64	0,676	0,090	2,09	4,57	0	1	<0,2	<0,02	0,2	<0,1	0,22	<0,5	0	188
BEL028	Belém	PA	Aluvial	29,3	<5	2,20	343	-28	7,4	7,4	233	181	174,16	4,40	3,21	56,30	8,15	0,467	0,081	1,82	4,71	0	0	<0,2	<0,02	0,1	0,11	0,21	<0,5	0	181
EIR01	Eirunepé	AM	Aluvial	26,1	<5	<0,1	31	196	7,4	5,6	18	11	4,15	2,67	1,19	0,73	0,57	0,044	0,071	<0,5	<0,5	0	1	<0,1	<0,02	<0,1	0,11	0,11	<0,5	0	11
EIR02	Eirunepé	AM	Aluvial	30,9	<5	<0,1	17	408	4,8	7,0	9	<5	2,99	0,45	1,48	0,46	0,45	0,008	0,019	<0,5	<0,5	0	1	0,15	<0,02	<0,1	0,13	0,13	<0,5	0	0
EIR03	Eirunepé	AM	Aluvial	31,2	<5	<0,1	274	398	4,7	6,1	249	16	24,80	13,95	3,05	4,65	3,22	0,030	0,089	30,23	2,87	0	1	1,98	<0,02	<0,1	0,11	0,11	2,1	0	16
EIR04	Eirunepé	AM	Aluvial	32,1	<5	<0,1	27	382	4,6	6,0	21	8	3,18	0,95	1,92	0,71	0,34	0,133	0,026	<0,5	0,72	0	1	0,91	<0,02	<0,1	0,11	0,11	1,0	0	8
EIR05	Eirunepé	AM	Aluvial	31,5	<5	<0,1	131	415	4,9	6,0	98	20	18,13	7,94	1,45	4,65	1,59	9,154	0,538	15,85	2,37	0	0	<0,2	<0,02	0,1	0,13	0,23	<0,5	0	20
ITB001	Itaituba	PA	Aluvial	29,3	<5	<0,1	126	402	5,1	4,4	146	<5	8,10	9,27	1,34	2,27	0,59	0,043	0,029	9,58	<0,5	0	0	8,33	<0,02	<0,1	0,10	0,10	8,4	0	0
ITB004	Itaituba	PA	Aluvial	30,6	<5	0,66	257	190	6,9	6,1	156	30	32,23	17,33	4,20	8,80	2,49	0,473	0,032	15,79	10,26	0	1	6,92	<0,02	3,9	0,39	4,29	11,2	0	30
TBT01	Tabatinga	AM	Aluvial	26,9	<5	<0,1	32	115	5,1	5,1	21	5	3,74	2,12	1,11	0,26	0,75	0,091	0,035	2,81	<0,5	0	0	0,76	<0,02	<0,1	0,10	0,10	0,9	0	5
TBT02	Tabatinga	AM	Aluvial	27,4	<5	2,80	69	150	4,6	5,9	50	16	7,34	1,81	2,54	0,67	1,38	16,688	0,094	0,91	<0,5	0	1	0,66	<0,02	<0,1	4,80	4,80	5,5	0	16
TBT03	Tabatinga	AM	Aluvial	28,5	<5	0,25	19	238	4,6	4,6	11	7	1,33	0,38	0,44	0,17	0,22	<0,001	0,009	<0,5	<0,5	0	1	0,76	<0,02	<0,1	0,11	0,11	0,9	0	0
TBT04	Tabatinga	AM	Aluvial	27,8	<5	0,59	137	-30	5,8	5,6	97	13	13,37	13,63	2,96	2,04	2,02	0,040	0,031	17,87	0,64	0	1	4,95	<0,02	<0,1	0,12	0,12	5,1	0	13
TBT05	Tabatinga	AM	Aluvial	33,5	<5	0,18	47	228	4,7	5,3	34	18	5,58	4,59	1,89	0,95	0,78	0,023	0,032	2,50	<0,5	0	0	1,28	<0,02	<0,1	0,10	0,10	1,4	0	18
TBT06	Tabatinga	AM	Aluvial	28,5	<5	<0,1	67	596	4,2	4,9	53	12	5,50	6,72	2,13	0,43	1,08	0,012	0,053	6,48	<0,5	0	0	3,97	<0,02	0,3	0,36	0,66	4,6	0	9
TBT07	Tabatinga	AM	Aluvial	28,5	<5	1,10	123	74	4,8	5,5	97	24	15,79	11,84	2,64	1,89	2,70	2,073	0,081	23,75	1,28	0	1	<0,2	<0,02	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5	0	24
TBT08	Tabatinga	AM	Aluvial	27,6	<5	0,43	47	242	6,1	5,9	34	25	7,94	5,77	1,49	1,59	0,97	0,901	0,031	<0,5	<0,5	0	1	<0,2	<0,02	<0,1	0,14	0,14	<0,5	0	25
TBT09	Tabatinga	AM	Aluvial	30,4	<5	0,12	48	349	4,7	4,9	37	8	1,75	8,62	1,28	0,09	0,37	0,011	0,016	6,32	<0,5	0	0	3,17	<0,02	<0,1	0,11	0,11	3,3	0	8
TBT10	Tabatinga	AM	Aluvial	28,2	<5	<0,1	39	494	5,0	5,5	29	14	2,18	5,47	0,95	0,39	0,30	0,021	0,008	3,45	<0,5	0	0	1,33	<0,02	<0,1	0,28	0,28	1,6	0	14
TBT11	Tabatinga	AM	Aluvial	28,7	<5	2,30	167	274	4,8	4,7	120	<5	5,63	14,58	4,63	0,44	1,11	0,258	0,085	25,80	1,78	0	0	7,12	<0,02	<0,1	<0,1	<0,1	7,1	0	0
TBT12	Tabatinga	AM	Aluvial	29,3	<5	0,35	107	237	5,2	6,1	76	23	15,72	9,51	1,09	5,74	0,34	0,010	0,643	11,71	5,66	0	0	0,82	<0,02	1,7	0,10	1,80	2,6	0	23
TBT13	Tabatinga	AM	Aluvial	26,0	<5	0,21	66	405	7,2	4,9	55	<5	3,33	8,62	1,17	0,21	0,68	0,057	0,038	10,33	<0,5	0	1	2,31	<0,02	0,6	0,12	0,72	3,0	0	0
TBT14	Tabatinga	AM	Aluvial	28,1	<5	<0,1	31	182	3,9	5,5	20	20	4,87	2,94	2,17	1,12	0,50	0,003	0,022	0,64	<0,5	0	0	0,57	<0,02	<0,1	0,10	0,10	0,7	0	20
TBT15	Tabatinga	AM	Aluvial	28,8	<5	<0,1	97	229	4,3	5,4	72	17	11,35	5,28	2,83	1,30	1,98	<0,001	0,042	6,02	<0,5	0	0	3,27	<0,02	<0,1	0,10	0,10	3,4	0	17

**8.1.3 - Análises de metais pesados, BTEX, fenóis e de isótopos ambientais realizadas no aquífero Aluvial durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012.**

Poço	Município	UF	Aquífero	Índice de Fenóis (mg/L)	Bário (mg/L)	Níquel (mg/L)	Zinco (mg/L)	Cádmio (mg/L)	Chumbo (mg/L)	Cobre (mg/L)	Cromo (mg/L)	Mercúrio (mg/L)	Arsênio (mg/L)	Benzeno (mg/L)	Tolueno (mg/L)	Etilbenzeno (mg/L)	o-Xileno (mg/L)	m,p-Xilenos (mg/L)	Trício	δD‰	δ <sup>18</sup> O‰	Percentual de Carbono Moderno (pMC)	Fração de Carbono Moderno (Fmdn)	Razão C13/C12
BEL027	Belém	PA	Aluvial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BEL028	Belém	PA	Aluvial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EIR01	Eirunepé	AM	Aluvial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EIR02	Eirunepé	AM	Aluvial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EIR03	Eirunepé	AM	Aluvial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,13 ± 0,13	-29,50	-5,50	-	-	-
EIR04	Eirunepé	AM	Aluvial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,36 ± 0,17	-37,56	-6,42	-	-	-
EIR05	Eirunepé	AM	Aluvial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ITB001	Itaituba	PA	Aluvial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,88 ± 0,13	-36,90	-6,20	107,8+/-0,4 pMC	1,0776 +/- 0,0040	-24,2
ITB004	Itaituba	PA	Aluvial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TBT01	Tabatinga	AM	Aluvial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TBT02	Tabatinga	AM	Aluvial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TBT03	Tabatinga	AM	Aluvial	<0,001	0,04	<0,001	0,011	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	1,37 ± 0,14	-	-	-	-	-
TBT04	Tabatinga	AM	Aluvial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TBT05	Tabatinga	AM	Aluvial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TBT06	Tabatinga	AM	Aluvial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TBT07	Tabatinga	AM	Aluvial	<0,001	0,16	0,004	0,044	<0,001	<0,001	0,0017	<0,001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	1,33 ± 0,15	-	-	105,2+/-0,4 pMC	1,0524 +/- 0,0039	-23,0
TBT08	Tabatinga	AM	Aluvial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,08 ± 0,14	-46,85	-6,87	-	-	-
TBT09	Tabatinga	AM	Aluvial	<0,001	0,09	<0,001	0,014	<0,001	<0,001	0,0082	<0,001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	0,97 ± 0,15	-31,72	-5,69	-	-	-
TBT10	Tabatinga	AM	Aluvial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TBT11	Tabatinga	AM	Aluvial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TBT12	Tabatinga	AM	Aluvial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TBT13	Tabatinga	AM	Aluvial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TBT14	Tabatinga	AM	Aluvial	<0,001	0,09	<0,001	0,007	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	1,33 ± 0,13	-	-	-	-	-
TBT15	Tabatinga	AM	Aluvial	<0,001	0,23	<0,001	0,055	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	1,09 ± 0,10	-39,07	-6,77	-	-	-

## **8.2 – Resultados Hidrogeoquímicos das coletas de abril e outubro de 2012 do Aquífero Rio Branco**

**8.2.1 – Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas no aquífero Rio Branco durante a primeira campanha de amostragem de água no período chuvoso em abril de 2012.**

Poço	Município	UF	Aquífero	Temperatura (°C)	Cor (Pt/Co)	Turbidez (NTU)	C.E. (µS/cm)	Eh (mV)	pH in situ	pH a 20°C	STD (mg/L)	Alcalinidade Total (mg/L)	Dureza (mg/L)	Sódio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	E. coli - P/A em 100 mL	C. Totais (P/A em 100 mL)	Nitrato - mg/L	Nitrito - mg/L	Amônia (mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Carbonato (mg/L)	Bicarbonato (mg/L)
RBR01	Rio Branco	AC	Rio Branco	27,0	<5	1,5	20	171,4	4,6	5,2	16	<5	0,4	3,2	0,2	0,03	0,1	0,38	0,002	<1	<0,5	0	1	0,4	<0,02	<0,1	0,2	0,2	0,6	0	0
RBR02	Rio Branco	AC	Rio Branco	26,7	8	4,4	21	255,5	4,5	4,8	16	<5	2,2	0,7	0,8	0,45	0,3	0,27	0,022	<1	<0,5	0	0	0,9	<0,02	<0,1	0,2	0,2	1,0	0	0,5
RBR03	Rio Branco	AC	Rio Branco	27,2	<5	0,8	36	-104,1	6,7	4,4	22	<5	1,4	2,9	0,3	0,21	0,2	0,02	0,002	4,5	<0,5	0	1	0,7	<0,02	<0,1	0,2	0,2	0,9	0	0
RBR04	Rio Branco	AC	Rio Branco	27,0	<5	2,3	21	57,6	4,3	4,4	13	<5	0,9	0,3	0,1	0,13	0,1	0,07	0,004	<1	<0,5	0	1	0,7	<0,02	<0,1	<0,1	<0,1	0,7	0	0
RBR05	Rio Branco	AC	Rio Branco	27,1	<5	1,0	207	263,8	4,2	4,2	142	<5	17,2	23,7	8,5	1,52	3,3	0,02	0,416	31,7	<0,5	0	1	4,2	<0,02	<0,1	0,1	0,1	4,4	0	0
RBR06	Rio Branco	AC	Rio Branco	27,4	<5	0,9	100	159,5	5,1	3,7	75	<5	5,9	1,9	1,2	1,50	0,5	0,06	0,066	2,5	1,4	1	1	0,7	<0,02	<0,1	0,2	0,2	0,9	0	0
RBR07	Rio Branco	AC	Rio Branco	27,0	<5	1,4	39	175,5	4,6	4,9	28	<5	3,4	3,2	0,6	0,50	0,5	0,06	0,064	6,6	<0,5	1	1	0,7	<0,02	<0,1	0,2	0,2	0,9	0	0
RBR08	Rio Branco	AC	Rio Branco	26,6	<5	1,8	50	197,4	5,5	5,2	37	<5	7,6	3,1	1,5	1,71	0,8	0,05	0,074	6,0	1,0	1	1	0,8	<0,02	<0,1	0,2	0,2	0,9	0	0,5
RBR09	Rio Branco	AC	Rio Branco	27,0	<5	0,9	238	331,8	4,2	4,3	170	<5	10,9	33,2	5,1	0,58	2,3	0,02	0,782	48,1	<0,5	0	0	5,1	<0,02	<0,1	<0,1	<0,1	5,1	0	0
RBR10	Rio Branco	AC	Rio Branco	27,1	<5	7,1	25	116,3	5,2	5,3	17	10	1,7	3,4	0,3	0,20	0,3	0,34	0,054	<1	0,8	1	1	<0,1	<0,02	<0,1	0,2	0,2	<0,5	0	10
RBR11	Rio Branco	AC	Rio Branco	27,5	<5	0,4	39	41,9	5,2	5,3	30	13	9,3	2,3	0,6	2,06	1,0	0,06	0,060	1,3	2,8	1	1	0,2	<0,02	<0,1	0,1	0,1	<0,5	0	13
RBR12	Rio Branco	AC	Rio Branco	28,6	7	23,0	47	152,7	5,2	5,3	34	24	8,5	12,9	1,2	0,80	1,6	0,84	0,088	2,3	1,6	1	1	<0,1	<0,02	<0,1	0,1	0,1	<0,5	0	24
RBR13	Rio Branco	AC	Rio Branco	27,4	<5	89,0	213	183,7	5,1	5,2	152	13	17,9	50,1	1,6	3,67	2,1	7,16	0,317	11,7	<0,5	0	1	1,0	<0,02	<0,1	0,2	0,2	1,2	0	13
RBR14	Rio Branco	AC	Rio Branco	28,0	<5	0,5	688	226,4	4,8	7,1	521	12	273,1	41,3	2,0	71,20	23,2	9,75	3,41	9,5	340,6	0	0	1,4	<0,02	0,3	0,3	0,6	2,0	0	12
RBR15	Rio Branco	AC	Rio Branco	27,3	<5	0,2	170	14,1	6,0	5,4	120	15	27,6	15,1	1,1	5,42	3,4	0,06	0,280	26,9	8,3	0	1	0,6	<0,02	0,2	0,1	0,3	0,8	0	16
RBR16	Rio Branco	AC	Rio Branco	27,5	<5	1,3	194	247,7	5,4	5,3	138	16	30,8	16,5	1,9	3,70	5,3	0,06	0,367	21,8	14,3	1	1	4,0	<0,02	1,20	0,3	1,5	5,5	0	16
RBR17	Rio Branco	AC	Rio Branco	28,8	<5	0,3	284	265,7	5,4	5,3	196	13	35,7	61,6	1,8	1,48	7,8	0,89	0,462	33,6	26,1	0	0	1,7	<0,02	<0,1	0,3	0,3	2,0	0	10
RBR18	Rio Branco	AC	Rio Branco	28,8	<5	0,5	213	180,9	5,4	5,5	143	34	31,3	23,3	1,9	6,70	3,6	0,61	0,722	16,1	22,3	0	0	3,3	0,021	<0,1	0,2	0,2	3,5	0	38
RBR19	Rio Branco	AC	Rio Branco	27,2	<5	1,5	320	95,2	4,7	4,8	226	6	85,6	9,9	3,7	1,75	19,8	0,91	0,319	54,5	16,1	0	0	9,6	<0,02	<0,1	0,3	0,3	9,8	0	4
RBR20	Rio Branco	AC	Rio Branco	27,2	<5	13,0	117	46,5	4,5	4,7	79	<5	27,3	12,9	2,8	2,99	4,8	0,64	0,123	16,7	<0,5	0	1	4,4	<0,02	0,1	<0,1	0,1	4,8	0	0,5
RBR21	Rio Branco	AC	Rio Branco	28,4	<5	14,0	34	374,8	4,0	5,2	27	14	7,2	3,9	0,7	0,43	1,5	3,12	0,094	1,2	<0,5	0	0	2,4	<0,02	<0,1	0,1	0,1	2,5	0	16
RBR22	Rio Branco	AC	Rio Branco	27,6	<5	20,0	233	127,5	4,7	7,0	185	<5	30,0	13,9	1,1	2,23	6,0	10,17	1,111	50,1	7,4	1	1	2,2	<0,02	<0,1	0,2	0,2	2,4	0	0
RBR23	Rio Branco	AC	Rio Branco	27,8	<5	<0,1	178	222,5	5,2	7,0	124	<5	16,5	13,5	2,8	0,60	3,7	0,27	0,649	19,5	<0,5	0	1	10,2	<0,02	<0,1	0,2	0,2	10,4	0	0
RBR24	Rio Branco	AC	Rio Branco	27,1	<5	6,0	44	221,4	4,8	4,8	36	<5	2,2	4,3	0,7	0,51	0,2	0,99	0,068	7,2	4,0	1	1	1,2	<0,02	<0,1	0,3	0,3	1,5	0	0
RBR25	Rio Branco	AC	Rio Branco	27,3	<5	<0,1	87	110,2	4,1	7,0	66	<5	13,2	10,9	1,7	1,36	2,4	0,04	0,059	8,2	2,3	0	1	4,7	<0,02	<0,1	0,2	0,2	4,9	0	0
RBR26	Rio Branco	AC	Rio Branco	27,3	<5	<0,1	159	274,4	4,7	5,2	123	15	9,1	23,6	0,6	1,64	1,2	0,26	0,301	14,9	35,3	0	1	<0,1	<0,02	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5	0	15
RBR27	Rio Branco	AC	Rio Branco	27,5	<5	<0,1	197	139,3	4,7	5,3	153	22	11,4	25,7	1,0	1,69	1,8	9,49	0,365	46,7	7,4	1	1	<0,1	<0,02	0,1	0,3	0,4	<0,5	0	21
RBR28	Rio Branco	AC	Rio Branco	27,2	<5	5,5	253	-1,8	5,3	5,3	197	8	35,1	35,7	1,7	8,48	3,4	0,92	0,134	28,7	24,7	0	1	10,1	<0,02	<0,1	0,2	0,2	10,3	0	8
RBR29	Rio Branco	AC	Rio Branco	26,7	<5	20,0	108	76,1	5,2	4,9	81	8	16,2	10,5	0,5	2,00	2,7	1,78	0,227	20,3	7,4	1	1	1,4	<0,02	<0,1	0,2	0,2	1,6	0	8
RBR30	Rio Branco	AC	Rio Branco	26,4	<5	<0,1	26	58,0	4,9	4,9	22	<5	7,8	0,8	0,6	1,12	1,2	0,31	0,129	2,1	1,5	0	1	0,3	0,133	<0,1	0,2	0,2	0,6	0	0

**8.2.2 – Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas no aquífero Rio Branco durante a segunda campanha de amostragem de água no período chuvoso em abril de 2012.**

Poço	Município	UF	Aquífero	Temperatura (°C)	Cor (Pt/Co)	Turbidez (NTU)	C.E. (µS/cm)	Eh (mV)	pH in situ	pH a 20°C	STD (mg/L)	Alcalinidade Total (mg/L)	Dureza (mg/L)	Sódio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	E. coli (P/A em 100 mL)	C. Totais (P/A em 100 mL)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Amônia (mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Carbonato (mg/L)	Bicarbonato (mg/L)
RBR01	Rio Branco	AC	Rio Branco	28,4	<5	6,2	992	199	5,6	5,89	815	39	342,1	43,6	2,2	84,7	31,8	24,63	3,99	10,6	470,1	1	1	0,5	<0,02	0,60	0,2	0,8	1,3	0	39
RBR02	Rio Branco	AC	Rio Branco	28,5	<5	1,0	726	151	3,7	3,71	550	<5	82,4	81,5	7,4	15,8	10,4	0,39	2,77	3,1	263,0	1	1	<0,1	<0,02	0,1	0,2	0,3	<0,5	0	0
RBR03	Rio Branco	AC	Rio Branco	27,7	<5	<0,1	135	94	5,0	5,53	110	20	13,3	18,3	1,1	1,6	2,3	0,59	0,60	24,6	2,5	0	1	0,6	<0,02	0,60	0,6	1,2	1,8	0	20
RBR04	Rio Branco	AC	Rio Branco	28,7	<5	0,22	62	354	4,7	5,91	50	25	15,7	3,6	5,1	3,3	1,8	0,23	0,05	3,1	0,6	0	1	0,6	<0,02	<0,1	0,1	0,1	0,7	0	25
RBR05	Rio Branco	AC	Rio Branco	26,9	<5	<0,1	56	345	3,0	6,98	36	<5	6,6	5,3	2,6	0,7	1,2	0,35	0,48	4,8	<0,5	0	1	4,4	<0,02	0,4	0,2	0,6	5,0	0	0
RBR06	Rio Branco	AC	Rio Branco	30,5	<5	11	30	350	4,4	6,93	21	<5	6,5	3,9	2,3	0,4	1,3	17,90	0,34	5,3	<0,5	1	1	0,3	<0,02	<0,1	0,3	0,3	0,6	0	0
RBR07	Rio Branco	AC	Rio Branco	27,7	<5	<0,1	43	189	4,4	4,80	35	<5	7,7	4,6	1,3	1,6	0,9	0,06	0,10	8,5	0,6	1	1	1,8	<0,02	<0,1	0,5	0,5	2,2	0	0
RBR08	Rio Branco	AC	Rio Branco	28,1	<5	0,58	180	295	5,2	5,24	138	15	14,7	30,4	0,9	4,0	1,1	0,42	0,39	41,5	2,9	0	1	1,4	<0,02	<0,1	0,1	0,1	1,5	0	15
RBR09	Rio Branco	AC	Rio Branco	28,5	<5	0,53	45	478	5,1	5,40	40	24	2,9	6,8	0,5	0,1	0,7	0,21	0,07	2,0	1,1	1	1	<0,1	<0,02	<0,1	0,1	0,1	<0,5	0	22
RBR10	Rio Branco	AC	Rio Branco	27,0	<5	1,1	32	238	4,5	6,93	23	<5	2,2	3,5	0,5	0,5	0,2	2,17	0,01	4,8	<0,5	0	1	0,2	<0,02	0,1	<0,1	0,1	<0,5	0	0
RBR11	Rio Branco	AC	Rio Branco	27,6	<5	<0,1	107	162	4,4	4,70	85	<5	17,8	9,9	1,8	2,7	2,7	0,27	0,12	12,7	0,5	1	1	4,0	<0,02	<0,1	0,2	0,2	4,1	0	0
RBR12	Rio Branco	AC	Rio Branco	29,0	<5	9,5	161	353	5,4	5,83	126	28	22,3	20,4	2,2	5,1	2,3	1,35	0,48	17,1	15,2	0	1	2,6	<0,02	<0,1	0,1	0,1	2,7	0	28
RBR13	Rio Branco	AC	Rio Branco	27,5	<5	2,5	300	357	4,4	4,85	237	7	60,5	30,9	2,5	4,7	11,9	0,62	0,37	53,0	<1	1	1	11,8	<0,02	<0,1	0,1	0,1	11,9	0	7
RBR14	Rio Branco	AC	Rio Branco	27,5	<5	0,50	265	207	4,1	4,57	220	<5	13,2	27,7	3,1	0,8	2,7	0,28	1,03	45,7	<1	0	1	5,3	<0,02	0,1	0,1	0,2	5,6	0	0
RBR15	Rio Branco	AC	Rio Branco	28,1	<5	3,0	35	208	5,0	6,91	21	<5	4,2	4,6	0,7	0,6	0,6	0,64	0,03	2,5	<0,5	0	1	1,5	<0,02	0,1	<0,1	0,2	1,7	0	0
RBR16	Rio Branco	AC	Rio Branco	27,7	<5	3,4	124	309	4,5	5,16	98	13	8,1	12,9	0,5	1,1	1,3	6,29	0,47	22,6	1,1	0	0	1,1	<0,02	<0,1	1,7	1,7	2,9	0	13
RBR17	Rio Branco	AC	Rio Branco	28,4	<5	0,82	28	272	5,6	7,00	16	<5	1,3	5,6	0,2	0,2	0,2	0,18	0,07	2,0	0,5	0	0	<0,1	<0,02	<0,1	0,1	0,1	<0,5	0	0
RBR18	Rio Branco	AC	Rio Branco	28,0	<5	<0,1	25	211	4,6	5,07	14	<5	4,9	0,7	0,6	0,9	0,6	0,10	0,07	0,5	2,2	0	0	0,4	<0,02	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5	0	0
RBR19	Rio Branco	AC	Rio Branco	27,8	<5	0,56	179	171	5,0	5,22	148	6	24,3	18,7	2,1	2,9	4,2	0,07	0,32	31,0	10,0	0	0	5,6	<0,02	0,4	<0,1	0,5	6,0	0	6
RBR20	Rio Branco	AC	Rio Branco	27,8	<5	0,47	146	143	5,1	5,93	121	31	12,5	18,8	0,9	3,1	1,2	3,43	0,12	14,1	16,1	0	0	0,9	<0,02	<0,1	0,5	0,5	1,4	0	31
RBR21	Rio Branco	AC	Rio Branco	30,1	<5	<0,1	126	365	4,3	7,11	79	<5	9,8	11,7	3,2	1,0	1,8	0,06	0,27	29,5	<0,5	0	1	2,3	<0,02	<0,1	0,2	0,2	2,4	0	0
RBR22	Rio Branco	AC	Rio Branco	30,8	20	2,1	217	198	5,2	5,47	170	6	19,2	35,9	1,5	3,7	2,5	0,26	0,08	39,8	19,7	0	1	7,8	<0,02	<0,1	0,2	0,2	7,9	0	6
RBR23	Rio Branco	AC	Rio Branco	27,0	<5	<0,1	44	222	5,2	7,21	28	<5	16,3	2,0	0,8	4,8	1,0	0,14	0,04	<0,5	10,2	0	1	<0,1	<0,02	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5	0	0
RBR24	Rio Branco	AC	Rio Branco	27,7	<5	<0,1	104	338	5,0	5,18	77	8	15,4	10,1	1,4	2,4	2,3	0,06	0,11	7,8	1,5	0	1	5,9	<0,02	<0,1	0,2	0,2	6,2	0	8
RBR25	Rio Branco	AC	Rio Branco	27,9	<5	<0,1	19	764	4,7	7,13	14	<5	3,3	0,8	1,1	0,8	0,3	1,33	0,02	<0,5	<0,5	0	1	0,5	<0,02	<0,1	0,3	0,3	0,8	0	0
RBR26	Rio Branco	AC	Rio Branco	27,5	<5	<0,1	34	118	4,7	6,92	27	<5	4,3	3,0	0,2	0,8	0,5	0,57	0,002	3,9	<0,5	1	1	0,3	<0,02	0,1	0,2	0,3	0,5	0	0
RBR27	Rio Branco	AC	Rio Branco	27,5	<5	<0,1	53	173	4,7	5,10	41	6	9,2	2,7	1,4	2,3	0,9	0,04	0,08	6,8	0,8	1	1	1,0	<0,02	<0,1	0,5	0,5	1,5	0	6
RBR28	Rio Branco	AC	Rio Branco	28,0	<5	<0,1	26	-28	4,2	4,61	17	<5	3,8	0,7	0,2	1,2	0,2	4,46	0,02	0,6	1,3	0	1	0,6	<0,02	<0,1	0,1	0,1	0,8	0	0
RBR29	Rio Branco	AC	Rio Branco	31,1	<5	2,0	44	401	4,9	7,10	33	<5	4,2	3,4	1,1	0,8	0,6	0,96	0,13	7,4	8,6	0	0	0,5	<0,02	0,1	<0,1	0,1	0,7	0	0
RBR30	Rio Branco	AC	Rio Branco	29,3	<5	0,82	277	237	4,7	5,55	185	17	17,9	48,8	1,5	1,4	3,5	14,58	0,45	52,1	15,9	1	1	2,6	<0,02	<0,1	0,2	0,2	2,8	0	17

**8.2.3 - Análises de metais pesados, BTEX, fenóis e de isótopos ambientais realizadas no aquífero Rio Branco durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012.**

Poço	Município	UF	Aquífero	Índice de Fenóis (mg/L)	Bário (mg/L)	Níquel (mg/L)	Zinco (mg/L)	Cádmio (mg/L)	Chumbo (mg/L)	Cobre (mg/L)	Cromo (mg/L)	Mercurio (mg/L)	Arsênio (mg/L)	Benzeno (mg/L)	Tolueno (mg/L)	Etilbenzeno (mg/L)	o-Xileno (mg/L)	m,p-Xilenos (mg/L)	Trício	δD‰	δ <sup>18</sup> O‰
RBR01	Rio Branco	AC	Rio Branco	<0,001	0,0536	0,00552	0,0653	<0,001	0,00136	0,0021	<0,001	< 0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	0,78± 0,13	-	-
RBR02	Rio Branco	AC	Rio Branco	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RBR03	Rio Branco	AC	Rio Branco	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RBR04	Rio Branco	AC	Rio Branco	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RBR05	Rio Branco	AC	Rio Branco	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RBR06	Rio Branco	AC	Rio Branco	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RBR07	Rio Branco	AC	Rio Branco	0,0016	0,0875	0,00706	0,0395	<0,001	<0,001	0,0106	<0,001	< 0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	1,61± 0,15	-35,1	-6,2
RBR08	Rio Branco	AC	Rio Branco	<0,001	0,0407	0,00366	0,052	<0,001	0,0021	<0,001	<0,001	< 0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	-	-	-
RBR09	Rio Branco	AC	Rio Branco	0,0023	0,0045	<0,001	0,0051	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	< 0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	1,68± 0,13	-	-
RBR10	Rio Branco	AC	Rio Branco	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RBR11	Rio Branco	AC	Rio Branco	<0,001	0,1086	0,00641	0,0928	<0,001	<0,001	0,0051	<0,001	< 0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	-	-	-
RBR12	Rio Branco	AC	Rio Branco	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RBR13	Rio Branco	AC	Rio Branco	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RBR14	Rio Branco	AC	Rio Branco	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RBR15	Rio Branco	AC	Rio Branco	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,62± 0,16	-	-
RBR16	Rio Branco	AC	Rio Branco	<0,001	0,0507	0,0032	0,0415	<0,001	<0,001	0,00169	<0,001	< 0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	-	-	-
RBR17	Rio Branco	AC	Rio Branco	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,36± 0,14	-42,4	-7,0
RBR18	Rio Branco	AC	Rio Branco	0,0018	0,0208	0,00368	0,0324	<0,001	<0,001	0,00277	<0,001	< 0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	-	-	-
RBR19	Rio Branco	AC	Rio Branco	<0,001	0,0318	0,0219	0,0884	<0,001	0,00101	<0,001	<0,001	< 0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	-	-	-
RBR20	Rio Branco	AC	Rio Branco	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,15± 0,13	-42,3	-7,2
RBR21	Rio Branco	AC	Rio Branco	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RBR22	Rio Branco	AC	Rio Branco	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RBR23	Rio Branco	AC	Rio Branco	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RBR24	Rio Branco	AC	Rio Branco	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RBR25	Rio Branco	AC	Rio Branco	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RBR26	Rio Branco	AC	Rio Branco	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RBR27	Rio Branco	AC	Rio Branco	<0,001	0,1265	0,00859	0,0299	<0,001	<0,001	0,00285	<0,001	< 0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	-	-	-
RBR28	Rio Branco	AC	Rio Branco	<0,001	0,0134	0,00494	0,3407	<0,001	<0,001	0,0187	<0,001	< 0,0001	<0,001	<0,001	0,0321	<0,001	<0,001	<0,002	-	-	-
RBR29	Rio Branco	AC	Rio Branco	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RBR30	Rio Branco	AC	Rio Branco	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,75± 0,16	-43,4	-7,4



### **8.3 – Resultados Hidrogeoquímicos das coletas de abril e outubro de 2012 do Aquífero Içá**

8.3.1 – Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas no aquífero Içá durante a primeira campanha de amostragem de água no período chuvoso em abril de 2012.

Poço	Município	UF	Aquífero	Temperatura (°C)	Cor (Pt/Co)	Turbidez (NTU)	CE (µS/cm)	Eh (mV)	pH in situ	pH a 20°C	STD (mg/L)	Alcalinidade Total (mg/L)	Dureza (mg/L)	Sódio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	E. coli - P/A em 100 mL	C. Totais (P/A em 100 mL)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Amônia (mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Carbonato (mg/L)	Bicarbonato (mg/L)
BAR01	Barcelos	AM	Içá	29,8	<5	0,5	14	146,7	5,0	5,4	10	8	2,57	0,70	1,36	0,60	0,26	0,03	0,071	<1,0	<0,5	0	1	<0,1	<0,02	<0,1	0,21	0,21	<0,5	0	8
BAR02	Barcelos	AM	Içá	30,0	<5	<0,1	109	130,5	5,5	4,0	77	<5	2,21	5,60	1,45	0,31	0,35	0,01	0,026	6,01	<0,5	0	0	4,43	<0,02	<0,1	0,16	0,16	4,6	0	0
BAR03	Barcelos	AM	Içá	29,5	<5	<0,1	221	135,9	5,0	4,0	121	<5	6,26	12,80	3,35	0,80	1,04	0,09	0,258	14,19	0,95	0	0	18,04	<0,02	0,2	<0,1	0,21	18,3	0	0
BAR04	Barcelos	AM	Içá	41,7	9	0,2	46	-136,7	5,9	4,7	33	<5	2,10	4,12	1,24	0,35	0,30	0,01	0,018	4,75	<0,5	0	1	2,93	<0,02	<0,1	0,25	0,25	3,2	0	0
BAR05	Barcelos	AM	Içá	27,6	5	0,3	71	38,6	5,3	4,5	62	<5	7,37	3,41	2,29	1,29	1,01	0,03	0,040	5,10	<0,5	0	1	5,51	<0,02	<0,1	0,17	0,17	5,7	0	0
CRI01	Coari	AM	Içá	29,5	25	6,4	12	92,6	5,5	5,8	10	<5	0,66	0,28	3,13	0,06	0,12	0,00	0,009	<1,0	<0,5	0	0	<0,1	<0,02	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5	0	0
CRI02	Coari	AM	Içá	28,8	40	8,8	647	185,5	4,0	4,6	444	<5	2,58	0,62	4,46	0,14	0,55	0,36	0,033	<1,0	<0,5	0	1	<0,1	<0,02	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5	0	0
CRI03	Coari	AM	Içá	29,1	<5	<0,1	43	273,8	4,1	5,1	31	8	3,53	3,69	7,23	0,22	0,72	0,03	0,073	4,97	<0,5	0	0	1,28	<0,02	<0,1	0,22	0,22	1,5	0	8
CRI04	Coari	AM	Içá	28,5	<5	0,1	12	60,2	5,2	5,2	6	8	1,26	0,27	0,85	0,23	0,16	4,29	0,010	<1,0	0,77	0	1	<0,1	<0,02	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5	0	8
CRI05	Coari	AM	Içá	28,6	24	2,4	19	312,6	3,9	5,0	15	<5	1,22	0,71	1,05	0,13	0,22	0,68	0,009	<1,0	<0,5	1	1	0,13	<0,02	<0,1	0,12	0,12	<0,5	0	0
FBA01	Fonte Boa	AM	Içá	27,2	<5	3,3	44	175,3	5,7	6,3	29	25	8,08	3,01	2,01	1,80	0,87	0,51	0,046	<1,0	0,77	0	0	<0,1	<0,02	<0,1	0,19	0,19	<0,5	0	25
FBA02	Fonte Boa	AM	Içá	26,8	<5	0,4	33	210,0	5,4	7,2	21	17	4,17	1,58	2,26	0,56	0,68	0,00	0,022	<1,0	1,57	1	1	0,47	<0,02	<0,1	0,20	0,20	0,7	0	15
FBA03	Fonte Boa	AM	Içá	25,8	<5	1,1	35	246,3	5,4	7,3	19	16	5,44	1,31	2,79	1,05	0,69	0,81	0,016	1,27	1,16	0	1	0,22	<0,02	<0,1	0,21	0,23	<0,5	0	13
FBA04	Fonte Boa	AM	Içá	27,0	<5	0,6	68	173,0	5,8	7,2	41	35	13,90	4,30	2,94	2,79	1,69	0,36	0,043	1,37	2,41	1	1	0,13	<0,02	<0,1	0,24	0,24	<0,5	0	35
FBA05	Fonte Boa	AM	Içá	26,8	<5	1,5	23	249,3	4,9	7,1	17	9	1,24	1,20	1,81	0,17	0,20	0,15	0,019	1,46	1,31	0	1	0,31	<0,02	<0,1	0,20	0,20	0,5	0	8
HUW01	Humaita	AM	Içá	30,6	<5	0,7	39	282,2	5,1	5,2	30	<5	1,86	4,61	3,30	0,10	0,40	0,01	0,069	3,35	<0,5	1	1	2,05	<0,02	<0,1	0,24	0,24	2,3	0	0
HUW02	Humaita	AM	Içá	31,6	<5	1,0	36	123,4	5,4	6,0	24	38	7,27	3,15	4,33	0,68	1,36	0,08	0,017	2,60	<0,5	0	0	1,28	<0,02	<0,1	0,23	0,23	1,5	0	35
HUW03	Humaita	AM	Içá	30,3	<5	4,9	30	66,2	6,2	5,9	20	<5	5,18	1,02	5,79	0,92	0,70	0,34	0,025	<1,0	<0,5	1	1	0,25	<0,02	<0,1	0,22	0,22	<0,5	0	0
HUW04	Humaita	AM	Içá	30,2	<5	0,3	31	32,5	5,4	5,5	20	<5	5,28	1,86	4,06	0,26	1,13	<0,0001	0,005	3,33	<0,5	0	1	<0,1	<0,02	<0,1	0,12	0,12	<0,5	0	0
HUW05	Humaita	AM	Içá	30,5	<5	2,0	35	161,5	5,2	6,1	27	11	7,29	3,09	4,69	0,52	1,46	0,21	0,025	<1,0	0,67	1	1	<0,1	<0,02	<0,1	0,16	0,16	<0,5	0	11
LBR01	Labrea	AM	Içá	27,6	<5	<0,1	12	54,2	5,5	6,1	10	9	0,66	0,16	1,41	0,10	0,10	0,00	0,012	<1,0	1,92	0	0	<0,1	<0,02	<0,1	0,17	0,17	<0,5	0	9
LBR02	Labrea	AM	Içá	27,0	<5	0,2	17	1,5	4,7	6,0	14	7	0,63	0,36	0,54	0,08	0,11	0,01	0,012	<1,0	1,93	0	1	0,31	<0,02	<0,1	0,15	0,15	<0,5	0	6
LBR03	Labrea	AM	Içá	26,9	<5	0,4	78	137,9	5,0	5,6	58	17	8,97	5,59	1,88	0,92	1,63	0,22	0,077	8,31	1,82	0	1	0,65	<0,02	<0,1	0,19	0,19	0,8	0	18
LBR04	Labrea	AM	Içá	28,8	<5	4,3	100	218,0	4,9	5,8	75	24	17,01	9,73	2,02	2,44	2,66	0,78	0,198	9,58	3,12	0	1	1,11	<0,02	<0,1	0,26	0,26	1,4	0	25
LBR05	Labrea	AM	Içá	29,1	6	52,0	62	-76,1	5,6	6,2	45	33	16,31	6,90	2,31	1,21	3,24	6,64	0,034	<1,0	0,64	0	1	0,12	<0,02	<0,1	0,19	0,19	<0,5	0	33
TFF01	Tefé	AM	Içá	27,7	<5	<0,1	37	219,0	5,3	5,3	30	6	5,16	2,59	2,25	0,56	0,92	0,02	0,016	3,36	0,66	0	1	0,58	<0,02	<0,1	0,16	0,16	0,7	0	6
TFF02	Tefé	AM	Içá	27,3	<5	<0,1	66	96,0	6,0	5,9	47	34	13,12	5,33	2,44	1,87	2,06	2,15	0,085	1,45	2,88	0	0	0,21	<0,02	<0,1	0,15	0,15	<0,5	0	35
TFF03	Tefé	AM	Içá	26,7	<5	<0,1	36	225,0	5,3	5,3	28	17	8,04	1,64	2,63	1,33	1,15	0,00	0,018	3,07	<0,5	0	0	0,79	<0,02	<0,1	<0,1	<0,1	0,8	0	17
TFF04	Tefé	AM	Içá	28,0	<5	3,5	38	159,0	5,5	5,8	31	21	4,95	3,46	2,68	0,81	0,71	0,79	0,019	<1,0	0,59	0	0	<0,1	<0,02	<0,1	0,15	0,15	<0,5	0	20
TFF05	Tefé	AM	Içá	27,9	<5	0,5	290	277,0	4,4	4,5	210	<5	81,30	8,08	12,30	7,92	15,00	0,01	0,285	36,54	<1,0	0	0	16,28	<0,02	<0,1	0,23	0,23	16,5	0	0

**8.3.2 - Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas no aquífero Içá durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012.**

Poço	Município	UF	Aquífero	Temperatura (°C)	Cor (Pt/Co)	Turbidez (NTU)	CE (µS/cm)	Eh (mV)	pH in situ	pH a 20°C	STD (mg/L)	Alcalinidade Total (mg/L)	Dureza (mg/L)	Sódio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	E. coli - P/A em 100 mL	C. Totais (P/A em 100 mL)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Amônia (mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Carbonato (mg/L)	Bicarbonato (mg/L)
BAR01	Barcelos	AM	Içá	30,1	<5	<0,1	14	210	4,2	5,1	8	7	1,97	1,31	1,19	0,53	0,16	0,0448	0,015	0,53	<0,5	0	0	0,15	<0,02	<0,1	0,15	0,15	<0,5	0	7
BAR02	Barcelos	AM	Içá	31,6	<5	<0,1	77	352	5,6	4,4	56	<5	2,40	7,93	1,75	0,33	0,39	0,0187	0,023	5,76	<0,5	0	0	3,69	<0,02	<0,1	0,11	0,11	3,8	0	0
BAR03	Barcelos	AM	Içá	25,9	<5	<0,1	108	459	5,0	4,2	70	<5	3,65	9,30	2,15	0,55	0,56	0,0942	0,064	7,31	<0,5	0	1	6,60	<0,02	<0,1	0,16	0,16	6,8	0	0
BAR04	Barcelos	AM	Içá	29,2	<5	<0,1	106	294	6,5	4,3	83	<5	3,55	11,61	1,97	0,26	0,71	0,0123	0,046	7,86	<0,5	0	1	5,81	<0,02	<0,1	14,60	14,60	20,4	0	0
BAR05	Barcelos	AM	Içá	30,7	<5	<0,1	47	393	5,5	4,8	36	<5	4,04	3,36	2,32	0,51	0,67	0,0181	0,023	2,91	<0,5	0	0	3,34	<0,02	<0,1	0,14	0,14	3,5	0	0
CRI01	Coari	AM	Içá	25,9	<5	1,8	52	222	6,4	6,0	40	38	9,65	5,63	3,11	1,58	1,39	0,7064	0,061	1,82	1,00	1	1	<0,1	<0,02	<0,1	0,14	0,14	<0,5	0	40
CRI02	Coari	AM	Içá	27,7	<5	<0,1	17	355	5,1	5,3	56	9	1,77	0,59	2,18	<0,001	0,43	0,0563	0,026	2,33	1,81	1	1	0,24	<0,02	<0,1	0,83	0,83	1,1	0	9
CRI03	Coari	AM	Içá	28,4	<5	<0,1	19	319	5,2	5,2	15	9	1,47	0,98	2,24	<0,001	0,36	0,0302	0,008	<0,5	0,55	1	1	0,27	<0,02	<0,1	0,11	0,11	<0,5	0	9
CRI04	Coari	AM	Içá	26,4	8	<0,1	14	318	5,5	5,5	10	<5	1,47	0,76	1,95	0,16	0,26	0,0293	0,006	<0,5	<0,5	1	1	<0,1	<0,02	<0,1	0,16	0,16	<0,5	0	0
CRI05	Coari	AM	Içá	27,0	<5	14,0	16	238	5,2	5,5	10	10	2,10	2,18	1,87	0,03	0,50	4,5040	0,026	<0,5	<0,5	1	1	<0,1	<0,02	<0,1	0,15	0,15	<0,5	0	10
FBA01	Fonte Boa	AM	Içá	29,9	<5	<0,1	46	178	5,9	5,9	36	24	10,65	5,88	3,21	2,79	0,89	0,1932	0,046	<0,5	0,78	0	0	<0,1	<0,02	<0,1	0,11	0,11	<0,5	0	24
FBA02	Fonte Boa	AM	Içá	32,6	<5	<0,1	33	121	5,5	5,6	25	16	4,60	2,79	3,71	0,67	0,72	0,0348	0,028	<1,0	1,53	0	0	0,42	<0,02	<0,1	0,15	0,15	0,6	0	16
FBA03	Fonte Boa	AM	Içá	25,5	<5	<0,1	35	118	4,7	5,9	55	14	6,15	2,52	4,18	1,29	0,72	0,0214	0,018	1,03	0,91	0	0	0,24	<0,02	<0,1	0,11	0,11	<0,5	0	14
FBA04	Fonte Boa	AM	Içá	27,6	<5	0,4	68	182	6,1	6,1	48	29	14,34	6,88	4,21	3,04	1,65	0,2775	0,045	1,30	2,16	0	0	0,15	<0,02	<0,1	0,10	0,10	<0,5	0	29
FBA05	Fonte Boa	AM	Içá	30,3	<5	<0,1	196	279	4,7	5,3	126	9	17,09	26,38	1,18	1,95	2,98	0,6664	0,327	29,51	9,71	1	1	6,18	<0,02	0,1	0,18	0,28	6,5	0	9
HUW01	Humaita	AM	Içá	33,1	<5	<0,1	44	222	5,5	4,9	34	<5	2,76	3,74	1,51	0,27	0,51	0,1992	0,086	4,11	<0,5	0	1	1,93	<0,02	<0,1	0,27	0,27	2,2	0	0
HUW02	Humaita	AM	Içá	32,5	<5	3,8	35	173	6,0	5,7	23	10	10,16	2,13	1,64	1,40	1,63	0,5546	0,020	0,66	<0,5	0	1	<0,1	<0,02	<0,1	0,45	0,45	<0,5	0	10
HUW03	Humaita	AM	Içá	33,9	<5	<0,1	28	238	6,1	5,3	25	5	3,06	1,48	2,05	0,27	0,58	0,0618	0,029	0,97	<0,5	0	1	0,99	<0,02	<0,1	0,15	0,15	1,1	0	5
HUW04	Humaita	AM	Içá	32,7	<5	<0,1	21	295	5,4	5,4	17	11	4,31	0,91	1,47	0,04	1,03	0,0174	0,005	1,14	<0,5	0	1	<0,1	<0,02	<0,1	0,11	0,11	<0,5	0	11
HUW05	Humaita	AM	Içá	34,2	<5	2,8	26	198	5,9	5,8	17	15	6,86	1,61	1,14	0,56	1,33	0,3121	0,060	<0,5	<0,5	1	1	<0,1	<0,02	<0,1	0,12	0,12	<0,5	0	15
LBR01	Labrea	AM	Içá	32,6	<5	<0,1	34	217	5,5	5,4	28	<5	6,34	1,68	2,13	0,71	1,12	0,1339	0,014	1,30	<0,5	1	1	1,20	<0,02	0,1	0,10	0,20	1,4	0	0
LBR02	Labrea	AM	Içá	32,9	<5	<0,1	14	225	5,6	4,7	11	<5	0,66	0,27	0,46	0,11	0,09	0,0161	0,008	<0,5	<0,5	0	1	0,26	<0,02	<0,1	0,13	0,13	<0,5	0	0
LBR03	Labrea	AM	Içá	32,6	<5	<0,1	11	214	5,1	4,9	9	<5	0,61	0,14	1,23	0,11	0,08	0,0034	0,009	<0,5	<0,5	0	1	<0,1	<0,02	<0,1	0,15	0,15	<0,5	0	0
LBR04	Labrea	AM	Içá	33,4	<5	1,6	60	97	6,1	6,0	35	35	13,55	4,65	2,48	2,60	1,72	1,7950	0,177	1,28	0,60	0	1	0,22	<0,02	<0,1	0,18	0,18	<0,5	0	34
LBR05	Labrea	AM	Içá	34,4	<5	3,1	91	126	5,8	5,7	67	18	17,61	9,00	1,82	2,53	2,75	0,8845	0,184	10,37	1,33	0	1	0,53	<0,02	<0,1	0,13	0,13	0,7	0	18
TFF01	Tefé	AM	Içá	26,4	7	1,0	65	342	4,9	5,5	46	<5	7,11	5,64	3,21	0,71	1,30	0,0496	0,041	8,90	0,50	1	1	1,22	<0,02	<0,1	<0,1	<0,1	1,2	0	0
TFF02	Tefé	AM	Içá	27,9	8	2,0	70	165	4,7	6,1	42	26	13,23	9,02	3,09	2,10	1,95	2,3780	0,080	1,18	1,14	0	1	<0,1	<0,02	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5	0	26
TFF03	Tefé	AM	Içá	28,9	24	2,1	342	222	5,7	5,6	252	28	20,39	8,94	2,92	3,03	3,13	0,0161	0,014	7,04	<0,5	0	1	1,26	<0,02	<0,1	0,12	0,12	1,4	0	28
TFF04	Tefé	AM	Içá	28,3	<5	1,7	160	199	5,7	6,1	84	5	6,49	3,55	2,81	0,83	1,08	0,2860	0,019	<0,5	<0,5	0	0	<0,1	<0,02	<0,1	0,13	0,13	<0,5	0	5
TFF05	Tefé	AM	Içá	27,3	12	4,0	511	377	4,7	5,0	227	<5	68,43	8,31	14,88	8,08	11,76	0,0409	0,270	40,94	<1,0	0	0	14,46	<0,02	<0,1	<0,1	<0,1	14,5	0	0

**8.3.3 - Análises de metais pesados, BTEX, fenóis e de isótopos ambientais realizadas no aquífero Içá durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012.**

Poço	Município	UF	Aquífero	Trício	$\delta D\text{‰}$	$\delta^{18}O\text{‰}$	Percentual de Carbono Moderno (pMC)	Fração de Carbono Moderno (Fmdn)	Razão C13/C12
BAR01	Barcelos	AM	Içá	1,17 ± 0,11	-30,80	-5,79	109,9+/-0,3 pMC	1,0992 +/-0,0027	-26,4
BAR02	Barcelos	AM	Içá	0,88 ± 0,15	-35,99	-5,85	-	-	-
BAR03	Barcelos	AM	Içá	-	-	-	-	-	-
BAR04	Barcelos	AM	Içá	-	-	-	-	-	-
BAR05	Barcelos	AM	Içá	-	-	-	-	-	-
CRI01	Coari	AM	Içá	0,17(5) ± 0,10	-32,36	-5,98	-	-	-
CRI02	Coari	AM	Içá	-	-	-	-	-	-
CRI03	Coari	AM	Içá	1,07 ± 0,17	-	-	-	-	-
CRI04	Coari	AM	Içá	-	-	-	-	-	-
CRI05	Coari	AM	Içá	-	-	-	103,3+/-0,4 pMC	1,0329 +/-0,0039	-25,3
FBA01	Fonte Boa	AM	Içá	-	-	-	-	-	-
FBA02	Fonte Boa	AM	Içá	-	-	-	-	-	-
FBA03	Fonte Boa	AM	Içá	-	-	-	-	-	-
FBA04	Fonte Boa	AM	Içá	0,82 ± 0,13	-29,50	-5,43	-	-	-
FBA05	Fonte Boa	AM	Içá	0,83 ± 0,10	-26,83	-5,41	-	-	-
HUW01	Humaita	AM	Içá	-	-	-	-	-	-
HUW02	Humaita	AM	Içá	-	-	-	-	-	-
HUW03	Humaita	AM	Içá	0,94 ± 0,13	-36,18	-6,02	-	-	-
HUW04	Humaita	AM	Içá	1,02 ± 0,14	-39,88	-6,55	-	-	-
HUW05	Humaita	AM	Içá	-	-	-	200+/-30 BP	0,9754 +/-0,0036	-17,4
LBR01	Labrea	AM	Içá	-	-	-	-	-	-
LBR02	Labrea	AM	Içá	1,32 ± 0,16	-36,13	-6,39	-	-	-
LBR03	Labrea	AM	Içá	-	-	-	-	-	-
LBR04	Labrea	AM	Içá	0,52 ± 0,11	-33,86	-5,89	-	-	-
LBR05	Labrea	AM	Içá	-	-	-	-	-	-
TFF01	Tefé	AM	Içá	0,71 ± 0,13	-30,03	-5,84	-	-	-
TFF02	Tefé	AM	Içá	-	-	-	-	-	-
TFF03	Tefé	AM	Içá	-	-	-	-	-	-
TFF04	Tefé	AM	Içá	-	-	-	-	-	-
TFF05	Tefé	AM	Içá	0,78 ± 0,10	-27,83	-5,34	-	-	-

#### **8.4 – Resultados Hidrogeoquímicos das coletas de abril e outubro de 2012 do Aquífero Tucunaré**

8.4.1 – Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas no aquífero Tucunaré durante a primeira campanha de amostragem de água no período chuvoso em abril de 2012.

Poço	Município	UF	Aquífero	Temperatura (°C)	Cor (Pt/Co)	Turbidez (NTU)	CE (µS/cm)	Eh (mV)	pH in situ	pH a 20°C	STD (mg/L)	Alcalinidade Total (mg/L)	Dureza (mg/L)	Sódio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	E. coli - P/A em 100 mL	C. Totais (P/A em 100 mL)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Amônia (mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Carbonato (mg/L)	Bicarbonato (mg/L)	
MPA01	Macapá	AP	Tucunaré	24,37	<5	0,51	95	74,6	5,8	4,54	68	<5	0,82	13,40	0,38	0,06	0,16	0,01	<0,0001	8,86	<0,5	0	0	5,92	<0,02	0,38	0,13	0,51	6,4	0	0	
MPA02	Macapá	AP	Tucunaré	24,53	<5	7,3	85	105,5	5,39	4,82	57	6	0,90	17,12	0,19	0,15	0,13	1,02	0,004	8,60	2,32	0	0	4,65	<0,02	0,37	0,22	0,59	5,2	0	6	
MPA03	Macapá	AP	Tucunaré	31,33	<5	2,7	57	219	5,71	4,76	42	7	1,24	6,61	0,52	0,07	0,26	0,37	0,004	8,81	0,50	0	0	2,082	<0,02	<0,1	0,18	0,18	2,3	0	6	
MPA04	Macapá	AP	Tucunaré	30,13	<5	1,9	200	28,9	5,32	5,45	176	14	4,50	27,54	3,32	0,88	0,56	4,17	0,017	30,52	<0,5	0	0	12,01	<0,02	1,0	0,10	1,10	13,1	0	13	
MPA05	Macapá	AP	Tucunaré	31,47	<5	1,5	46	78,1	5,87	4,51	38	7	0,55	3,89	0,35	0,04	0,11	0,03	0,001	2,07	<0,5	0	0	2,543	<0,01	0,21	<0,1	0,26	2,8	9	0	
MPA06	Macapá	AP	Tucunaré	31,87	<5	2,5	267	295,4	4,37	4,43	185	<5	3,83	39,38	5,33	0,99	0,33	0,26	0,003	51,57	0,83	0	0	14,51	<0,02	2,2	<0,1	2,28	16,8	0	0	
MPA07	Macapá	AP	Tucunaré	31,87	<5	0,45	210	86,5	5,1	4,54	143	<5	6,70	29,12	3,32	1,88	0,49	0,05	0,002	32,75	1,77	0	0	13,5	<0,02	1,6	<0,1	1,65	15,2	0	0	
MPA08	Macapá	AP	Tucunaré	29,97	5	0,69	132	204,1	5,65	4,40	104	<5	1,97	17,10	1,13	0,27	0,31	0,47	<0,0001	22,60	<0,5	0	1	5,95	<0,02	0,99	0,12	1,11	7,1	0	0	
MPA09	Macapá	AP	Tucunaré	29,80	<5	0,74	125	122,5	5,54	4,70	99	<5	6,76	11,01	2,33	1,79	0,56	0,25	0,005	13,70	0,53	0	1	7,81	<0,02	2,0	<0,1	2,07	9,9	0	0	
MPA10	Macapá	AP	Tucunaré	30,00	<5	4,0	121	203,3	5,82	4,53	102	8	2,52	15,83	0,44	0,69	0,19	0,09	<0,0001	14,49	<0,5	0	1	5,98	<0,02	0,27	<0,1	0,28	6,3	0	8	
MPA11	Macapá	AP	Tucunaré	30,83	<5	0,82	57	122,4	4,66	5,12	49	<5	0,44	7,95	0,39	0,03	0,09	0,08	<0,0001	10,47	<0,5	0	1	2,01	<0,02	0,22	<0,1	0,28	2,3	0	0	
MPA12	Macapá	AP	Tucunaré	29,97	<5	0,72	75	111,5	5,33	5,73	49	<5	6,80	1,96	3,31	1,20	0,93	7,25	0,082	3,63	<1	0	1	<0,2	<0,02	1,3	0,67	1,97	2,0	0	0	
MPA13	Macapá	AP	Tucunaré	29,93	5	0,32	220	-97,4	6,41	4,80	171	<5	29,30	24,16	7,79	10,60	0,68	0,01	0,004	31,02	0,73	1	1	12,83	<0,02	2,6	0,21	2,81	15,6	0	0	
MPA14	Macapá	AP	Tucunaré	31,90	<5	14	107	114,2	5,52	4,60	92	<5	3,03	12,17	1,24	0,82	0,24	0,21	<0,0001	15,36	<0,5	0	1	4,92	<0,02	0,99	<0,1	1,06	6,0	0	0	
MPA15	Macapá	AP	Tucunaré	30,27	<5	0,86	190	235,2	5,85	4,42	161	<5	9,80	22,50	6,90	2,57	0,82	0,09	0,002	20,32	3,66	0	1	14,93	<0,02	<0,1	0,23	0,23	15,2	0	0	
MPA16	Macapá	AP	Tucunaré	29,63	<5	0,38	259	14,7	5,62	4,42	229	<5	15,77	38,51	12,50	5,34	0,59	0,03	0,004	44,08	6,41	0	1	11,72	<0,02	0,36	0,46	0,82	12,5	0	0	
MPA17	Macapá	AP	Tucunaré	29,87	<5	19	53	118,8	5,37	4,95	41	<5	0,55	7,07	0,02	0,10	0,07	1,22	0,010	6,41	<0,5	0	0	1,781	<0,02	0,10	<0,1	0,17	2,0	0	0	
MPA18	Macapá	AP	Tucunaré	30,03	<5	4,1	145	246,9	5,86	4,12	114	<5	16,59	5,58	1,78	4,88	1,07	0,72	0,013	10,89	4,90	0	1	7,89	<0,02	<0,1	0,17	0,17	8,1	0	0	
MPA19	Macapá	AP	Tucunaré	29,50	5	14	83	117,4	5,78	4,09	62	<5	2,10	8,62	0,45	0,44	0,25	2,21	0,006	11,01	<0,5	0	1	2,29	<0,02	<0,1	0,19	0,19	2,5	0	0	
MPA20	Macapá	AP	Tucunaré	29,73	<5	<0,1	74	186,8	5,72	4,48	55	<5	1,48	7,75	0,42	0,19	0,24	0,04	<0,0001	7,87	<0,5	0	0	2,71	<0,02	<0,1	<0,1	<0,1	2,7	0	0	
MPA21	Macapá	AP	Tucunaré	30,17	<5	0,29	172	-4	5,56	4,02	133	<5	11,66	9,82	2,44	2,96	1,04	0,04	0,004	7,26	<0,5	0	1	13,09	<0,02	<0,1	0,12	0,12	13,2	0	0	
MPA22	Macapá	AP	Tucunaré	29,93	<5	2,9	67	238,4	5,27	5,24	50	<5	8,42	7,16	0,48	2,83	0,33	0,73	0,013	6,32	2,10	0	0	0,888	<0,02	0,36	0,16	0,52	1,4	0	0	
MPA23	Macapá	AP	Tucunaré	29,47	<5	<0,1	171	208,9	5,48	3,87	126	<5	1,73	5,77	0,29	0,32	0,23	0,60	0,003	3,38	<0,5	0	1	2,22	<0,02	<0,1	0,23	0,23	2,5	0	0	
MPA24	Macapá	AP	Tucunaré	29,30	<5	<0,1	51	-50,1	5,73	4,65	40	<5	0,90	6,16	0,20	0,15	0,13	0,10	0,001	5,20	0,90	0	1	2,841	<0,02	0,11	<0,1	0,20	3,0	0	0	
MPA25	Macapá	AP	Tucunaré	29,86	<5	0,66	211	106,6	4,7	4,46	136	<5	1,81	23,34	1,36	0,24	0,30	0,02	0,000	29,00	0,88	0	1	12,5	<0,02	1,5	0,15	1,65	14,2	0	0	
MPA26	Macapá	AP	Tucunaré	30,53	<5	<0,1	124	72,9	4,82	4,45	82	13	1,41	12,95	1,02	0,06	0,31	0,01	<0,0001	10,72	<0,5	0	0	5,47	<0,02	<0,1	0,25	0,25	5,7	0	13	
MPA27	Macapá	AP	Tucunaré	29,93	<5	0,56	238	207,8	4,5	4,11	142	0	8,27	22,03	2,78	1,42	1,15	0,01	0,004	24,36	<0,5	0	1	11,03	<0,02	0,85	0,70	1,55	12,6	0	0	
MPA28	Macapá	AP	Tucunaré	29,43	<5	<0,1	274	233,6	4,16	4,32	180	<5	10,45	28,04	3,41	2,31	1,14	0,02	0,009	27,46	1,23	1	1	9,14	<0,02	0,20	<0,1	0,23	9,4	0	0	
MPA29	Macapá	AP	Tucunaré	29,63	690	<0,1	166	260,5	3,98	4,98	114	<5	7,25	17,33	2,85	2,14	0,46	9,52	0,036	21,73	0,93	1	1	9,51	<0,02	1,6	0,58	2,18	11,7	0	0	
MPA30	Macapá	AP	Tucunaré	28,70	<5	<0,1	181	104,2	4,24	4,94	116	<5	4,97	20,93	1,79	1,43	0,34	0,03	0,002	32,41	4,74	0	1	5,84	<0,02	1,8	0,37	2,17	8,0	0	0	
MPA31	Macapá	AP	Tucunaré	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MPA32	Macapá	AP	Tucunaré	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

8.4.2 - Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas no aquífero Tucunaré durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012.

Poço	Município	UF	Aquífero	Temperatura (°C)	Cor (Pt/Co)	Turbidez (NTU)	CE (µS/cm)	Eh (mV)	pH in situ	pH a 20°C	STD (mg/L)	Alcalinidade Total (mg/L)	Dureza (mg/L)	Sódio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	E. coli - P/A em 100 mL	C. Totais (P/A em 100 mL)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Amônia (mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Carbonato (mg/L)	Bicarbonato (mg/L)	
MPA01	Macapá	AP	Tucunaré	30,9	<5	<0,1	98	408	4,80	4,54	80	<5	6,83	12,18	1,66	1,88	0,52	0,04	0,01	11,59	0,59	0	0	4,74	<0,02	<0,1	<0,1	<0,1	4,70	0	0	
MPA02	Macapá	AP	Tucunaré	30,1	<5	4,6	131	385	4,90	4,44	78	<5	3,21	27,88	0,92	0,70	0,36	0,76	0,01	13,13	2,27	0	0	10,45	<0,02	<0,1	0,12	0,12	10,60	0	0	
MPA03	Macapá	AP	Tucunaré	30,8	<5	<0,1	19	349	5,60	4,83	15	<5	2,44	1,27	0,31	0,76	0,13	0,02	<0,001	1,38	0,66	0	0	0,44	<0,02	<0,1	0,25	0,25	0,70	0	0	
MPA04	Macapá	AP	Tucunaré	28,8	<5	<0,1	127	387	5,20	4,35	99	<5	3,87	17,59	1,64	0,30	0,76	0,73	0,06	9,77	6,78	0	1	5,84	<0,02	<0,1	0,13	0,13	6,00	0	0	
MPA05	Macapá	AP	Tucunaré	31,5	<5	<0,1	151	381	4,90	4,40	83	<5	5,23	21,86	2,40	0,97	0,69	0,12	0,00	21,10	<0,5	0	1	7,40	<0,02	2,00	0,14	2,14	9,50	0	0	
MPA06	Macapá	AP	Tucunaré	30,7	<5	<0,1	236	296	5,20	4,62	159	<5	5,40	24,47	2,02	0,85	0,80	1,88	0,01	23,41	<1	0	0	11,22	<0,02	1,60	1,20	2,80	14,00	0	0	
MPA07	Macapá	AP	Tucunaré	32,1	<5	0,35	116	382	4,60	4,38	93	<5	3,18	12,89	1,82	0,51	0,46	0,12	0,00	14,70	<0,5	0	0	4,71	0,11	1,10	0,17	1,27	6,10	0	0	
MPA08	Macapá	AP	Tucunaré	30,2	<5	<0,1	21	429	4,50	4,95	37	<5	7,30	1,31	0,77	2,50	0,26	0,09	0,00	2,46	<0,5	0	1	0,37	<0,02	0,10	<0,1	0,16	0,50	0	0	
MPA09	Macapá	AP	Tucunaré	31,2	<5	<0,1	13	398	4,70	5,08	6	8	0,99	1,14	0,14	0,30	0,06	0,01	<0,001	1,37	<0,5	0	0	<0,1	<0,02	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5	0	0	
MPA10	Macapá	AP	Tucunaré	30,6	<5	<0,1	144	338	5,70	5,18	105	<5	1,37	28,61	0,15	0,32	0,14	0,01	0,00	17,34	<0,5	0	0	9,33	<0,02	<0,1	0,15	0,15	9,50	0	0	
MPA11	Macapá	AP	Tucunaré	31,5	<5	0,28	164	415	4,90	4,39	133	<5	6,32	23,24	2,62	1,62	0,55	0,03	0,00	19,80	<0,5	0	0	9,41	<0,02	0,30	<0,1	0,33	9,70	0	0	
MPA12	Macapá	AP	Tucunaré	29,6	<5	<0,1	183	421	4,90	6,93	117	14	9,59	20,94	4,13	2,84	0,61	0,01	0,00	20,75	4,07	0	0	7,17	<0,02	3,00	3,70	6,70	13,90	0	14	
MPA13	Macapá	AP	Tucunaré	28,2	<5	0,49	119	357	5,10	5,06	69	<5	6,13	15,94	1,41	1,59	0,53	0,04	<0,001	11,73	<0,5	1	1	7,12	<0,02	<0,1	0,24	0,24	7,40	0	0	
MPA14	Macapá	AP	Tucunaré	28,2	<5	8,4	11	353	4,90	5,23	<5	5	3,54	0,78	0,12	1,27	0,09	0,14	<0,001	1,44	<0,5	0	1	<0,1	<0,02	<0,1	0,13	0,13	<0,5	0	5	
MPA15	Macapá	AP	Tucunaré	29,1	<5	<0,1	71	385	5,20	4,68	42	<5	3,59	6,53	0,69	0,66	0,48	0,16	<0,001	10,13	2,80	0	0	3,04	<0,02	<0,1	0,21	0,21	3,30	0	0	
MPA16	Macapá	AP	Tucunaré	29,6	<5	<0,1	138	345	5,40	5,11	104	<5	8,36	21,53	1,39	2,38	0,59	0,04	0,01	12,94	1,04	0	0	8,32	<0,02	0,30	<0,1	0,39	8,70	0	0	
MPA17	Macapá	AP	Tucunaré	30,2	<5	0,32	19	232	5,20	5,04	31	<5	2,38	1,73	0,17	0,80	0,10	1,00	0,00	2,45	<0,5	0	0	0,23	<0,02	<0,1	0,30	0,30	0,50	0	0	
MPA18	Macapá	AP	Tucunaré	28,3	6	58	17	211	5,70	5,05	10	<5	3,14	1,95	0,18	1,02	0,14	2,07	<0,001	2,08	<0,5	1	1	0,37	<0,02	<0,1	0,28	0,28	0,60	0	0	
MPA19	Macapá	AP	Tucunaré	29,2	<5	<0,1	111	389	4,80	4,37	70	<5	2,78	11,07	1,03	0,42	0,42	0,04	0,00	7,44	2,51	0	0	6,70	<0,02	0,70	0,24	0,94	7,60	0	0	
MPA20	Macapá	AP	Tucunaré	32,1	<5	3,5	98	300	5,70	6,87	71	8	3,56	0,85	0,32	1,05	0,23	0,11	0,01	0,82	0,94	0	0	<0,1	<0,02	0,30	0,13	0,43	<0,5	0	8	
MPA21	Macapá	AP	Tucunaré	28,9	<5	<0,1	22	376	5,40	4,84	27	<5	1,10	1,89	0,14	0,23	0,13	0,06	<0,001	1,82	2,05	0	0	0,25	<0,02	<0,1	0,12	0,12	<0,5	0	0	
MPA22	Macapá	AP	Tucunaré	29,0	<5	2,0	124	358	4,90	7,55	72	<5	2,24	3,80	0,34	0,53	0,22	2,40	0,01	2,07	0,73	0	0	1,52	<0,02	<0,1	0,31	0,31	1,80	0	0	
MPA23	Macapá	AP	Tucunaré	29,7	<5	2,2	31	342	4,90	4,64	19	12	1,25	5,66	0,35	0,33	0,10	2,19	0,01	4,00	0,65	0	0	2,07	<0,02	<0,1	0,11	0,11	2,20	0	11	
MPA24	Macapá	AP	Tucunaré	29,0	<5	0,23	50	385	4,90	4,72	36	<5	1,79	7,21	0,34	0,35	0,22	0,09	<0,001	3,49	<0,5	1	1	3,19	<0,02	1,30	0,86	2,16	5,40	0	0	
MPA25	Macapá	AP	Tucunaré	30,1	<5	0,37	40	375	4,80	4,82	27	<5	1,26	4,35	0,40	0,20	0,19	0,05	0,00	3,23	0,78	0	1	2,03	<0,02	<0,1	0,21	0,21	2,20	0	0	
MPA26	Macapá	AP	Tucunaré	30,1	<5	1,2	13	344	5,20	4,93	10	<5	1,09	0,87	0,13	0,33	0,07	0,44	0,00	1,42	0,90	0	1	<0,1	<0,02	0,10	0,12	0,22	<0,5	0	0	
MPA27	Macapá	AP	Tucunaré	30,3	<5	<0,1	15	371	5,10	4,91	9	<5	0,61	0,88	0,13	0,15	0,06	0,04	<0,001	1,36	0,77	0	1	0,11	<0,02	0,10	<0,1	0,15	<0,5	0	0	
MPA28	Macapá	AP	Tucunaré	32,3	<5	<0,1	16	293	5,70	5,18	12	8	1,03	1,29	0,51	0,10	0,19	0,11	0,00	1,34	0,87	0	1	0,31	<0,02	<0,1	1,20	1,21	1,50	0	8	
MPA29	Macapá	AP	Tucunaré	32,2	<5	<0,1	33	386	5,30	4,99	22	<5	1,14	3,28	0,31	0,25	0,12	0,01	<0,001	1,95	<0,5	0	0	1,85	<0,02	<0,1	0,15	0,15	2,00	0	0	
MPA30	Macapá	AP	Tucunaré	30,2	<5	106	158	299	5,30	4,72	117	<5	15,09	20,23	2,84	4,89	0,70	2,55	0,02	19,59	0,76	0	1	10,35	<0,02	0,20	0,23	0,43	10,80	0	0	
MPA31	Macapá	AP	Tucunaré	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MPA32	Macapá	AP	Tucunaré	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**8.4.3 - Análises de metais pesados, BTEX, fenóis e de isótopos ambientais realizadas no aquífero Tucunaré durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012.**

Poço	Município	UF	Aquífero	Índice de Fenóis (mg/L)	Bário (mg/L)	Níquel (mg/L)	Zinco (mg/L)	Cádmio (mg/L)	Chumbo (mg/L)	Cobre (mg/L)	Cromo (mg/L)	Mercúrio (mg/L)	Arsênio (mg/L)	Benzeno (mg/L)	Tolueno (mg/L)	Etilbenzeno (mg/L)	o-Xileno (mg/L)	m,p-Xilenos (mg/L)	Trício	δD‰	δ <sup>18</sup> O‰	Percentual de Carbono Moderno (pMC)	Fração de Carbono Moderno (Fmdn)	Razão C13/C12
MPA01	Macapá	AP	Tucunaré	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,14 ± 0,18	-31,45	-5,75	-	-	-
MPA02	Macapá	AP	Tucunaré	<0,001	0,014	0,005	0,014	<0,001	0,004	0,011	<0,001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	-	-	-	-	-	-
MPA03	Macapá	AP	Tucunaré	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,36 ± 0,10	-	-	-	-	-
MPA04	Macapá	AP	Tucunaré	0,002	0,034	0,006	0,033	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,0001	<0,001	<0,001	0,004	<0,001	<0,001	<0,002	1,02 ± 0,13	-	-	-	-	-
MPA05	Macapá	AP	Tucunaré	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MPA06	Macapá	AP	Tucunaré	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MPA07	Macapá	AP	Tucunaré	<0,001	0,034	<0,001	0,027	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	-	-	-	-	-	-
MPA08	Macapá	AP	Tucunaré	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,75 ± 0,10	-27,31	-5,23	-	-	-
MPA09	Macapá	AP	Tucunaré	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MPA10	Macapá	AP	Tucunaré	<0,001	0,004	<0,001	0,141	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	-	-	-	-	-	-
MPA11	Macapá	AP	Tucunaré	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MPA12	Macapá	AP	Tucunaré	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MPA13	Macapá	AP	Tucunaré	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MPA14	Macapá	AP	Tucunaré	<0,001	<0,001	<0,001	0,220	<0,001	0,019	0,234	<0,001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	1,02 ± 0,15	-25,32	-4,96	-	-	-
MPA15	Macapá	AP	Tucunaré	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MPA16	Macapá	AP	Tucunaré	<0,001	0,023	<0,001	0,011	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	-	-	-	-	-	-
MPA17	Macapá	AP	Tucunaré	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MPA18	Macapá	AP	Tucunaré	<0,001	0,003	<0,001	0,085	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	-	-	-	-	-	-
MPA19	Macapá	AP	Tucunaré	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,69 ± 0,11	-	-	-	-	-
MPA20	Macapá	AP	Tucunaré	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MPA21	Macapá	AP	Tucunaré	<0,001	0,003	<0,001	0,027	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	-	-	-	-	-	-
MPA22	Macapá	AP	Tucunaré	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MPA23	Macapá	AP	Tucunaré	<0,001	0,003	<0,001	0,022	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	-	-	-	-	-	-
MPA24	Macapá	AP	Tucunaré	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MPA25	Macapá	AP	Tucunaré	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MPA26	Macapá	AP	Tucunaré	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,65 ± 0,14	-22,67	-4,64	-	-	-
MPA27	Macapá	AP	Tucunaré	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MPA28	Macapá	AP	Tucunaré	0,002	0,010	0,070	0,153	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,0001	<0,001	<0,001	0,003	<0,001	<0,001	<0,002	-	-	-	-	-	-
MPA29	Macapá	AP	Tucunaré	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MPA30	Macapá	AP	Tucunaré	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MPA31	Macapá	AP	Tucunaré	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	106,6±0,4 pMC	1,0655 +/-0,0040	-23,3
MPA32	Macapá	AP	Tucunaré	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24120±130 BP	0,0497 +/-0,0008	-24,4



## **8.5 – Protocolo de Guia de Coleta de Amostras Bioagri Ambiental**

## **Apresentação**

Este guia fornece informações básicas sobre os procedimentos adequados de coletas e preservação de amostras aquosas e sólidas para análises ambientais.

Embora muitas vezes, problemas ambientais decorrentes ou não de atividade antrópica sejam facilmente perceptíveis, a real dimensão destes problemas somente pode ser mensurada a partir de análises laboratoriais realizadas em locais onde possuam os recursos materiais e humanos mínimos necessários, existindo a necessidade da coleta e preservação de amostras para análises em laboratórios especializados, ou talvez de medidas tomadas no campo utilizando-se de instrumentos adequados. Por este motivo, é muito importante obedecer a critérios técnicos cuidadosamente definidos, com coletas sendo realizadas por profissionais qualificados para a função, pois estas são de fundamental importância para que os resultados das análises sejam confiáveis e representem da forma mais próxima possível à realidade. Sem estes cuidados a avaliação da qualidade ambiental pode gerar informações incorretas, dando uma falsa impressão a respeito da realidade, podendo induzir decisões errôneas causando graves prejuízos à saúde humana e preservação do meio ambiente.

Hoje sabemos que a coleta e a preservação das amostras têm influência muito importante sobre os resultados das análises. Águas naturais encontram-se em um sensível equilíbrio dinâmico, onde diversas espécies químicas e biológicas se mantêm estáveis. O simples contato de uma amostra com as paredes no frasco de coleta não apropriado podem alterar a composição da amostra. Também a temperatura e a forma de preservação da amostra podem influenciar na composição material da amostra. É importante ressaltar, que existe um tempo entre a coleta das amostras e a efetiva realização das análises, que pode variar de horas a meses dependendo do tipo de parâmetro em questão. Isto reforça a necessidade da adoção de critérios rígidos para a preservação e armazenamento das amostras, evitando a possível perda das espécies presentes, principalmente por transformação em outras formas químicas.

Na **tabela 8.5.1** a seguir constam os parâmetros a serem analisados, o tipo de frasco para coleta de amostra, a forma de preservação e o tempo para a realização da análise para amostras aquosas. Na **tabela 8.5.2** constam os parâmetros a serem analisados, o tipo de frasco para coleta de amostra, a forma de preservação e o tempo para a realização da análise para amostras sólidas.

Na **tabela 8.5.3** constam preservação, prazo e frascos para análises biológicas e microbiológicas. Na **tabela 8.5.4** constam preservação, prazo e frascos para testes de toxicidade. Na **tabela 8.5.5** temos a quantidade de frascos requeridos para atendimento de algumas legislações, tendo em vista o agrupamento de parâmetros num mesmo frasco.

No **anexo A1** a sequência para uso das bolsas nasço e os esquemas dos frascos de coleta de amostras líquidas (**anexo A2**) e de amostras sólidas (**anexo A3**).

**Tabela 8.5.1 - Frascos de Coleta, Volume Mínimo Necessário, Preservação e Prazo para Análise - Amostras de Águas e Efluentes.**

Espécie de Interesse	Frasco de Coleta	Volume de Amostra	Preservação/Estocagem da Amostra	Prazo para Análise
Alcalinidade	Polietileno ou vidro	200 mL	Refrigerar a 4±2°C	Recomendável 24 horas Tolerável 14 dias
Acidez	Polietileno ou vidro	100 mL	Refrigerar a 4±2°C	Recomendável 24 horas Tolerável 14 dias
Ácidos Haloacéticos	Vial	2 x 40 mL	Refrigerar a 4±2°C 4 mg de Cloridrato de amônio/ vial	14 dias até extração Após a extração 21 dias até análise
Bacteriologia	Polietileno ou vidro (Bolsa NASCO)	100 mL	Tiosulfato de Sódio e refrigerar a < 10°C	24 horas
Brometo	Polietileno ou vidro	100 mL	Refrigerar a 4±2°C	28 dias
Bromato	Polietileno ou vidro	100 mL	2 gotas EDA 5%	28 dias
Carbamatos	Vidro Âmbar	1.000 mL	Refrigerar a 4±2°C	14 dias até extração 40 dias até análise
Carbono Orgânico Total (TOC)	Vidro	100 mL	HCl até pH<2, refrigerar a 4±2°C	Recomendável 7 dias Tolerável 28 dias
Carbono Orgânico Dissolvido (COD)	Vidro	100 mL	Filtração membrana 0,45 µm HCl até pH<2, refrigerar a 4±2°C	Recomendável 7 dias Tolerável 28 dias
Cianeto	Polietileno ou vidro	1000 mL	NaOH 10N até pH >12, refrigerar a 4±2°C	14 dias
Clorato	Polietileno ou vidro	100 mL	Refrigerar a 4±2°C	28 dias
Cloreto	Polietileno ou vidro	250 mL	Refrigerar a 4±2°C	28 dias
Clorito	Polietileno ou vidro	100 mL	Refrigerar a 4±2°C	14 dias
Cloro Total e Residual	Polietileno ou vidro	500 mL	Não requerida	O mais breve possível
Clorofila A	Vidro	1.000 mL	Refrigerar a 4±2°C	5 dias até a extração e 15 dias a partir da extração
Coliformes Totais/Escherichia Coli	Bag ou frasco polietileno estéril	100 mL	Refrigerar a < 10°C	24 horas e 36 horas para águas tratadas
Condutividade Elétrica / Específica	Polietileno ou vidro	500 mL	Refrigerar a 4±2°C	28 dias
Cor	Polietileno ou vidro	500 mL	Refrigerar a 4±2°C	48 horas
Cromo Hexavalente	Polietileno ou vidro	500 mL	Refrigerar a 4±2°C	24 horas
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	Polietileno ou vidro	1.000 mL	Refrigerar a 4±2°C	Recomendável 24 horas Tolerável 7 dias
Demanda Química de Oxigênio (DQO) <sup>(1)</sup>	Polietileno ou vidro	100 mL	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> até pH<2, Refrigerar a 4±2°C	Recomendável 24 horas Tolerável 7 dias
Dureza Total	Polietileno ou vidro	100 mL	HNO <sub>3</sub> ou H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> até pH<2	06 meses
Índice de Fenóis	Vidro âmbar	500 mL	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> até pH< 4	28 dias
Fluoreto	Polietileno	100 mL	Não Requerida	28 dias
Fosfato (orto <sup>2</sup> )	Polietileno ou vidro	200 mL	Refrigerar a 4±2°C	48 horas

**Tabela 8.5.1 - Frascos de Coleta, Volume Mínimo Necessário, Preservação e Prazo para Análise - Amostras de Águas e Efluentes (Continuação).**

Espécie de Interesse	Frasco de Coleta	Volume de Amostra	Preservação/Estocagem da Amostra	Prazo para Análise
Fósforo Total	Polietileno ou vidro	100 mL	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> até pH<2, Refrigerar a 4±2°C	28 dias
Gás Carbônico (Dióxido de Carbono)	Polietileno ou vidro	100 mL	Não requerida	-
Glifosato	Polietileno ou vidro	100 mL	Não requerida	14 dias
Iodeto	Polietileno ou vidro	500 mL	Refrigerar a 4±2°C	24 horas
Microcistina	Vidro	100 mL	Refrigerar a 4±2°C	15 dias
Metais Totais (exceto Cromo VI)	Polietileno	500 ou 1000 mL	HNO <sub>3</sub> até pH<2	06 meses (exceto Hg = 28 dias)
Metais Solúveis	Mesmo que metais totais, porém a amostra deverá ser filtrada em membrana 0,45µm antes de ser preservada.			
Nitrogênio Amoniacal	Polietileno ou vidro	500 mL	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> até pH<2, Refrigerar a 4±2°C	Recomendável 7 dias Tolerável 28 dias
Nitrogênio Nitrato	Polietileno ou vidro	100 mL	Refrigerar a 4±2°C	48 horas
Nitrogênio Nitrito	Polietileno ou vidro	100 mL	Refrigerar a 4±2°C	48 horas
Nitrogênio Kjeldahl Total	Polietileno ou vidro	500 mL	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> até pH<2, Refrigerar a 4±2°C	Recomendável 7 dias Tolerável 28 dias
Odor	Polietileno	500 mL	Refrigerar a 4±2°C	O mais breve possível
Óleos e Graxas <sup>(3)</sup>	Vidro Âmbar	1.000 mL	HCl ou H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> até pH<2; Refrigerar a 4±2°C	28 dias
Orgânicos Purgáveis (Purge and Trap)	Vidro (Vial)	2 x 40 mL	HCl 1:1 (4 gotas) Refrigerar a + 4°C Obs.: Caso a amostra contenha cloro residual livre este deve ser eliminado antes da adição do ácido através da adição de 4 gotas de solução de tiosulfato de sódio a 10%.	07 dias s/ preserv. 14 dias c/preserv.

**Tabela 8.5.1 - Frascos de Coleta, Volume Mínimo Necessário, Preservação e Prazo para Análise - Amostras de Águas e Efluentes (Continuação).**

Espécie de Interesse	Frasco de Coleta	Volume de Amostra	Preservação da Amostra	Prazo para Análise
Organoclorados e PCB's em água	Vidro âmbar, tampa rosqueável de teflon ou Plástico	2.000 mL	Refrigerar a 4±2°C	07 dias até a extração 40 dias após a extração
Oxigênio Consumido	Polietileno ou vidro	150 mL	Refrigerar a 4±2°C	24 horas
Oxigênio Dissolvido	Vidro de boca estreita e tampa esmerilhada	300 mL	2 mL de sulfato manganoso e 2 mL de reagente alcali-iodeto azida	8 horas (preferencialmente medida em campo com aparelho portátil)
Pesticidas	Vidro âmbar	1000 mL	Refrigerar a 4±2°C	07 dias até a extração 40 dias após a extração
pH	Polietileno ou vidro	200 mL	Refrigerar a 4±2°C	06 horas (preferencialmente medida em campo)
Radioatividade	Vidro âmbar	100 mL	HNO <sub>3</sub> até pH<2	1 ano
Série de Sólidos	Polietileno ou vidro	1.000 mL	Refrigerar a 4±2°C	07 dias
Sólidos Sedimentáveis	Polietileno ou vidro	1.000 mL	Refrigerar a 4±2°C	07 dias
Sílica	Polietileno	200 mL	Refrigerar a 4±2°C	28 dias
Sulfato	Polietileno ou vidro	100 mL	Refrigerar a 4±2°C	28 dias
Sulfeto (idem para sulfeto de hidrogênio)	Polietileno ou Vidro	100 mL	Refrigerar a 4±2°C; adicionar 04 gotas de Acetato de Zinco 2N e NaOH até pH>9	07 dias
Sulfito <sup>(4)</sup>	Polietileno ou vidro	100 mL	Refrigerar a 4±2°C	24 horas
Surfactantes	Polietileno ou vidro	250 mL	Refrigerar a 4±2°C	48 horas
Turbidez	Polietileno ou vidro	200 mL	Refrigerar a 4±2°C	48 horas
Matriz analítica (Vinhaça)	Polietileno ou Vidro	2.000 mL	Refrigerar a 4±2°C	

- (1) Para efluentes com óleos vegetais ou gelatinas, não acidular, mantendo apenas a refrigeração.
- (2) Imediatamente após a coleta filtrar a amostra com membrana 0,45 µ. Este procedimento reduz a conversão de fosfatos condensados em ortofosfatos pela remoção de material suspenso e microbiológico, o qual pode catalisar a reação.
- (3) Não encher completamente o frasco.
- (4) Encher o frasco completamente, evitando contato com o ar.

**Tabela 8.5.2 - Frascos de Coleta, Volume Mínimo Necessário, Preservação e Prazo para Análise - Amostras de Solos e Sedimentos.**

Espécie de Interesse	Frasco de Coleta	Quantidade de Amostra (g)	Preservação/Estocagem da Amostra	Prazo para Análise
Orgânicos Voláteis	Frasco de Vidro de Boca Larga	Preencher o Frasco até a Boca 200g	Resfriar a 4±2°C	14 dias
Orgânicos Semi Voláteis	Frasco de Vidro de Boca Larga	200	Resfriar a 4±2°C	14 dias até extração 40 dias até análise
Dioxinas e Furanos	Frasco de Vidro de Boca Larga	500	Resfriar a 4±2°C	não se aplica
Pesticidas Organoclorados (Bioagri Ambiental)	Frasco de Vidro de Boca Larga	200	Resfriar a 4±2°C	14 dias até extração 40 dias até análise
PCB's	Frasco de Vidro de Boca Larga	200	Resfriar a 4±2°C	14 dias até extração 40 dias até análise
Compostos Organofosforados	Frasco de Vidro de Boca Larga	200	Resfriar a 4±2°C	14 dias até extração 40 dias até análise
Metais (Exceto Cr VI)	Frasco de Vidro ou de plástico de Boca Larga	200	Resfriar a 4±2°C	28 dias para Hg 180 dias para outros metais
Cromo VI	Frasco de Vidro ou de plástico de Boca Larga	200	Resfriar a 4±2°C	30 dias para digestão Análise em até 4 dias após extração
Cianetos	Frasco de Vidro ou de plástico de Boca Larga	200	Resfriar a 4±2°C	14 dias
Sulfeto	Frasco de Vidro ou de plástico de Boca Larga	200	Resfriar a 4±2°C	7 dias

**Tabela 8.5.3 - Preservação, prazo para análise e frascos a serem utilizados sem amostras para análises biológicas e microbiológicas.**

Variável biológica	Item	Preservação/Estocagem da Amostra	Prazo para análise	Frascos
Perifiton	Contagem e identificação	Formaldeído neutralizado a 4- 5% ou FAA (formol, ácido acético glacial e álcool) ou solução de Transeau (6:3:1) ou mertiolato (1:1000) ou lugol acético 3 – 5% para flagelados	a) um ano b)seis meses c)seis meses	Vidro âmbar ou polietileno
	Clorofila e Feofitina	Refrigerar e encaminhar ao laboratório o mais rápido possível	24 h oras	Vidro âmbar ou polietileno
	Contagem proporcional de espécies diatomáceas	Formaldeído neutralizado a 4 ou 5%	Seis meses	Vidro âmbar ou polietileno
Zooplâncton	Contagem e identificação	Além do formaldeído neutralizado a 40%, outros fixadores podem ser usados como etanol a 7% ou solução de lugol. O formaldeído pode causar distorção em algumas formas de retíferos. Para evitar evaporação, juntar à amostra 5% de glicerina. Em amostras turvas será útil acrescentar 0,04% do corante rosa de bengala.	Um ano	Vidro ou polietileno
Cianobactérias	Polietileno ou vidro	1.000 mL	Lugol refrigerado 4±2°C	06 meses

**Tabela 8.5.4** - Preservação, prazo para análise e frascos a serem utilizados sem amostras para testes de toxicidade.

Organismo teste	Tipo de amostra	Teste	Volume de amostra	Preservação/ Estocagem	Frascos
Algas	Águas ou efluentes	Toxicidade aguda / crônica	1.000 mL	Refrigeração até o período de 36 horas e congelamento após 36 horas	Vidro ou polietileno
Daphnia	Águas ou efluentes	Toxicidade aguda	1.000 mL	Refrigeração até o período de 36 horas e congelamento após 36 horas	Vidro ou polietileno
Ceriodaphnia	Águas ou efluentes	Toxicidade crônica	1.000 mL	Refrigeração até o período de 36 horas e congelamento após 36 horas	Vidro ou polietileno
Peixes	Águas	Toxicidade crônica	5.000 mL	Refrigeração até o período de 36 horas e congelamento após 36 horas	Vidro ou polietileno
Peixes	Efluentes	Toxicidade aguda	20 Litros	Refrigeração até o período de 36 horas e congelamento após 36 horas	Vidro ou polietileno
		Toxicidade crônica	5.000 mL		
Microtox	Águas ou efluentes	Toxicidade aguda	1.000 mL	Refrigeração até o período de 36 horas e congelamento após 36 horas	Vidro ou polietileno

#### Referências Bibliográficas

- Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 21<sup>st</sup> edition, APHA / AWWA / WEF, New York.
- Markert, B. , 1994. Environmental Sampling for Trace Analysis, VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, Federal Republic of Germany.
- Agudo, E.G. et al. , 1987. Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Água, CETESB Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo.
- NBR 9897 / ABNT - Planejamento de Amostragem de Efluentes Líquidos e Corpos Receptores.
- NBR 9898 / ABNT - Preservação e Técnicas de Amostragem de Efluentes Líquidos e Corpos Receptores.
- NBR 10007/ABNT – Amostragem de resíduos, 2° edição, versão 2004.
- EPA - Surface Impoundment Study – Section N°B2 – 18/04/2000.
- EPA SW 846 – Chapter Two – Choosing the correct procedure.
- Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography.
- EPA SW 846 – Method 9065 Phenolics (Spectrometric, Manual 4-AAP With Distillation)

**Tabela 8.5.5 - Quantidade mínima de amostra para atendimento de algumas legislações e métodos – Amostras Aquosas.**

Tipo	Vidro Âmbar	Vidro Âmbar	Plástico	Plástico	Plástico	Vidro Âmbar	Vial	Plástico	Plástico	Plástico	Bolsa Nasco	Vidro	Vidro	Medidas de Campo
Volume	1000 mL	1000 mL	500 mL	500 mL	500 mL	1000 mL	40 mL	500 mL	100 mL	100 mL	100 mL	100 mL	100 mL	
Preservação	-----	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> pH < 2	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> pH < 2	HNO <sub>3</sub> pH < 2	NaOH pH > 12	HCl pH < 2	4 gotas HCl 50%	Acetato de Zinco	-----	2gotas EDA 5%	-----	Lugol	HNO <sub>3</sub> 30%	
Temperatura	Refrig.	Refrig.	Refrig.	Refrig.	Refrig.	Refrig.	Refrig.	Refrig.	Refrig.	Refrig.	Refrig.	Refrig.	Refrig.	
Legislação														
NTA 60	2		1	1	1						2			pH
Conama 357/05 Artigos 14, 15 ou 16	5	1		1	1	1	2	1	1	1	1	1		pHO.D.
Conama 357/05 Artigo 34	2	1		1	1	1	2	1		1				pHTemp.
Portaria 518/04 MS	3		1	1	1		2	1	1	1	2		1	pH Cl Livre
Artigo 18 Decreto 8468/76	2	1		1	1	1				1				pHTemp.
Artigo 19-A Decreto 8468/76	1	1	1	1	1	1		1						pHTemp.
Artigo 11 Decreto 8468/76	2	1		1	1	1		1			2			pH O.D.
Metais (**)				1										
VOC (EPA 8260) (30 compostos)							2							
SVOC (EPA 8270)	2													
Demais SVOC	1 a 3 (*)													
Diretiva 98 CEE	5		1	1	1		2	1		1	2			pH
EPA Drinking Water (MCL's)	5		1	1	1		2	1		1	2			pH

(\*) Dependendo do limite de quantificação desejado

(\*\*) Metais: Filtrado ou não dependendo do estudo, exceto Cromo VI.



**Tabela 8.5.5** - Quantidade mínima de frascos necessários para atendimento de algumas legislações e métodos – Amostras Sólidas (Continuação).

<b>Tipo</b>	<b>Vidro de Boca Larga (Tipo Frasco de Palmito) ou Pote Plástico</b>	<b>Vidro de Boca Larga (Tipo Frasco de Palmito)</b>	<b>Vidro de Boca Larga com tampa metálica</b>
<b>Volume do Recipiente e Massa Mínima Requerida</b>	<b>500 ou 1000 mL (mínimo de 0,5kg de amostra)</b>	<b>500 ou 1000 mL (mínimo de 0,5kg de amostra)</b>	<b>100 mL (Deverá ser preenchido completamente com a amostra)</b>
<b>Temperatura</b>	<b>Refrig.</b>	<b>Refrig.</b>	<b>Refrig.</b>
<b>Legislação/Método</b>			
NBR 10004 – Classificação de Resíduos Sólidos	<b>1 (*)</b>		
Metais e outros parâmetros inorgânicos	<b>1</b>		
VOC's (EPA 8260)			<b>1</b>
SVOC's (EPA 8270)		<b>1</b>	
Demais Compostos Orgânicos		<b>1</b>	

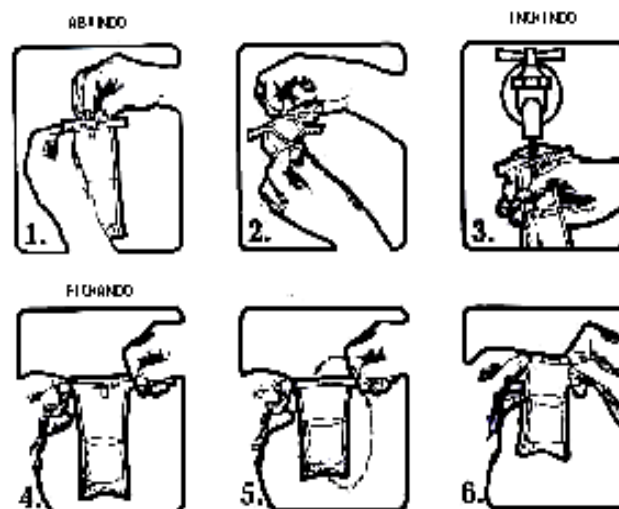
(\*) deverá ser garantido pelo menos 500g de amostra na base seca.

## Anexo A1 - Sequência para utilização das bolsas nasco

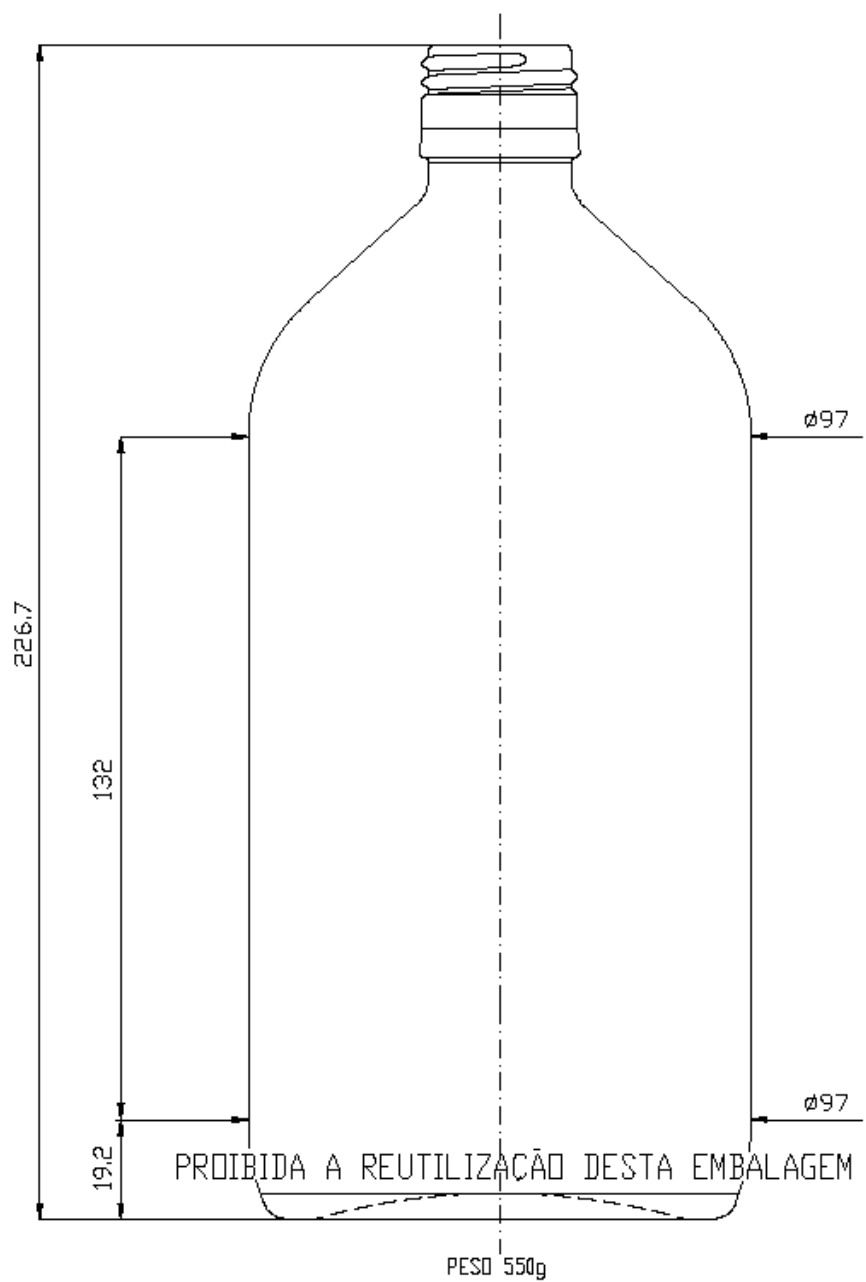
Procedimento para coletar amostras de águas utilizando a bolsa descartável THIO-bag Nasco:

- Rasgar o picote no topo da bolsa;
- Puxar as tiras laterais para abrir a bolsa sem tocar com as mãos na boca;
- Encher a bolsa até a marca de 100 mL;
- Puxar os arames para fechar a bolsa;
- Girar a bolsa em torno do arame 2 à 3 vezes;
- Dobrar os arames para manter a bolsa fechada.

Antes da coleta deve-se flambar a torneira ou se necessário limpar com solução de hipoclorito de sódio 2 % e mantê-la aberta, após a coleta manter a bolsa em temperatura de aproximadamente  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  em recipiente limpo e desinfetado.



## Anexo A2 - Esquema dos frascos de coleta – Amostras Líquidas



### Anexo A3 - Esquema dos frascos de coleta – Amostras Sólidas

