

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA



| Relatório Técnico Temático |
Caracterização Hidrogeoquímica
das Águas Subterrâneas da
Região de Belém/PA

República Federativa do Brasil

Michel Miguel Elias Temer Lulia

Presidente da República

Ministério do Meio Ambiente

Edson Duarte

Ministro

Agência Nacional de Águas

Diretoria Colegiada

Christianne Dias Ferreira - Diretora-Presidente

Ricardo Medeiros de Andrade

Ney Maranhão

Oscar de Moraes Cordeiro Netto

Marcelo Cruz

Superintendência de Implementação de Programas e Projetos - SIP

Tibério Magalhães Pinheiro (Superintendente)

Victor Sucupira (Superintendente Adjunto)

Coordenação de Águas Subterrâneas - COSUB

Fernando Roberto de Oliveira (Coordenador)

Adriana Niemeyer Pires Ferreira

Fabrcio Bueno da Fonseca Cardoso

Letícia Lemos de Moraes

Leonardo de Almeida (Gestor Substituto do Contrato)

Mrcia Tereza Pantoja Gaspar (Gestora do Contrato)

© 2018 Agência Nacional de Águas – ANA
Setor Policial, Área 5, Quadra 3, Blocos B, L, M, N, O e T
CEP: 70610-200, Brasília - DF
PABX: 2109-5400 / 2109-5252
Endereço eletrônico: <http://www.ana.gov.br>

Capa: Vanessa Cardoso
Local da Foto: Estação das Docas – Belém/PA
Autor da fotografia: Cristiano Cantão

Equipe:

Comissão Técnica de Acompanhamento e Fiscalização – CTAF

Márcia Tereza Pantoja Gaspar (ANA)	Leonardo de Almeida (ANA)	Luciene Mota de Leão Chaves (SEMAS/PA)
Márcia Helena D'Oliveira Nascimento (SEMAS/PA)	Juvenal Andrade Neto (SEMAS/PA)	Valmor José Freddo Filho (CPRM)
Homero Reis de Melo Junior (CPRM)	Manoel Imbiriba Junior (CPRM)	Giovanni Chaves Penner (UFPA/ITEC)
Raimundo Nonato do Espírito Santo (UFPA/IG)	Ronaldo Lopes Mendes (UFPA/NUMA)	Hélida Gonçalves Soares (SEMMA Belém)
Wanderley Nascimento da Silva (COSANPA)	Alessandra Machado Noronha (AMAE)	Rosângela Maria L. da Rocha (SEMMA Marituba)
Edivan de Jesus Souza (SEMMA Marituba)	Fernando Monteiro da Silva (SEMMA Marituba)	Carla Marques de Oliveira (SEMMA Santa Bárbara do Pará)
Alexsandra Christine Borges de Queiroz (SEMMA Marituba)	Ricelly Luciana Luz Maia do Rosário (SEMMA Santa Izabel do Pará)	

Elaboração e Execução – PROFILL Engenharia e Ambiente S.A.

Mauro Jungblut – Coordenação Geral
Cíntia Letícia Sallet – Gerente de Projetos

Membros da Equipe Técnica Executora:

Flávio de Paula e Silva e Tiago Vier Fischer – Coordenação Técnica		
Antônio Flavio Uberti Costa	Antônio Silvio Jornada Krebs	Ana Luiza Helfer
Carla Gasparini	Carlos Bortoli	Daniel Wiegand
Guilherme Joaquim	Igor Alves	Isabel Rekowsky
Marcia Regina Stradioto	Neomar Oliveira Fraga	Rodrigo Tusi Costa
Sidnei Agra		

Agradecimentos

Agradecemos a todos os colaboradores e usuários de recursos hídricos que direta ou indiretamente contribuíram com a elaboração deste trabalho.

Todos os direitos reservados.

É permitida a reprodução de dados e de informações, desde que citada a fonte.

A265e Agência Nacional de Águas (Brasil).
Estudos hidrogeológicos para a Gestão das Águas Subterrâneas da
Região de Belém: Relatório técnico temático sobre caracterização
hidrogeoquímica das águas subterrâneas da região de Belém /
Agência Nacional de Águas; Elaboração e Execução: Profill
Engenharia e Ambiente S.A – Brasília: ANA, 2018.

164 p. il.

1. Hidrogeologia. 2. Bacias Hidrográficas. 3. Belém, Região
Metropolitana de (PA). I. Título

CDU 556.3

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplos de pontos de amostragens de água na área de estudo.	11
Figura 2 – Localização dos pontos amostrados na área de estudo (aquíferos Pós-Barreiras, Barreiras, Pirabas Superior e Pirabas Inferior) nas campanhas 1 e 2.	12
Figura 3 – Localização dos pontos amostrados para análises específicas (Metais Pesados, Índice de Fenóis, BTEX, Isótopos Estáveis (^{18}O e ^2H), Carbono 14 (^{14}C) e Trítio (^3H) na Campanha 2.	13
Figura 4 – Diagrama de <i>Stiff</i>	15
Figura 5 – Diagrama de <i>Piper</i>	16
Figura 6 – Histograma do balanço iônico obtido para amostras da primeira e da segunda campanha de amostragens de águas subterrâneas na área de estudo, na Campanha 1.	17
Figura 7 – Histograma do balanço iônico obtido para amostras da primeira e da segunda campanha de amostragens de águas subterrâneas na área de estudo, na Campanha 2.	18
Figura 8 – Balanço iônico versus condutividade elétrica para amostras da primeira campanha.	19
Figura 9 – Balanço iônico versus condutividade elétrica para amostras da segunda campanha.	19
Figura 10 – Diagramas de <i>Piper</i> para amostras da primeira campanha.	22
Figura 11 – Diagramas de <i>Piper</i> para amostras da segunda campanha.	23
Figura 12 – Distribuição dos diagramas de <i>Stiff</i> para amostras da primeira campanha.	24
Figura 13 – Distribuição dos diagramas de <i>Stiff</i> para amostras da segunda campanha.	25
Figura 14 – Distribuição dos tipos hidroquímicos para amostras da primeira campanha.	26
Figura 15 – Distribuição dos tipos hidroquímicos para amostras da segunda campanha.	27
Figura 16 – Histograma de pH das amostras na primeira campanha.	32
Figura 17 – Histograma de pH das amostras na segunda campanha.	32
Figura 18 – Histograma de condutividade elétrica (CE) das amostras na primeira campanha.	33
Figura 19 – Histograma de condutividade elétrica (CE) das amostras na segunda campanha.	33
Figura 20 – Distribuição dos ânions nas amostras na primeira campanha.	34
Figura 21 – Distribuição dos ânions nas amostras na segunda campanha.	35
Figura 22 – Distribuição dos cátions nas amostras na primeira campanha.	35
Figura 23 – Distribuição dos cátions nas amostras na segunda campanha.	35
Figura 24 – Distribuição dos grupos hidroquímicos identificados pela análise de agrupamento de amostras de águas subterrâneas da área de estudo na 1ª. e 2ª. Campanhas.	44
Figura 25 – Razão $r\text{Mg}/r\text{Ca}$ para as amostras na primeira campanha.	47
Figura 26 – Razão $r\text{Mg}/r\text{Ca}$ para as amostras na segunda campanha.	48
Figura 27 – Razão $r\text{K}/r\text{Na}$ para as amostras na primeira campanha.	48
Figura 28 – Razão $r\text{K}/r\text{Na}$ para as amostras na segunda campanha.	49
Figura 29 – Razão $r\text{Na}/r\text{Ca}$ para as amostras na primeira campanha.	49
Figura 30 – Razão $r\text{Na}/r\text{Ca}$ para as amostras na segunda campanha.	50
Figura 31 – Razão $r\text{Na}/(r\text{Ca} + r\text{Mg})$ para as amostras na primeira campanha.	50
Figura 32 – Razão $r\text{Na}/(r\text{Ca} + r\text{Mg})$ para as amostras na segunda campanha.	51

Figura 33 – Razão $rCl/rHCO_3$ para as amostras na primeira campanha.....	51
Figura 34 – Razão $rCl/rHCO_3$ para as amostras na segunda campanha.....	52
Figura 35 – Índices de Troca de Bases para as amostras na primeira campanha.	54
Figura 36 – Índice de Troca de Bases para as amostras na segunda campanha.	55
Figura 37 – Razões de Adsorção de Sódio para amostras na primeira campanha.	55
Figura 38 – Razões de Adsorção de Sódio para amostras na segunda campanha.	56
Figura 39 – Índice de saturação em relação à calcita vs. condutividade elétrica das amostras na primeira campanha.....	59
Figura 40 - Índice de saturação em relação à calcita vs. condutividade elétrica das amostras na segunda campanha.....	60
Figura 41 - Índice de saturação em relação à calcita vs. pH das amostras na primeira campanha. ...	60
Figura 42 – Índice de saturação em relação à calcita vs. pH das amostras na segunda campanha...	61
Figura 43 – Índice de saturação em relação à calcita vs. profundidade das amostras na primeira campanha.....	61
Figura 44 – Índice de saturação em relação à calcita vs. profundidade das amostras na segunda campanha.....	62
Figura 45 – Índice de saturação em relação ao quartzo vs. condutividade elétrica das amostras na primeira campanha.....	64
Figura 46 – Índice de saturação em relação ao quartzo vs. condutividade elétrica das amostras na segunda campanha.....	64
Figura 47 – Índice de saturação em relação ao quartzo vs. profundidade das amostras na primeira campanha.....	65
Figura 48 – Índice de saturação em relação ao quartzo vs. profundidade das amostras na segunda campanha.....	65
Figura 49 – Diagrama de estabilidade $NaO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ (25°C) na primeira campanha.	68
Figura 50 – Diagrama de estabilidade $NaO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ (25°C) na segunda campanha.	69
Figura 51 – Diagrama de estabilidade $CaO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ (25°C) na primeira campanha.	70
Figura 52 – Diagrama de estabilidade $CaO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ (25°C) na segunda campanha.	71
Figura 53 – Diagrama de estabilidade $K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ (25°C) na primeira campanha.	72
Figura 54 – Diagrama de estabilidade $K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ (25°C) na segunda campanha.	73
Figura 55 – Localização dos pontos de coleta de água para análise de Metais Pesados na área de estudo.....	83
Figura 56 – Localização de pontos de coleta de água subterrânea para análise de índices de fenóis na área de estudo.....	86
Figura 57 – Localização dos pontos de coleta de água subterrânea para análise de BTEX na área de estudo.	89
Figura 58 – Mapa de localização dos pontos de coleta de água para análise de conteúdo bacteriológico na região de Belém	92

Figura 59 – Concentrações média (1 e 2 campanhas) de nitrato e amônio nas amostras selecionadas para conteúdo bacteriológico	93
Figura 60 – Relação de $\delta^{18}\text{O}$ e δD para as amostras de águas coletadas na área de estudo.	96
Figura 61 – Histograma de $\delta^{18}\text{O}$ para as amostras de águas coletadas na área de estudo.....	96
Figura 62 – Histograma de δD para as amostras de águas coletadas na área de estudo.....	97
Figura 63 – Distribuição de $\delta^{18}\text{O}$ e δD nas águas da área de estudo.	98
Figura 64 – Idades (^{14}C) versus profundidades (m) das amostras dos pontos de coleta de água subterrânea na região de Belém.	106
Figura 65 – Idades (^{14}C) das amostras e seus respectivos diagramas de Stiff (Aquíferos Barreiras, Pirabas Superior, Pirabas Inferior e aquíferos NI)	107
Figura 66 – Mapas de distribuição de ^{14}C (Idade e PMC- porcentagem de carbono moderno) dos pontos de coleta de água subterrânea na região de Belém.	108
Figura 67 – Profundidade vs Interpretação Qualitativa (^3H – Trítio) para as amostras de água subterrânea na região de Belém.	110
Figura 68 – Mapa de localização e classificação das análises de $\delta^3\text{H}$ dos pontos de coleta de água subterrânea na região de Belém.	112

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Valores máximos, mínimos, médias e tendência central dos resultados físico-químicos das águas subterrâneas da área de estudo, primeira campanha de amostragem.	30
Quadro 2 – Valores máximos, mínimos, médias e tendência central dos resultados físico-químicos das águas subterrâneas da área de estudo, segunda campanha de amostragem.....	31
Quadro 3 – Resultados de <i>p-value</i> para testes de normalidade em parâmetros físico-químicos de amostras provenientes dos aquíferos estudados (1ª campanha).....	37
Quadro 4 – Distribuição de <i>p-value</i> para testes de normalidade em parâmetros físico-químicos de amostras provenientes dos aquíferos estudados (2ª campanha).....	37
Quadro 5 – Análise comparativa (teste de Mann-Whitney) de parâmetros físico-químicos entre diferentes unidades aquíferas estudadas	40
Quadro 6 – Análise comparativa (teste de Mann-Whitney) de parâmetros físico-químicos entre as amostragens (1ª e 2ª campanhas).....	41
Quadro 7 – Metais Pesados nas águas subterrâneas da área de estudo.....	82
Quadro 8 – Índices de fenóis nas águas subterrâneas da área de estudo.	85
Quadro 9 – BTEX nas águas subterrâneas da área de estudo.	88
Quadro 10 – Conteúdo bacteriológico das águas subterrâneas da região de Belém.	91
Quadro 11 – Isótopos de O ¹⁸ e deutério nas amostras coletadas na área de estudo.....	95
Quadro 12 – Resultados das análises de ¹⁴ C e $\delta^{13}\text{C}$ das amostras de água da área de estudo.....	106
Quadro 13 – Resultados das análises de $\delta^3\text{H}$ de amostras de água na área de estudo com as interpretações qualitativas.....	111

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA	9
2.1	Rede de Amostragem de Água Subterrânea	9
2.2	Métodos de Análise e de Tratamento de Dados Hidroquímicos	14
2.3	Interpretação dos Resultados das Análises	16
2.3.1	Representatividade dos Resultados Obtidos	16
2.3.2	Classificação das Águas Subterrâneas.....	20
2.3.3	Análise Estatística	28
2.3.4	Análise Estatística Multivariada (Análise de Agrupamentos)	41
2.3.5	Razões Iônicas.....	45
2.3.6	Análise Termodinâmica	56
2.4	Zoneamento Hidrogeoquímico das águas subterrâneas da região	73
2.5	Parâmetros Específicos	80
2.5.1	Metais Pesados	80
2.5.2	Índices de Fenóis	84
2.5.3	BTEX	87
2.5.4	Conteúdo Bacteriológico	90
2.6	Isótopos Estáveis de Oxigênio ($\delta^{18}\text{O}$) e Deutério ($\delta^2\text{H}$)	93
2.6.1	Coletas e Análises Isotópicas das Amostras.....	94
2.6.2	Características Isotópicas da Água dos Aquíferos Estudados.....	95
2.7	Datação com isótopos Instáveis	99
2.7.1	Carbono-14.....	100
2.7.2	Trítio	102
2.7.3	Carbono-14 (^{14}C) nas Águas dos Aquíferos Barreiras, Pirabas Superior e Inferior	103
2.7.4	Trítio (H^3) nas Águas dos Aquíferos Barreiras, Pirabas Superior e Inferior	109
3	CONCLUSÕES	113
4	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115
5	ANEXOS	117

1 INTRODUÇÃO

Este relatório técnico (RT) apresenta resultados das análises efetuadas em amostras de água subterrânea, coletadas em duas campanhas de amostragens realizadas no âmbito do projeto “*Estudos Hidrogeológicos para a Gestão das Águas Subterrâneas da Região de Belém/PA*”.

No escopo deste projeto essa temática teve por objetivo o estudo hidroquímico das águas dos aquíferos Pós-Barreiras, Barreiras e Pirabas (Superior e Inferior) com vistas a caracterizar e avaliar a qualidade das águas que circulam nestes aquíferos e identificar problemas de qualidade, tanto de origem antrópica quanto natural, que podem afetar os padrões de potabilidade. Cabe destacar que, embora no modelo hidrogeológico os aquíferos Pós Barreiras e Barreiras foram definidos como Sistema Barreiras e os aquíferos Pirabas Superior e Inferior definidos como Sistema Pirabas, na hidrogeoquímica optou-se pela caracterização individualizadas destas unidades aquíferas, em razão das diferenças hidroquímicas apresentadas.

A rede de amostragem compreendeu pontos de coletas de águas subterrâneas de poços tubulares nas áreas da cidade de Belém e de municípios adjacentes, que exploram os aquíferos Pós-Barreiras, Barreiras, Pirabas Superior e Inferior, totalizando 302 amostras coletadas em duas campanhas de amostragens. A primeira campanha foi realizada nos meses de junho a agosto de 2017, perfazendo 150 pontos, e a segunda nos meses de novembro de 2017 a março de 2018, com 152 pontos.

Durante a coleta foram medidas a temperatura, a condutividade elétrica, o pH e o Eh das amostras. Essas amostras foram posteriormente encaminhadas para o laboratório em que foram efetuadas as análises de cor, turbidez, dureza, STD, de cátions (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+) e ânions (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} , PO_4^{3-} , NO_2^- , NO_3^-), e também de ferro (Fe) e manganês (Mn). Além das amostras coletadas para análises físico-químicas, na segunda campanha também foram coletadas amostras para análises de BTEX e índices de fenóis, determinação de metais pesados (Ba, Ni, Zn, Cd, Pb, Cu, Cr, Hg e As), análises bacteriológicas, análises de isótopos estáveis de oxigênio ($\delta^{18}\text{O}$) e hidrogênio (δD), análises de isótopos radioativos de carbono (^{14}C) e amostras para determinação de trítio (^3H).

Os resultados obtidos estão aqui reunidos, consolidando sua interpretação com a caracterização hidroquímica e a elaboração de mapas de zoneamento hidrogeoquímico.

2 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA

2.1 REDE DE AMOSTRAGEM DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

Foram realizadas duas campanhas de amostragem de águas subterrâneas de poços tubulares na área de estudo (Figura 1, Figura 2 e ANEXO I). Durante a primeira campanha, realizada nos meses de junho a agosto de 2017, foram coletadas 150 amostras, sendo 18 amostras no Aquífero Pós-Barreiras, 99 no Aquífero Barreiras, 10 no Aquífero Pirabas superior e 23 no Aquífero Pirabas Inferior (Figura 2). Cabe salientar que o poço P01, identificado como Aquífero Pirabas superior na primeira campanha, foi corrigido para Aquífero Barreiras na segunda, após análise efetuada.

A segunda campanha ocorreu de novembro de 2017 a março de 2018, período em que foram coletadas 152 amostras, das quais, 15 amostras no Aquífero Pós-Barreiras, 97 no Aquífero Barreiras, 11 no Aquífero Pirabas Superior, 27 no Aquífero Pirabas Inferior e duas amostras em poços em que não foram identificados os aquíferos explorados (Figura 2).

Os poços P24 (Pós-Barreiras), P43 (Pós-Barreiras), P49 (Pós-Barreiras), e P130 (Barreiras) não foram amostrados na segunda campanha, pois o acesso não foi permitido e/ou o poço estava desativado. O P100 também foi descartado para amostragens nesta segunda campanha, devido à incorporação de um processo de tratamento ao poço. O poço P69 estava desativado, tendo sido amostrado um outro poço próximo, mantendo-se a mesma identificação, porém com novas coordenadas e a profundidade de coleta passou de 38 para 222 metros, e o aquífero amostrado foi o Pirabas Inferior (em vez do Aquífero Barreiras).

Na segunda campanha também foram selecionados sete poços novos – os poços da rede de monitoramento da CPRM/RIMAS 1, 4, 5, 6 e 7 (5º Setor - Pentágono), Mosqueiro 3 (Murubira), Icoaraci_Souza Franco; Icoaraci_Paracuri II e Icoaraci_FUNASA, respectivamente), e mais dois poços RED21, NAZ39 que foram analisados em estudo anterior.

Previamente à coleta, as bombas existentes nos poços foram ligadas por alguns minutos para assegurar a renovação da água estagnada na tubulação e no poço. As coletas foram efetuadas junto ao poço, anterior aos processos de tratamento, como fluoretação, cloração e/ou armazenamento da água.

Durante a amostragem foram medidos os seguintes parâmetros:

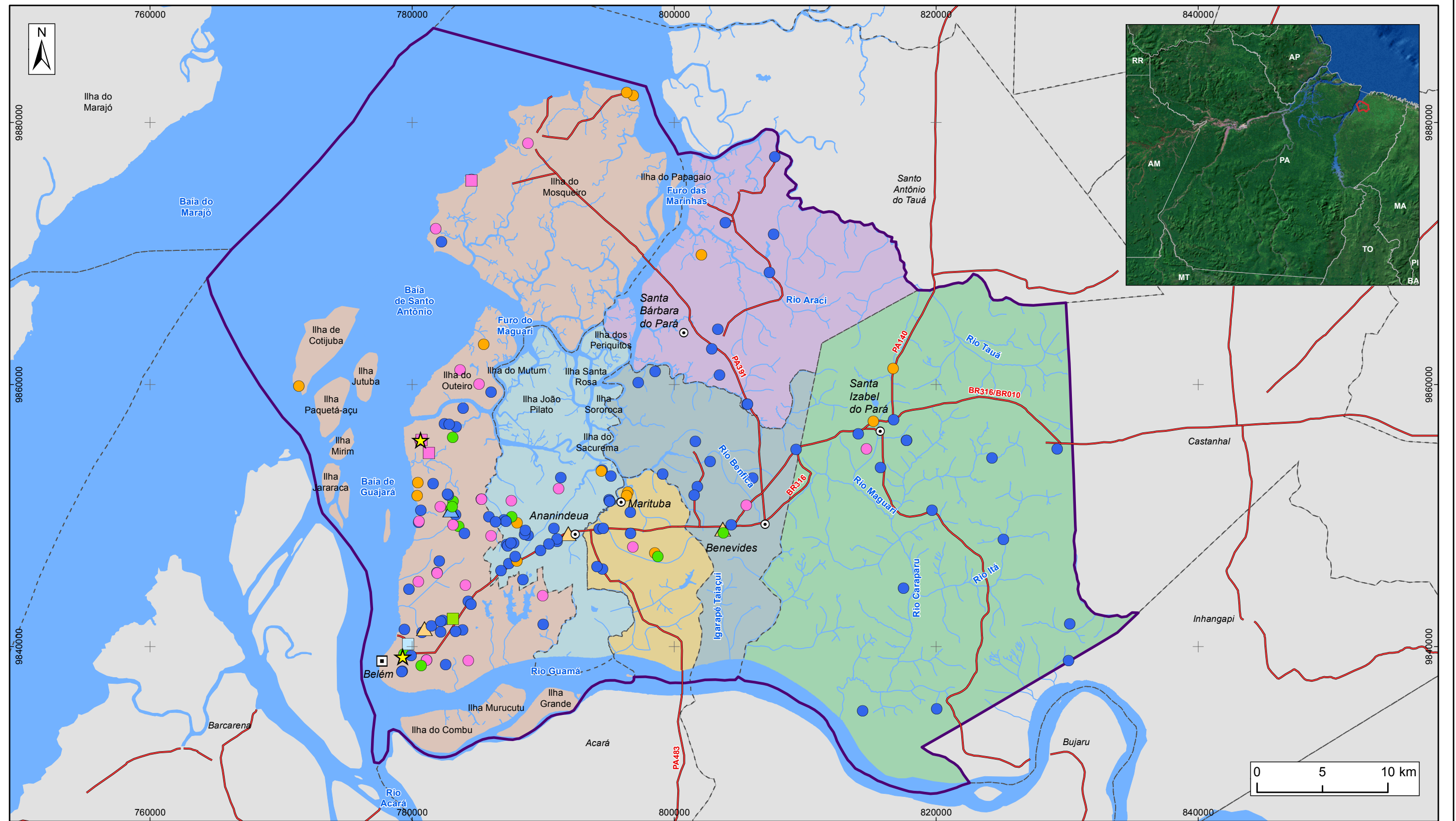
- Temperatura (parâmetro importante para as interpretações geoquímicas, já que a interação entre os constituintes presentes na rocha e na água varia em função da temperatura);
- Condutividade elétrica (capacidade da água em conduzir corrente elétrica; está relacionada aos tipos e concentração das espécies dissolvidas em água);
- pH (representa a atividade do íon hidrogênio na solução; é importante para o entendimento da hidrogeoquímica do sistema aquoso, já que este parâmetro pode ser modificado com a maior ou menor presença dos íons maiores na água);
- Eh (os valores de Eh obtidos em campo (eletrodo de Ag/AgCl) foram convertidos para SHE (*standard hydrogen electrode*) e têm conotação qualitativa, já que há dificuldade na obtenção do valor exato de Eh devido à presença de diversos pares de oxi-redução em águas naturais, quando do contato com o oxigênio atmosférico durante as medições, à lentidão das reações junto ao eletrodo, entre outras causas).

Ainda em campo, as amostras de água foram filtradas em um conjunto Millipore, utilizando filtros de 0,45µm. As amostras encaminhadas para análise de cátions e metais (Fe e Mn) foram acidificadas com ácido nítrico concentrado (14,4 molar), com 2 mL para cada 100 mL de amostra. Todos os frascos foram fechados e conservados sob refrigeração até serem descarregados no laboratório de Hidrogeologia e Hidroquímica da UNESP em Rio Claro (SP), onde as amostras foram analisadas.

Na segunda campanha de amostragem, além das amostras coletadas para análises físico-químicas, também foram coletadas 43 amostras para análises de índice de fenóis e BTEX, 31 amostras para análises de metais pesados, 50 amostras para análises bacteriológicas, 33 amostras para análises de isótopos estáveis de oxigênio ($\delta^{18}\text{O}$) e hidrogênio (δD); 32 amostras para análises de carbono-14 (^{14}C); e 33 amostras para determinação de trítio (^3H). Todas as amostragens seguiram os padrões determinados para coleta (Figura 3).



Figura 1 – Exemplos de pontos de amostragens de água na área de estudo.



LEGENDA

- | | | |
|------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| □ Capital Estadual | Amostragens | □ Barreiras, 2 |
| ⊙ Sede Municipal | Aquífero, Campanhas | ● Pirabas Superior, 1 e 2 |
| — Rodovia | ● Pós-Barreiras, 1 e 2 | ■ Pirabas Superior, 2 |
| ~ Hidrografia | ▲ Pós-Barreiras, 1 | ● Pirabas Inferior, 1 e 2 |
| ☁ Massa d'água | ● Barreiras, 1 e 2 | ■ Pirabas Inferior, 2 |
| ⊕ Área de Estudo | ▲ Barreiras, 1 | ★ Aquífero não informado (NI), 2 |
| - - - Limite municipal | | |

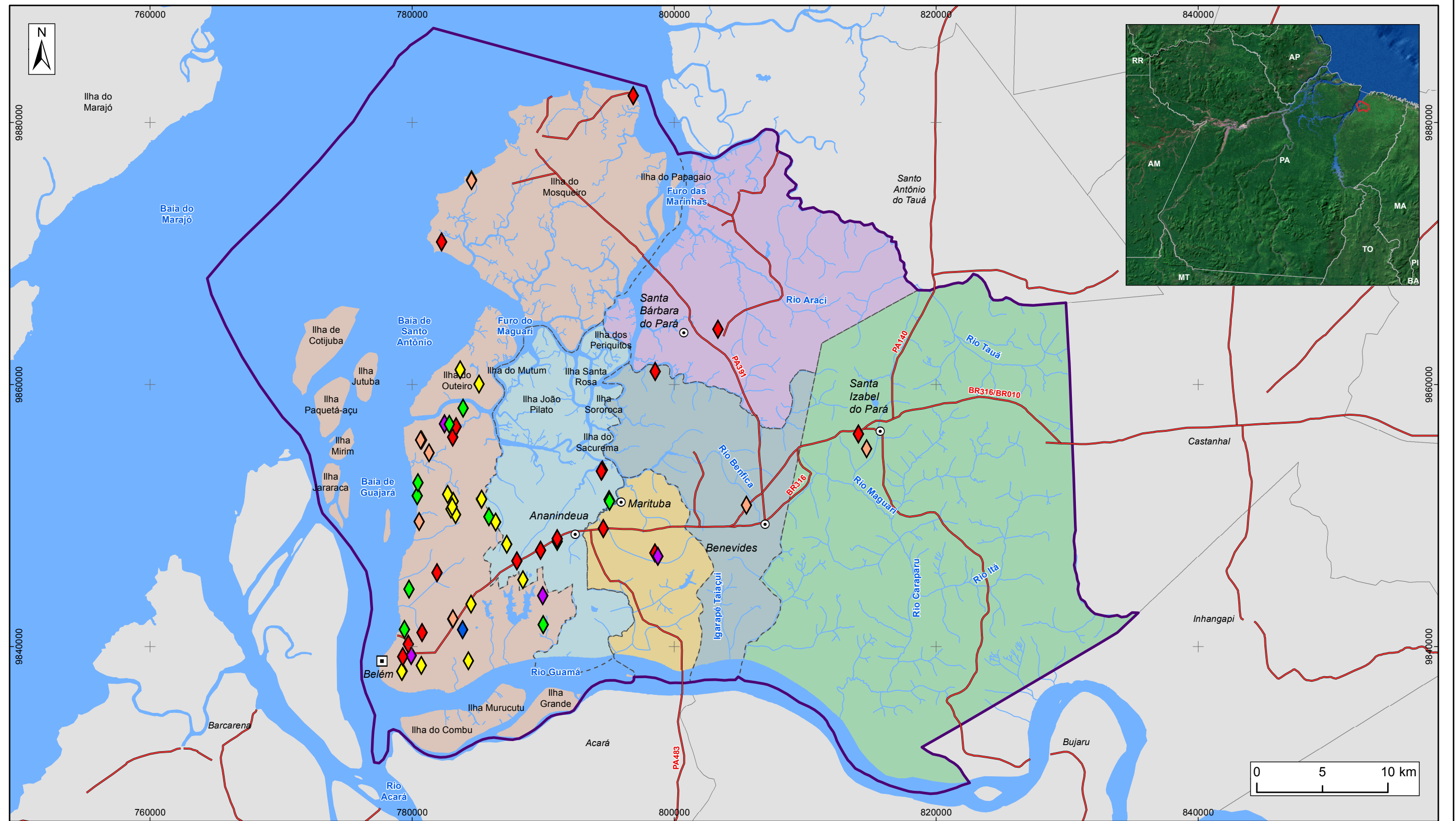
Figura 2 – Localização dos pontos amostrados na área de estudo (aquíferos Pós-Barreiras, Barreiras, Pirabas Superior e Pirabas Inferior) nas campanhas 1 e 2



ESTUDOS HIDROGEOLOGÍCOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA. Pontos de monitoramento: ANA/Profil

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_2_Pontos_Amostrados_A3
Escala:	1:290.000



LEGENDA

- | | | |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> □ Capital Estadual ⊙ Sede Municipal — Rodovia ~ Hidrografia ☪ Massa d'água ⊕ Área de Estudo - - - Limite municipal | <p>Amostragens Específicas</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ 1 - 2 ◆ 1 - 2 - 3 ◆ 4 - 5 - 6 ◆ 1 - 2 - 4 - 5 - 6 ◆ 1 - 2 - 3 - 4 - 6 ◆ 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 | <ul style="list-style-type: none"> 1 = Btex 2 = Ind. Fenóis 3 = Metais Pesados 4 = Oxigênio 18/Deutério 5 = Carbono 14 6 = Tritio |
|--|--|---|

Figura 3 – Localização dos pontos amostrados para análises específicas (Metais Pesados, Índice de Fenóis, BTEX, Isótopos Estáveis (18O e 2H), Carbono 14 (14C) e Tritio (3H) na Campanha 2



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA. Pontos de monitoramento: ANA/Profil

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_3_Amostragens_especificas_A3
Escala:	1:290.000

2.2 MÉTODOS DE ANÁLISE E DE TRATAMENTO DE DADOS HIDROQUÍMICOS

As análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Hidrogeologia e Hidroquímica, do Departamento de Geologia Aplicada do IGCE/UNESP, Câmpus de Rio Claro (SP). Tais análises foram desenvolvidas com base em *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (22ª edição, 2012).

Para determinação dos cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} e dos metais Fe e Mn foi utilizado o método de Espectrometria de Emissão Óptica com Fonte de Plasma de Argônio Indutivo (ICP-OES). A alcalinidade (HCO_3^- e CO_3^{2-}) foi obtida por titulação, e os íons Cl^- , K^+ , Na^+ , NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} e SO_4^{2-} foram determinados por cromatografia de íons. Em laboratório, também foram determinadas a cor, a turbidez e a dureza das amostras de água.

Os dados hidroquímicos foram analisados com o propósito de identificar os diferentes tipos hidroquímicos, simular os possíveis processos geoquímicos relacionados à variação composicional da água e à sua interação com o arcabouço do aquífero, com vistas à caracterização da qualidade das águas dos sistemas aquíferos Pós-Barreiras, Barreiras e Pirabas (Superior e Inferior).

Na classificação dos tipos hidroquímicos foram utilizados os diagramas de *Stiff* e de *Piper* (Figura 4 e Figura 5). Para a visualização da distribuição espacial dos principais cátions, ânions, metais (Fe e Mn), pH, sólidos totais dissolvidos e condutividade elétrica foram gerados mapas de isovalores, com o auxílio do *software ArcGis*. A especiação e a modelagem hidroquímica foram obtidas com o uso do *software PHREEQC* (PARKHURST e APELLO, 1999).

O diagrama de *Stiff* contém linhas dispostas à esquerda e à direita de uma linha vertical que representa o valor zero. Utilizou-se para este estudo os cátions (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Fe^{2+}) plotados à esquerda, enquanto os ânions (Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} e NO_3^-) plotados à direita dessa linha. As concentrações iônicas são expressas em miliequivalentes por litro (meq/L) e os pontos gerados são interligados por linhas, como mostrado na Figura 4, originando um polígono. As variedades de formas e de tamanhos gerados expressam as características das águas e permitem sua classificação e correlação.

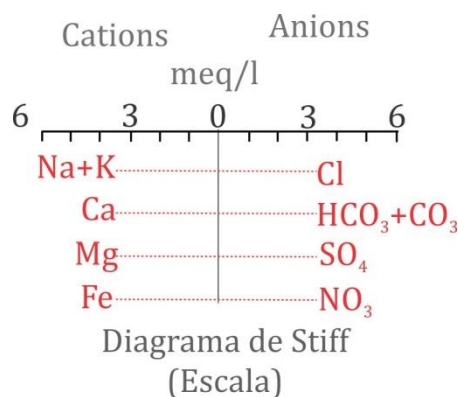


Figura 4 – Diagrama de *Stiff*.

O diagrama de *Piper* (PIPER, 1944), por sua vez, também foi utilizado nesta análise. Esse diagrama é frequentemente utilizado quando se trabalha com grande número de análises químicas de água, servindo para classificar e comparar os distintos grupos de água quanto aos íons dominantes. Esse diagrama combina três diferentes campos para a plotagem, sendo dois campos triangulares e um romboédrico. Os triangulares estão situados na parte inferior, onde são plotados os cátions, à esquerda, e os ânions, à direita. Os resultados das análises são plotados em porcentagem; os pontos são marcados nos triângulos, indicando as concentrações relativas dos diversos constituintes dissolvidos na água. O campo romboidal central, localizado entre os dois triângulos, é utilizado para representar o caráter químico total da água. Essa determinação é feita projetando-se o ponto do cátion à linha identificada com Mg^{2+} , e o ponto do ânion paralelo à linha do SO_4^{2-} ; a intersecção das duas linhas origina um ponto no campo romboidal (Figura 5). A posição desse ponto indica a composição química relativa da água.

A aplicação de métodos estatísticos aos resultados das análises químicas teve como finalidade a identificação de grupos com características hidroquímicas específicas. A estatística multivariada permite determinar a existência de amostras que possam ser agrupadas estatisticamente, com base na similaridade hidroquímica. Essa técnica é utilizada para verificação de possível similaridade entre indivíduos (modo Q) ou entre variáveis (modo R), distinguindo-os em grupos. Quanto à similaridade, as amostras são avaliadas entre indivíduos (modo Q) e são consideradas, simultaneamente, todas as variáveis medidas em cada indivíduo (LANDIM, 2006). Dessa forma, é feita uma avaliação da correlação entre os diferentes parâmetros analisados para verificar indícios de misturas de águas, dissolução de minerais, troca catiônica, efeito de íon comum, entre outros. Diversos estudos já utilizaram este método para classificação de amostras de água, tais como Guler e Thyne (2004), Meng e Maynard (2001), Vidal e Chang (2002).

Para avaliação de possível correlação/similaridade entre as águas subterrâneas da região (aquíferos pós Barreiras, Barreiras, Pirabas Superior e Inferior), ou similaridades entre amostras de uma mesma área, foi aplicada a análise multivariada pelo método de agrupamento (*cluster analysis*).

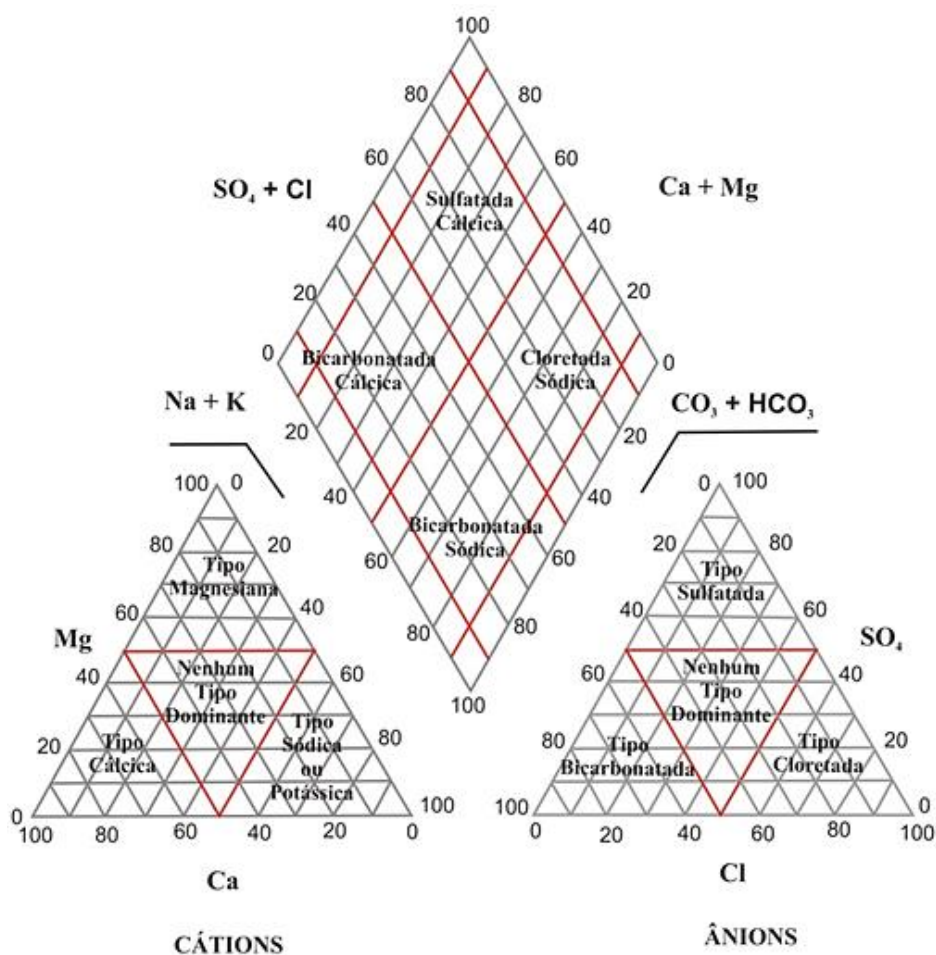


Figura 5 – Diagrama de Piper.

2.3 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES

2.3.1 Representatividade dos Resultados Obtidos

As análises químicas contemplaram a quantificação dos íons maiores presentes em solução na água subterrânea. Os resultados analíticos estão apresentados nos ANEXOS II e III (Campanhas 1 e 2, respectivamente). Considerando que as soluções são eletricamente neutras, uma forma de avaliar a representatividade dos resultados obtidos é a verificação do balanço de cargas negativas e positivas. Para o balanço de carga foram utilizados os resultados analíticos convertidos em meq/L (ANEXOS IV e V – Campanhas 1 e 2), conforme Custódio e Llamas (1996).

A maioria das amostras, coletadas na primeira ou segunda campanha, apresentou balanço de carga com até 20% de erro, sendo que 90% (1ª campanha) e 96% (2ª campanha) das amostras ficaram com erros abaixo de 10% (Figura 6 e Figura 7). Os erros maiores que 20% podem ser resultado da baixa concentração iônica, que aumenta o erro analítico devido a restrições dos limites de detecção dos equipamentos, sendo esta a hipótese mais provável; pode ainda indicar precipitação de substâncias antes da análise, ou a não inclusão de algumas substâncias presentes dentre os parâmetros quantificados. O balanço de carga para cada amostra é apresentado nos ANEXOS IV e V (Campanhas 1 e 2, respectivamente).

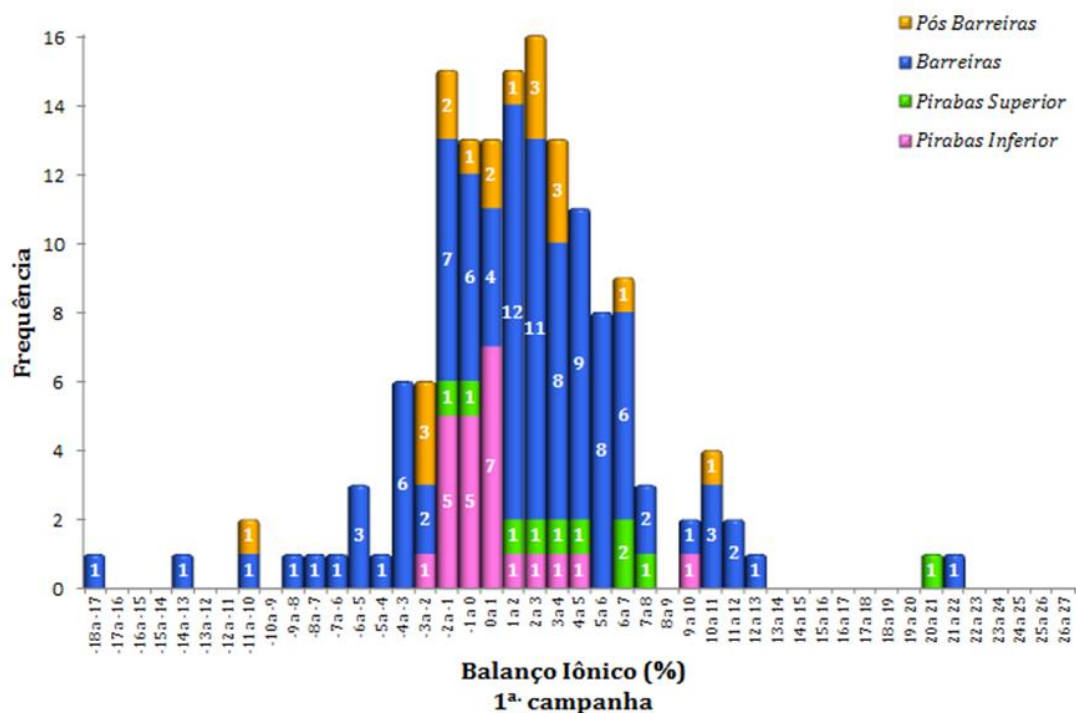


Figura 6 – Histograma do balanço iônico obtido para amostras da primeira e da segunda campanha de amostragens de águas subterrâneas na área de estudo, na Campanha 1.

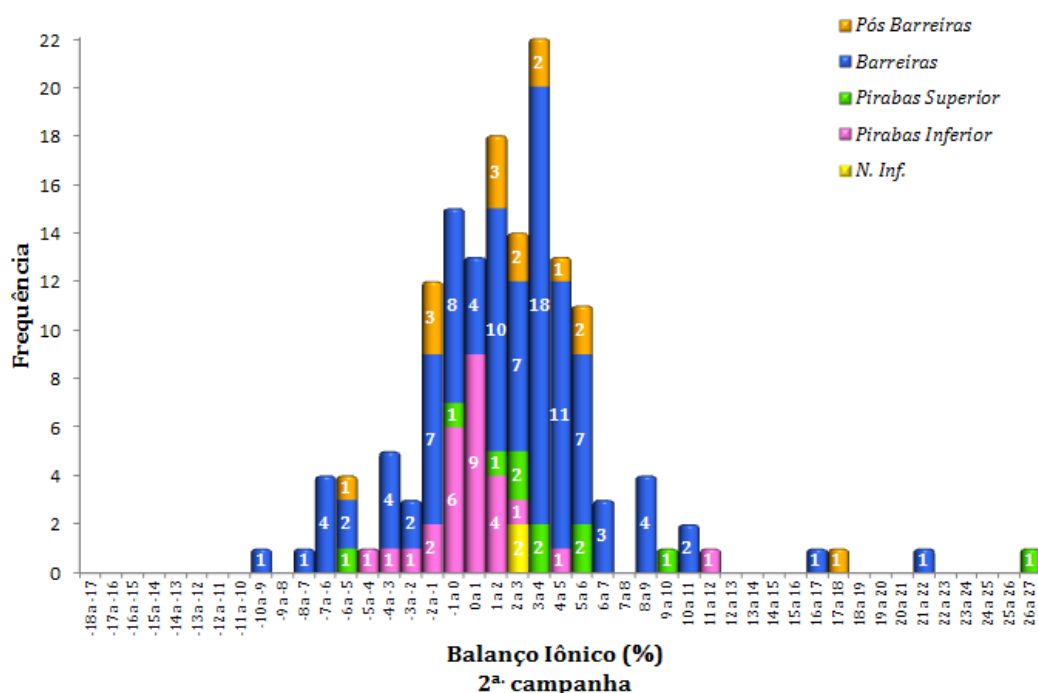


Figura 7 – Histograma do balanço iônico obtido para amostras da primeira e da segunda campanha de amostragens de águas subterrâneas na área de estudo, na Campanha 2.

De acordo com Custódio e Llamas (1996), o erro permitido para amostras com condutividade de 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ é de 10%, chegando a 30% para condutividades elétricas da ordem de 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A Figura 8 e a Figura 9 apresenta gráficos relativos aos balanços iônicos e à distribuição dos valores de condutividade elétrica para as amostras das duas campanhas realizadas. Observa-se que as amostras apresentam, predominantemente, CE menor que 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e erros de até 5%. Quatro amostras apresentam erros maiores que 20%, justificados em razão das condutividades elétricas menores que 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Os resultados da condutividade elétrica estão reunidos nos ANEXOS II e III.

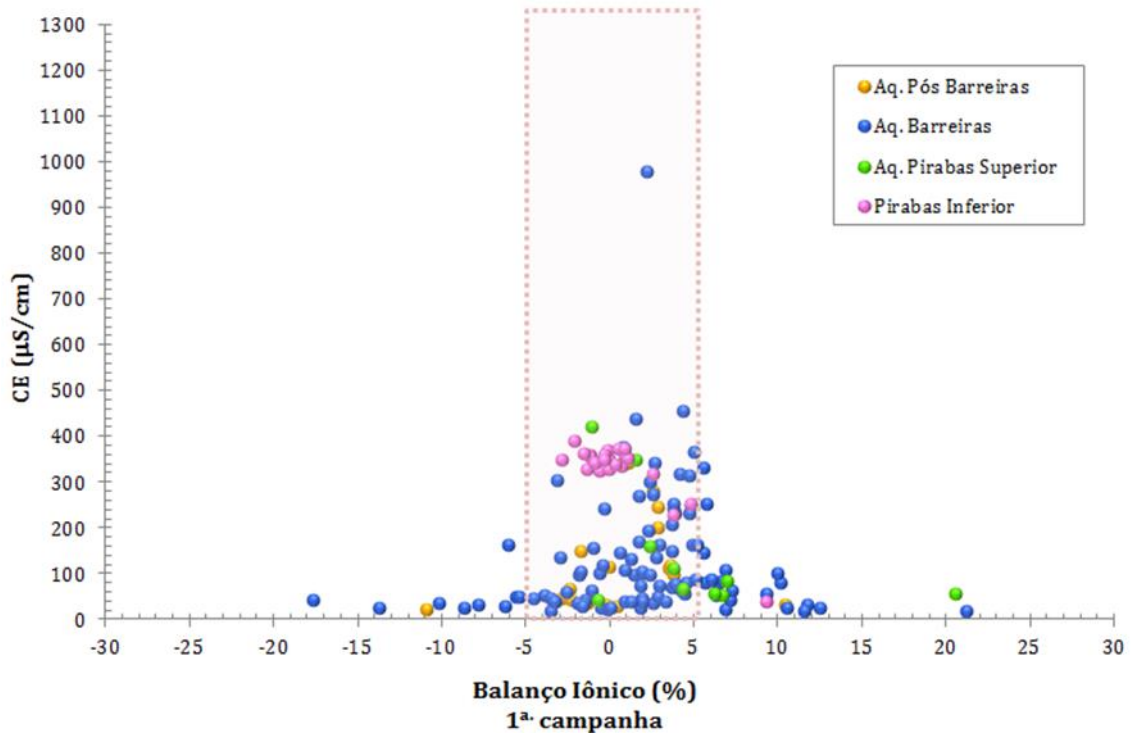


Figura 8 – Balanço iônico versus condutividade elétrica para amostras da primeira campanha.

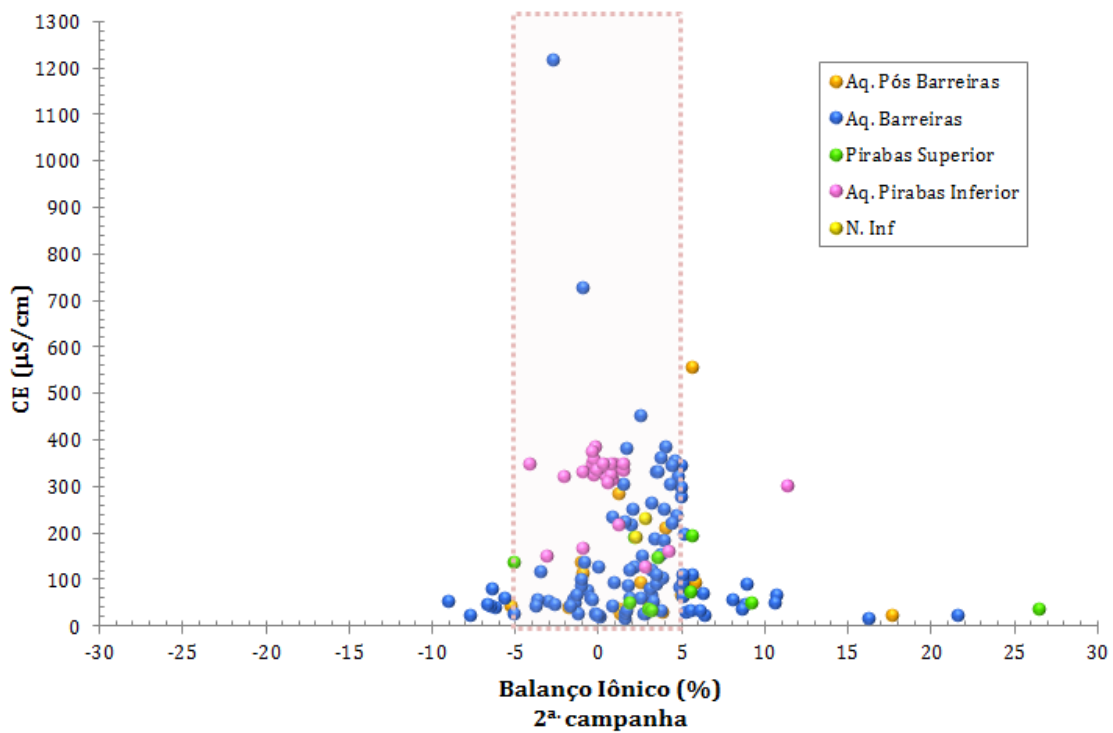


Figura 9 – Balanço iônico versus condutividade elétrica para amostras da segunda campanha.

2.3.2 Classificação das Águas Subterrâneas

Para classificação das águas subterrâneas foram utilizadas amostras de 150 poços da primeira campanha e de 152 poços da segunda campanha de amostragem, distribuídas conforme o mapa da Figura 2.

Dentre essas, as amostras P24, P43, P49 e P130 foram coletadas somente na primeira campanha, e as amostras RED21, NAZ39, Rimas 1, Rimas 4, Rimas 5, Rimas 6 e Rimas 7 foram selecionadas somente na segunda campanha.

A classificação hidroquímica foi feita com auxílio dos diagramas de *Piper* e *Stiff*, admitindo-se valor zero para íons que ficaram com teor abaixo do limite de detecção do método de análise empregado.

Na primeira campanha, as amostras dos poços do Aquífero Pós-Barreiras são classificadas, em sua maioria, como cloretadas sódicas (78%), e o restante como sulfatadas cálcicas (22%). No Aquífero Barreiras, as cloretadas sódicas são a maioria (68,7%), seguidas pelas sulfatadas cálcicas (17,2%) e as bicarbonatadas cálcicas (14,1%). No Aquífero Pirabas superior, 70% das amostras são classificadas como bicarbonatadas cálcicas e 30% como cloretadas sódicas. As amostras do Aquífero Pirabas Inferior são predominantemente bicarbonatadas cálcicas (96%); apenas uma amostra é classificada como cloretada sódica (Figura 8 – ANEXO VI).

Na segunda campanha, as amostras dos poços do Aquífero Pós-Barreiras são classificadas, em sua maioria, como cloretadas sódicas (80%) e o restante como sulfatadas cálcicas (20%). No Aquífero Barreiras, as cloretadas sódicas são a maioria (72%), seguidas pelas sulfatadas cálcicas (19%) e as bicarbonatadas cálcicas (9%). No Aquífero Pirabas Superior, 56% das amostras são classificadas como bicarbonatadas cálcicas, 27% são como cloretadas sódicas, uma amostra é classificada como sulfatada cálcica (P41) e outra como bicarbonatada sódica (Rimas1). As amostras do Aquífero Pirabas Inferior são classificadas como bicarbonatadas cálcicas, com exceção das amostras Rimas4 e Rimas5, que são classificadas como cloretada sódica e sulfatada cálcica, respectivamente. Estes dois poços, possivelmente, exploram mais de uma unidade aquífera. As amostras NAZ39 e Rimas7 (aquífero não identificado) são classificadas como bicarbonatadas cálcicas (Figura 10 e Figura 11; ANEXO VI).

Os diagramas de *Stiff* (Figura 12 e Figura 13) evidenciam as diferenças de concentrações iônicas das amostras. No Aquífero Pós Barreiras, as amostras são, em sua maioria, menos salinas, enquanto que as amostras do Aquífero Pirabas Inferior apresentam maiores salinidades. Observa-se também que as amostras do Aquífero Barreiras na porção sudoeste são mais salinas que as situadas nas porções leste e central, enquanto as amostras do Aquífero Pirabas Inferior não apresentam diferenças expressivas em relação às concentrações iônicas e seguem o mesmo padrão de classificação (bicarbonatadas cálcicas).

A distribuição dos tipos hidroquímicos em mapa é visualizada pela variação dos diagramas de *Stiff* das amostras estudadas. Observa-se na Figura 14 e na Figura 15 que as águas classificadas como cloretadas sódicas possuem uma distribuição homogênea por toda a área de estudo e ocorrem em maior quantidade; as águas sulfatadas cálcicas aparecem por toda área, porém em menor quantidade, enquanto que as bicarbonatadas cálcicas estão em sua maioria na porção sudoeste, onde estão localizados principalmente os poços que exploram águas do Aquífero Pirabas Inferior. Apenas uma amostra foi classificada como bicarbonatada sódica (Rimas1)

As amostras classificadas como cloretadas sódicas e sulfatadas cálcicas possuem baixas concentrações iônicas, com condutividades elétricas médias de 129 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 139 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (1ª e 2ª campanhas) e de 95 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 122 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (1ª e 2ª campanhas), respectivamente, sendo sódio, cloreto e nitrato os íons maiores nas cloretadas sódicas, e sulfato, cálcio, nitrato e cloreto nas sulfatadas cálcicas.

Cabe ressaltar que as amostras P01, P19, P64, P88, P102, P106 e P119 (Aquífero Barreiras) e P150 e P70 (Pós-Barreiras) apresentam valores de nitrato acima do limite permitido pela Portaria Nº 2914/2011, do Ministério da Saúde. Esses valores de nitrato devem-se provavelmente à contaminação antrópica.

Observa-se que algumas amostras mudaram de classificação na segunda campanha de amostragem, passando de bicarbonatada cálcica para cloretada sódica (P85); bicarbonatada cálcica para sulfatada cálcica (P41, P109, P114 e P119), cloretada sódica para bicarbonatada cálcica (P03 e P69), cloretada sódica para sulfatada cálcica (P73 e P136) e sulfatada cálcica para cloretada sódica (P67, P82, P84 e P129).

Essas mudanças podem ser atribuídas às baixas condutividades elétricas dessas amostras (P67, P73, P82, P84, P85, P109, P114, P119, P129 e P136); a qualquer aumento na concentração de algum íon usado na classificação pelo diagrama de Piper, que faz com que ocorram mudanças de classificação; ou ainda, parte dessas amostras está próxima às linhas divisórias dos campos de classificação do diagrama, podendo ser mais bem classificadas como águas mistas.

A amostra P69 foi coletada em outro poço, sendo este em outro aquífero e a amostra P03 possivelmente explora água de mais de uma unidade aquífera (água mista).

No geral, a classificação hidroquímica das amostras pelo diagrama de Piper permaneceu a mesma nas duas campanhas de amostragem (Figura 10 e Figura 11).

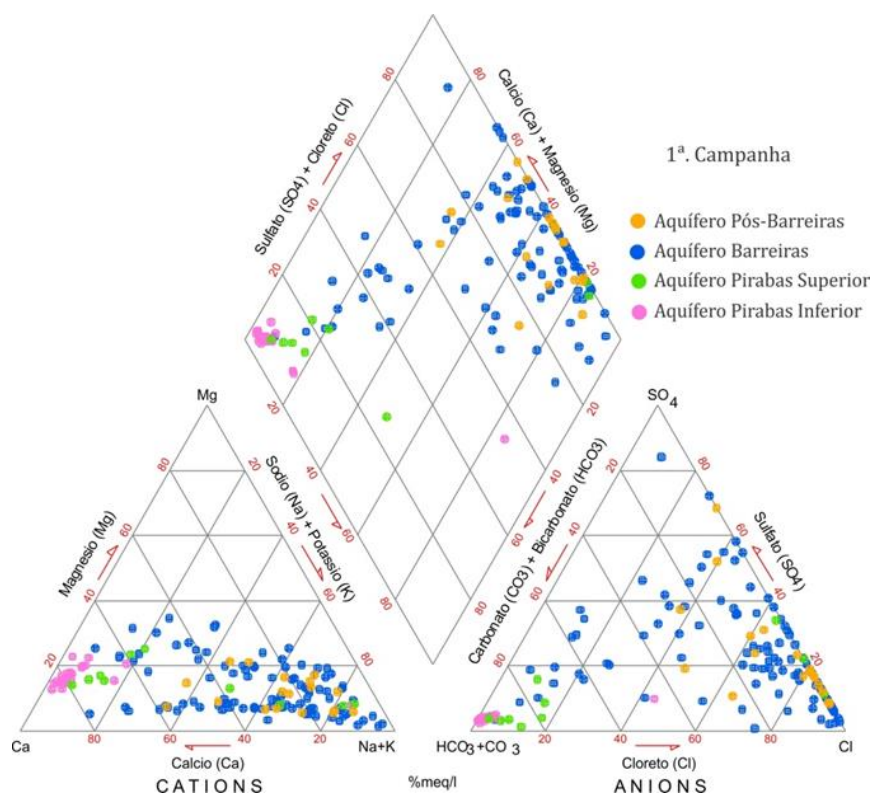


Figura 10 – Diagramas de *Piper* para amostras da primeira campanha.

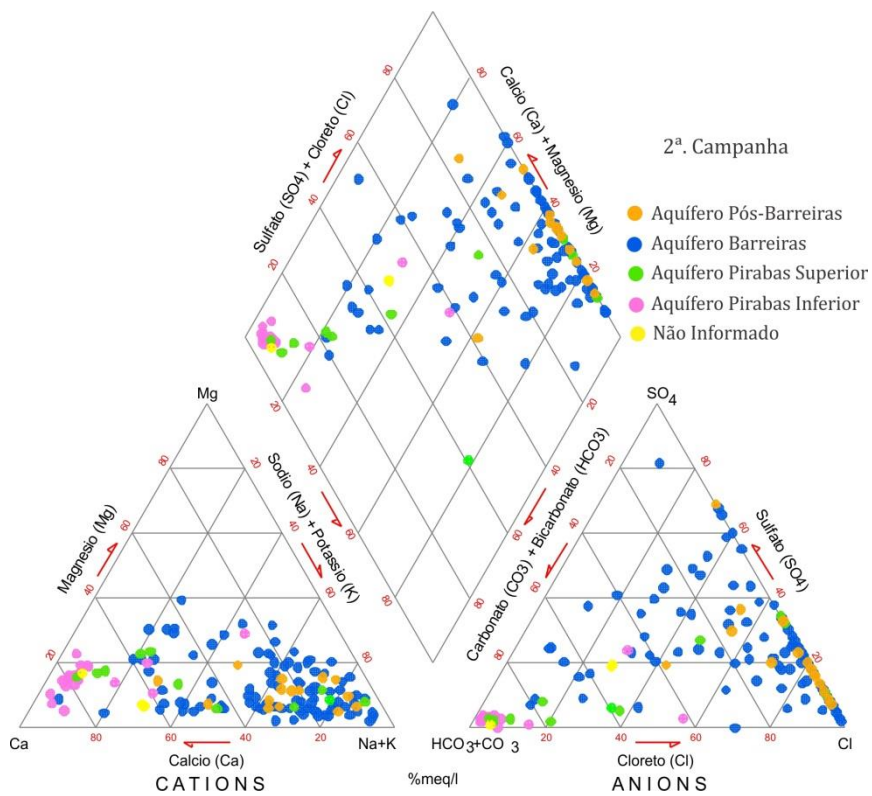
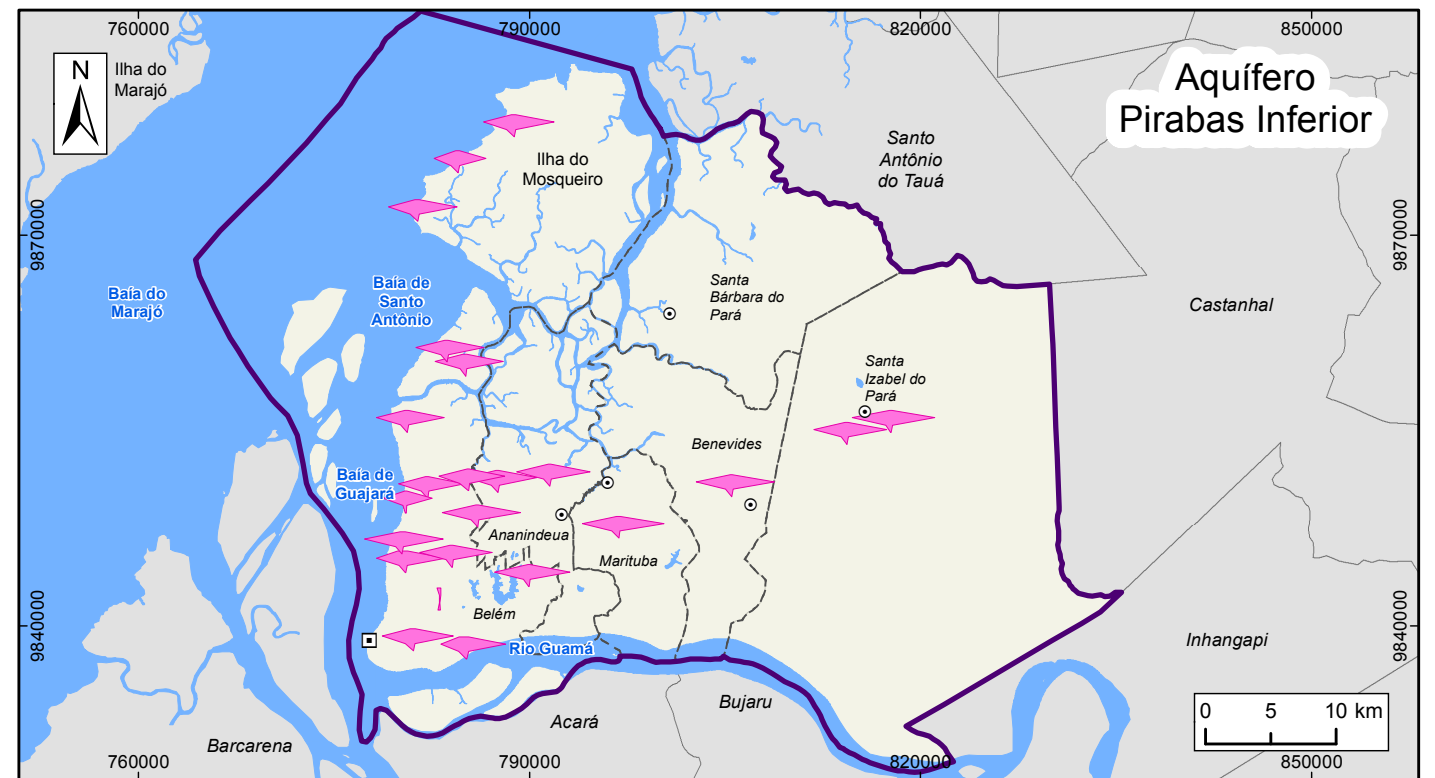
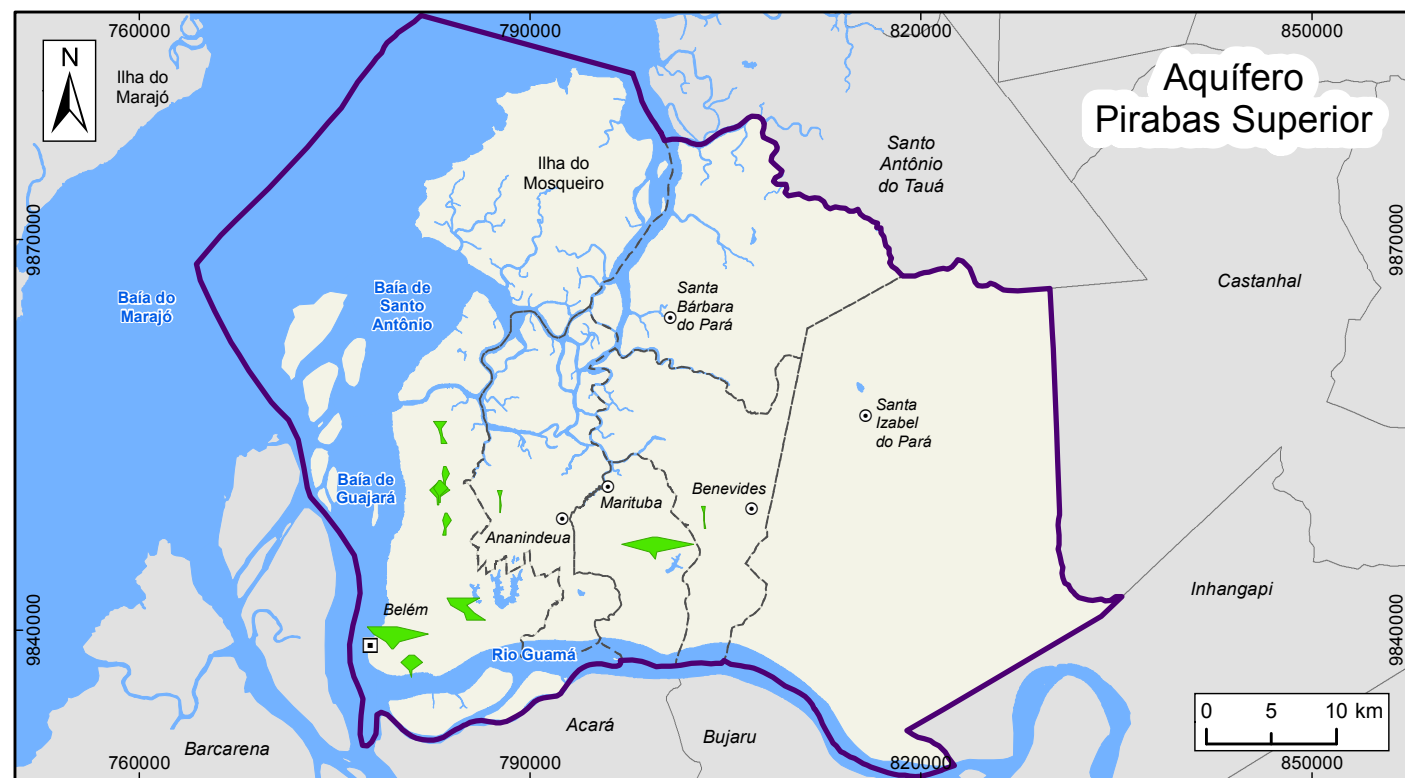
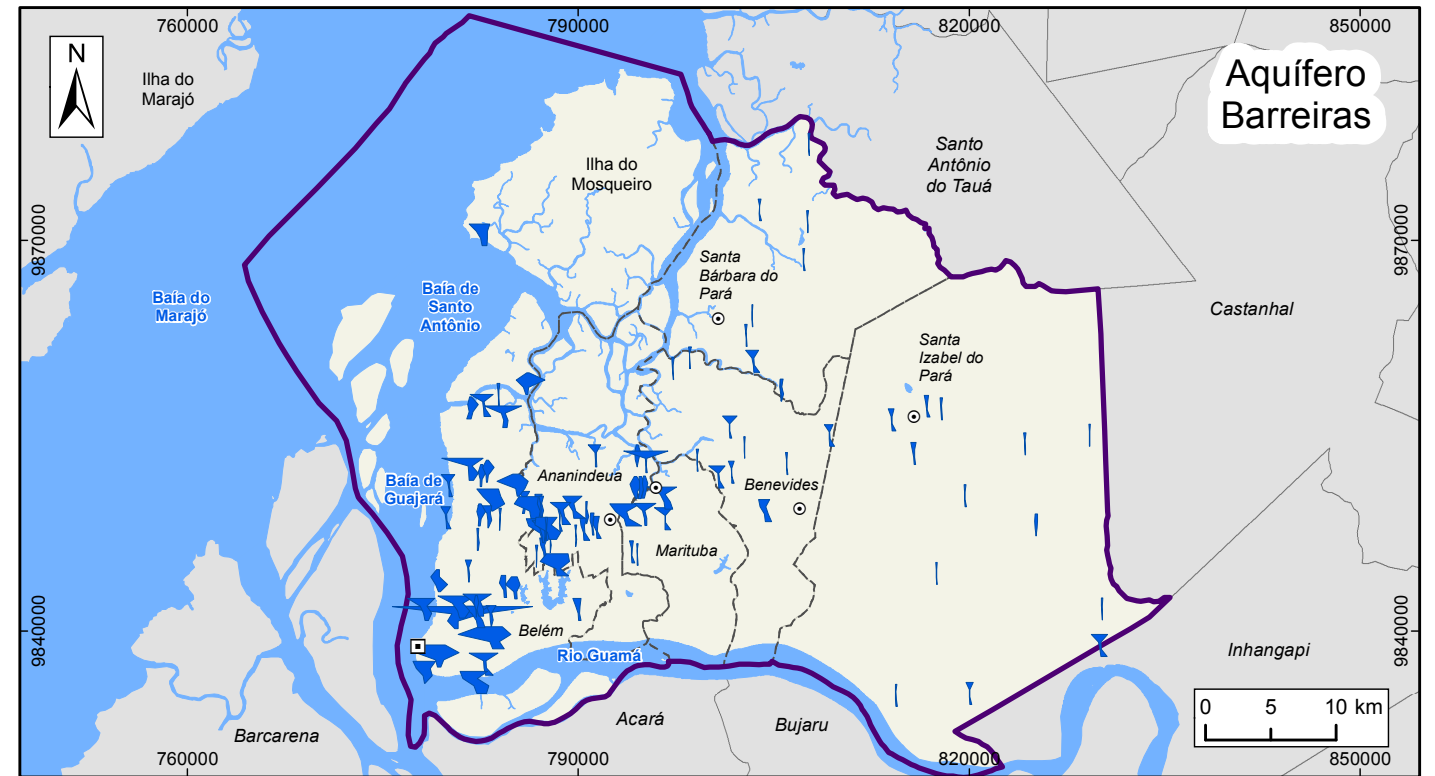


Figura 11 – Diagramas de Piper para amostras da segunda campanha.



LEGENDA

- Capital Estadual
- Sede Municipal
- ☒ Massa d'água
- ☒ Área de Estudo
- Limite municipal
- Pós-Barreiras
- Barreiras
- Pirabas Superior
- Pirabas Inferior

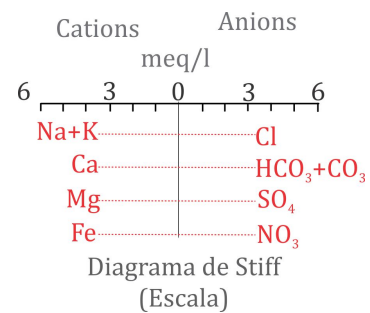


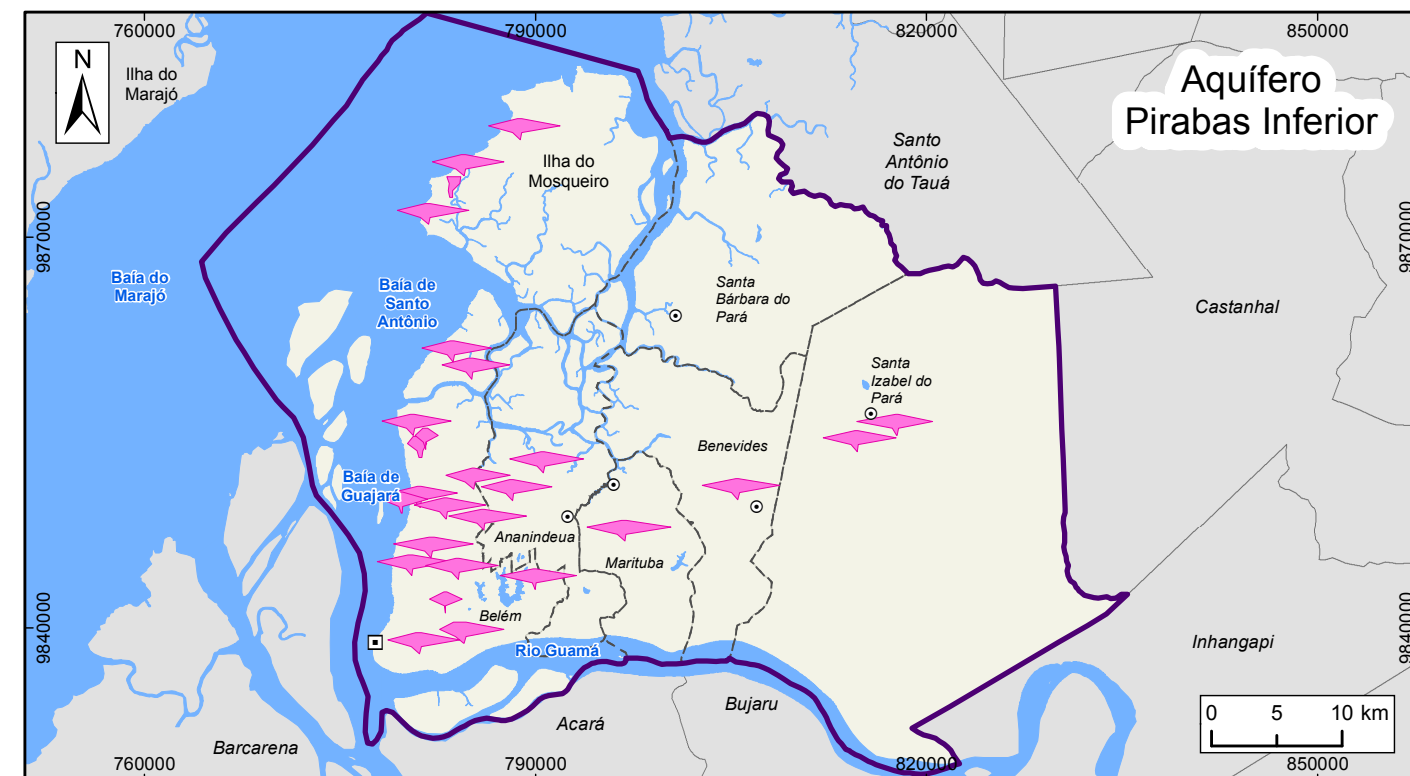
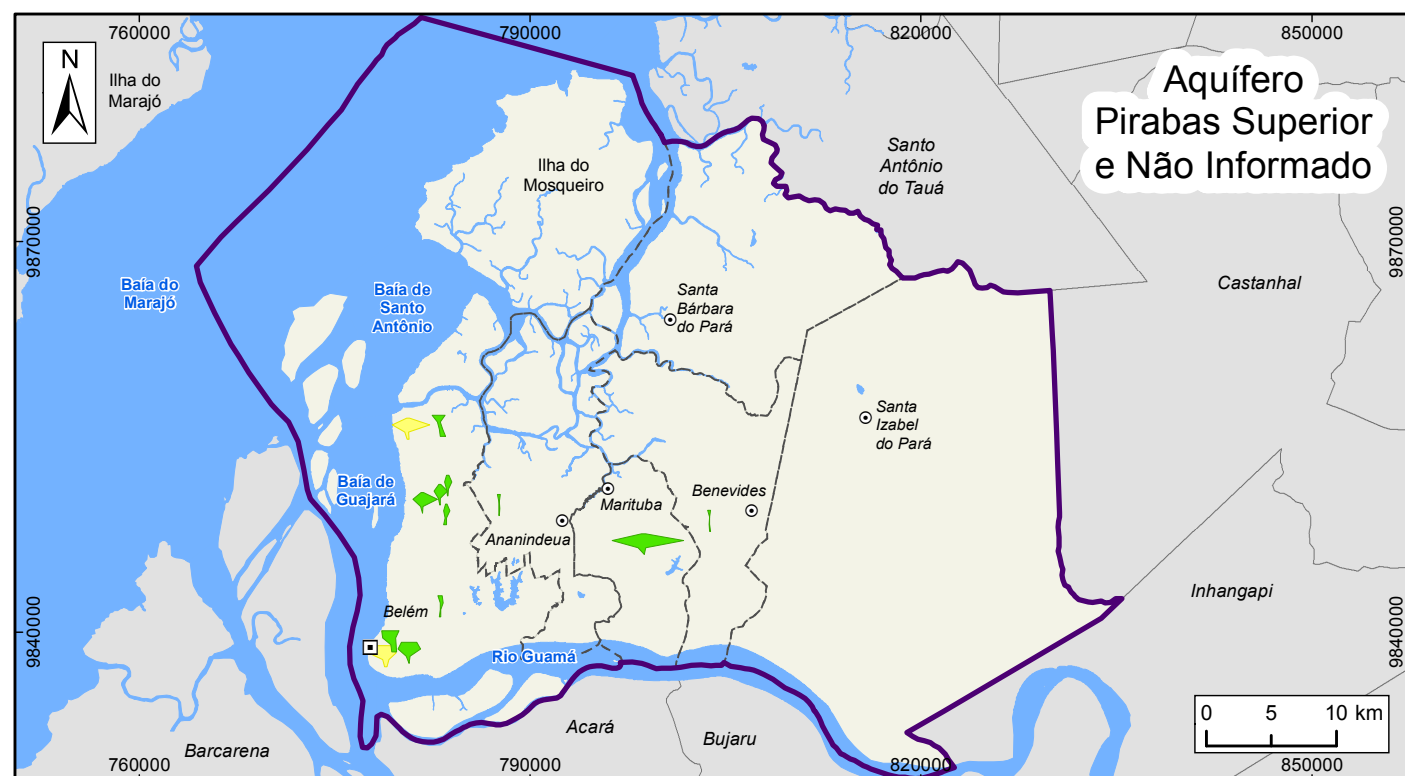
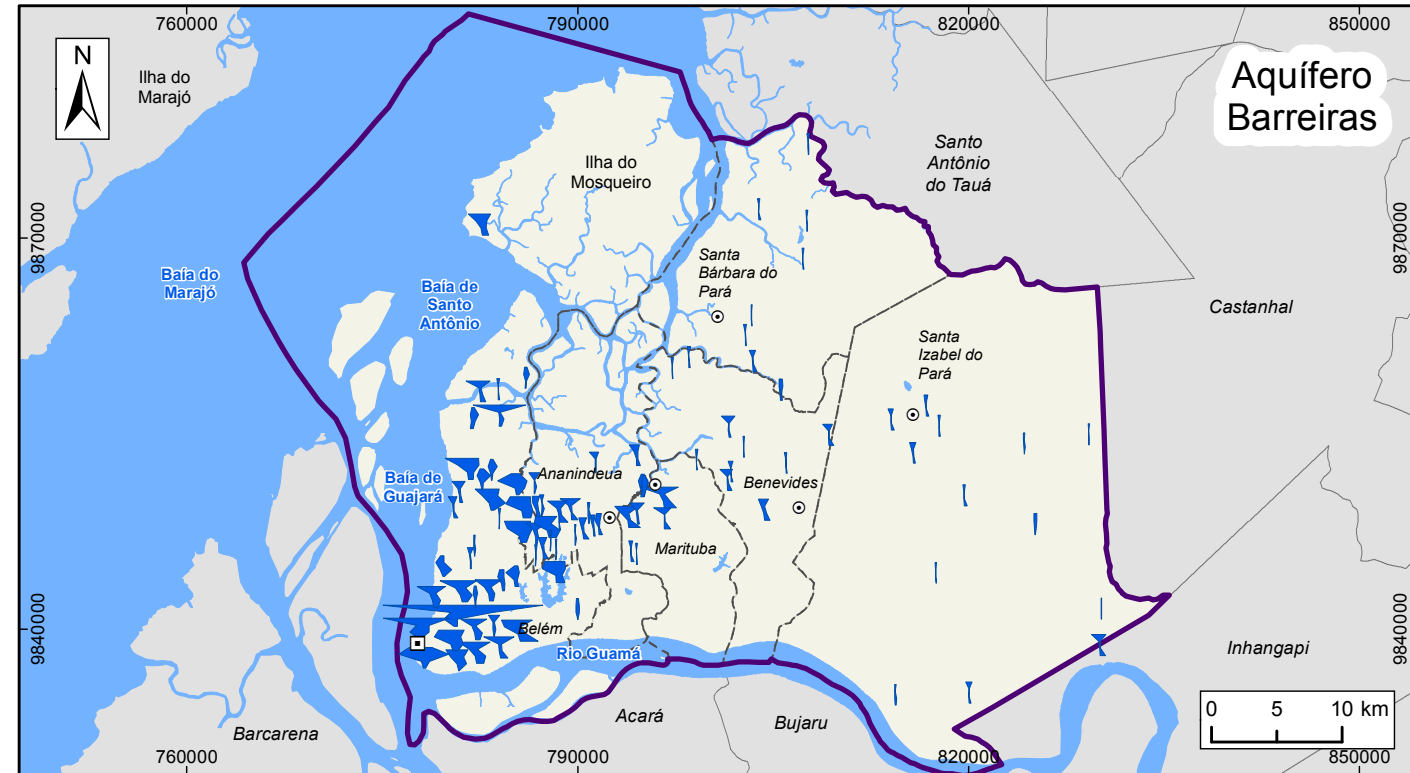
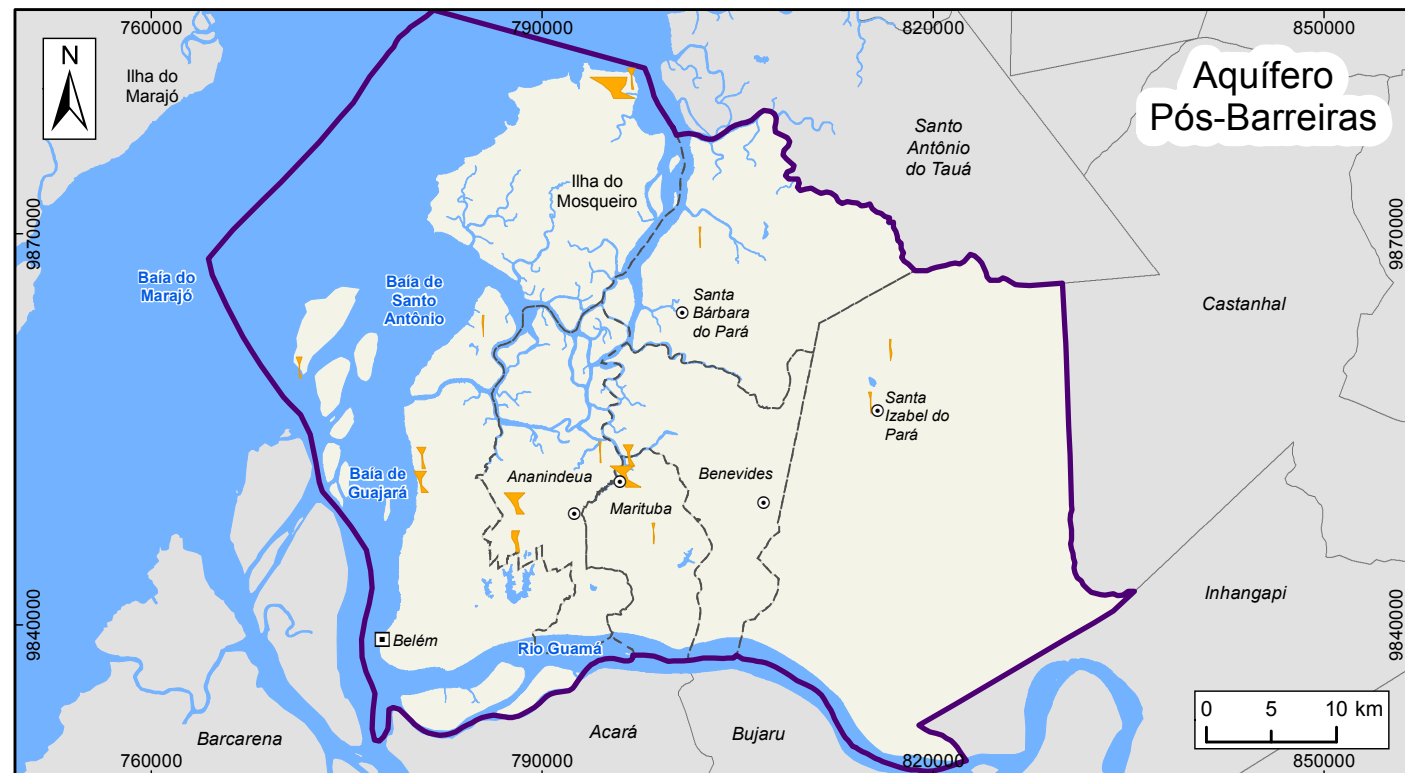
Figura 12 – Distribuição dos diagramas de Stiff para amostras da primeira campanha



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Rodovia: SEMAS/PA. Limites políticos: IBGE
 Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA
 Diagramas de Stiff: ANA/PROFILL

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_12_Diagramas_de_Stiff_campanha1_A3
Escala:	1:580.000



LEGENDA

- ☐ Capital Estadual
 - ⊙ Sede Municipal
 - ☒ Massa d'água
 - ▭ Área de Estudo
 - - - Limite municipal
- Aquífero**
- ☐ Pós-Barreiras
 - ☐ Barreiras
 - ☐ Pirabas Superior
 - ☐ Não Informado
 - ☐ Pirabas Inferior

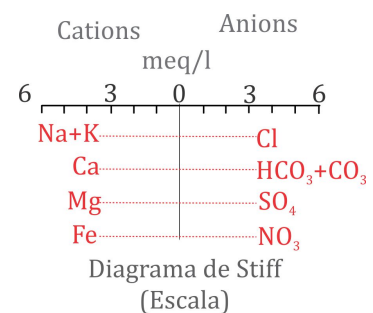


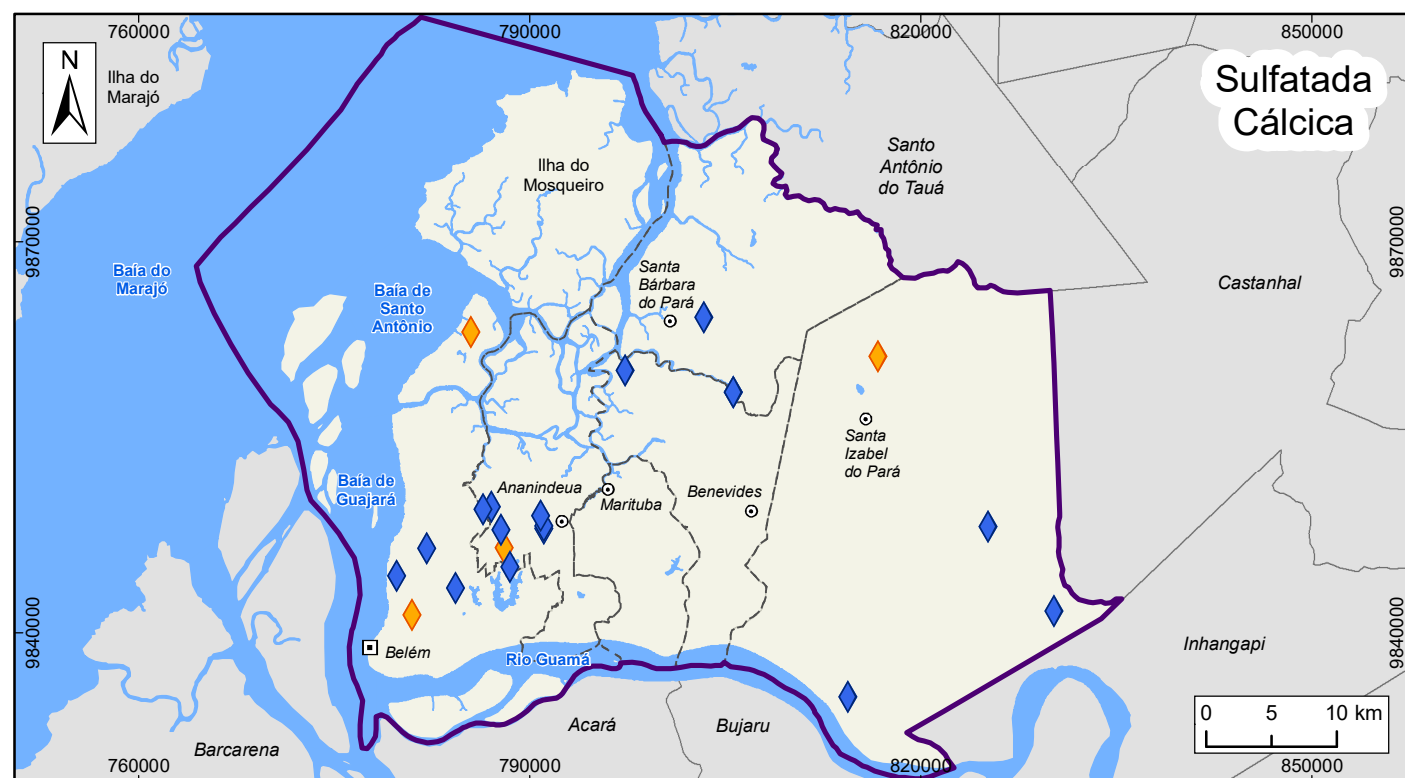
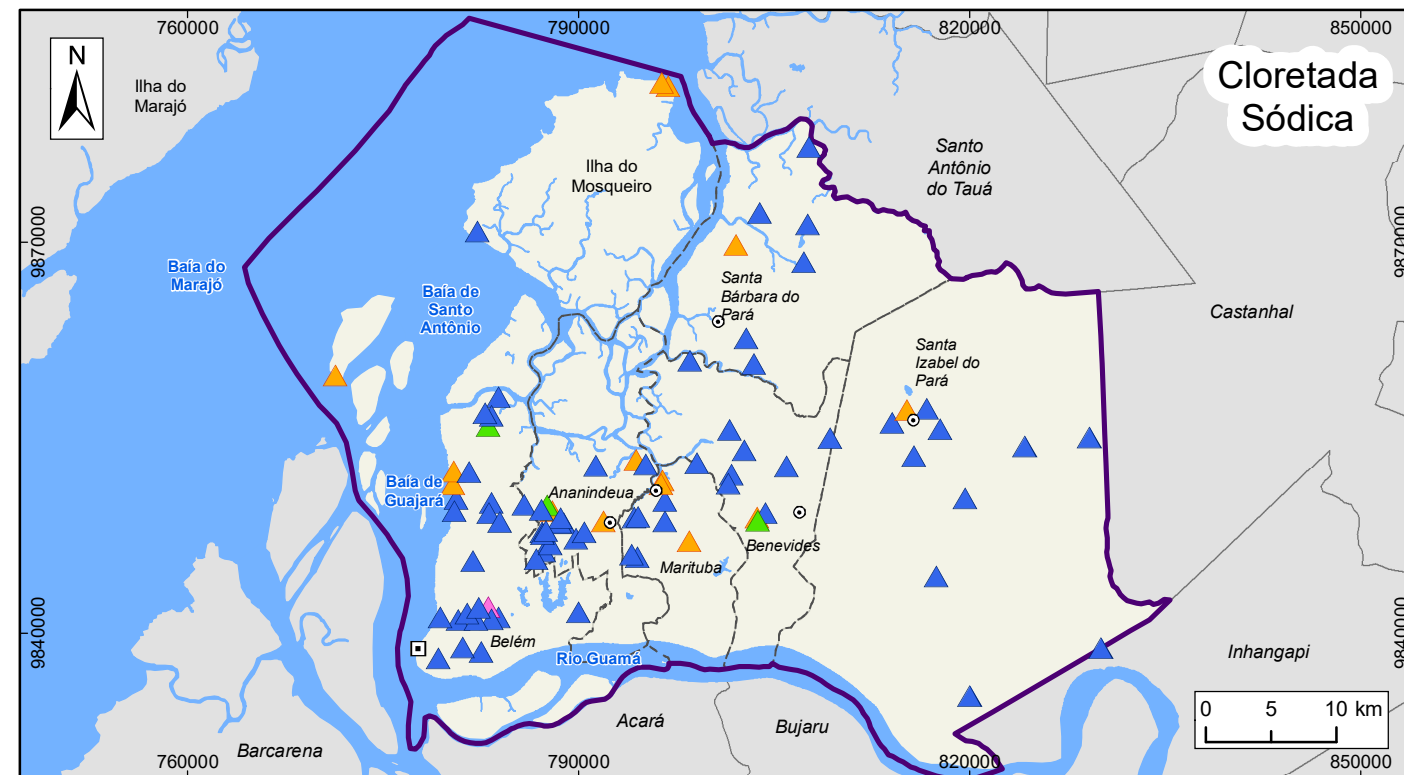
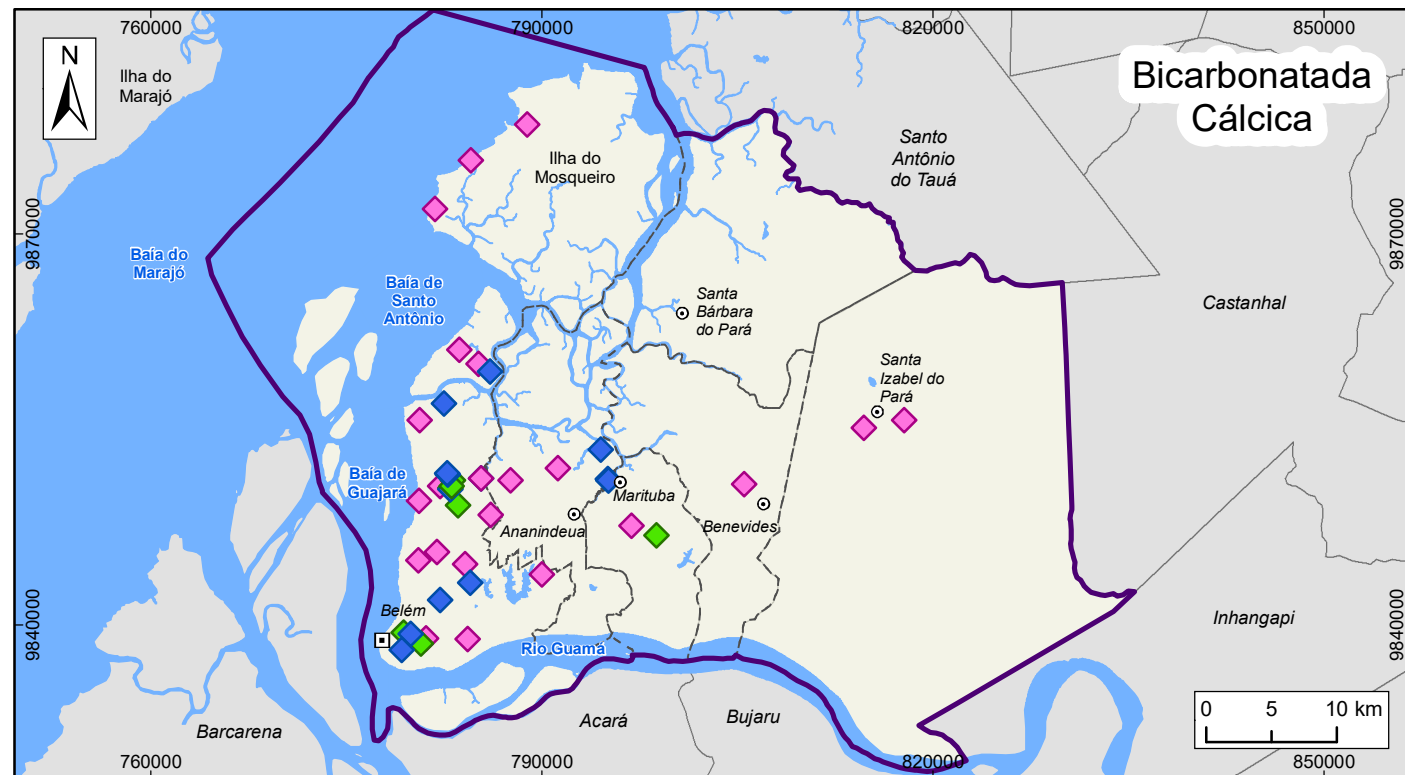
Figura 13 – Distribuição dos diagramas de Stiff para amostras da segunda campanha



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Rodovia: SEMAS/PA. Limites políticos: IBGE
Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA
Diagramas de Stiff: ANA/PROFILL

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_13_Diagramas_de_Stiff_campanha2_A3
Escala:	1:580.000



LEGENDA

- ☐ Capital Estadual
 - ⊙ Sede Municipal
 - 🌊 Massa d'água
 - 📐 Área de Estudo
 - - - Limite municipal
- Tipos Hidroquímicos (Piper)**
- ◇ Bicarbonatada Cálctica
 - △ Cloretada Sódica
 - ◊ Sulfatada Cálctica
- Aquífero**
- Pós-Barreiras
 - Barreiras
 - Pirabas Superior
 - Pirabas Inferior

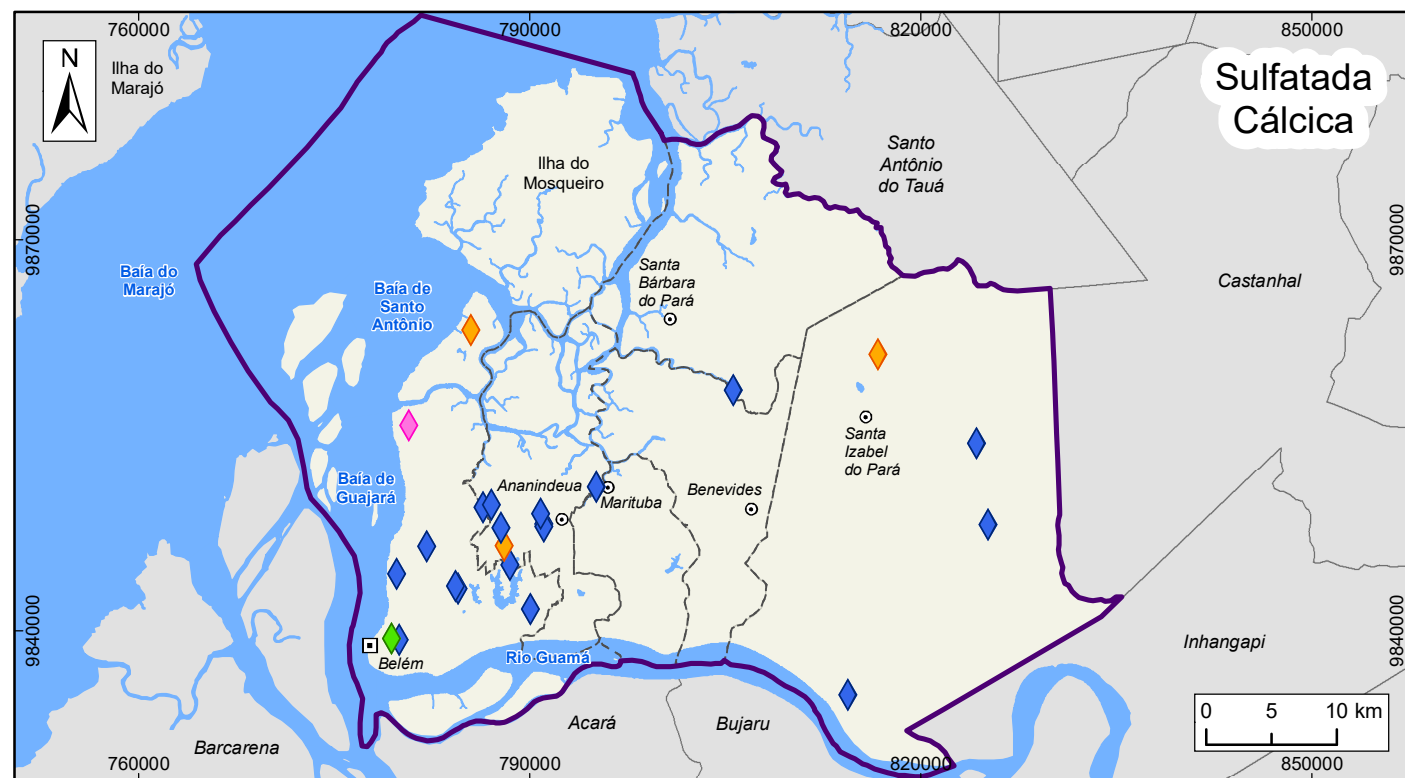
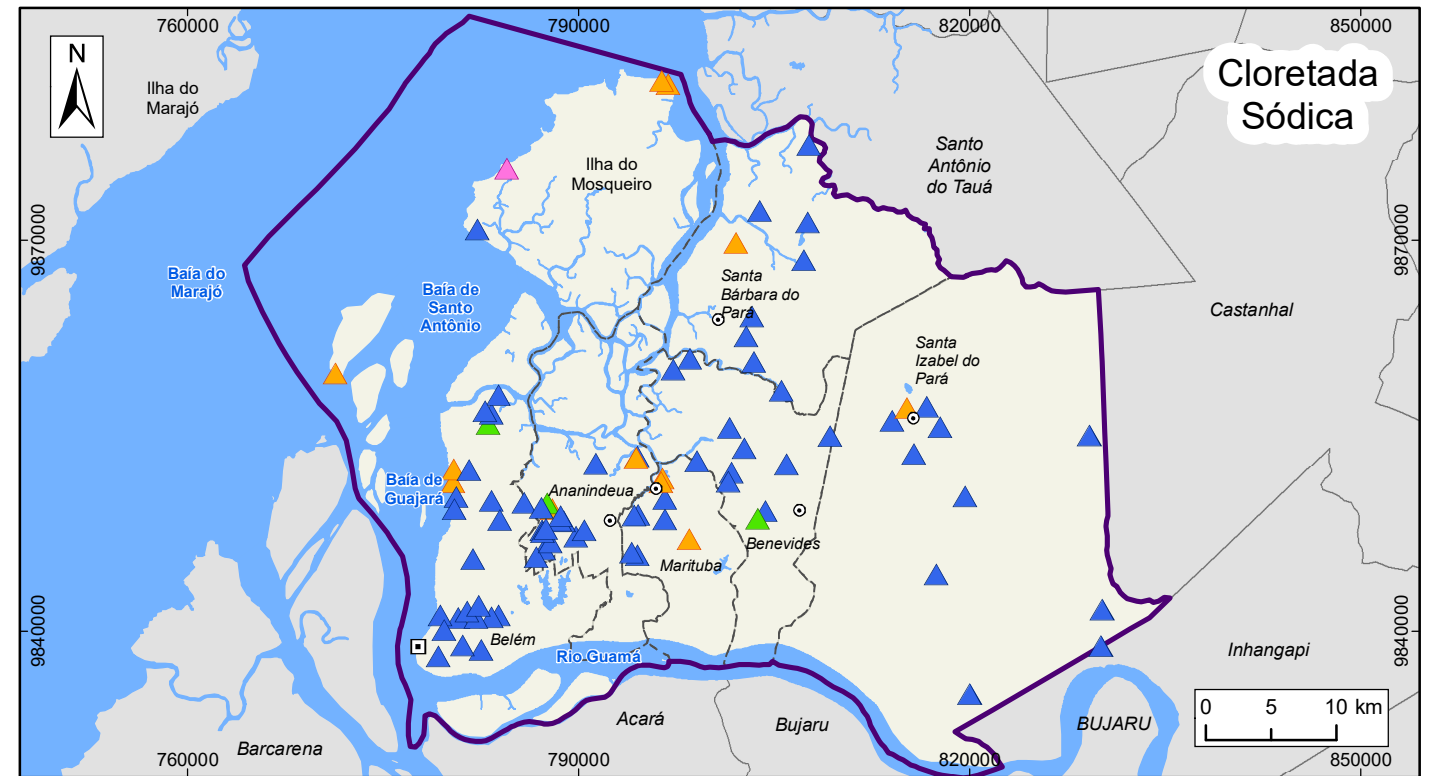
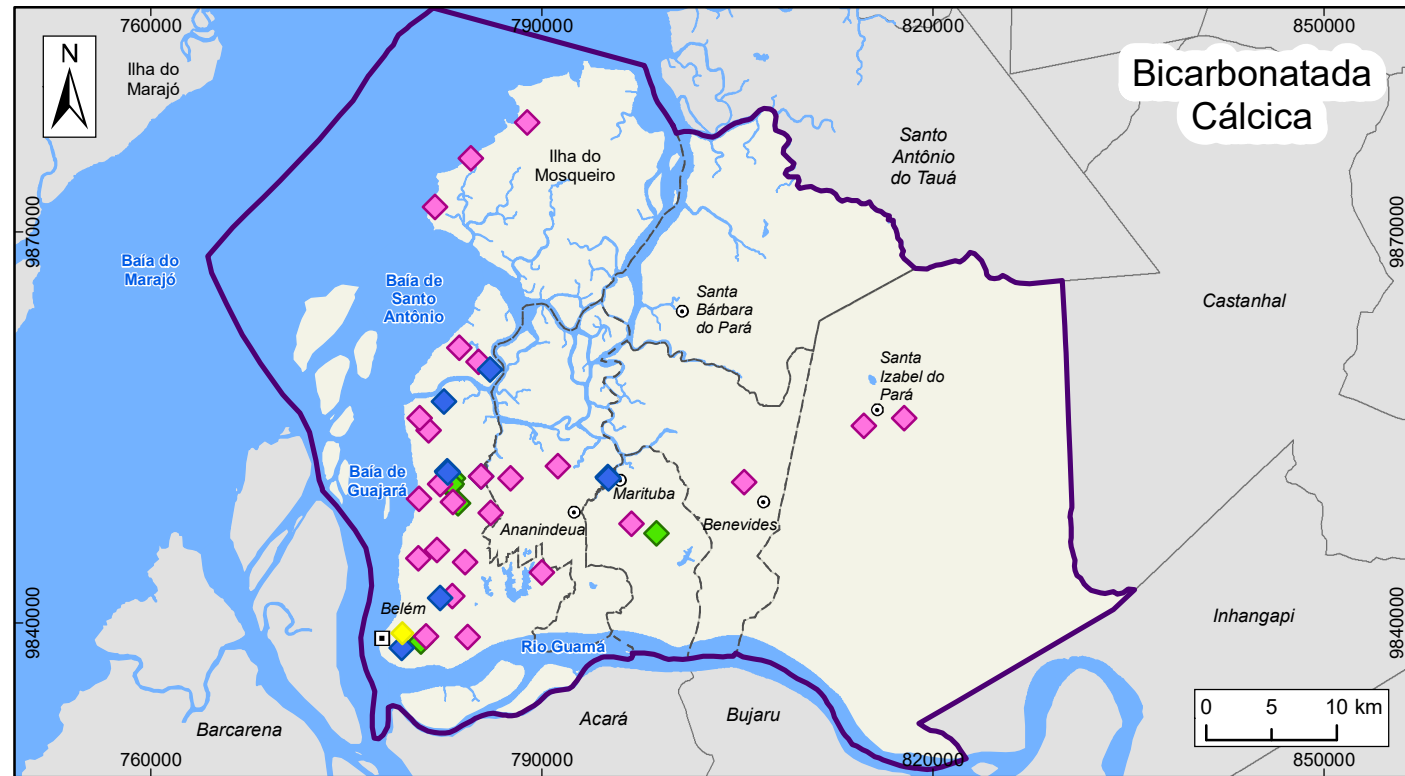
Figura 14 – Distribuição dos tipos hidroquímicos para amostras da primeira campanha



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Rodovia: SEMAS/PA. Limites políticos: IBGE
 Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA
 Tipos hidroquímicos por aquífero: ANA/PROFILL

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_14_Tipo_hidroquimico_campanha1_A3
Escala:	1:580.000



LEGENDA

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ▣ Capital Estadual ⊙ Sede Municipal ☁ Massa d'água ⊕ Área de Estudo - - - Limite municipal Tipos Hidroquímicos (Piper) ◇ Bicarbonatada Cálctica ▲ Cloretada Sódica ◇ Sulfatada Cálctica | <ul style="list-style-type: none"> Aquífero ● Pós-Barreiras ● Barreiras ● Pirabas Superior ● Pirabas Inferior ● Não Informado |
|--|--|

Figura 15 – Distribuição dos tipos hidroquímicos para amostras da segunda campanha



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Rodovia: SEMAS/PA. Limites políticos: IBGE
Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA
Tipos hidroquímicos por aquífero: ANA/PROFILL

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_15_Tipo_hidroquimico_campanha2_A3
Escala:	1:580.000

2.3.3 Análise Estatística

Os parâmetros físico-químicos medidos em campo durante a amostragem foram: temperatura, condutividade elétrica, pH e Eh. Em laboratório foram medidos novamente os valores de CE, pH e foram então efetuadas as análises químicas dos principais íons e medidos os valores de cor e turbidez das amostras. Os dados obtidos nas análises físico-químicas encontram-se nos ANEXOS II e III. O Quadro 1 e o Quadro 2 apresentam um resumo de dados estatísticos dos parâmetros analisados na área de estudo, 1ª e 2ª campanhas, respectivamente.

2.3.3.1 Descrição estatística básica de dados amostrais provenientes de resultados físico-químicos

As médias dos valores de pH das amostras de água medidos em laboratório na primeira campanha são: 4,8 (Aquífero Pós-Barreiras), 5,1 (Aquífero Barreiras), 6,2 (Pirabas Superior) e 7,6 (Pirabas Inferior). Na segunda campanha, as médias obtidas nas medições em laboratório são: 4,9 (Aquífero Pós-Barreiras), 5,2 (Aquífero Barreiras), 6,0 (Pirabas superior) e 7,6 (Pirabas Inferior). Esses resultados evidenciam que não há diferenças expressivas nas medidas realizadas em campo e laboratório para este parâmetro, como também nas medidas realizadas nas duas campanhas de amostragem.

As águas dos aquíferos Pós-Barreiras e Barreiras são predominantemente ácidas, com pH abaixo de 5,5 para a maioria das amostras (94% e 87%, 1ª e 2ª campanhas; e 77% e 66%, 1ª e 2ª campanhas), enquanto que as águas do Aquífero Pirabas Inferior são mais básicas, predominando valores acima de 7 (96% e 100% - 1ª e 2ª campanhas) (Figura 16 e Figura 17). A característica de maior acidez das águas dos aquíferos Pós-Barreiras e Barreiras deve-se à baixa concentração de bicarbonatos e carbonatos nessas amostras.

Os valores das médias de condutividade elétrica medidas em laboratório na primeira campanha de amostragem são: 113,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Aquífero Pós-Barreiras), 128,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Aquífero Barreiras), 140,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Aquífero Pirabas Superior) e 328,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Aquífero Pirabas Inferior). Na segunda campanha de amostragem, as médias variam entre 122,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Aquífero Pós-Barreiras), 135,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Aquífero Barreiras), 118,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Aquífero Pirabas Superior) e 315,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Aquífero Pirabas Inferior). No geral, também para este parâmetro não foram observadas diferenças expressivas entre as medidas realizadas em campo e laboratório.

Nos aquíferos Pós-Barreiras e Barreiras observa-se que respectivamente 56% e 67% (1ª e 2ª campanhas) e 59% (1ª e 2ª campanhas) das amostras de água têm condutividades elétricas de até 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, enquanto que as amostras do Aquífero Pirabas Inferior são mais salinas, com aproximadamente 78% e 85% (1ª e 2ª campanha) dos valores acima de 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 18 e Figura 19).

Quadro 1 – Valores máximos, mínimos, médias e tendência central dos resultados físico-químicos das águas subterrâneas da área de estudo, primeira campanha de amostragem.

Nº Am	Cor	Turbidez	pH	CE	STD	Dureza	Cl	SO ₄	HCO ₃	CO ₃	PO ₄	Na	K	Ca	Mg	Fe	Mn	NH ₄	NO ₂	NO ₃	
1º CAMPANHA	CU	NTU		µS/cm	mg/L																
AQUÍFERO PÓS BARREIRAS																					
MINIMO	0.0	0.1	4.3	21.2	14.1	1.6	2.2	0.4	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
MAXIMO	82.0	9.3	6.2	344.0	185.0	58.0	41.0	43.6	8.8	0.0	0.1	33.1	14.2	19.4	3.0	4.6	0.1	3.3	0.9	83.9	
MEDIANA	10.5	0.6	4.6	87.8	52.5	6.7	9.0	2.9	0.1	0.0	0.0	7.9	0.5	2.0	0.5	0.0	0.0	0.1	0.0	9.4	
MÉDIA	18.9	2.1	4.8	113.9	65.9	14.0	12.5	7.5	2.4	0.0	0.0	10.7	2.0	4.3	0.8	0.4	0.0	0.7	0.1	17.9	
AQUÍFERO BARREIRAS																					
MINIMO	0.0	0.1	4.1	19.2	14.3	1.5	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
MAXIMO	1038.0	121.0	6.7	979.0	574.1	166.0	234.0	56.4	126.0	0.0	0.5	131.0	9.5	61.4	11.0	10.6	0.8	27.2	0.0	101.0	
MEDIANA	11.0	0.6	4.9	81.9	60.1	10.3	7.2	3.5	1.8	0.0	0.0	6.2	1.1	2.8	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	8.5	
MÉDIA	40.5	4.3	5.1	128.2	86.9	21.6	16.1	9.5	11.9	0.0	0.0	12.7	2.1	6.9	1.1	0.8	0.0	1.2	0.0	15.4	
AQUÍFERO PIRABAS SUPERIOR																					
MINIMO	0.0	0.1	4.3	41.9	28.0	1.9	2.6	0.2	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
MAXIMO	199.0	60.9	7.6	423.0	359.7	174.0	16.6	32.0	208.0	0.0	0.6	48.3	3.7	59.6	6.5	8.5	0.2	1.3	0.0	31.7	
MEDIANA	42.0	4.8	6.4	75.6	86.1	28.3	4.5	2.0	35.8	0.0	0.1	4.6	1.8	8.8	1.6	0.1	0.1	0.0	0.0	0.4	
MÉDIA	66.4	10.0	6.2	140.3	126.3	48.5	6.8	5.5	62.1	0.0	0.1	8.8	1.7	15.6	2.3	1.6	0.1	0.2	0.0	4.8	
AQUÍFERO PIRABAS INFERIOR																					
MINIMO	3.0	0.2	5.4	40.3	38.4	1.9	1.7	1.2	7.6	0.0	0.0	2.0	0.0	0.4	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	
MAXIMO	222.0	37.8	8.0	392.0	354.7	197.0	10.3	7.3	244.0	0.0	1.5	15.1	4.2	69.0	9.5	3.5	0.5	0.7	0.0	3.5	
MEDIANA	50.0	4.4	7.7	349.0	317.8	170.0	3.2	5.4	213.0	0.0	0.0	4.2	1.1	55.2	7.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	
MÉDIA	69.9	8.3	7.6	328.1	301.3	162.3	3.7	5.2	200.3	0.0	0.2	4.8	1.2	53.6	6.9	0.6	0.2	0.0	0.0	0.3	

Quadro 2 – Valores máximos, mínimos, médias e tendência central dos resultados físico-químicos das águas subterrâneas da área de estudo, segunda campanha de amostragem.

Nº Am	Cor	Turbidez	pH	CE	STD	Dureza	Cl	SO ₄	HCO ₃	CO ₃	PO ₄	Na	K	Ca	Mg	Fe	Mn	NH ₄	NO ₂	NO ₃	
2ª CAMPANHA	CU	NTU		µS/cm	mg/L																
AQUÍFERO PÓS BARREIRAS																					
MINIMO	0.0	0.2	4.3	23.7	12.7	1.9	2.2	0.6	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
MAXIMO	30.0	6.2	7.6	557.0	357.0	63.3	41.3	25.4	63.5	0.0	0.1	40.8	18.0	19.7	3.4	0.3	0.0	32.0	0.0	115.0	
MEDIANA	1.0	0.7	4.5	69.4	41.0	5.2	9.2	2.5	0.0	0.0	0.0	7.5	0.5	1.5	0.4	0.0	0.0	0.1	0.0	11.9	
MÉDIA	5.9	1.3	4.9	122.3	75.4	14.6	11.6	5.2	4.9	0.0	0.0	10.3	3.2	4.4	0.9	0.1	0.0	2.7	0.0	25.7	
AQUÍFERO BARREIRAS																					
MINIMO	0.0	0.2	3.9	16.6	13.6	1.4	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
MAXIMO	1386.0	262.0	7.5	1218.0	692.0	117.0	265.0	62.4	190.0	0.0	0.7	144.0	9.7	42.9	14.3	8.1	0.8	26.9	0.0	96.8	
MEDIANA	4.0	0.8	5.0	80.6	54.4	9.5	6.3	3.6	0.9	0.0	0.0	5.4	1.3	2.9	0.7	0.0	0.0	0.1	0.0	8.1	
MÉDIA	51.4	8.7	5.2	135.3	87.3	19.8	16.4	9.7	11.5	0.0	0.0	12.9	2.4	6.1	1.1	0.5	0.0	1.5	0.0	14.1	
AQUÍFERO PIRABAS SUPERIOR																					
MINIMO	0.0	0.2	4.4	33.9	23.1	1.3	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.2	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
MAXIMO	247.0	78.0	7.6	339.0	316.0	170.0	23.0	17.0	210.0	0.0	0.2	19.2	2.8	56.5	6.9	6.6	0.2	1.9	0.0	29.2	
MEDIANA	23.0	3.9	6.3	75.6	79.6	19.7	3.6	1.8	20.1	0.0	0.0	4.1	2.0	5.5	1.3	0.3	0.1	0.0	0.0	0.9	
MÉDIA	53.6	13.2	6.0	118.1	99.1	38.5	7.9	4.0	42.1	0.0	0.1	6.5	1.6	12.4	1.8	1.2	0.1	0.2	0.0	5.9	
AQUÍFERO PIRABAS INFERIOR																					
MINIMO	5.0	0.4	6.0	152.0	130.0	31.5	1.6	0.1	39.6	0.0	0.0	1.8	1.4	5.7	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
MAXIMO	298.0	56.1	8.3	386.0	360.0	199.0	26.5	16.3	246.0	9.7	2.1	17.2	6.5	70.8	9.3	6.3	0.5	1.4	0.0	16.0	
MEDIANA	25.5	2.3	7.8	336.5	310.5	170.5	3.2	5.3	210.0	0.0	0.0	4.0	2.2	55.4	6.9	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	
MÉDIA	56.5	8.6	7.6	315.0	290.7	156.4	4.8	5.5	190.4	0.4	0.1	4.7	2.4	52.0	6.5	0.5	0.2	0.1	0.0	0.6	

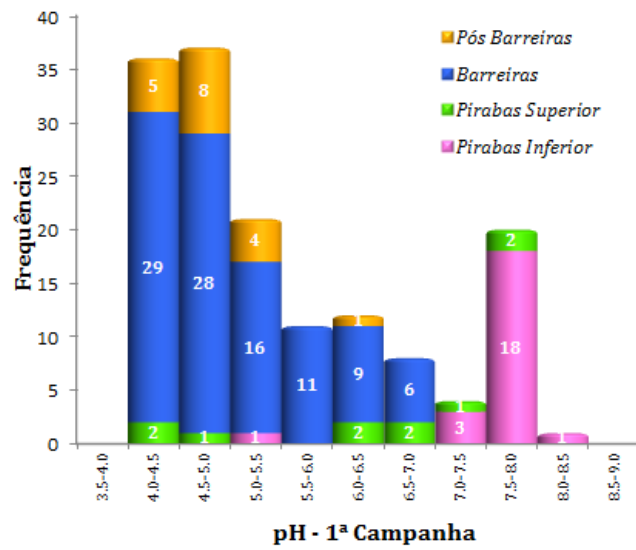


Figura 16 – Histograma de pH das amostras na primeira campanha.

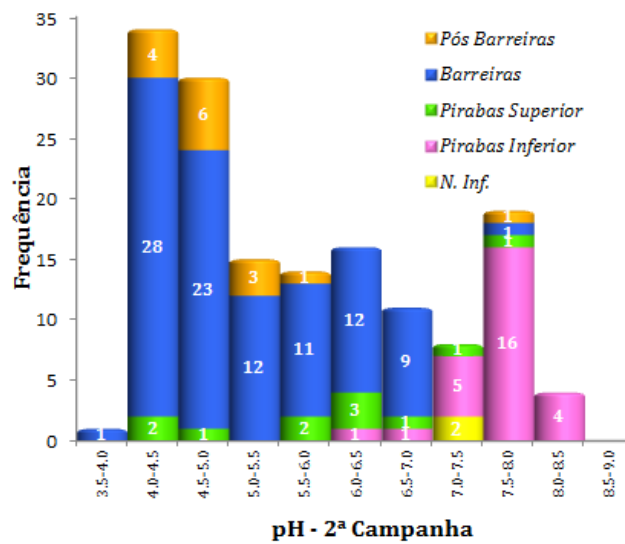


Figura 17 – Histograma de pH das amostras na segunda campanha.

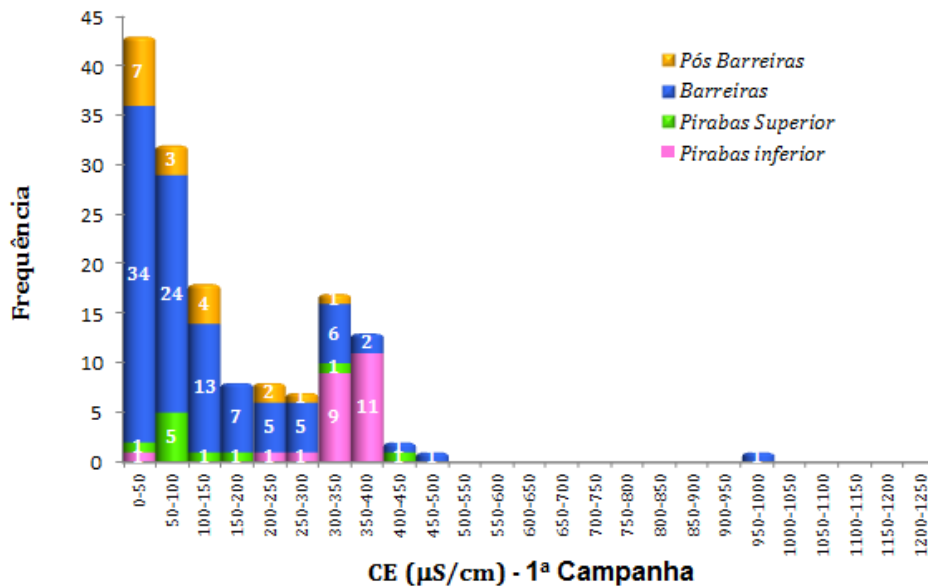


Figura 18 – Histograma de condutividade elétrica (CE) das amostras na primeira campanha.

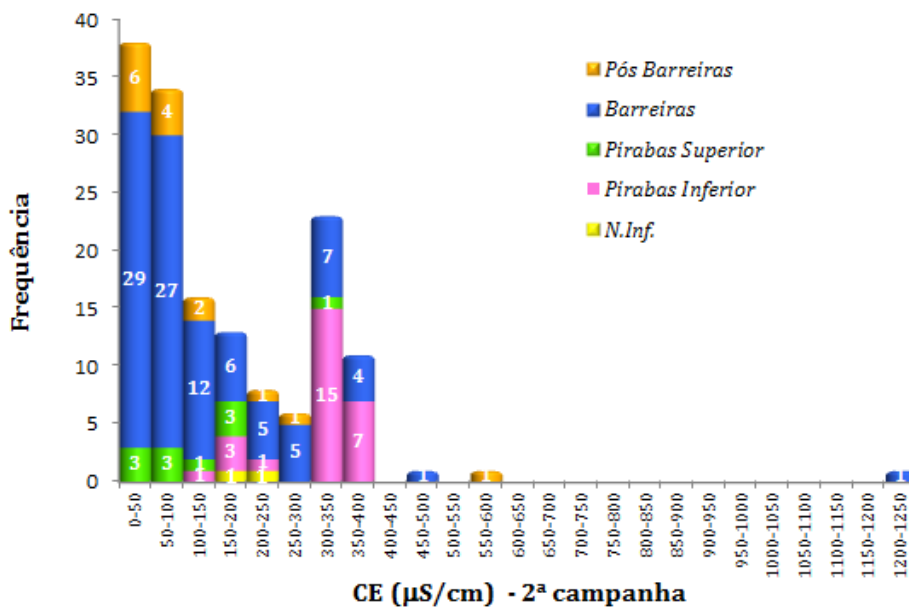


Figura 19 – Histograma de condutividade elétrica (CE) das amostras na segunda campanha.

A alcalinidade (HCO_3) é o principal ânion presente nas amostras coletadas nos aquíferos Pirabas Superior e Inferior, enquanto que o cloreto e o nitrato destacam-se nos aquíferos Pós Barreiras e Barreiras, possivelmente relacionados a contaminação. Dentre os cátions mais importantes, o cálcio destaca-se com as maiores concentrações na maioria das amostras coletadas nos aquíferos Pirabas (Superior e Inferior), e o sódio tem seus maiores valores nas amostras dos aquíferos Pós Barreiras e Barreiras.

Considerando-se as médias das concentrações dos principais íons das amostras de água dos aquíferos estudados, têm-se as relações para os ânions nas duas campanhas de amostragens (Figura 20 e Figura 21):

$\text{NO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4 \gg \text{HCO}_3 \gg \text{CO}_3 = \text{PO}_4$ (Aquífero Pós-Barreiras);

$\text{Cl} \geq \text{NO}_3 > \text{HCO}_3 > \text{SO}_4 \gg \text{CO}_3 = \text{PO}_4$ (Aquífero Barreiras);

$\text{HCO}_3 \gg \text{Cl} > \text{NO}_3 > \text{SO}_4 \gg \text{CO}_3 = \text{PO}_4$ (Aquífero Pirabas Superior) e

$\text{HCO}_3 \gg \text{SO}_4 > \text{Cl} \gg \text{NO}_3 > \text{CO}_3 = \text{PO}_4$ (Aquífero Pirabas Inferior)

E para os cátions, nas duas campanhas de amostragem (Figura 22 e Figura 23):

$\text{Na} \gg \text{Ca} \gg \text{K} \gg \text{Mg} > \text{Fe} > \text{Mn}$ (Aquífero Pós-Barreiras);

$\text{Na} \gg \text{Ca} \gg \text{K} > \text{Mg} > \text{Fe} > \text{Mn}$ (Aquífero Barreiras);

$\text{Ca} > \text{Na} \gg \text{Mg} \geq \text{K} > \text{Fe} > \text{Mn}$ (Aquífero Pirabas Superior) e

$\text{Ca} \gg \text{Mg} > \text{Na} > \text{K} > \text{Fe} > \text{Mn}$ (Aquífero Pirabas Inferior).

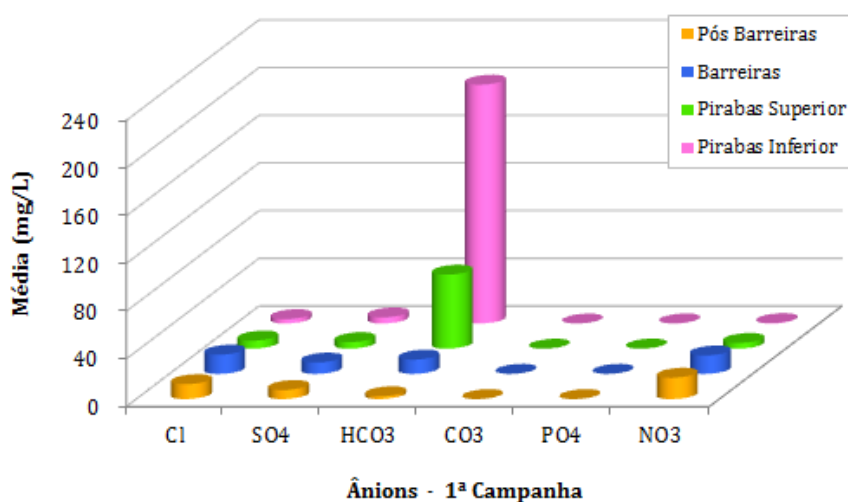


Figura 20 – Distribuição dos ânions nas amostras na primeira campanha.

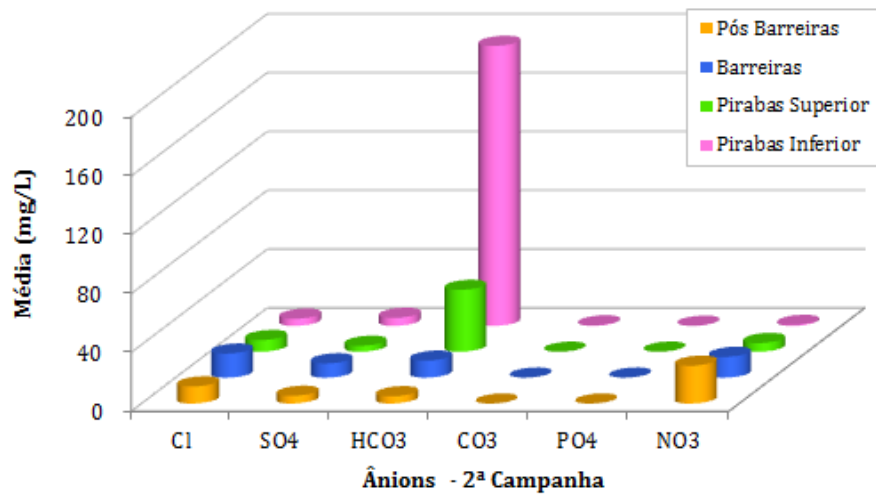


Figura 21 – Distribuição dos ânions nas amostras na segunda campanha.

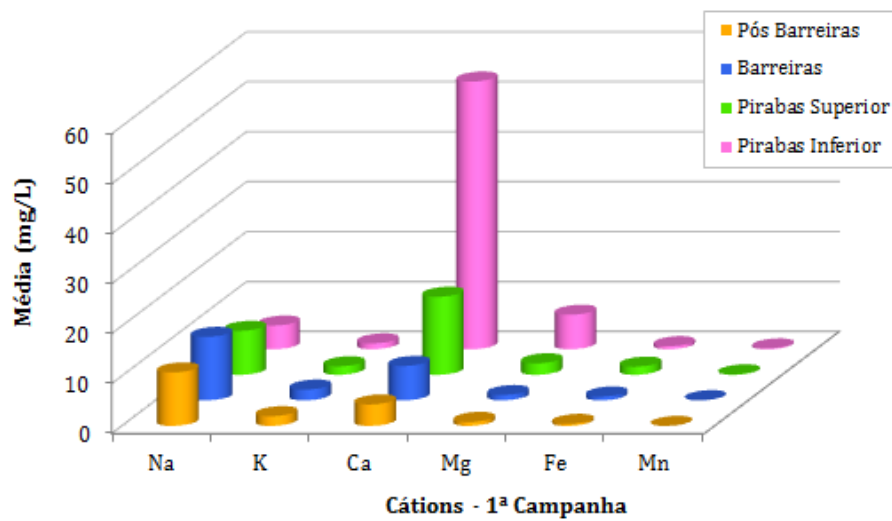


Figura 22 – Distribuição dos cátions nas amostras na primeira campanha.

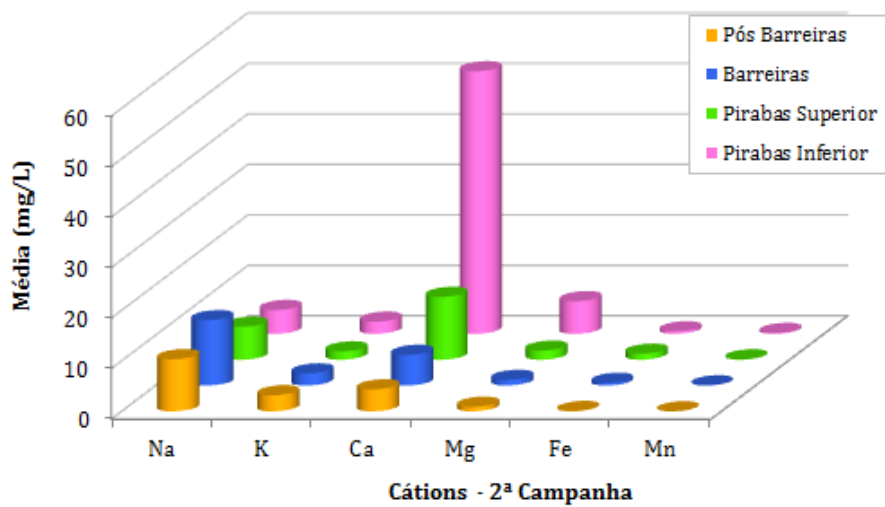


Figura 23 – Distribuição dos cátions nas amostras na segunda campanha.

Os resultados físico-químicos mostrados no Quadro 1 e no Quadro 2 permitem apenas análises de comparação qualitativa entre origens das amostras (1ª e 2ª campanhas e aquíferos Pós-Barreiras, Barreiras, Pirabas Superior e Inferior). No entanto, análises comparativas com base na estatística podem ser realizadas a partir de testes de hipóteses adequados, sendo necessária, de início, a verificação dos tipos de distribuição dos resultados de cada método de ensaio, associados a outras características de contorno (definição e tipo das variáveis, fatores de variação, tamanho das amostras de cada população).

2.3.3.2 Distribuição de parâmetros físico-químicos nas unidades aquíferas

Para a avaliação da distribuição dos dados físico-químicos das amostras na área estudada foi aplicado o teste de normalidade, método de análise estatística comparativa utilizado para verificar a aderência dos dados experimentais ao modelo teórico. Ou seja, permite avaliar o grau de concordância de um conjunto de valores amostrais e determinar a distribuição teórica específica desses valores. Este teste utiliza as distribuições acumuladas e compara a distribuição de frequências acumuladas que ocorreria sob H_0 (hipótese nula) com a distribuição de frequências acumuladas dos valores amostrais. A hipótese nula afirma que a distribuição é normal, para um determinado nível de significância.

O Quadro 3 e o Quadro 4 apresentam os resultados do teste de normalidade para verificação da distribuição dos parâmetros físico-químicos provenientes de águas dos aquíferos Pós Barreiras, Barreiras, Pirabas Superior e Inferior, 1ª e 2ª campanhas. Os resultados correspondem aos valores de *p-value* obtidos para cada amostra, sendo que a distribuição será normal se for satisfeita a hipótese nula H_0 , isto é, quando o *p-value* for maior que o nível de significância (unicaudal) estipulado para este caso ($\alpha=5\%$).

Quadro 3 – Resultados de *p-value* para testes de normalidade em parâmetros físico-químicos de amostras provenientes dos aquíferos estudados (1ª campanha)

Parâmetro	1ª Campanha							
	Pós Barreiras		Barreiras		Pirabas Superior		Pirabas Inferior	
	<i>p-value</i>	<i>H0</i>	<i>p-value</i>	<i>H0</i>	<i>p-value</i>	<i>H0</i>	<i>p-value</i>	<i>H0</i>
CE	0.0500	Aceita	0.0001	Não Aceita	0.0801	Aceita	0.0001	Não Aceita
pH	0.0144	Não Aceita	0.0184	Não Aceita	0.1951	Aceita	0.0001	Não Aceita
STD	0.0704	Aceita	0.0001	Não Aceita	0.0866	Aceita	0.0001	Não Aceita
HCO ₃	0.0601	Aceita	0.0001	Não Aceita	0.0379	Não Aceita	0.0001	Não Aceita
Cl	0.0458	Não Aceita	0.0001	Não Aceita	0.0019	Não Aceita	0.0024	Não Aceita
SO ₄	0.0004	Não Aceita	0.0002	Não Aceita	0.0209	Não Aceita	0.0002	Não Aceita
PO ₄	0.0001	Não Aceita	0.0001	Não Aceita	0.0003	Não Aceita	0.0001	Não Aceita
Na	0.0808	Aceita	0.0001	Não Aceita	0.0194	Não Aceita	0.0002	Não Aceita
K	0.0001	Não Aceita	0.0007	Não Aceita	0.4448	Aceita	0.0464	Não Aceita
Ca	0.0079	Não Aceita	0.0001	Não Aceita	0.0297	Não Aceita	0.0001	Não Aceita
Mg	0.0027	Não Aceita	0.0001	Não Aceita	0.0557	Aceita	0.0008	Não Aceita
Fe	0.0001	Não Aceita	0.0001	Não Aceita	0.0018	Não Aceita	0.0008	Não Aceita
Mn	0.0001	Não Aceita	0.0001	Não Aceita	0.6475	Aceita	0.0003	Não Aceita
NO ₂	0.0001	Não Aceita	0.0001	Não Aceita	0.0000	Não Aceita	0.0000	Não Aceita
NO ₃	0.0026	Não Aceita	0.0002	Não Aceita	0.0001	Não Aceita	0.0001	Não Aceita
NH ₄	0.0233	Não Aceita	0.0001	Não Aceita	0.0001	Não Aceita	0.0001	Não Aceita
SiO ₂	0.0076	Não Aceita	0.0002	Não Aceita	0.7112	Aceita	0.0241	Não Aceita

Quadro 4 – Distribuição de *p-value* para testes de normalidade em parâmetros físico-químicos de amostras provenientes dos aquíferos estudados (2ª campanha)

Parâmetro	2ª Campanha							
	Pós Barreiras		Barreiras		Pirabas Superior		Pirabas Inferior	
	<i>p-value</i>	<i>H0</i>	<i>p-value</i>	<i>H0</i>	<i>p-value</i>	<i>H0</i>	<i>p-value</i>	<i>H0</i>
CE	0.0014	Não Aceita	0.0001	Não Aceita	0.1073	Aceita	0.0001	Não Aceita
pH	0.0006	Não Aceita	0.0154	Não Aceita	0.4006	Aceita	0.8166	Aceita
STD	0.0007	Não Aceita	0.0001	Não Aceita	0.0124	Não Aceita	0.0001	Não Aceita
HCO ₃	0.0001	Não Aceita	0.0001	Não Aceita	0.0025	Não Aceita	0.0003	Não Aceita
Cl	0.0240	Não Aceita	0.0001	Não Aceita	0.0773	Aceita	0.0017	Não Aceita
SO ₄	0.0009	Não Aceita	0.0001	Não Aceita	0.0165	Não Aceita	0.0003	Não Aceita
PO ₄	0.0033	Não Aceita	0.0001	Não Aceita	0.0019	Não Aceita	0.0001	Não Aceita
Na	0.0070	Não Aceita	0.0001	Não Aceita	0.0983	Aceita	0.0001	Não Aceita
K	0.0015	Não Aceita	0.0008	Não Aceita	0.2095	Aceita	0.0001	Não Aceita
Ca	0.0102	Não Aceita	0.0001	Não Aceita	0.0024	Não Aceita	0.0123	Não Aceita
Mg	0.0062	Não Aceita	0.0001	Não Aceita	0.0070	Não Aceita	0.0177	Não Aceita
Fe	0.0020	Não Aceita	0.0001	Não Aceita	0.0001	Não Aceita	0.0007	Não Aceita
Mn	0.0881	Aceita	0.0001	Não Aceita	0.3348	Aceita	0.0020	Não Aceita
NO ₂	0.0000	Não Aceita	0.0000	Não Aceita	0.0000	Não Aceita	0.0000	Não Aceita
NO ₃	0.0065	Não Aceita	0.0001	Não Aceita	0.0273	Não Aceita	0.0001	Não Aceita
NH ₄	0.0001	Não Aceita	0.0001	Não Aceita	0.0001	Não Aceita	0.0001	Não Aceita
SiO ₂	0.0108	Não Aceita	0.0002	Não Aceita	0.8967	Aceita	0.0001	Não Aceita

2.3.3.3 *Análise comparativa de parâmetros físico-químicos provenientes das diferentes unidades aquíferas*

Segundo Campos (2002), os testes estatísticos podem ser divididos em dois grandes grupos, os testes paramétricos e os testes não-paramétricos. Os testes paramétricos se baseiam em dois parâmetros principais que são a média e o desvio padrão, que definem as populações que possuem uma distribuição normal, enquanto os testes não paramétricos são aqueles que não especificam condições sobre os parâmetros da população da qual a amostra foi obtida. Os testes não paramétricos não exigem que os dados sejam normalmente distribuídos, por isso podem ser aplicados em diversas situações; também podem ser aplicados a dados não numéricos.

Como os dados analisados da área de estudo, em maioria, não seguem uma distribuição normal utilizou-se o método não-paramétrico Mann-Whitney para análises comparativas dos parâmetros físico-químicos entre os aquíferos e a 1^a. e 2^a campanhas. A comparação foi realizada entre médias das populações (aquíferos e campanhas) com variáveis independentes, tamanhos amostrais diferentes e considerando igualdade ou desigualdade de variâncias, a depender dos resultados de um teste estatístico prévio.

Também neste caso o teste de hipótese nula (H_0) foi aceito quando o p-value encontrado foi maior que o nível de significância de 5%. A hipótese nula afirma que os valores médios dos parâmetros físico-químicos provenientes da comparação entre os diferentes aquíferos (Pós Barreiras, Barreiras, Pirabas Superior e Pirabas Inferior) são estatisticamente congruentes para um nível de significância de 5%. Ou seja, H_0 será aceito quando p-value for maior que o nível de significância estipulado para este teste ($\alpha=5\%$).

O Quadro 5 e o Quadro 6 apresentam os resultados do teste Mann-Whitney para verificação da normalidade de cada parâmetro físico-químico obtido nos diferentes aquíferos e entre as duas campanhas, respectivamente.

Os resultados indicam que os valores médios dos parâmetros físico-químicos, provenientes da comparação entre os diferentes aquíferos da área de estudo, para um nível de significância de 5%, são estatisticamente iguais para os aquíferos Pós Barreiras, Barreiras e Pirabas Superior. A congruência estatística entre as amostras desses aquíferos deve-se provavelmente à proximidade estratigráfica e à ausência de camada impermeável entre estas unidades, como também pode ser explicada pelo fato de alguns poços extraírem águas de mais de uma unidade.

Por sua vez, o Aquífero Pirabas Inferior, comparado aos demais aquíferos estudados, é estatisticamente diferente, fato já previsto pelas análises anteriores. Alguns parâmetros mostraram-se estatisticamente congruentes entre essas unidades, porém, em sua maioria, são parâmetros com baixa concentração nas amostras.

As comparações foram estatisticamente iguais quando se confrontam os valores médios das 1ª e 2ª campanhas, sejam estas provenientes dos aquíferos Pós Barreiras, Barreiras, Pirabas Superior ou Pirabas Inferior. As diferenças encontradas em alguns íons, como nitrito e nitrato, podem ser atribuídas à contaminação antrópica, o que explicaria as diferenças entre as duas campanhas.

Quadro 5 – Análise comparativa (teste de Mann-Whitney) de parâmetros físico-químicos entre diferentes unidades aquíferas estudadas

Parâmetro	Aquífero											
	1ª Campanha											
	PB x B		PB x PS		PB x PI		B x PS		B x PI		PS x PI	
	p-value	H0	p-value	H0	p-value	H0	p-value	H0	p-value	H0	p-value	H0
CE	0.954	Aceita	0.317	Aceita	< 0.0001	Não Aceita	0.256	Aceita	< 0.0001	Não Aceita	0.021	Não Aceita
pH	0.183	Aceita	0.070	Aceita	< 0.0001	Não Aceita	0.052	Aceita	< 0.0001	Não Aceita	< 0.0001	Não Aceita
STD	0.348	Aceita	0.055	Aceita	< 0.0001	Não Aceita	0.149	Aceita	< 0.0001	Não Aceita	0.002	Não Aceita
HCO ₃	0.069	Aceita	0.019	Não Aceita	< 0.0001	Não Aceita	0.080	Aceita	< 0.0001	Não Aceita	< 0.0001	Não Aceita
Cl	0.973	Aceita	0.667	Aceita	0.002	Não Aceita	0.530	Aceita	0.000	Não Aceita	0.031	Não Aceita
SO ₄	0.755	Aceita	0.842	Aceita	0.599	Aceita	0.590	Aceita	0.403	Aceita	0.130	Aceita
PO ₄	0.791	Aceita	0.039	Não Aceita	0.002	Não Aceita	0.018	Não Aceita	< 0.0001	Não Aceita	0.806	Aceita
Na	0.864	Aceita	0.368	Aceita	0.170	Aceita	0.439	Aceita	0.301	Aceita	0.738	Aceita
K	0.215	Aceita	0.280	Aceita	1.000	Aceita	0.309	Aceita	0.299	Aceita	0.085	Aceita
Ca	0.432	Aceita	0.027	Não Aceita	< 0.0001	Não Aceita	0.033	Não Aceita	< 0.0001	Não Aceita	< 0.0001	Não Aceita
Mg	0.500	Aceita	0.024	Não Aceita	< 0.0001	Não Aceita	0.018	Não Aceita	< 0.0001	Não Aceita	< 0.0001	Não Aceita
Fe	0.682	Aceita	0.383	Aceita	0.009	Não Aceita	0.158	Aceita	0.001	Não Aceita	0.339	Aceita
Mn	0.454	Aceita	0.001	Não Aceita	< 0.0001	Não Aceita	0.003	Não Aceita	< 0.0001	Não Aceita	0.007	Não Aceita
NO ₂	< 0.0001	Não Aceita	< 0.0001	Não Aceita	< 0.0001	Não Aceita	0.385	Aceita	0.691	Aceita	< 0.0001	Não Aceita
NO ₃	0.425	Aceita	0.049	Não Aceita	< 0.0001	Não Aceita	0.080	Aceita	< 0.0001	Não Aceita	0.006	Não Aceita
NH ₄	0.566	Aceita	0.188	Aceita	< 0.0001	Não Aceita	0.344	Aceita	0.001	Não Aceita	< 0.0001	Não Aceita
SiO ₂	0.061	Aceita	0.000	Não Aceita	< 0.0001	Não Aceita	0.001	Não Aceita	< 0.0001	Não Aceita	0.000	Não Aceita

Parâmetro	Aquífero											
	2ª Campanha											
	PB x B		PB x PS		PB x PI		B x PS		B x PI		PS x PI	
	p-value	H0	p-value	H0	p-value	H0	p-value	H0	p-value	H0	p-value	H0
CE	0.617	Aceita	0.605	Aceita	< 0.0001	Não Aceita	0.860	Aceita	< 0.0001	Não Aceita	< 0.0001	Não Aceita
pH	0.339	Aceita	0.031	Não Aceita	< 0.0001	Não Aceita	0.021	Não Aceita	< 0.0001	Não Aceita	< 0.0001	Não Aceita
STD	0.400	Aceita	0.177	Aceita	< 0.0001	Não Aceita	0.257	Aceita	< 0.0001	Não Aceita	< 0.0001	Não Aceita
HCO ₃	0.073	Aceita	0.015	Não Aceita	< 0.0001	Não Aceita	0.039	Não Aceita	< 0.0001	Não Aceita	< 0.0001	Não Aceita
Cl	0.723	Aceita	0.683	Aceita	0.004	Não Aceita	0.199	Aceita	< 0.0001	Não Aceita	0.140	Aceita
SO ₄	0.497	Aceita	0.693	Aceita	0.161	Aceita	0.325	Aceita	0.420	Aceita	0.065	Aceita
PO ₄	0.157	Aceita	0.289	Aceita	0.189	Aceita	0.045	Não Aceita	0.002	Não Aceita	0.815	Aceita
Na	0.922	Aceita	0.311	Aceita	0.103	Aceita	0.239	Aceita	0.175	Aceita	0.724	Aceita
K	0.398	Aceita	0.593	Aceita	0.179	Aceita	0.851	Aceita	0.027	Não Aceita	0.386	Aceita
Ca	0.513	Aceita	0.099	Aceita	< 0.0001	Não Aceita	0.091	Aceita	< 0.0001	Não Aceita	< 0.0001	Não Aceita
Mg	0.524	Aceita	0.099	Aceita	< 0.0001	Não Aceita	0.078	Aceita	< 0.0001	Não Aceita	< 0.0001	Não Aceita
Fe	0.139	Aceita	0.056	Aceita	0.025	Não Aceita	0.218	Aceita	0.251	Aceita	0.417	Aceita
Mn	0.079	Aceita	0.005	Não Aceita	< 0.0001	Não Aceita	0.020	Não Aceita	< 0.0001	Não Aceita	0.001	Não Aceita
NO ₂	< 0.0001	Não Aceita	< 0.0001	Não Aceita	< 0.0001	Não Aceita	< 0.0001	Não Aceita	< 0.0001	Não Aceita	< 0.0001	Não Aceita
NO ₃	0.250	Aceita	0.014	Não Aceita	< 0.0001	Não Aceita	0.037	Não Aceita	< 0.0001	Não Aceita	< 0.0001	Não Aceita
NH ₄	0.647	Aceita	0.335	Aceita	< 0.0001	Não Aceita	0.099	Aceita	< 0.0001	Não Aceita	< 0.0001	Não Aceita
SiO ₂	0.036	Não Aceita	0.000	Não Aceita	< 0.0001	Não Aceita	0.001	Não Aceita	< 0.0001	Não Aceita	0.001	Não Aceita

Quadro 6 – Análise comparativa (teste de Mann-Whitney) de parâmetros físico-químicos entre as amostragens (1ª e 2ª campanhas)

Parâmetro	Pós Barreiras		Barreiras		Pirabas Superior		Pirabas Inferior	
	Campanha1 x Campanha2		Campanha1 x Campanha2		Campanha1 x Campanha2		Campanha1 x Campanha2	
	<i>p-value</i>	<i>H0</i>	<i>p-value</i>	<i>H0</i>	<i>p-value</i>	<i>H0</i>	<i>p-value</i>	<i>H0</i>
CE	0.789	Aceita	0.752	Aceita	0.684	Aceita	0.205	Aceita
pH	0.993	Aceita	0.863	Aceita	0.755	Aceita	0.250	Aceita
STD	0.796	Aceita	0.688	Aceita	0.739	Aceita	0.565	Aceita
HCO ₃	0.350	Aceita	0.303	Aceita	0.627	Aceita	0.443	Aceita
Cl	0.755	Aceita	0.879	Aceita	0.579	Aceita	0.941	Aceita
SO ₄	0.914	Aceita	0.973	Aceita	0.971	Aceita	0.733	Aceita
PO ₄	0.209	Aceita	0.769	Aceita	0.733	Aceita	0.620	Aceita
Na	0.852	Aceita	0.954	Aceita	0.851	Aceita	0.733	Aceita
K	0.426	Aceita	0.322	Aceita	0.725	Aceita	< 0.0001	Não Aceita
Ca	0.811	Aceita	0.463	Aceita	0.739	Aceita	0.831	Aceita
Mg	0.881	Aceita	0.889	Aceita	0.736	Aceita	0.823	Aceita
Fe	0.302	Aceita	0.288	Aceita	0.897	Aceita	0.014	Não Aceita
Mn	0.811	Aceita	0.417	Aceita	0.288	Aceita	0.856	Aceita
NO ₂	< 0.0001	Não Aceita	0.163	Aceita	< 0.0001	Não Aceita	< 0.0001	Não Aceita
NO ₃	0.688	Aceita	0.945	Aceita	0.794	Aceita	0.002	Não Aceita
NH ₄	0.867	Aceita	0.109	Aceita	0.981	Aceita	0.772	Aceita
SiO ₂	0.550	Aceita	0.879	Aceita	0.529	Aceita	0.246	Aceita

2.3.4 Análise Estatística Multivariada (Análise de Agrupamentos)

Conforme dados apresentados e analisados anteriormente, não foram constatadas diferenças significativas nas amostras coletadas nas 1ª e 2ª campanhas, porém foram verificadas diferenças entre as amostras de cada aquífero estudado. Com isso, optou-se por uma análise estatística utilizando todas as amostras coletadas, de modo a permitir uma melhor interpretação dos resultados hidroquímicos.

Para avaliação de possível correlação/similaridade entre as águas coletadas dos aquíferos Pós Barreiras, Barreiras, Pirabas Superior e Pirabas Inferior, e entre as duas campanhas de amostragem, foi aplicada a análise multivariada de agrupamentos aos dados físico-químicos obtidos. Nesta análise estatística foram considerados os resultados analíticos em mg/L, sendo que; os dados utilizados não foram normalizados, uma vez que o grau de variabilidade entre os parâmetros analisados é função da própria característica da água e dos processos que resultaram na composição final.

O dendrograma gerado pela análise de agrupamentos, com uso do método Ward e medida de distância euclidiana, encontra-se no ANEXO VII.

A partir do dendrograma, foram identificados quatro grupos distintos de água, denominados A, B, C e D.

Cabe ressaltar que a análise de agrupamentos foi feita para as duas campanhas de amostragens, permanecendo a maioria das amostras nos mesmos grupos identificados. Nesta análise todas as amostras foram utilizadas, incluindo aquelas que foram coletadas somente em uma campanha.

Algumas amostras, porém, mudaram de grupos na segunda campanha devido à diminuição da condutividade elétrica e da concentração de alguns íons: Grupo A para o Grupo C – amostras P02, P34, P65 e P142; Grupo B para o Grupo C – amostra P85; Grupo C para o Grupo B – amostras P45, P73 e P149; Grupo D para o Grupo A – amostras P41, P98; P134. Outras mudaram de grupo devido ao aumento da concentração de alguns íons, possivelmente relacionada a alguma contaminação (aumento de NO_3 , por exemplo) ou ainda a adição de algum tratamento ao poço (aumento de Cl): Grupo B para o Grupo A – amostras P101 e P128; Grupo C para o Grupo A – amostra P03. A amostra P69 também mudou de grupo (C para D) da primeira para a segunda campanha de amostragem, mas esta mudança já era prevista, pois a amostra foi coletada em outro poço e em unidade aquífera distinta, como exposto anteriormente.

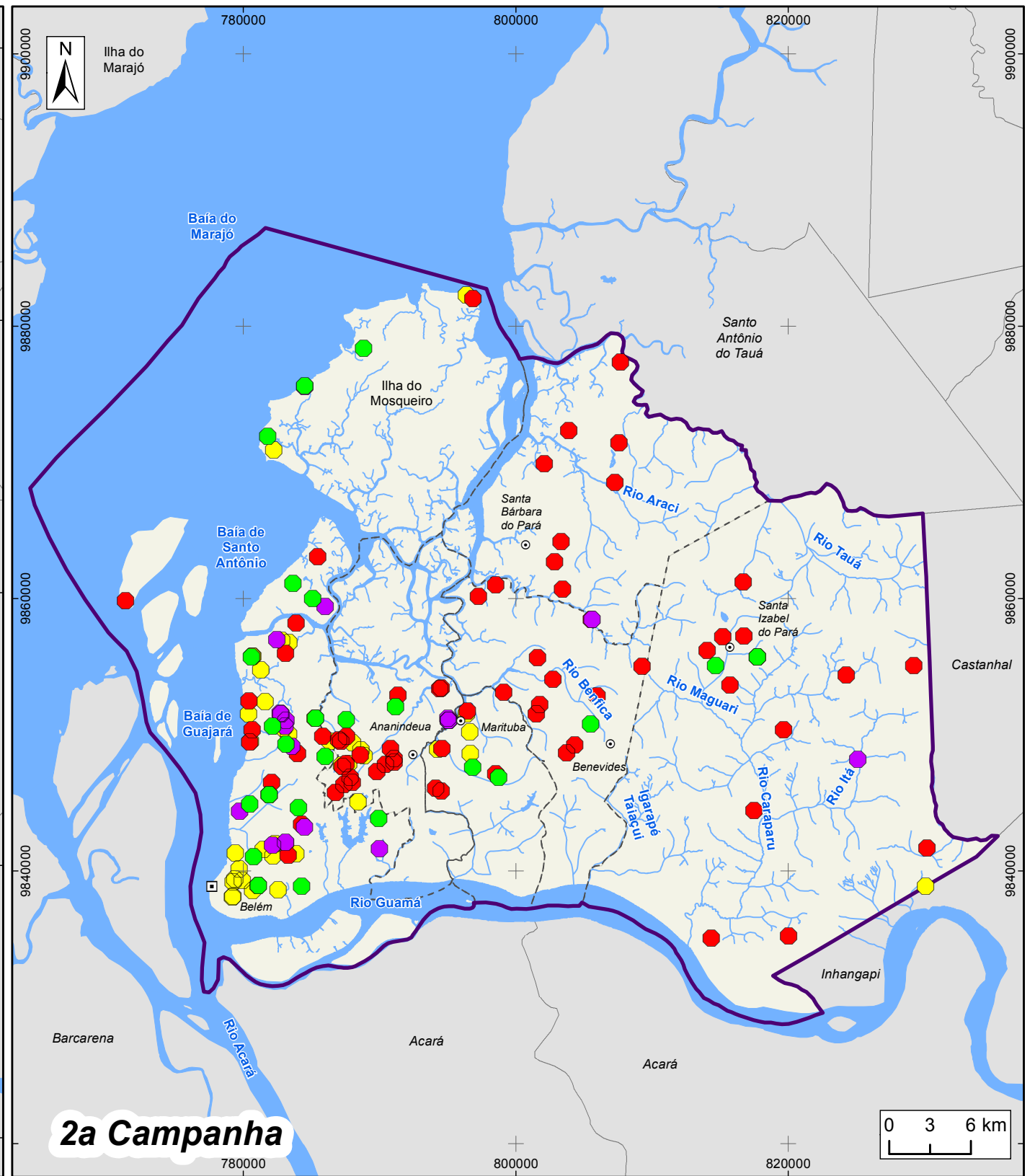
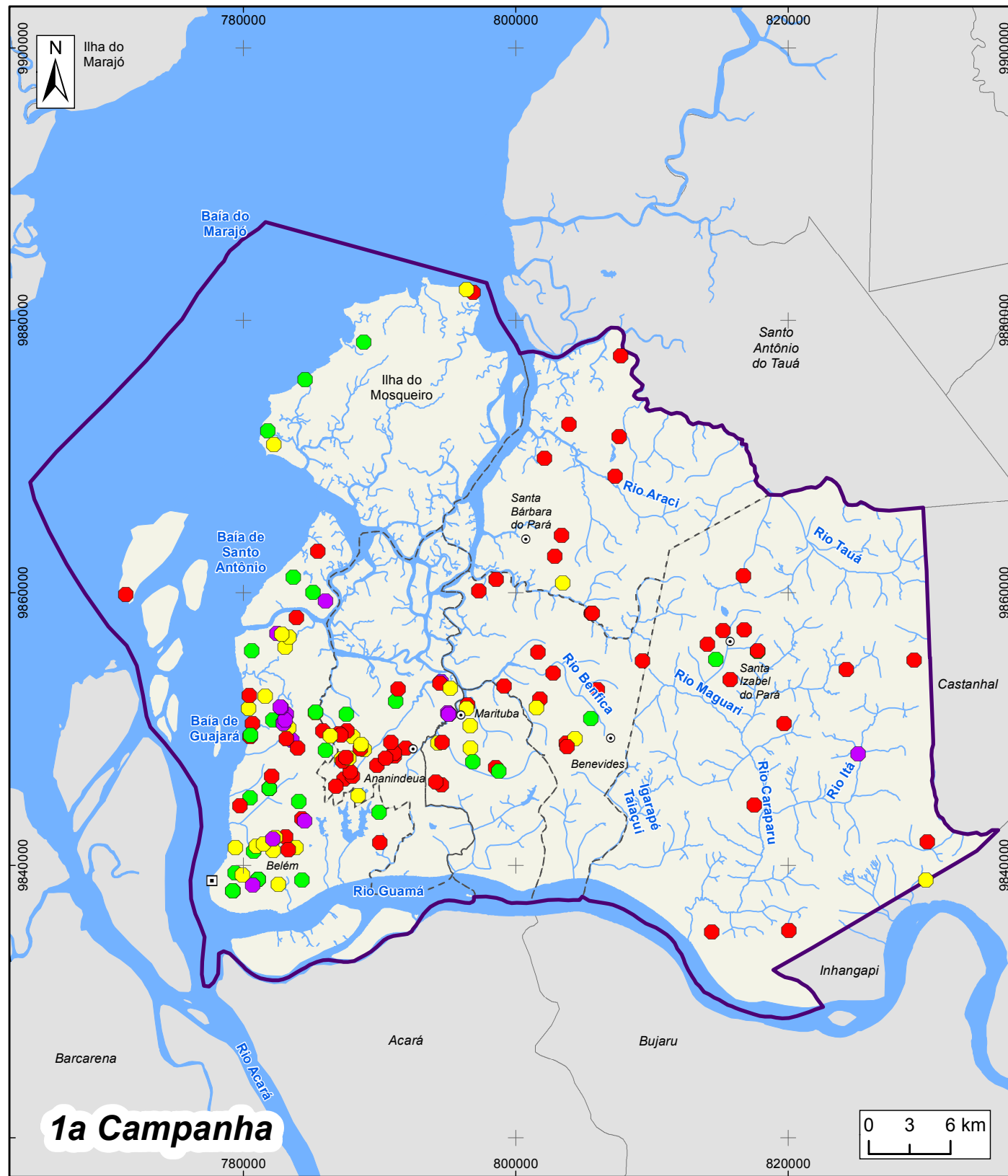
GRUPO A – Com amostras distribuídas predominantemente no sudoeste da área de estudo (Figura 24), é representado por 34 e 40 amostras (1ª e 2ª campanhas, respectivamente) em sua maioria do Aquífero Barreiras (~80%), com condutividade elétrica mais elevada que a maioria das amostras deste aquífero (acima de $130 \mu\text{S}/\text{cm}$, e médias de $244 \mu\text{S}/\text{cm}$ e $261 \mu\text{S}/\text{cm}$ na 1ª e 2ª campanhas). Os ânions predominantes são o NO_3 , com valores médios de $37 \text{ mg}/\text{L}$ e $30 \text{ mg}/\text{L}$ (1ª e 2ª campanhas), Cloreto, com médias de $30 \text{ mg}/\text{L}$ e $29 \text{ mg}/\text{L}$ (1ª e 2ª campanhas) e SO_4 , com valores médios de $21 \text{ mg}/\text{L}$ e $20 \text{ mg}/\text{L}$ (1ª e 2ª campanhas); o cátion com maior concentração é o sódio (média de $26 \text{ mg}/\text{L}$ na 1ª e 2ª campanhas). Neste grupo estão as amostras com maiores concentrações de nitrato, relacionado à contaminação antrópica; cabe destacar que muitas delas ultrapassam o valor máximo permitido pela Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde.

GRUPO B – É o grupo com menor quantidade de amostras (17 amostras na 1ª campanha e 18 na 2ª campanha), com amostras dos aquíferos Barreiras e Pirabas superior. Suas águas têm condutividades elétricas com média de $77 \mu\text{S}/\text{cm}$ (1ª e 2ª campanhas). Predominam os ânions HCO_3 (médias de $34 \text{ mg}/\text{L}$ e $20 \text{ mg}/\text{L}$ na 1ª e 2ª campanhas) e SO_4 (médias de $4,0 \text{ mg}/\text{L}$ e $6 \text{ mg}/\text{L}$ na 1ª e 2ª campanhas), e o cátion Ca (média de $8,8 \text{ mg}/\text{L}$ e $5,9 \text{ mg}/\text{L}$ na 1ª e 2ª campanhas); destaca-se também o ferro com altas concentrações, com muitas

amostras ultrapassando o valor máximo permitido pela Portaria 2914/11 do MS. Distribuem-se, preferencialmente, na porção sudoeste da área de estudo (Figura 24).

GRUPO C – É o grupo com maior quantidade de amostras (72 amostras na 1^o campanha e 70 na 2^o campanha). Predominam amostras do Aquífero Barreiras (~80%) e a maioria das amostras coletadas no Aquífero Pós Barreiras. Essas águas são pouco salinizadas, com condutividades elétricas predominantemente menores que 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, com médias de 59 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 61 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (1^a e 2^a campanhas). Predominam, ainda que em baixas concentrações, os ânions Cl (até 34 mg/L e média de 6,9 mg/L na 1^o e 2^o campanhas) e NO_3 (até 30 mg/L e média de 8,0mg/L e 9,0mg/L na 1^a e 2^a campanhas), e o cátion Na (até 21 mg/L e média de 5,5 mg/L e 5,4mg/L na 1^a e 2^a campanhas) e sílica (até 17 mg/L e média de 8,0 mg/L e 7,8 mg/L na 1^a e 2^a campanhas). Distribuem-se por toda área de amostragem (Figura 24) e podem ser consideradas representativas dos aquíferos Pós Barreiras e Barreiras na área de estudo.

GRUPO D – Representado por 26 e 24 amostras (1^a e 2^a campanhas) distribuídas predominantemente no sudoeste da área de estudo (Figura 24). São amostras predominantemente do Aquífero Pirabas Inferior (~90%), com condutividade elétrica mais elevada (acima de 220 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e média de 369 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 377 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na 1^a e 2^a campanhas). O ânion HCO_3 predomina com valores acima de 114 mg/L e média de 202 mg/L e 210 mg/L (1^a e 2^a campanhas), e o cátion com maiores concentrações é cálcio (médias de 53 mg/L e 55 mg/L na 1^a e 2^a campanhas). A sílica possui médias de 23 mg/L (1^a e 2^a campanhas). Este grupo pode ser considerado representativo do Aquífero Pirabas Inferior na área de estudo.



LEGENDA

- | | | |
|-------|------------------|---------------------------|
| ▣ | Capital Estadual | Grupo Hidroquímico |
| ○ | Sede Municipal | ● A |
| ~ | Hidrografia | ● B |
| ☪ | Massa d'água | ● C |
| ⊕ | Área de Estudo | ● D |
| - - - | Limite municipal | |

Figura 24 – Distribuição dos grupos hidroquímicos identificados pela análise de agrupamento de amostras de águas subterrâneas da área de estudo na 1ª. e 2ª. Campanhas



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA. Grupo Hidroquímico: ANA/Profill

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_24_Grupos_Hidroquimicos_A3
Escala:	1:400.000

2.3.5 Razões Iônicas

As razões iônicas (relações entre os íons dissolvidos na água) podem indicar o grau de relacionamento da água com o material da formação rochosa percolado.

Para distinção dos aquíferos segundo sua composição química são necessárias análises dos principais cátions e ânions e comparações das relações entre eles, tais como as razões rMg^{2+}/rCa^{2+} , rSO_4^{2-}/rCl^- , dentre outras. As razões iônicas mais frequentes em estudos hidrogeológicos são as razões rMg^{2+}/rCa^{2+} e rK^+/rNa^+ (CUSTÓDIO e LLAMAS, 1996).

Neste estudo foram usadas as principais razões iônicas (rMg^{2+}/rCa^{2+} , rK^+/rNa^+ , rNa^+/rCa^{2+} , $rCl^-/rHCO_3^-$, $rNa^+/(rCa^{2+} + rMg^{2+})$, ITB (índice de troca de bases) e SAR (razão de adsorção de sódio). Os resultados estão reunidos nos ANEXOS VIII e IX.

Em águas continentais, a razão rMg^{2+}/rCa^{2+} geralmente apresenta valores que variam de 0,3 a 1,5. Com a precipitação de carbonato de cálcio há um aumento nos valores dessa razão iônica, que diminui em caso de dissolução da calcita (CUSTÓDIO e LLAMAS, 1996). A razão iônica rMg^{2+}/rCa^{2+} para as águas dos aquíferos estudados variaram de 0,06 a 2,20 na primeira campanha de amostragem, e de 0,06 a 3,75 na segunda campanha, sendo que aproximadamente 95% e 92% possuem valores menores de 1,5 para as amostras das 1ª e 2ª campanhas de coleta de água, respectivamente (Figura 25 e Figura 26).

De modo geral, amostras que apresentam razões iônicas rMg^{2+}/rCa^{2+} acima de 1 possuem baixas concentrações desses dois íons; são predominantemente do Aquífero Barreiras e apresentam baixa condutividade elétrica (a exceção é a amostra P14 que mesmo com alta condutividade elétrica apresenta uma razão iônica de 1,6, devido à maior concentração de magnésio em relação ao cálcio, embora estes dois íons apresentem baixas concentrações nesta amostra). Observa-se também que as amostras do Aquífero Pirabas Inferior possuem geralmente rMg^{2+}/rCa^{2+} menores que 0,5, devido à elevada concentração de cálcio.

Pela análise da Figura 25 e na Figura 26 verifica-se que não há diferenças significativas entre as rMg^{2+}/rCa^{2+} das amostras coletadas nas duas campanhas de

amostragem; contudo, algumas amostras (P81 e P92) tiveram esses valores aumentados entre uma campanha e outra, devido à diminuição da concentração de cálcio, porém são amostras com baixa concentração iônica.

A razão rK^+/rNa^+ nas águas doces pode estar entre 0,001 e 1, sendo mais frequente entre 0,004 e 0,3 (CUSTÓDIO e LLAMAS, 1996). Neste estudo, as amostras das áreas de estudo apresentam valores de rK^+/rNa^+ entre 0 e 0,98 na primeira campanha de amostragem, e entre 0 e 1,43 na segunda campanha.

A maioria das amostras possui razão rK^+/rNa^+ abaixo de 1; somente as amostras P50, P91, P111 e P146 – 2ª campanha, apresentam valores maiores que 1, porém são amostras pouco salinas. Observa-se na Figura 27 e na Figura 28 que a maioria das amostras possui valores menores que 0,3 devido à maior concentração de sódio em relação ao potássio, mesmo nas amostras com baixa concentração iônica. Algumas amostras com valores rK^+/rNa^+ mais elevados, próximo a 1, podem estar relacionados à baixa concentração iônica (Figura 27 e Figura 28).

Os valores de razão iônica rNa^+/rCa^{2+} para as amostras de água na área de estudo oscilam entre 0,02 e 41,9 na primeira campanha de amostragem, e entre 0 e 24, na segunda campanha. A maioria das amostras apresenta valor abaixo de 10 (93% e 91% - 1ª e 2ª campanhas) (Figura 29 e Figura 30). As amostras com resultados maiores estão relacionadas à baixa concentração de cálcio, e também são amostras com baixa concentração de íons.

A razão iônica $rNa^+/(rCa^{2+} + rMg^{2+})$ para as águas da área de estudo apresentam valores entre 0,02 e 24,9 na primeira campanha e entre 0 a 11,8, na segunda. Aproximadamente 98% das amostras apresentam valores abaixo de 10 (Figura 31 e Figura 32), seguindo o mesmo padrão dos valores de razão iônica rNa^+/rCa^{2+} . As amostras com resultados maiores estão relacionadas à baixa concentração de cálcio e maiores concentrações de sódio, enquanto que amostras com as menores razão de $rNa^+/(rCa^{2+} + rMg^{2+})$ são aquelas que possuem elevadas concentrações de cálcio e são, geralmente, do Aquífero Pirabas Inferior.

Em águas continentais, a razão $rCl^-/rHCO_3^-$ geralmente apresenta valores que variam de 0,1 a 5, e em águas marinhas esses valores ficam entre 20 e 50 (Custódio e Llamas, 1996). Verifica-se na Figura 33 e Figura 34 que essas razões encontram-se entre 0,01 e 112,9

para as amostras da primeira campanha, e entre 0 a 77,16 para as da segunda campanha, permanecendo aproximadamente 66% (1ª campanha) e 75% (2ª campanha) delas abaixo de 5. Este fato está relacionado à maior concentração de bicarbonato (HCO_3^-) em relação a cloreto (Cl) nas amostras de água, principalmente em amostras do Aquífero Pirabas Inferior.

Algumas amostras (42 e 54 – 1ª e 2ª campanhas, respectivamente), principalmente do Aquífero Barreiras, não apresentam valores para esta razão ($r\text{Cl}^-/r\text{HCO}_3^-$), uma vez que não possuem concentração de alcalinidade (HCO_3^-); são geralmente amostras com pH menor que 4,5.

Os maiores valores da razão $r\text{Cl}^-/r\text{HCO}_3^-$ podem estar relacionados à quantidade baixa de bicarbonato nas amostras; outros podem ser relacionados à maior concentração de cloreto oriunda de possível contaminação antrópica, pois nelas também foram encontradas elevadas concentrações de íons nitrato.

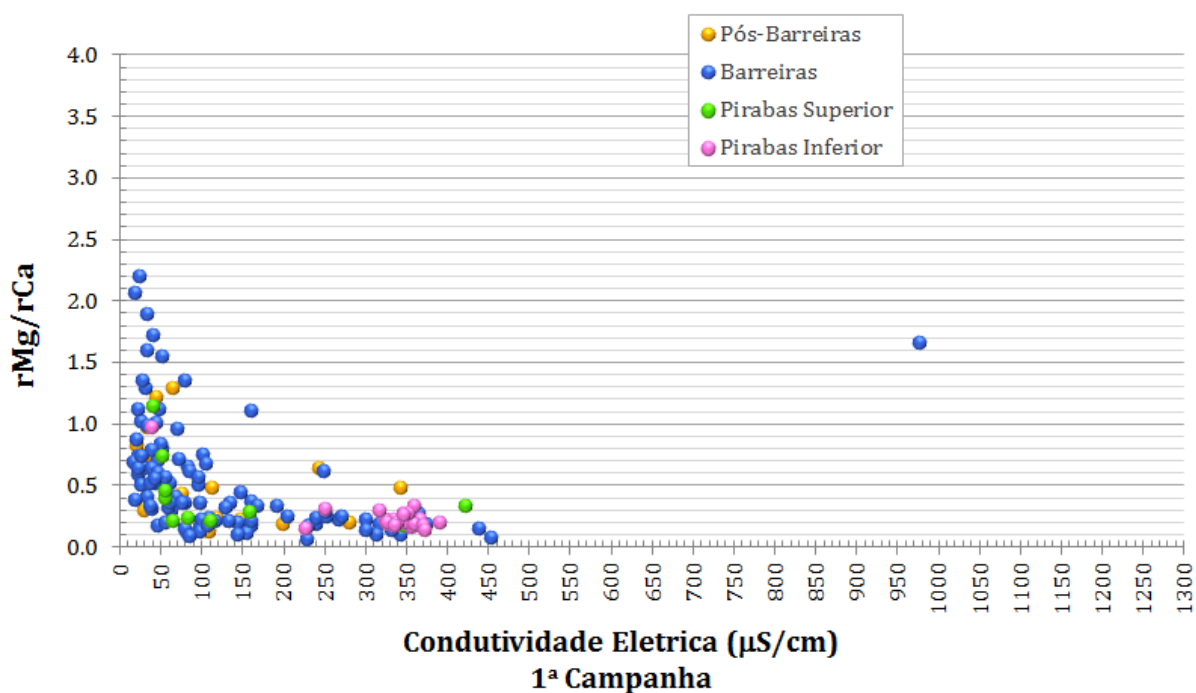


Figura 25 – Razão $r\text{Mg}/r\text{Ca}$ para as amostras na primeira campanha.

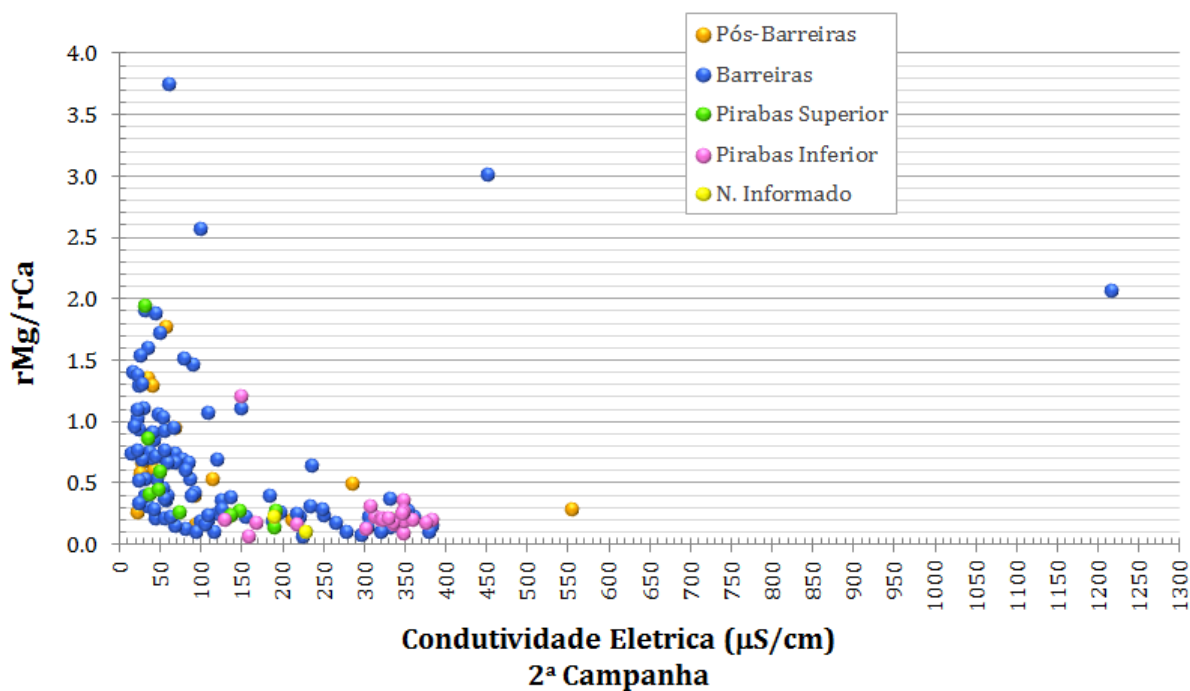


Figura 26 – Razão rMg/rCa para as amostras na segunda campanha.

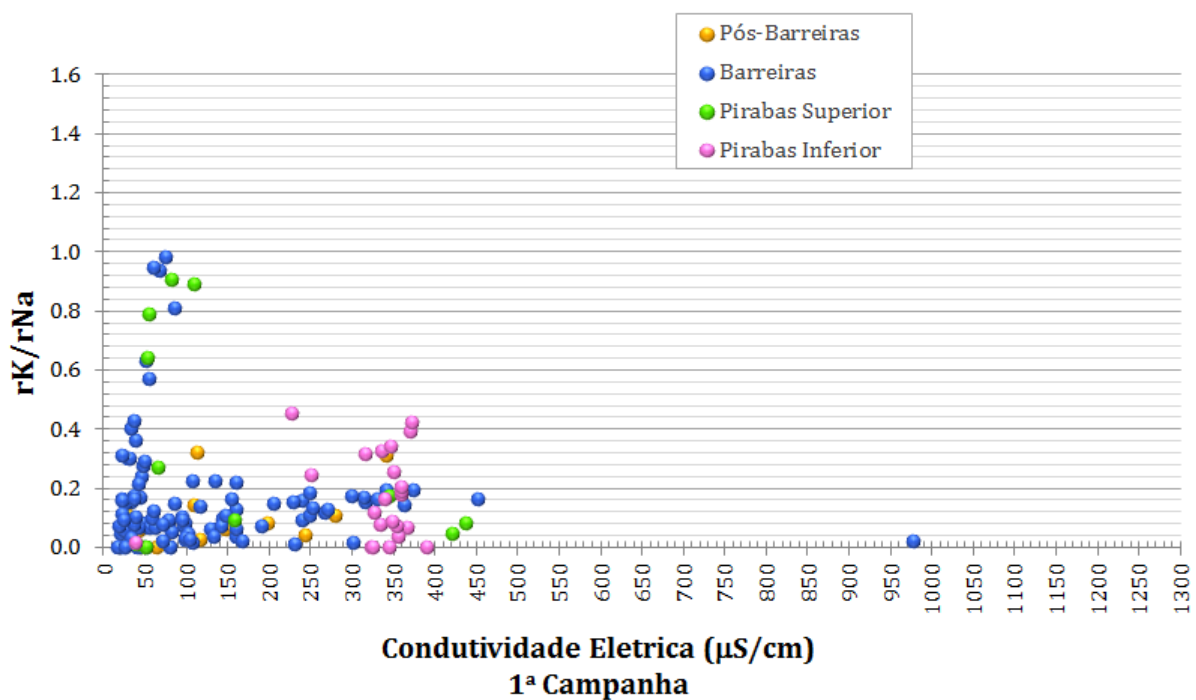


Figura 27 – Razão rK/rNa para as amostras na primeira campanha.

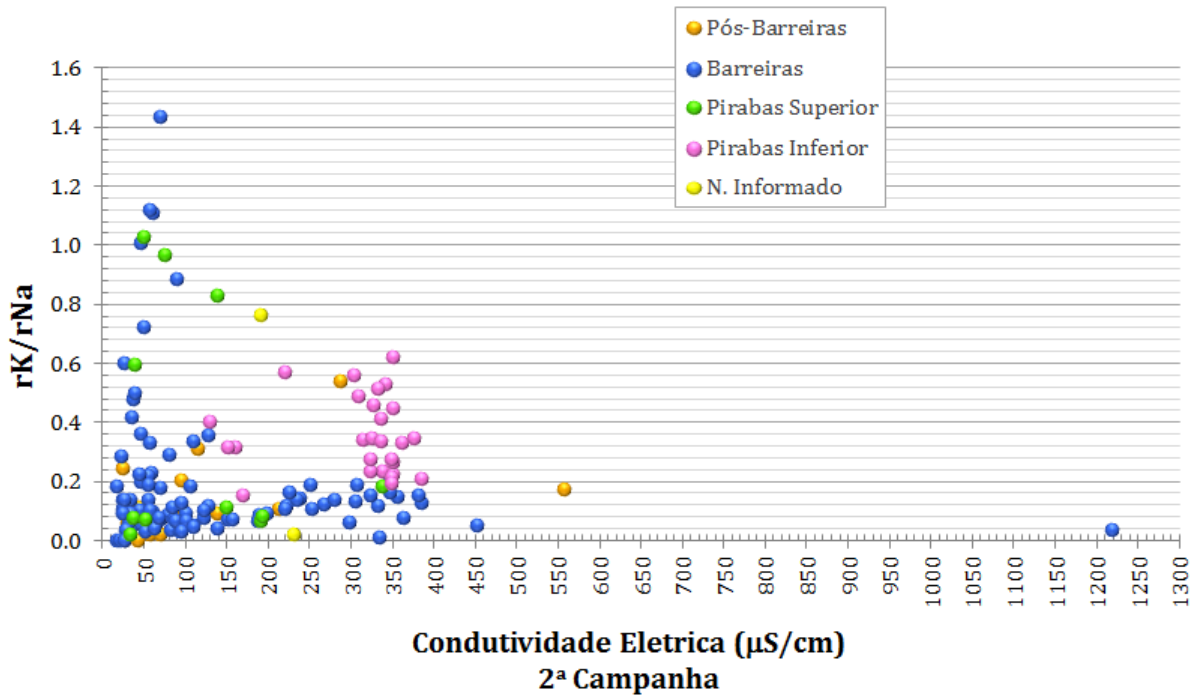


Figura 28 – Razão rK/rNa para as amostras na segunda campanha.

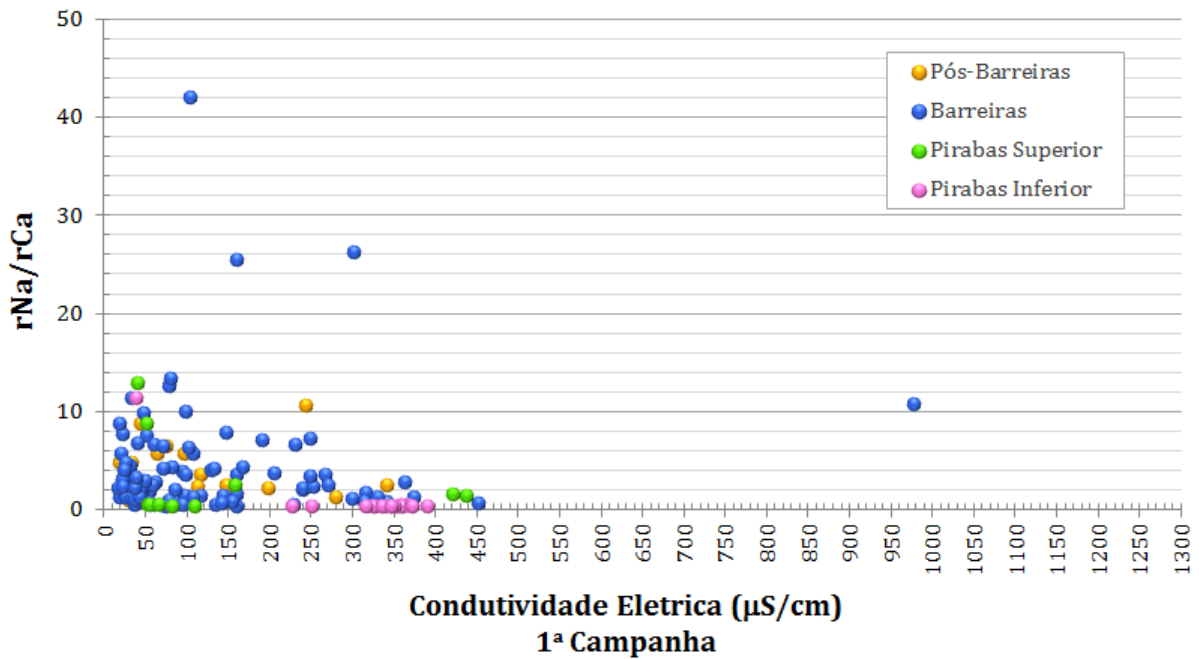


Figura 29 – Razão rNa/rCa para as amostras na primeira campanha.

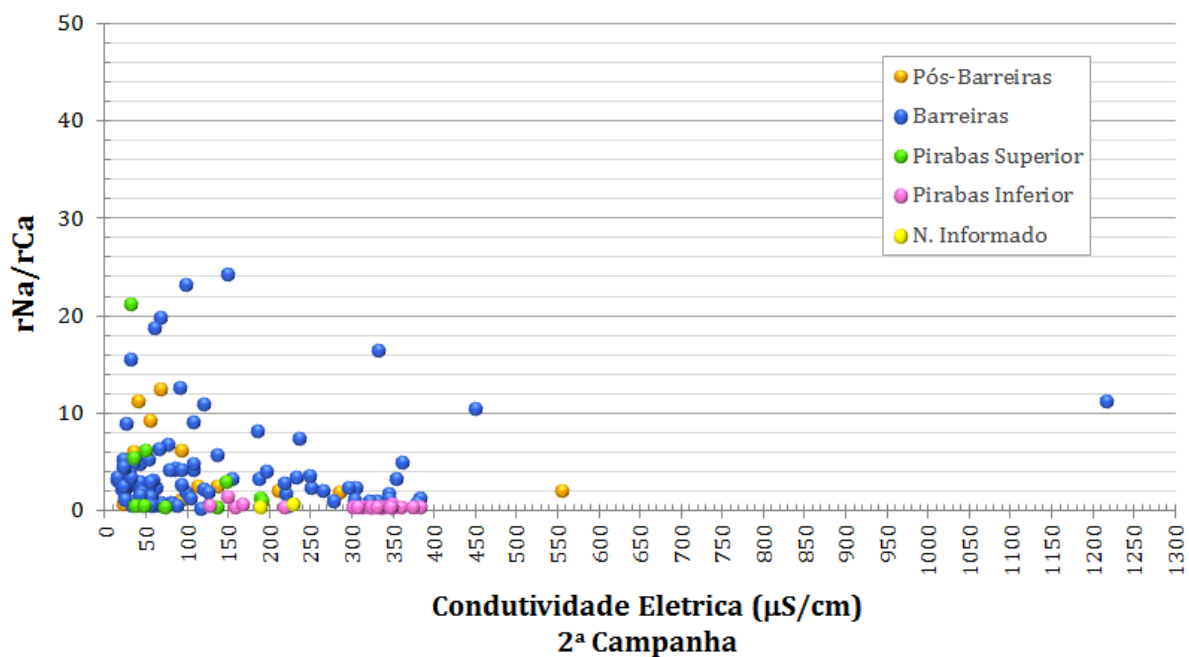


Figura 30 – Razão rNa/rCa para as amostras na segunda campanha.

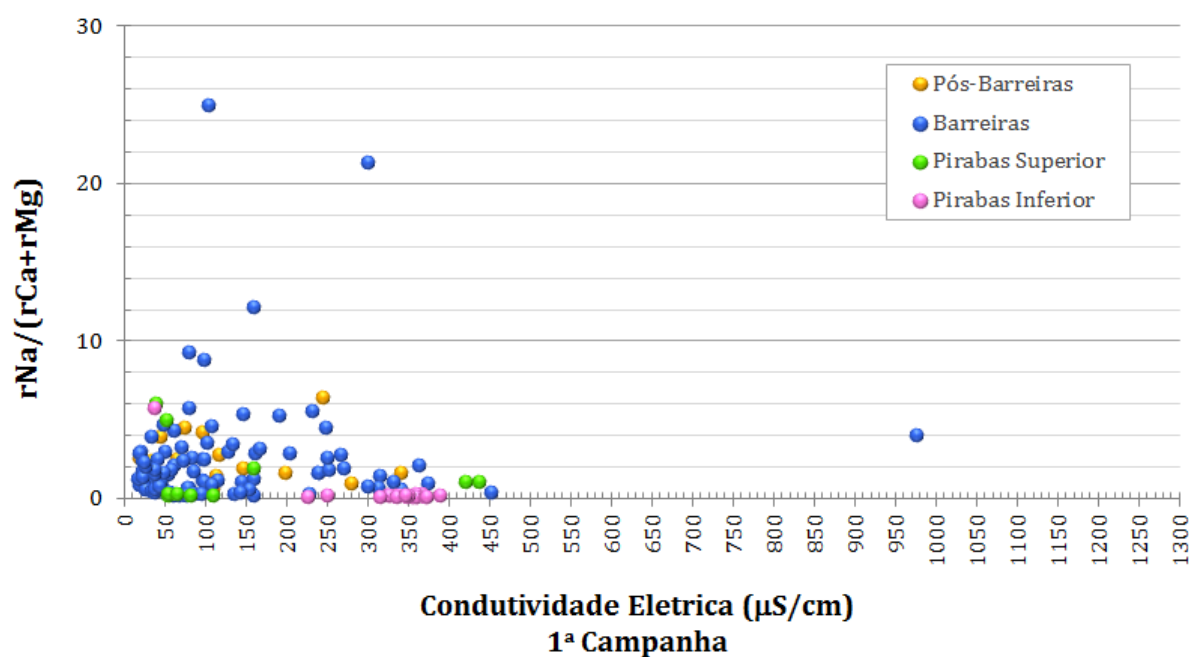


Figura 31 – Razão $rNa/(rCa + rMg)$ para as amostras na primeira campanha.

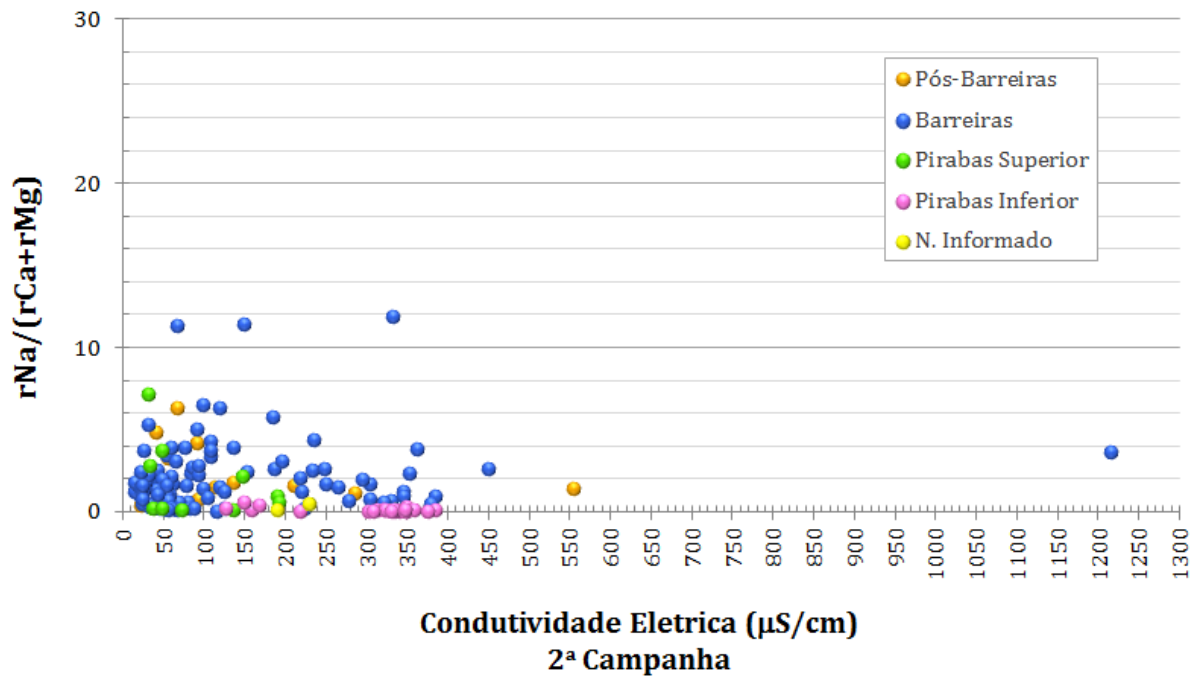


Figura 32 – Razão $r\text{Na}/(r\text{Ca} + r\text{Mg})$ para as amostras na segunda campanha.

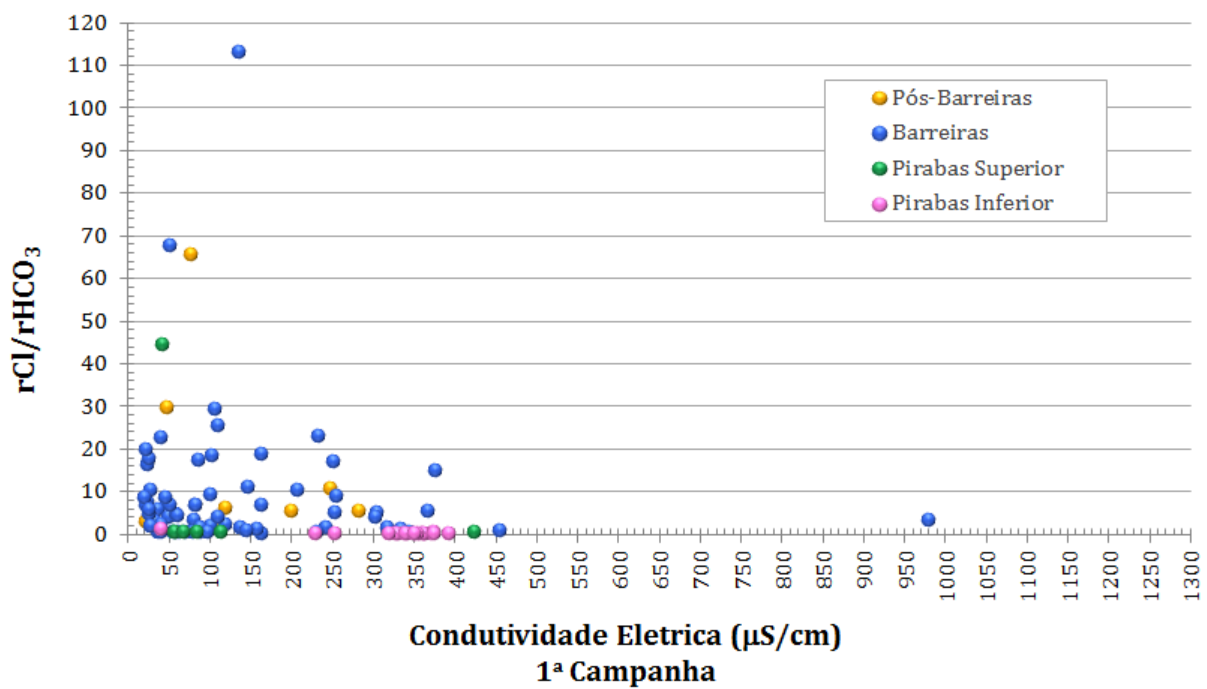


Figura 33 – Razão $r\text{Cl}/r\text{HCO}_3$ para as amostras na primeira campanha.

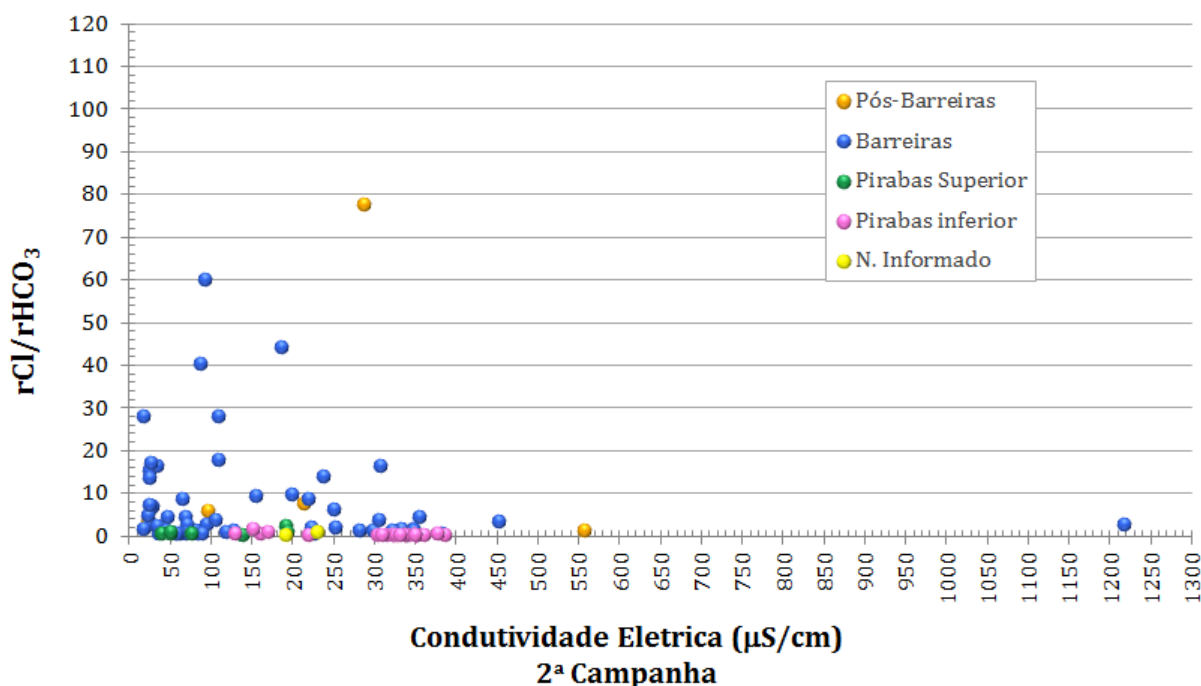


Figura 34 – Razão $rCl/rHCO_3$ para as amostras na segunda campanha.

O Índice de Troca de Bases (ITB) permite avaliar o grau de troca iônica ocorrido na água, com base nas relações entre os seus íons. O ITB foi calculado pela razão entre as concentrações de metais alcalinos e ânions principais, conforme equação:

$$ITB = \frac{rCl - r(Na + K)}{r(SO_4 + HCO_3 + NO_3)}$$

Os valores de ITB variam de -1,09 a +3,32 para as amostras de água da área de estudo da primeira campanha, e de -0,89 a +2,11, para as amostras da segunda campanha.

A maioria das amostras (80% e 76% - 1ª e 2ª campanhas, respectivamente) apresenta valores entre 0 e -0,5 (Figura 35 e Figura 36); dentre estas, algumas estão relacionadas à maior concentração do íon HCO_3 , principalmente do Aquífero Pirabas Inferior, outras, porém, estão relacionadas à maior concentração de nitrato, geralmente amostras do Aquífero Barreiras. Predominam também valores negativos (89% e 76% - 1ª e 2ª campanhas, respectivamente) devido às maiores concentrações de sódio em relação ao cloreto.

Amostras que aparecem com valores positivos de ITB têm influência maior do íon cloreto, o que pode estar associado à contaminação antrópica. Observa-se na Figura 35 e na Figura 36 que não há diferenças significativas nos resultados de ITB para as amostras analisadas; os valores não apresentam grandes mudanças mesmo quando se comparam os

aquíferos, ou quando se comparam as campanhas de amostragens; é possível notar que apenas uma amostra (P113) se destaca com valor mais elevado, porém esta amostra possui baixa condutividade elétrica, o que pode influenciar no resultado.

O risco de sodificação do solo pelo uso da água de irrigação é avaliado utilizando-se o índice de Razão de Adsorção de Sódio (SAR), obtido pela equação abaixo (Richards, 1954).

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

Onde: Na é a concentração de sódio (meq/L); Ca é a concentração de cálcio (meq/L) e Mg é a concentração de magnésio (meq/L)

As argilas presentes nos solos podem absorver o sódio presente na água de irrigação, causando seu endurecimento e impermeabilização. A quantidade de sódio prejudicial é estabelecida em função dos teores conjuntos de cálcio e magnésio, através de troca catiônica. O Departamento de Agricultura Norte-americano propõe uma classificação de risco para as águas, sendo:

SAR <10 = risco baixo;

SAR de 10 a 18 = risco médio;

SAR de 18 a 26 = risco forte

SAR >26 = risco muito forte.

Nas amostras analisadas (Figura 37 e Figura 38) todas possuem valores de SAR até 10, ou seja, classificadas como de risco baixo, sendo águas de qualidade para irrigação, de acordo com a classificação do Departamento de Agricultura Norte-americano.

Na primeira campanha de amostragem, os valores de SAR para amostras do Aquífero Pós Barreiras variam de 0,3 a 4,3, predominando valores menores que 2 (~94%). No Aquífero Barreiras, os valores estão entre 0,1 e 10, com aproximadamente 78% das amostras com valores abaixo de 2; as amostras P14, P100 e P126, com valores mais altos para SAR (6,7, 9,8 e 10 respectivamente), possuem concentrações elevadas de sódio (131 mg/L, 44,2

mg/L e 54,4 mg/L, respectivamente). No Aquífero Pirabas Superior, os valores de SAR estão entre 0,1 e 2, e no Aquífero Pirabas Inferior variam de 0,1 a 1,6.

Na segunda campanha de amostragem, no Aquífero Pós Barreiras as amostras têm valores de SAR entre 0,18 a 2,34, predominando valores menores que 2 (~87%). No Aquífero Barreiras, os valores estão entre 0 e 7,4, com aproximadamente 75% das amostras com valores abaixo de 2; as amostras P14 e P52, com valores mais altos para SAR (6,7, e 7,4, respectivamente), possuem concentrações elevadas de sódio (144 mg/L e 53,6 mg/L, respectivamente). No Aquífero Pirabas Superior, os valores de SAR estão entre 0,1 e 1,7, e no Aquífero Pirabas Inferior variam de 0,1 a 0,6.

Não houve diferenças significativas dos valores de SAR entre as duas campanhas de amostragem. A amostra P100 foi coletada apenas na primeira campanha, a amostra P52 apresentou aumento na concentração de sódio na segunda campanha, possivelmente relacionada a contaminação.

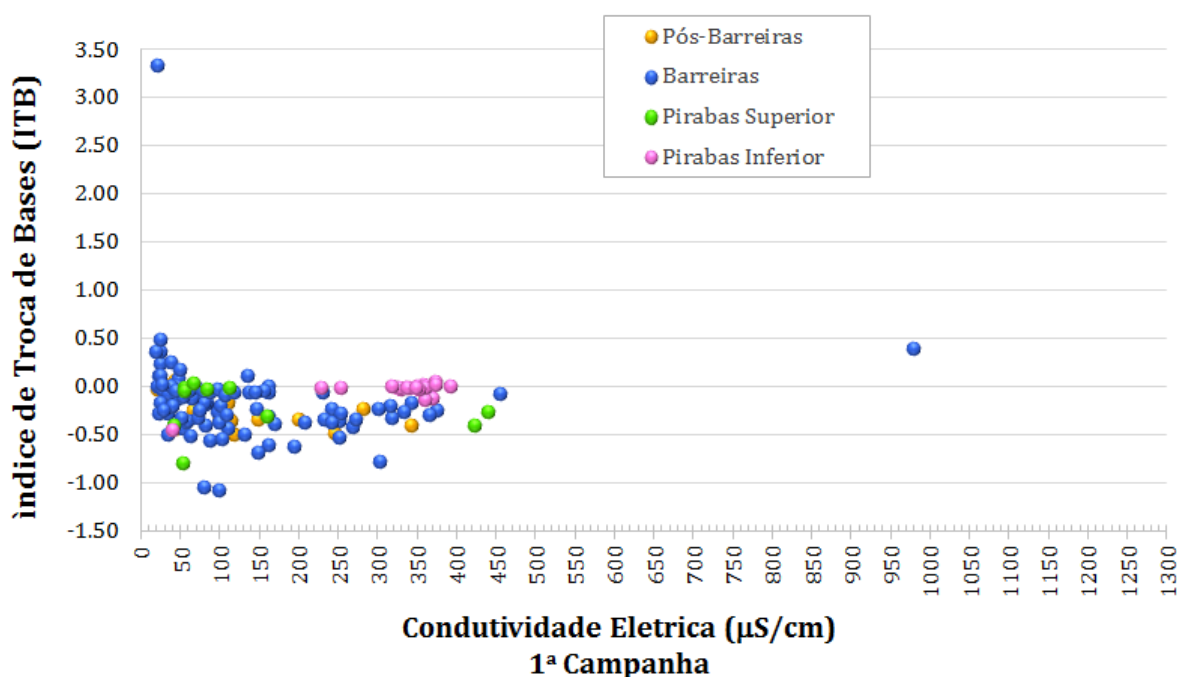


Figura 35 – Índices de Troca de Bases para as amostras na primeira campanha.

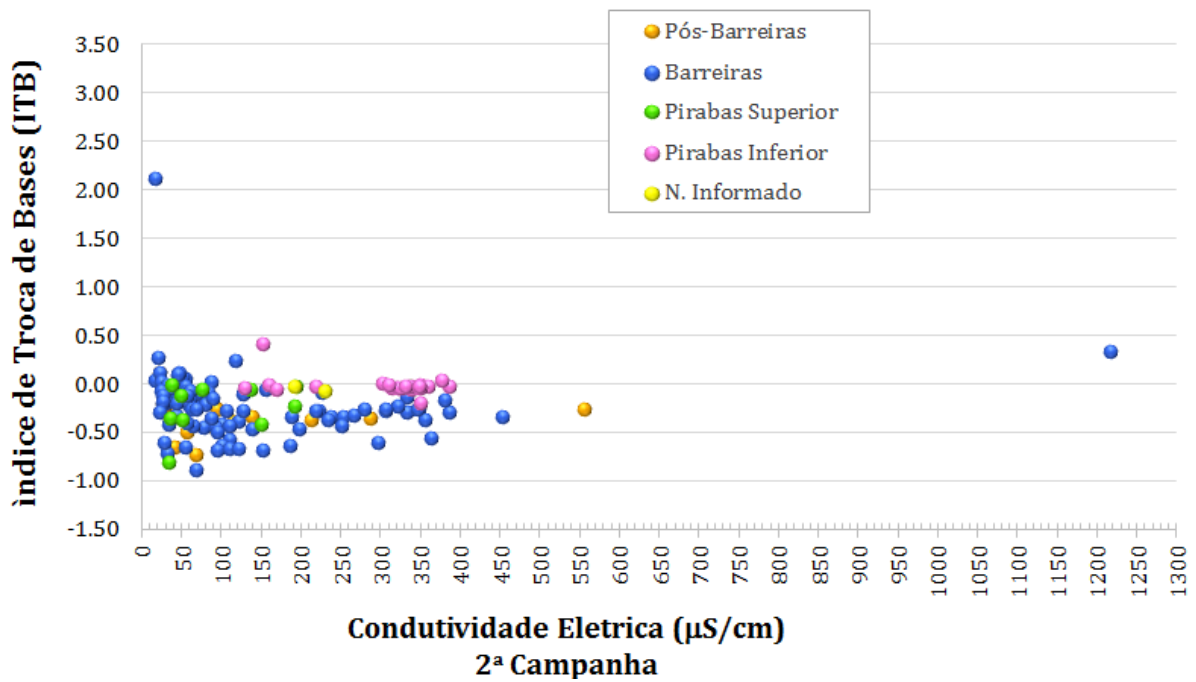


Figura 36 – Índice de Troca de Bases para as amostras na segunda campanha.

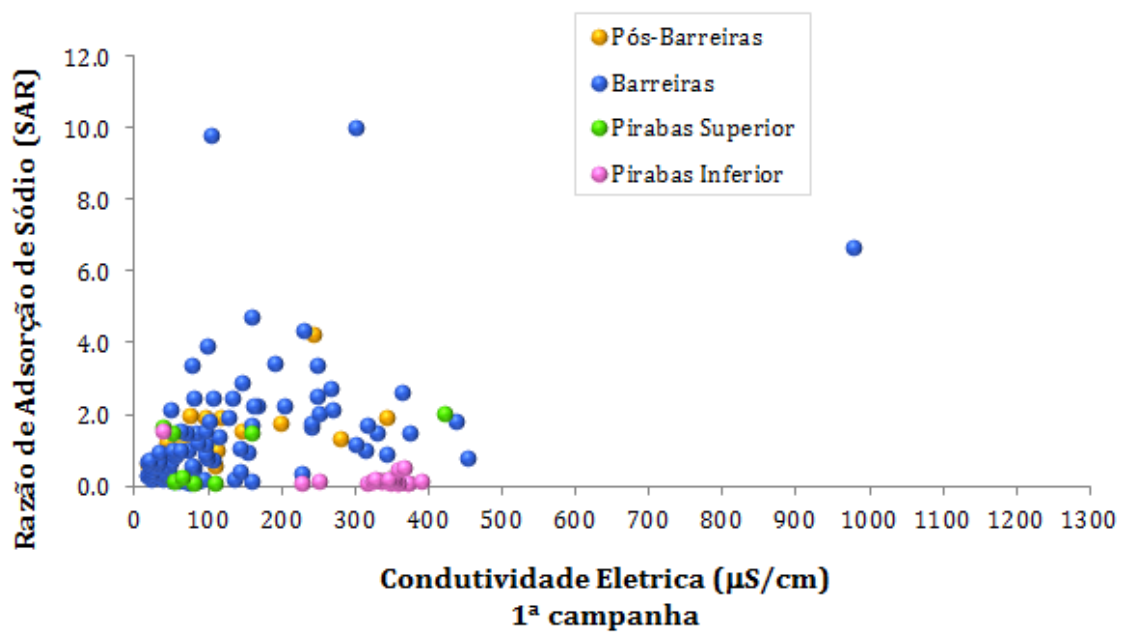


Figura 37 – Razões de Adsorção de Sódio para amostras na primeira campanha.

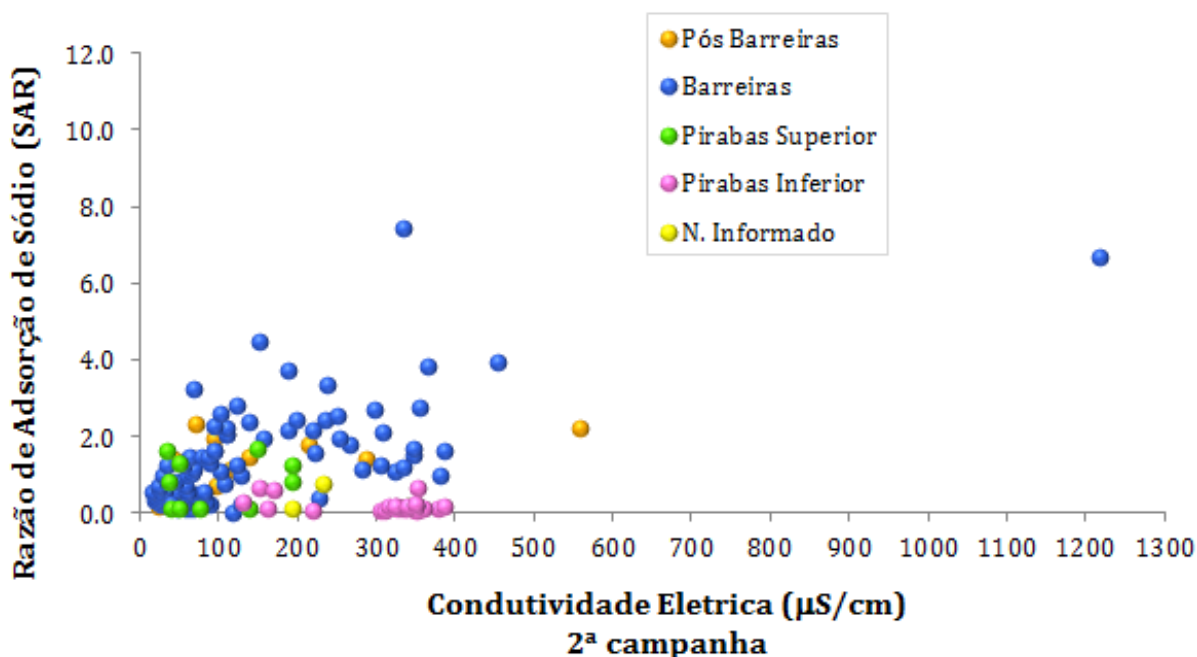


Figura 38 – Razões de Adsorção de Sódio para amostras na segunda campanha.

2.3.6 Análise Termodinâmica

Para execução dos cálculos de especiação das fases aquosas e do estado de saturação das fases minerais foi utilizado o programa *Phreeqc*. Esse programa contém algoritmos que calculam o equilíbrio e a distribuição das espécies aquosas orgânicas e inorgânicas presentes em águas naturais. O processamento consiste na resolução de um sistema de equações que envolvem a lei de ação de massas, oxirredução e balanço de massas, segundo o modelo de associação iônica da fase aquosa. As análises químicas foram inseridas como dados de entrada no programa, em condições de pressão de 1 bar e à temperatura medida no campo. O programa foi utilizado para cálculos de especiação de íons e índice de saturação de minerais.

Para calcular a distribuição das espécies aquosas de uma dada amostra de água, a temperatura e pH específicos, são utilizadas as equações de ação e balanço de massas. Por exemplo, para a dissociação do carbonato de cálcio, a equação de ação de massas é:

$$K_{CaHCO_3^+} = \frac{m_{Ca^{2+}} \times \gamma_{Ca^{2+}} \times m_{CO_3^{2-}} \times \gamma_{CO_3^{2-}}}{m_{CaCO_3} \times \gamma_{CaCO_3}}$$

Onde m e γ são, respectivamente, a molalidade e o coeficiente de atividade da espécie subscrita, e K é a constante de dissociação da espécie subscrita. A equação de balanço de massa é:

$$m_{i,t} = \sum_l^j n_{i,j} m_j$$

Onde $m_{i,t}$, $n_{i,j}$ e m_j são, respectivamente, molalidade (analítica ou total) do componente i , coeficiente estequiométrico do componente i na espécie j , e molalidade calculada da espécie j .

No cálculo de atividade das espécies dissolvidas, a atividade de cada elemento (a_i) é determinada pelo cálculo da equação:

$$a_i = m_i \gamma_i$$

Onde m_i e γ_i são, respectivamente, molalidade e coeficiente de atividade da espécie i .

O cálculo do índice de saturação (ISat), por sua vez, é efetuado por meio do logaritmo da razão entre o IAP (*ion activity product*) e o K_{sp} (produto de solubilidade).

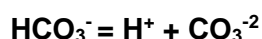
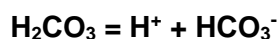
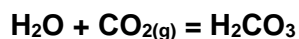
$$ISat = \log \frac{IAP}{K_{sp}}$$

Quando a razão é menor que zero, a amostra é subsaturada na fase mineral escolhida; se a razão é igual a zero, a amostra está em equilíbrio e, se maior, está supersaturada na fase mineral escolhida (NORDSTROM, 1985).

2.3.6.1 Equilíbrio em Carbonatos

Um dos principais processos que controlam o ciclo hidrogeoquímico global dos elementos é o intemperismo químico. Nesse ciclo, a água atua como reagente e agente transportador de componentes dissolvidos e particulados; a atmosfera se comporta como um reservatório de dióxido de carbono e oxidantes requeridos para a reação de intemperismo; a biota auxilia o processo de intemperismo, contribuindo com ácidos orgânicos e suprindo localmente, por decomposição, o aumento da concentração de CO_2 (STUMM, 1992).

O ácido carbônico é formado pela reação do gás carbônico com as moléculas de água. A dissociação pode ocorrer em duas etapas, sendo um próton liberado em cada uma delas. Esses prótons agem nos processos de dissolução dos minerais. As reações em que há consumo de H⁺ e ao mesmo tempo concentração de CO₂ são fundamentais no controle da alcalinidade da água.



A origem do bicarbonato das amostras da área de estudo está relacionada ao gás carbônico oriundo das chuvas e do solo, podendo também estar relacionada à dissolução de carbonatos (calcita) e de feldspatos. A maioria das amostras apresenta valores baixos de alcalinidade, sendo 79% abaixo de 50 mg/L de HCO₃⁻, e estas amostras são principalmente amostras dos aquíferos Pós Barreiras e Barreiras.

Na Figura 39 e na Figura 40, assim como na Figura 41 e na Figura 42 observa-se que o índice de saturação da calcita, em relação à condutividade elétrica e pH, apresenta predominantemente condições de subsaturação para as amostras de água subterrânea dos aquíferos Pós Barreiras, Barreiras e Pirabas Superior. É possível notar também uma tendência de saturação em calcita com o aumento da condutividade elétrica e do pH.

A insaturação em calcita é característica de aquíferos em sistema aberto, em que as águas meteóricas, ácidas e de baixa condutividade elétrica, que percolam rochas de formações superficiais, infiltram-se nos aquíferos e reagem com minerais detríticos do arcabouço rochoso, tais como feldspatos. Os resultados corroboram tal constatação, uma vez que os poços amostrados nesta situação, principalmente, dos aquíferos Pós Barreiras, Barreiras e Pirabas Superior, não ultrapassam 150 m, sendo que a maioria está até 50 m de profundidade (Figura 43 e Figura 44).

As amostras que apresentam supersaturação em relação à calcita são provenientes, principalmente, do Aquífero Pirabas Inferior. Nota-se também que essas amostras supersaturadas possuem maior salinidade e pHs mais elevados. A amostra P03 (principalmente na primeira amostragem – Aquífero Pirabas Inferior) e P98, Rimas 4, Rimas 5 e Rimas 6 (Aquífero Pirabas inferior) apresentam subsaturação, diferenciando-se das

demais deste aquífero o que se deve possivelmente à mistura de águas de mais de um aquífero.

No geral, não houve mudanças significativas nas duas campanhas de amostragem. Os índices de saturação encontram-se nos ANEXOS X e XI, para a primeira e segunda campanhas de amostragem, respectivamente.

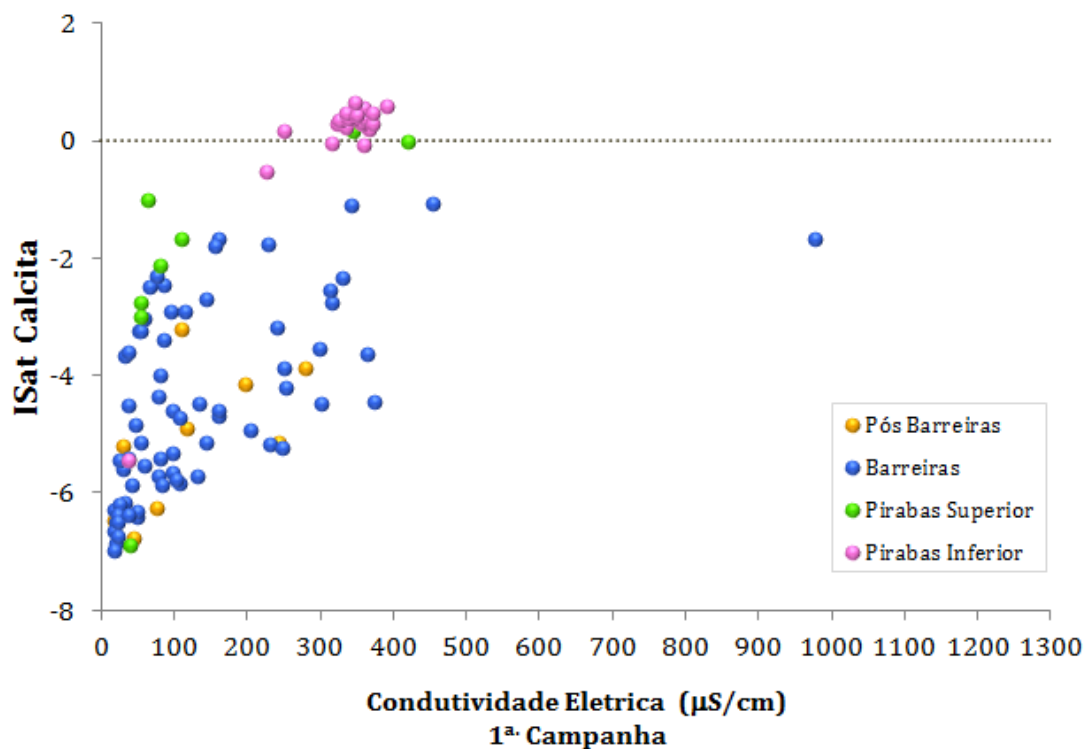


Figura 39 – Índice de saturação em relação à calcita vs. condutividade elétrica das amostras na primeira campanha.

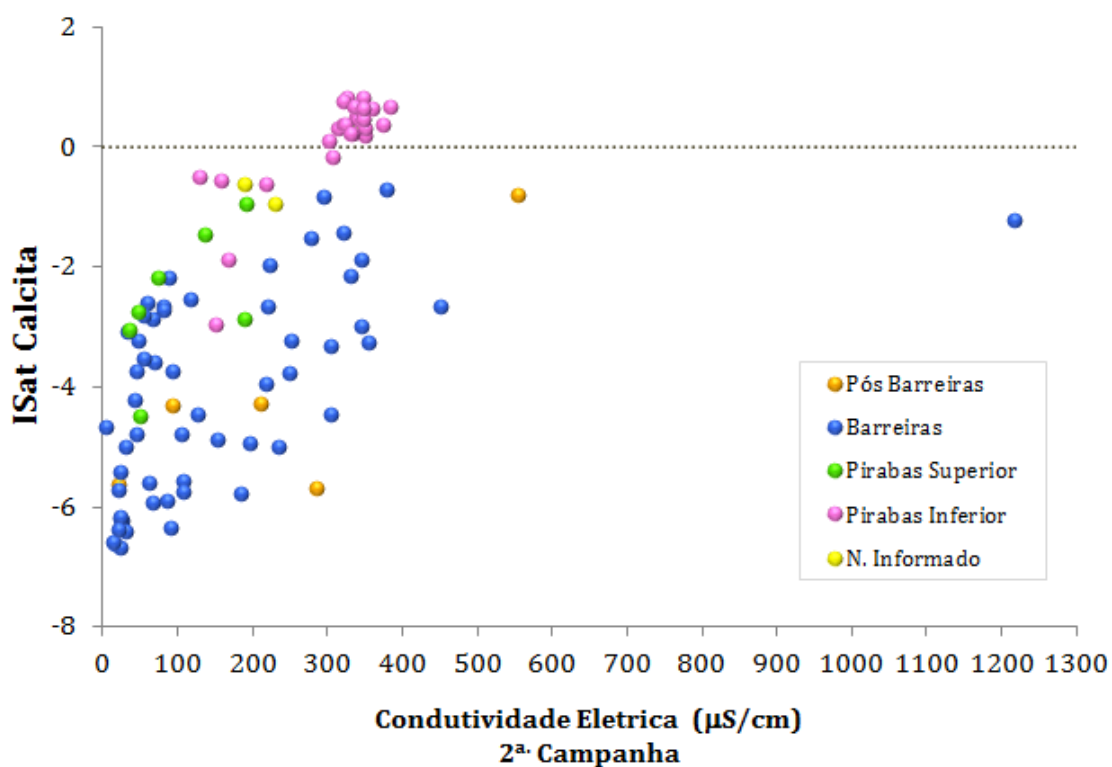


Figura 40 - Índice de saturação em relação à calcita vs. condutividade elétrica das amostras na segunda campanha.

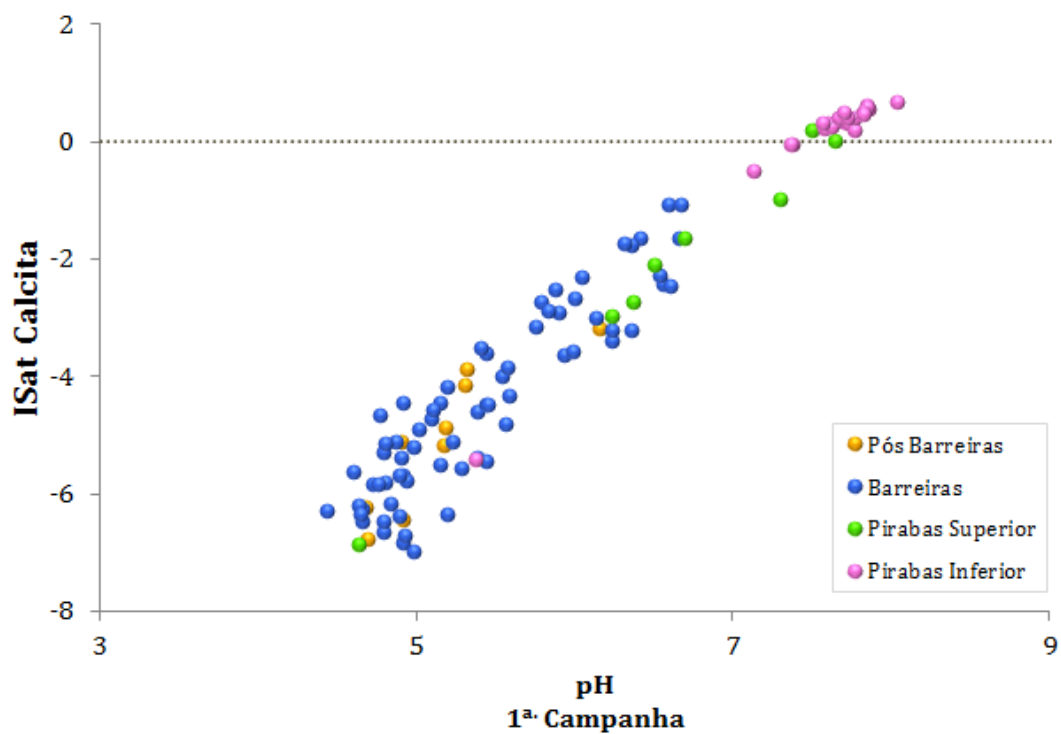


Figura 41 - Índice de saturação em relação à calcita vs. pH das amostras na primeira campanha.

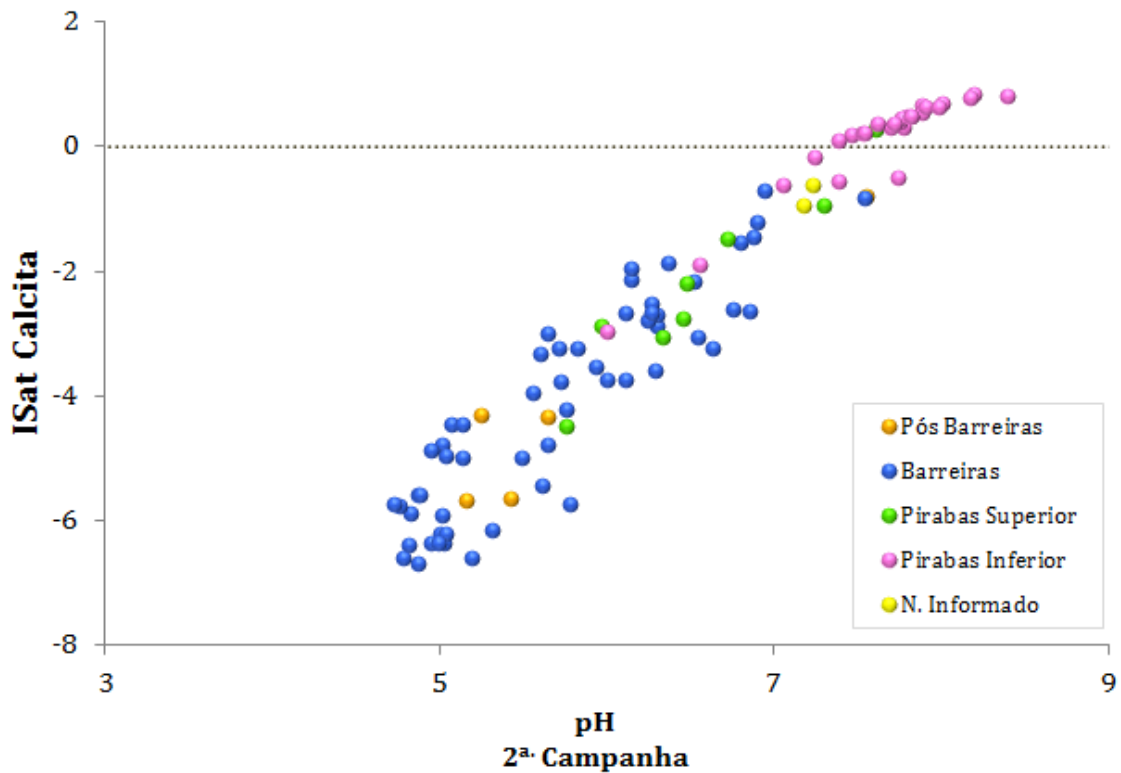


Figura 42 – Índice de saturação em relação à calcita vs. pH das amostras na segunda campanha.

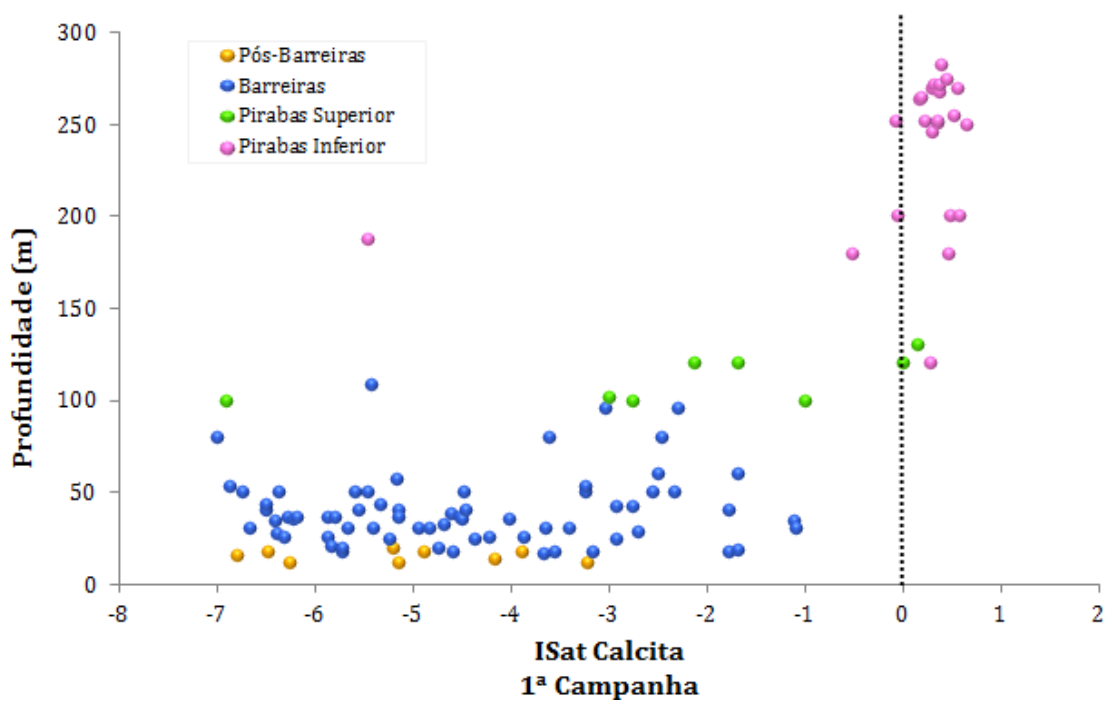


Figura 43 – Índice de saturação em relação à calcita vs. profundidade das amostras na primeira campanha.

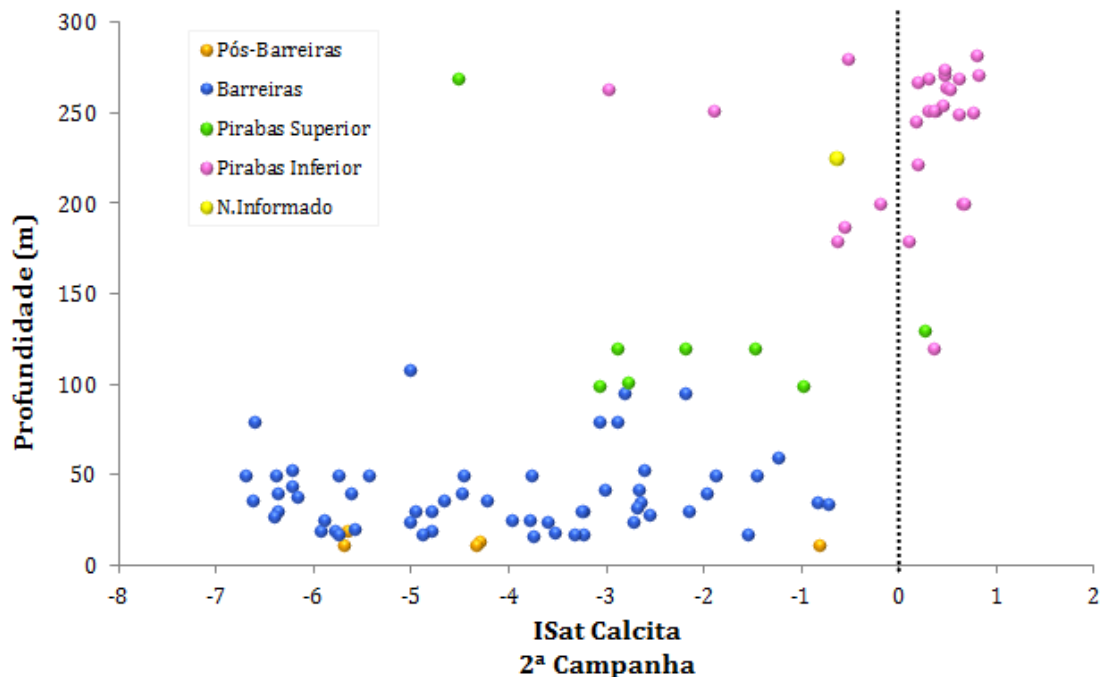
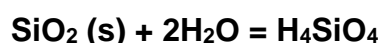


Figura 44 – Índice de saturação em relação à calcita vs. profundidade das amostras na segunda campanha.

2.3.6.2 Equilíbrio em Sílica

A maior parte da sílica dissolvida em água resulta da reação com minerais silicáticos. Esse processo é irreversível e a sílica dissolvida é controlada por fatores cinéticos nos processos de dissolução, adsorção ou precipitação eodiagenética (HEM, 1985). A concentração observada costuma ser maior que a constante de dissolução para o quartzo, e menor que a constante de dissolução da sílica amorfa, o que sugere, segundo HEM (1985), que outros processos (e não somente a dissolução do quartzo) controlam sua solubilidade, tais como a dissolução de feldspatos, os processos de adsorção, precipitação de minerais secundários e a baixa cinética das reações.

A alteração de minerais silicáticos é lenta, resultando mudanças mais graduais e menos evidentes na química da água em relação a aquíferos carbonáticos (APPELO e POSTMA, 2005). A reação cinética é simplificada na equação:



Nas águas dos aquíferos estudados pode-se observar que há predomínio de subsaturação em relação ao quartzo nas amostras dos aquíferos Pós Barreiras, Barreiras e Pirabas Superior; nas amostras principalmente do Aquífero Pirabas Inferior, a condição de

supersaturação em relação a este mineral é dominante, nas duas campanhas de amostragem (Figura 45 e Figura 46), com exceção das amostras P03 e Rimas 6, que podem ser águas mistas, como mencionado anteriormente.

Nota-se também que não há relação entre a salinidade e o índice de saturação de quartzo (Figura 45 e Figura 46); as amostras insaturadas são geralmente de poços de até 50 m de profundidade (Figura 47 e Figura 48) e com baixa concentração de sílica (< 14 mg/L); por sua vez, as amostras supersaturadas são de poços com maiores profundidades e/ou com maiores concentrações de SiO₂.

A aglomeração de valores de índice de saturação em quartzo próximo de zero (saturação), como observado na maioria das amostras, é compatível com a prevalência deste mineral no arcabouço mineralógico dos aquíferos. Em condições superficiais do aquífero, a supersaturação é frequente; entretanto, não necessariamente ocorre precipitação devido às baixas temperaturas e ao fluxo contínuo de águas subterrâneas. Ou seja, as condições de supersaturação das amostras não implicam em precipitação de sílica (BJORLYKKE e EGEBERG, 1993).

Entre as duas campanhas de amostragens não houve mudanças expressivas na maioria das amostras. Os índices de saturação encontram-se nos ANEXOS X e XI, para a primeira e segunda campanhas de amostragem, respectivamente.

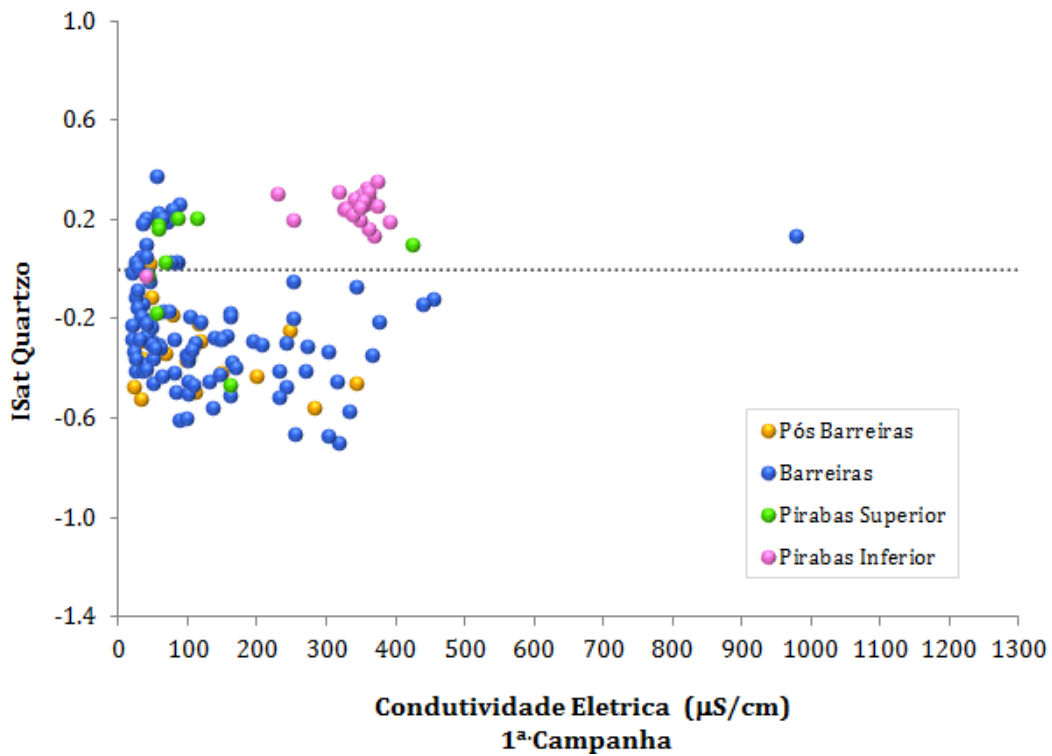


Figura 45 – Índice de saturação em relação ao quartzo vs. condutividade elétrica das amostras na primeira campanha.

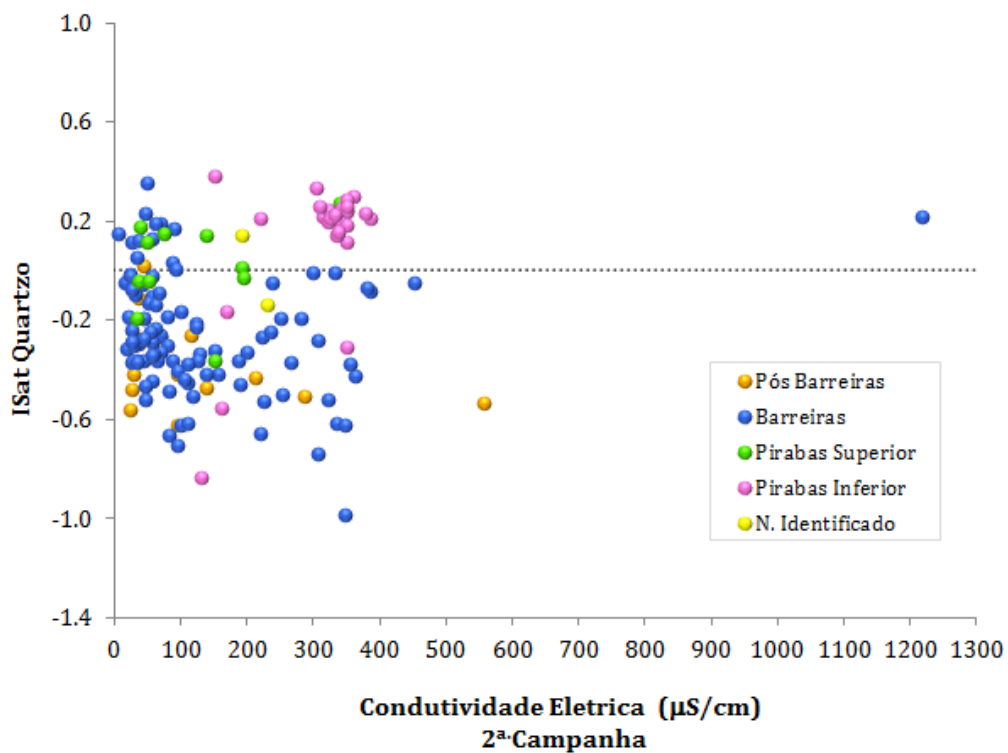


Figura 46 – Índice de saturação em relação ao quartzo vs. condutividade elétrica das amostras na segunda campanha.

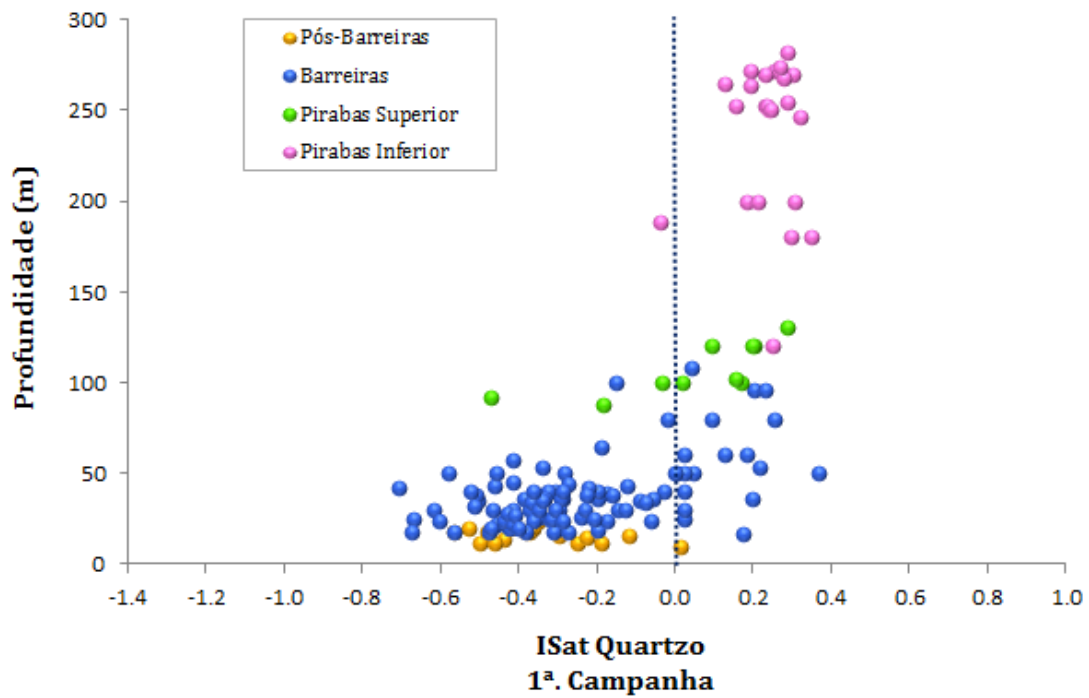


Figura 47 – Índice de saturação em relação ao quartzo vs. profundidade das amostras na primeira campanha.

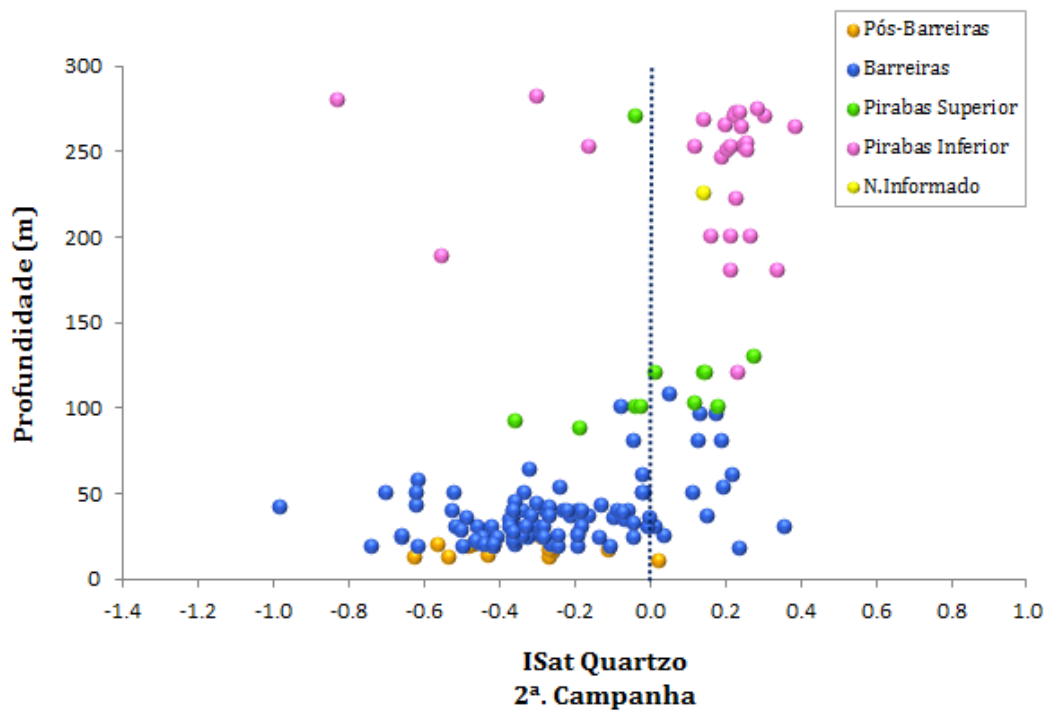


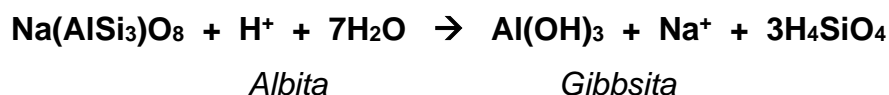
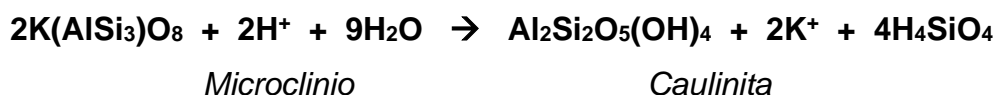
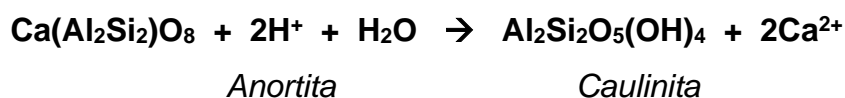
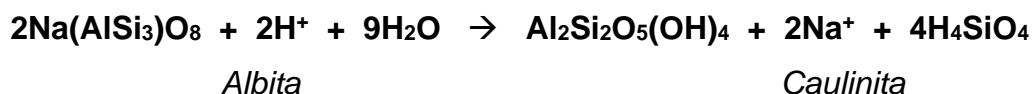
Figura 48 – Índice de saturação em relação ao quartzo vs. profundidade das amostras na segunda campanha.

2.3.6.3 Argilominerais

A origem dos argilominerais está relacionada às reações incongruentes de minerais silicáticos detríticos com a água, o que resulta na liberação de cátions, sílica e/ou bicarbonato, e formação de minerais autigênicos. A combinação das condições hidrológicas com a taxa das reações determina os produtos gerados (APPELO e POSTMA, 2005).

Nas unidades litoestratigráficas que compõem os aquíferos estudados, o arcabouço detrítico, principalmente das formações Pós Barreiras e Barreiras, é dominado por quartzo. Já a caulinita é o mineral predominantemente encontrado na matriz e/ou no cimento (PICANÇO et al., 2002; CABRAL, 2004; BARROS et al., 2005). A Figura 49, a Figura 50, a Figura 51, a Figura 52, a Figura 53 e a Figura 54 apresentam os diagramas de equilíbrio entre feldspatos e minerais de alteração, nas duas campanhas de amostragens.

As principais reações de transformação de feldspatos em argilominerais são representadas pelas equações (APPELO e POSTMA, 2005):



Nos diagramas de equilíbrio NaO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O e CaO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O (Figura 49, Figura 50, Figura 51 e Figura 52); as amostras coletadas na área de estudo estão, predominantemente, dentro do campo de estabilidade da caulinita, a hidrólise total ou parcial libera cálcio, sódio, potássio e ácido silícico, que conduzem as águas subterrâneas ao equilíbrio com a caulinita.

Nota-se que as amostras do Aquífero Pirabas Inferior, que tendem a se aproximar do campo de estabilidade da montmorilonita para o íon cálcio (Figura 51 e Figura 52), são as que possuem concentrações maiores de cálcio em suas águas; com o aumento de cálcio disponível, as águas tendem a evoluir para uma situação de equilíbrio com as montmorilonitas cálcicas.

Algumas amostras estão situadas dentro do campo de estabilidade da gibsita (Figura 49 e Figura 50); são amostras provenientes principalmente dos aquíferos Pós Barreiras e Barreiras, que possuem baixa concentração de sílica, menores que 5 mg/L; o que implica baixo conteúdo de H_4SiO_4 ; no gráfico da Figura 45 e da Figura 46, essas amostras aparecem insaturadas em relação ao quartzo.

No diagrama de estabilidade $K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ (Figura 53 e Figura 54), as amostras também estão situadas no campo de estabilidade da caulinita, o que pode indicar processo de hidrólise com origem a partir da alteração total do feldspato potássico. A amostra P44 (2ª campanha) está situada dentro do campo de estabilidade da gibsita. Essa amostra mostrou menor concentração de sílica entre uma campanha e outra (2,63 mg/L para 1,39 mg/L), o que implica na diminuição do valor de H_4SiO_4 . Observa-se também que essa amostra se situa próxima à linha limite dos campos caulinita/gibsita na primeira campanha.

Não existem diferenças expressivas nos campos de estabilidade para as amostras coletadas, pois a mesma tendência de distribuição permanece nas duas campanhas de amostragens.

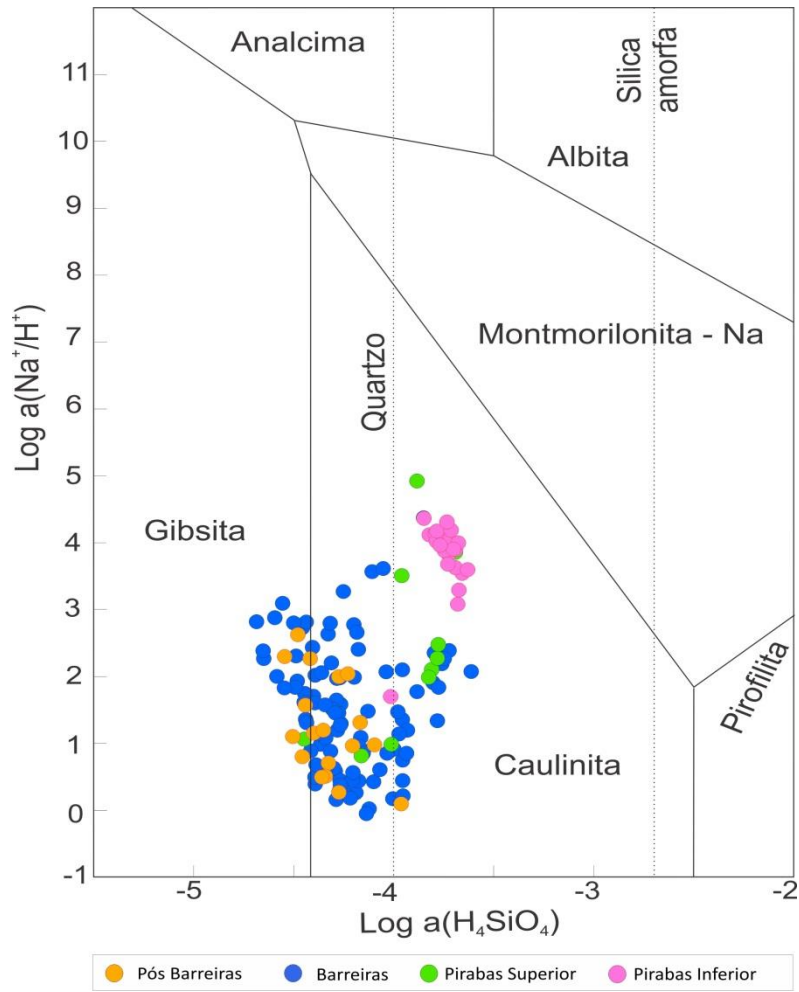


Figura 49 – Diagrama de estabilidade NaO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O (25°C) na primeira campanha.

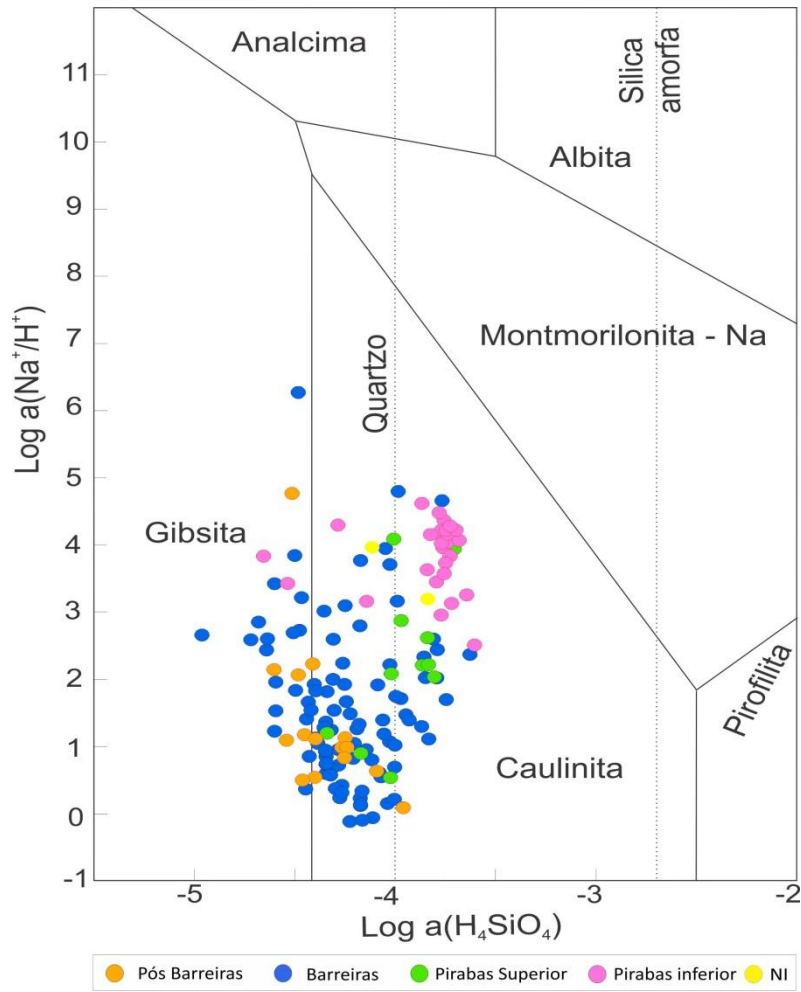


Figura 50 – Diagrama de estabilidade NaO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O (25°C) na segunda campanha.

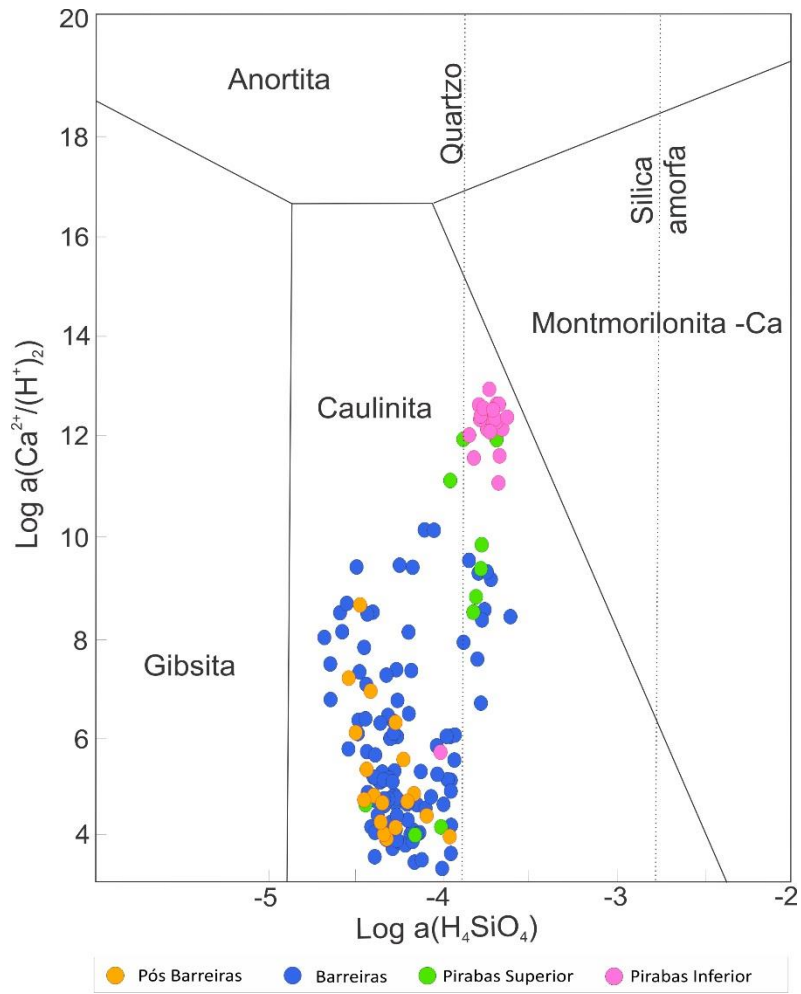


Figura 51 – Diagrama de estabilidade CaO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O (25°C) na primeira campanha.

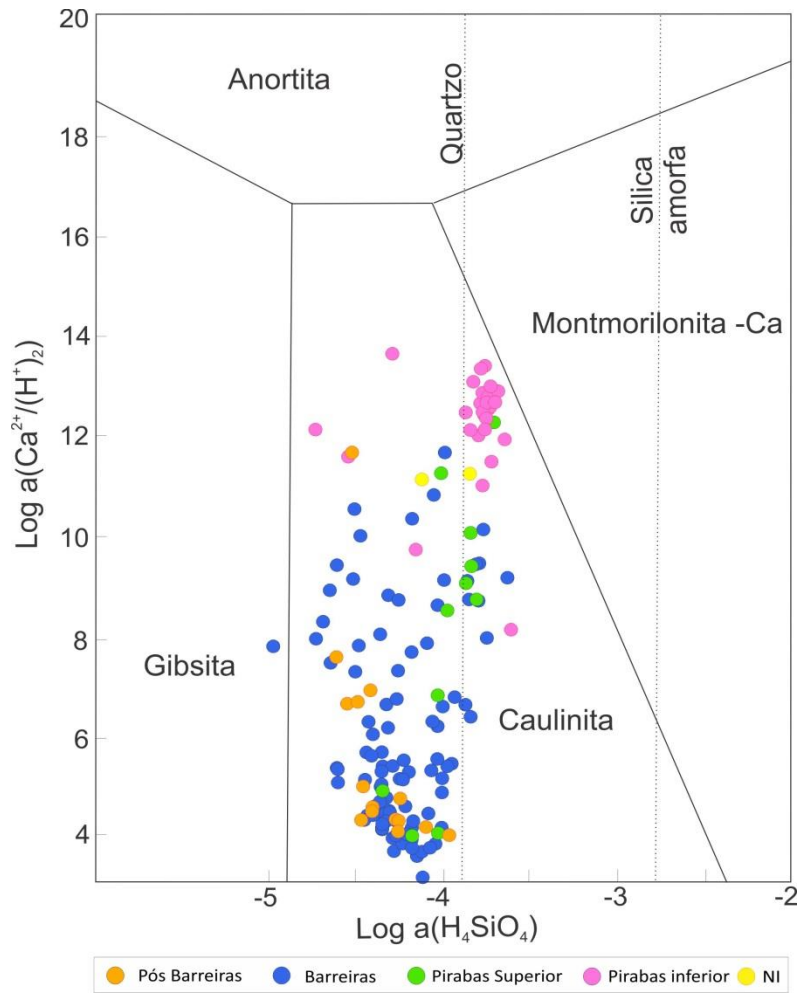


Figura 52 – Diagrama de estabilidade CaO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O (25°C) na segunda campanha.

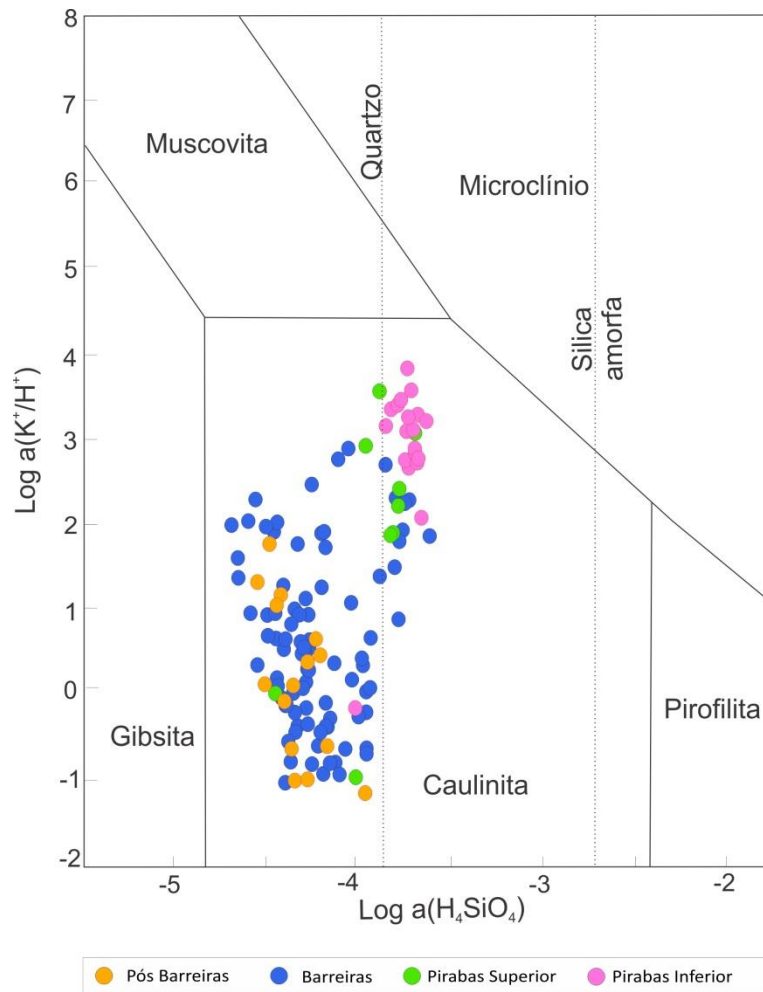


Figura 53 – Diagrama de estabilidade K₂O-Al₂O₃-SiO₂-H₂O (25°C) na primeira campanha.

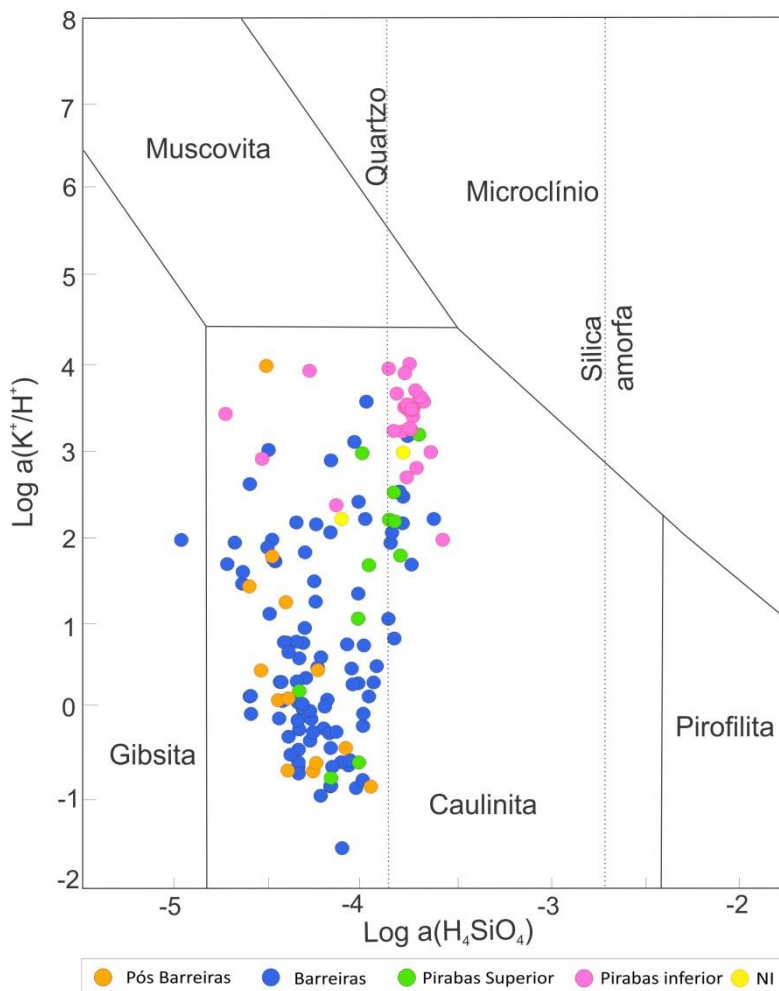


Figura 54 – Diagrama de estabilidade $K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ (25°C) na segunda campanha.

2.4 ZONEAMENTO HIDROGEOQUÍMICO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO

Os resultados dos principais parâmetros físico-químicos obtidos neste estudo foram analisados quanto à sua distribuição espacial por meio de mapas de isovalores gerados pelo programa *ArcGis*. Foi utilizada a maioria das amostras coletadas na área de estudo dos aquíferos Pós Barreiras, Barreiras, Pirabas Superior e Pirabas Inferior; mesmo no caso dos aquíferos Pós Barreiras e Pirabas Superior, cujos números de amostras não seriam indicados para interpolação dos valores, foram gerados os mapas para possíveis comparações entre os aquíferos e as campanhas de amostragens. Para os aquíferos Pós Barreiras, Pirabas Superior e Pirabas Inferior, áreas menores foram delimitadas para que evita-se exageros na interpolação dos valores.

Algumas amostras não foram utilizadas para interpolação dos mapas de isovalores para não influenciarem nos resultados, uma vez que foram coletadas apenas em uma das campanhas de amostragem.

As amostras P24 (Pós-Barreiras), P43 (Pós-Barreiras), P49 (Pós-Barreiras), e P130 (Barreiras) (1a campanha) não foram utilizadas, pois o acesso não foi permitido e/ou o poço estava desativado na segunda campanha; a amostra P100 também foi descartada, uma vez que na segunda amostragem houve incorporação de um processo de tratamento ao poço. O poço P69 também não foi utilizado na interpolação, pois na segunda campanha estava desativado, tendo sido amostrado um outro poço próximo, mantendo a mesma identificação, porém com mudanças nas coordenadas, profundidade e aquífero amostrado (Barreiras para Pirabas Inferior). As amostras RED21, NAZ39 e as amostras RIMAS 1, 4, 5, 6 e 7 (5º 1 (Pentágono); Mosqueiro 3 (Murubira); Icoaraci_Souza Franco; Icoaraci_Paracuri II e Icoaraci_FUNASA, respectivamente) não foram usadas, pois foram coletadas somente na 2ª campanha de amostragem.

Os mapas de isovalores foram elaborados com as mesmas escalas de cores para possíveis comparações. As principais concentrações iônicas estão expressas em mg/L, e a condutividade elétrica em $\mu\text{S}/\text{cm}$. Os parâmetros analisados foram: condutividade elétrica, STD, pH, alcalinidade (HCO_3), sódio, cálcio, cloreto, nitrato, sulfato, ferro e manganês.

As condutividades elétricas variam de 5,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 979 $\mu\text{S}/\text{cm}$ nas amostras de água da primeira campanha de amostragem, e de 16,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 1218 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na segunda campanha (ANEXO XII – Figura i), sendo que o Aquífero Barreiras apresentou o menor e o maior valor deste parâmetro. Os valores de CE médios (primeira e segunda campanhas, respectivamente) variam de 107,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 122,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no Aquífero Pós Barreiras, de 128,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 135,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no Aquífero Barreiras, de 140,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 118,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no Aquífero Pirabas Superior e de 328,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 315,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no Aquífero Pirabas Inferior.

Nos aquíferos Pós Barreiras e Barreiras os maiores valores de condutividade elétrica estão distribuídos na porção oeste da área de estudo (ANEXO XII – Figura i), enquanto que no Aquífero Pirabas Superior os maiores valores estão na porção sudoeste. Nota-se também que o Aquífero Pirabas Inferior apresenta os maiores valores para este parâmetro, com predomínio de CE acima de 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$, com destaque para a amostra P03 (Poço RIMAS – COSANPA/5º Setor/FEMAC – Aquífero Pirabas Inferior) que apresentou CE de 161 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 40,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (primeira e segunda campanhas, respectivamente); possivelmente neste poço há mistura de água de mais de uma unidade aquífera. A amostra P70 (Poço particular – Bairro Marco /Belém – Aquífero Pós Barreiras) apresenta valores diferentes nas duas campanhas (246 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 557 $\mu\text{S}/\text{cm}$), devido principalmente ao aumento da concentração de nitrato na

segunda campanha de amostragem, possivelmente causada por alguma contaminação antrópica.

Resultado anômalo foi observado no ponto P14 (Posto de combustível – Bairro Pedreira/Belém – Aquífero Barreiras), na porção sudoeste da área, com condutividade elétrica de 979 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 1218 $\mu\text{S}/\text{cm}$ nas duas campanhas, devido principalmente às altas concentrações de cloreto e sódio. Com exceção dessas amostras, é possível observar nos mapas do ANEXO XII - Figura i a mesma tendência de distribuição de condutividade elétrica nas duas campanhas de amostragem.

Os valores de sólidos totais dissolvidos variam de 14,1 mg/L a 574 mg/L na primeira campanha de amostragem, e de 12,7 mg/L a 692 mg/L na segunda campanha (ANEXO XII – Figura ii), com médias (primeira e segunda campanhas, respectivamente) entre 61,9 mg/L e 75,4 mg/L para o Aquífero Pós Barreiras; 86,8 mg/L e 87,3 mg/L para o Aquífero Barreiras; 126,3 mg/L e 99,1 mg/L para o Aquífero Pirabas Superior; e 301,4 mg/L e 290,7 mg/L para o Aquífero Pirabas Inferior.

Os aquíferos Pós Barreiras e Barreiras apresentam os menores valores e o Aquífero Pirabas Inferior os maiores valores de STD, seguindo o mesmo padrão da distribuição dos valores de condutividade elétrica.

Os pHs das amostras analisadas estão entre 4,1 e 8 na primeira campanha de amostragens, e 3,9 e 8,3 na segunda campanha (ANEXO XII – Figura iii). As médias variam (primeira e segunda campanhas, respectivamente) entre 4,8 e 4,9 para o Aquífero Pós Barreiras; 5,1 e 5,2 para o Aquífero Barreiras; 6,2 e 6,0 para o Aquífero Pirabas Superior; e 7,6 e 7,6 para o Aquífero Pirabas Inferior.

Os mapas de isovalores de pH mostram nítidas diferenças entre os aquíferos: o Aquífero Pirabas Inferior possui valores de pH acima de 7, mais alcalino que os demais aquíferos, com exceção da amostra P03 (Poço RIMAS – COSANPA/5° Setor/FEMAC – Aquífero Pirabas Inferior) ; os aquíferos Pós Barreiras, Barreiras e Pirabas Superior mostram tendência de aumento do pH na direção das bordas sudoeste e oeste.

A distribuição dos valores de alcalinidade (HCO_3) mantém correlação positiva com a distribuição dos valores pH (ANEXO XII – Figuras iii e iv). As concentrações de alcalinidade variam de 0 mg/L a 244 mg/L na primeira campanha de amostragem, e de 0 mg/L a 246 mg/L na segunda campanha, sendo que 28% (primeira campanha) e 37% (segunda

campanha) das amostras, principalmente dos aquíferos Barreiras e Pós-Barreiras, não apresentam concentração de HCO_3 , o que corrobora os valores de pH menores que 5.

Nos aquíferos Pós Barreiras e Barreiras, os menores valores de alcalinidade estão distribuídos na porção leste da área, com médias de 2 mg/L e 4,9 mg/L para o Aquífero Pós Barreiras (primeira e segunda campanhas, respectivamente) e de 11,9 mg/L e 11 mg/L para o Aquífero Barreiras (primeira e segunda campanhas, respectivamente). O Aquífero Pirabas Superior mostra uma tendência de aumento de valores de alcalinidade em direção à borda sul da área, com médias de 62,1 mg/L e 42,1 mg/L (primeira e segunda campanhas, respectivamente). Observa-se que as amostras com maiores alcalinidades estão no Aquífero Pirabas Inferior, sendo que a maioria possui concentrações de HCO_3 acima de 200 mg/L, com exceção da amostra P03 (Poço RIMAS – COSANPA/5º Setor/FEMAC – Aquífero Pirabas Inferior) (ANEXO XII – Figura iv).

Nas demais amostragens não houve diferenças expressivas dos valores de pH e alcalinidade (HCO_3) nas duas campanhas de coletas.

Os valores de sódio variam de 0,7 mg/L a 131 mg/L na primeira campanha de amostragem, e de 0 mg/L a 144 mg/L na segunda campanha, sendo o menor e o maior valores identificados nas amostras do Aquífero Barreiras. Observa-se também que em 66% das amostras possuem concentrações abaixo de 10 mg/L e em 99% não ultrapassam 50 mg/L deste íon.

Nos mapas de isovalores de sódio (ANEXO XII – Figura v) verifica-se que em todos os aquíferos há uma tendência de aumento dos valores na porção oeste e sudoeste da área de estudo. O Aquífero Barreiras mostra um predomínio de amostras com maiores concentrações deste íon na porção sudoeste, com exceção da amostra P14 (Posto de combustível – Bairro Pedreira/Belém – Aquífero Barreiras); a maioria das amostras apresenta também concentrações elevadas de nitrato, relacionadas à contaminação antrópica.

Em geral, a distribuição de sódio permanece com a mesma tendência nas duas campanhas de amostragens, não apresentando diferenças expressivas.

Os mapas de isovalores de cálcio mostram que os maiores valores ocorrem no Aquífero Pirabas Inferior (ANEXO XII – Figura vi); observa-se também que distribuição de cálcio segue a mesma tendência da distribuição da alcalinidade. Pontos anômalos aparecem no Aquífero Pirabas Superior (P147 – Poço da COSANPA – Marituba – Aquífero Pirabas

Superior), sendo possível que este poço explore água do Aquífero Pirabas Inferior. No Aquífero Pirabas Inferior, a amostra P03 (Poço RIMAS – COSANPA/5º Setor/FEMAC – Aquífero Pirabas Inferior), pode ser mistura águas de mais de uma unidade aquífera, como citado anteriormente.

Os teores de cálcio nas águas amostradas variam de 0,2 mg/L a 69 mg/L na primeira campanha de amostragens, e de 0,2 mg/L a 71 mg/L na segunda campanha, sendo que mais de 77% das amostras possuem concentrações menores que 20 mg/L e em 87% não ultrapassam 50 mg/L. A distribuição do cátion cálcio segue semelhante nas duas campanhas de amostragem.

Em geral, as águas dos aquíferos na área estudada possuem concentrações de cloreto menores que 10 mg/L (67%) e em 98% das amostras não ultrapassaram 50 mg/L. As concentrações deste íon nas águas amostradas variam de 1,5 mg/L a 234 mg/L na primeira campanha de amostragem, e de 1,4 mg/L a 265 mg/L na segunda campanha. Teores relativamente mais elevados de cloreto foram observados nos aquíferos Pós Barreiras e Barreiras, nas porções sudoeste e central da área. Os menores valores são observados nas porções leste e sul, principalmente no Aquífero Pirabas Inferior (ANEXO XII – Figura vii). Na amostra P14 (Posto de combustível – Bairro Pedreira/Belém – Aquífero Barreiras) foi anotado o maior valor (265 mg/L – segunda campanha), ultrapassando o valor máximo permitido pela Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde (250 mg/L de Cl).

A maioria das amostras que apresenta concentrações mais elevadas de cloreto está provavelmente relacionada à contaminação antrópica, sendo que também apresentam elevadas concentrações de nitrato. No geral, a tendência de distribuição do cloreto segue padrão semelhante nas duas campanhas de coleta.

Os valores de nitrato variam de 0 a 101 mg/L na primeira campanha de amostragem, e de 0 mg/L a 96,8 mg/L na segunda campanha (ANEXO XII – Figura viii). Os menores valores são do Aquífero Pirabas Inferior, geralmente menores que 1 mg/L, com exceção da amostra P03 (Poço RIMAS – COSANPA/5º Setor/FEMAC – Aquífero Pirabas Inferior). Nos aquíferos Pós Barreiras e Barreiras, teores relativamente maiores ocorrem na porção sudoeste.

Alguns pontos com teores mais elevados, de 54 mg/L a 101 mg/L de NO₃ na primeira campanha (P01 (Poço Rimas – Belém), P19 (Poço particular/supermercado – Ananindeua), P64 (Poço particular/condomínio – Belém), P106 (Poço particular/serviço de

limpeza – Ananindeua), P102 (Poço particular/condomínio – Ananindeua) e P119 (Poço particular/clube – Belém) – Aquífero Barreiras; P150 (Poço particular – Marituba – Aquífero Pós-Barreiras), e de 60,8 mg/L a 115 mg/L de NO_3 na segunda campanha (P01 (Poço Rimas – Belém), P88 (Poço particular – Marituba) e P102 (Poço particular/condomínio – Ananindeua) – Aquífero Barreiras; P70 (Poço particular – Belém) e P150 (Poço particular – Marituba) – Aquífero Pós-Barreiras) ultrapassam o valor máximo permitido pela Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde (44 mg/L de NO_3), e podem estar relacionados à contaminação antrópica; nessas amostras também aparecem teores elevados de cloreto.

A mesma tendência de distribuição para o íon nitrato permanece nas duas campanhas de amostragem, com exceção do Aquífero Pós Barreiras, que na segunda campanha mostrou um aumento em direção à borda noroeste devido ao aumento da concentração de NO_3 na amostra P70 (Poço particular – Bairro Marco /Belém – Aquífero Pós Barreiras).

As concentrações de sulfato variam de 0 a 56,4 mg/L na primeira campanha de amostragem, e de 0 mg/L a 62 mg/L na segunda campanha (ANEXO XII – Figura ix), sendo predominantemente valores menores do que 10 mg/L (83%). As concentrações maiores de sulfato aparecem na porção sudoeste e oeste, principalmente dos aquíferos Pós Barreiras e Barreiras, enquanto que os menores valores são do Aquífero Barreiras e geralmente localizados na porção leste. Algumas amostras com concentrações mais elevadas deste íon apresentam também maiores concentrações de sódio, nitrato e cloreto, possivelmente ligados à contaminação antrópica. Cabe ressaltar que nenhuma amostra ultrapassa o valor máximo de sulfato permitido pela Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde (250 mg/L SO_4).

Os teores de ferro nas águas amostradas variam de 0 a 10,6 mg/L na primeira campanha de amostragem e de 0 mg/L a 8,1 mg/L na segunda campanha; aproximadamente 26% das amostras ultrapassam o valor máximo de ferro permitido pela Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde (0,3 mg/L Fe), sendo que 20% destas amostras apresentam o dobro do máximo permitido. A maioria das amostras que apresenta valores elevados de ferro também possui cor aparente que ultrapassa o limite permitido pela Portaria do MS.

Os mapas de distribuição de ferro (ANEXO XII – Figura x) mostram que no Aquífero Pós Barreiras há mudança na tendência de distribuição deste metal/íon nas duas campanhas de amostragem, devido principalmente à diminuição da concentração deste íon na amostra P68 (Poço particular – Baía do Sol /Belém – Aquífero Pós Barreiras) na segunda campanha (4,56 mg/L para 0,05 mg/L). No Aquífero Barreiras os maiores valores estão na

borda oeste da área e permanece a mesma tendência de distribuição nas duas campanhas. O Aquífero Pirabas Superior mostra uma maior concentração de ferro na borda oeste da área, sendo no poço P12 (Compar – Parque Verde /Belém – Aquífero Pirabas Superior) anotado a maior concentração deste íon. No aquífero Pirabas Inferior segue a mesma tendência nas duas campanhas de amostragem, com exceção da amostra P03 (Poço RIMAS – COSANPA/5º Setor/FEMAC – Aquífero Pirabas Inferior), que tem sua concentração de ferro diminuída na segunda campanha (3,54 mg/L para 0,85 mg/L).

Segundo Picanço et al. (2002), as unidades do Grupo Barreiras e Pós Barreiras, são as mais propícias para elevar a concentração de ferro nas águas, pois possuem condições adequadas (meio redutor e/ou ácido) e alguns minerais que podem liberar ferro em solução, porém, a Formação Pirabas, mesmo sendo a menos favorável para à liberação deste íons, pois é constituída basicamente por calcários, há minerais nesta formação como a nontronita (esmectica rica em ferro) e a pirita (sulfeto de ferro), que podem ser responsáveis pela elevação da concentração de ferro nas águas do Aquífero Pirabas.

Picanço et al. (2002), destacam-se também, que os elevados teores de ferro, depende de outros fatores que precisam ser considerados como as características químicas e físico-químicas das águas, com ênfase para o pH, o Eh e os teores de HCO_3 e CO_3 dissolvidos, além das características construtivas dos poços.

Barros et al. (2005) e Barros et al. (2003) em seus trabalhos também citam minerais como a marcassita, a magnetita e a ankerita como responsáveis pela presença de ferro nas águas do Pirabas Inferior, sendo porém necessários mais estudos petrográficos no arcabouço rochoso da Formação Pirabas que ocorrem na região de Belém.

As concentrações de manganês variam de 0 a 0,77 mg/L na primeira campanha e de 0 a 0,76 mg/L na segunda campanha de amostragens. No Aquífero Pós Barreiras os valores predominam abaixo de 0,01 mg/L, e seguem a mesma distribuição nas duas campanhas. No Aquífero Barreiras, os menores valores estão geralmente localizados na porção leste e central da área, seguindo a mesma tendência de distribuição nas duas campanhas, com exceção das amostras P73 (Indústria – Águas Lindas/Ananindeua – Aquífero Barreiras) e P85 (Transporte de madeiras – Distrito Industrial/Ananindeua – Aquífero Barreiras) que tiveram suas concentrações alteradas entre as duas campanhas.

Algumas amostras do Aquífero Pirabas Superior mostram mudanças nos valores de manganês, porém a tendência de distribuição segue a mesma nas duas

campanhas, sendo que os maiores valores estão situados na porção sudoeste da área. No Aquífero Pirabas Inferior estão as amostras com os maiores valores deste metal, geralmente acima de 0,1 mg/L, e observa-se que seguem a mesma distribuição nas duas campanhas (ANEXO XII – Figura xi).

O valor máximo de manganês permitido pela Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde (0,1 mg/L Mn) é ultrapassado em 21% das amostras analisadas. Observa-se também que a maioria das amostras com valores que ultrapassam o máximo permitido pelo MS possui valores de ferro e cor aparente elevados.

2.5 PARÂMETROS ESPECÍFICOS

Na segunda campanha de amostragem de água subterrânea de poços tubulares na região Belém (aquíferos Pós Barreiras, Barreiras, Pirabas Superior e Inferior) foram selecionados pontos de coletas de amostras para análises de alguns parâmetros específicos: metais pesados, índices de fenóis e BTEX.

2.5.1 Metais Pesados

Os metais pesados analisados são bário, níquel, zinco, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio e arsênio (Quadro 7). Para análises de metais pesados foram selecionados pontos para coleta de 31 amostras, sendo 4 amostras do aquífero Pós Barreiras, 16 do Aquífero Barreiras, 2 do Aquífero Pirabas Superior, 7 do Aquífero Pirabas Inferior e 2 de poços em que não foram identificados os aquíferos (Figura 55).

Todas as amostragens seguiram os padrões específicos para coleta e foram encaminhadas ao laboratório de Hidrogeologia e Hidroquímica, do Departamento de Geologia Aplicada do IGCE/UNESP, Câmpus de Rio Claro (SP) para as devidas análises.

Para avaliar os resultados das análises de metais pesados utilizou-se a Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde. Esta Portaria estabelece como padrão de potabilidade valor máximo de 0,7 mg/L de bário na água para consumo humano; todas as amostras analisadas até a presente data apresentam valores abaixo desse limite (entre 0,002 mg/L e 0,17 mg/L) (Quadro 7).

As concentrações de níquel encontradas nas águas analisadas da área de estudo variam de <0,003 mg/L a 0,015 mg/L (Quadro 7), sendo a maioria <0,003 mg/L (limite da técnica empregada para análise). Todas as amostras têm seus valores inferiores ao valor

máximo permitido pela Portaria do Ministério da Saúde, que é de 0,07 mg/L de níquel na água para consumo humano.

Os valores encontrados para o metal zinco variam de <0,005 mg/L a 0,088 mg/L (Quadro 7), ficando todas muito abaixo do valor máximo permitido de 5 mg/L estabelecido pela Portaria 2914/2011 do MS.

O valor máximo permitido de cádmio na água, segundo a mencionada Portaria, é de 0,005 mg/L, estando todas as amostras analisadas abaixo deste valor (Quadro 7).

Para o metal chumbo, a Portaria 2914/2011 estabelece valor máximo permitido de 0,01 mg/L; nas amostras analisadas as concentrações encontradas são todas menores que <0,005 mg/L (limite da técnica empregada para análise) (Quadro 7).

O valor máximo de cobre na água para consumo humano, segundo a mencionada Portaria, é de 2 mg/L. As amostras dos aquíferos estudados apresentam conteúdos em cobre variando entre <0,004 mg/L e 0,071 mg/L (Quadro 7), portanto todas abaixo do valor máximo estabelecido pela Portaria, sendo que 65% das amostras têm concentração deste metal < 0,004 mg/L (limite da técnica empregada).

Os valores encontrados para o metal cromo estão todos abaixo de <0,003 mg/L (limite da técnica empregada para análise) (Quadro 7), portanto menores que o valor máximo permitido para o padrão de potabilidade expresso na Portaria 2914/2011, que estabelece valor de 0,05 mg/L para este metal.

As concentrações de arsênio encontradas nas águas dos poços amostrados concentram-se entre <0,16 µg/L e 1,38 µg/L (Quadro 7); apenas uma amostra (P14 – Posto de combustível – Bairro Pedreira/Belém – Aquífero Barreiras) apresenta valor (74,3 µg/L) acima do limite estabelecido como padrão de potabilidade pela Portaria do Ministério da Saúde (10 µg/L). Cabe lembrar que esta amostra também apresentou valores anômalos para outros íons.

Em todas as amostras analisadas, as concentrações de mercúrio encontradas estão com valores inferiores a 1 µg/L (limite de quantificação) (Quadro 7), portanto inferiores ao valor máximo permitido pela Portaria do MS, que é de 0,001 mg/L de Hg.

Cabe destacar que a maioria das amostras selecionadas para análise de metais pesados – bário, níquel, zinco, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio e arsênio –,

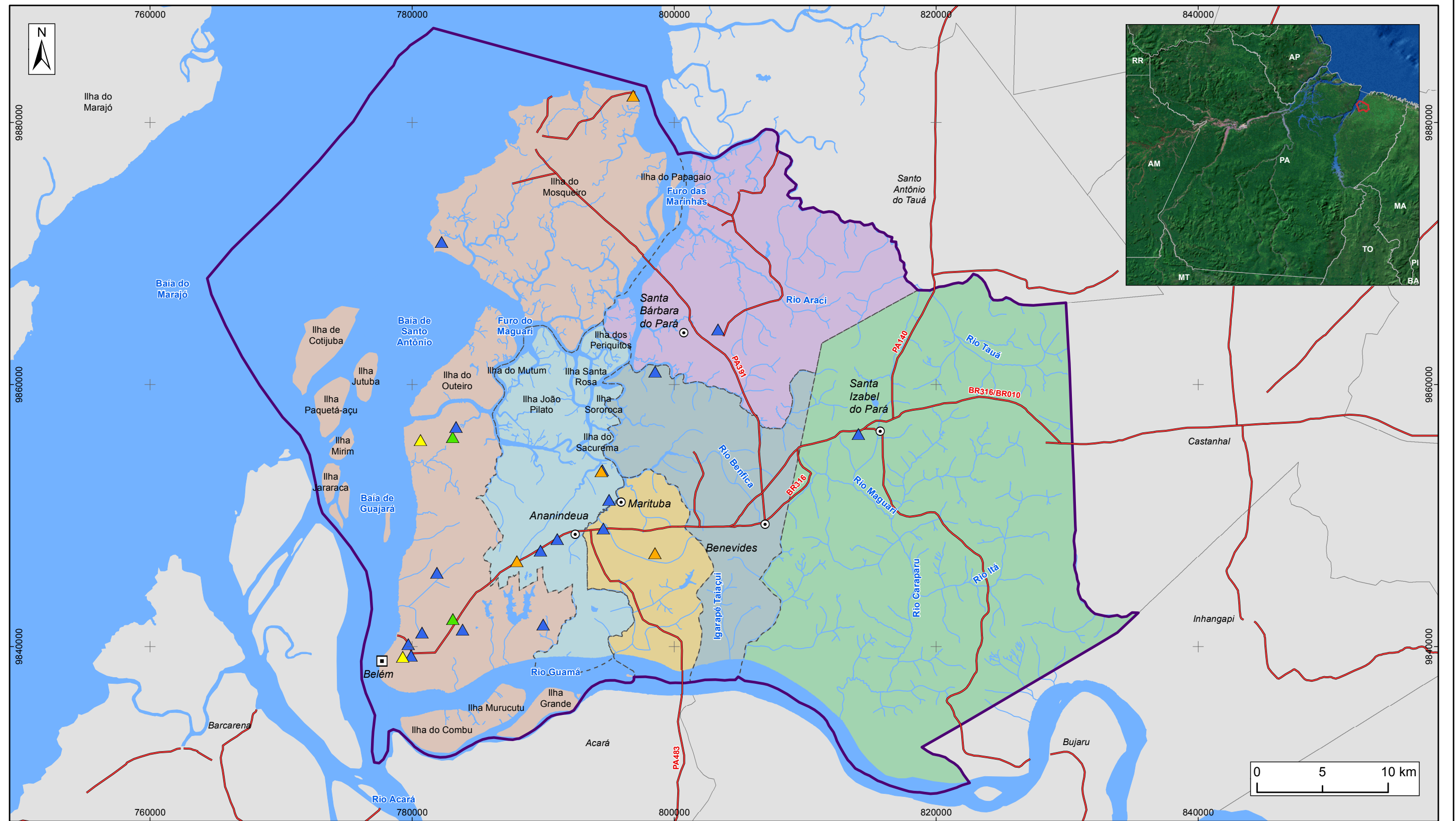
está abaixo dos respectivos valores máximos permitidos pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde.

Quadro 7 – Metais Pesados nas águas subterrâneas da área de estudo.

Nº Amostra	Aquifero	Bário (Ba)	Níquel (Ni)	Zinco (Zn)	Cádmio (Cd)	Chumbo (Pb)	Cobre (Cu)	Cromo (Cr)	Mercúrio (Hg)	Arsênio (As)
		mg/L								µg/L
P001	Barreiras	0.013	< 0.003	0.022	< 0.005	< 0.005	0.005	< 0.003	< 1	0.50
P002	Pirabas Superior	0.006	< 0.003	0.008	< 0.005	< 0.005	< 0.004	< 0.003	< 1	< 0.16
P003	Pirabas Inferior	0.066	< 0.003	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.004	< 0.003	< 1	0.22
P014	Barreiras	0.037	< 0.003	0.024	< 0.005	< 0.005	< 0.004	< 0.003	< 1	74.30
P031	Pós-Barreiras	0.004	< 0.003	0.007	< 0.005	< 0.005	< 0.004	< 0.003	ND	ND
P032	Barreiras	0.004	< 0.003	0.012	< 0.005	< 0.005	0.004	< 0.003	< 1	< 0.16
P033	Barreiras	0.007	0.003	0.027	< 0.005	< 0.005	0.011	< 0.003	< 1	< 0.16
P035	Pós-Barreiras	0.009	< 0.003	0.015	< 0.005	< 0.005	< 0.004	< 0.003	ND	ND
P037	Pirabas Inferior	0.058	< 0.003	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.004	< 0.003	< 1	< 0.16
P051	Barreiras	0.002	< 0.003	0.017	< 0.005	< 0.005	< 0.004	< 0.003	< 1	< 0.16
P052	Barreiras	0.006	< 0.003	0.006	< 0.005	< 0.005	0.009	< 0.003	< 1	0.24
P057	Pirabas Inferior	0.047	< 0.003	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.004	< 0.003	< 1	0.20
P060	Barreiras	0.007	< 0.003	0.022	< 0.005	< 0.005	0.011	< 0.003	< 1	1.38
P067	Barreiras	0.002	< 0.003	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.004	< 0.003	< 1	< 0.16
P068	Pós-Barreiras	0.004	0.004	0.088	< 0.005	< 0.005	0.071	< 0.003	< 1	< 0.16
P073	Barreiras	0.038	< 0.003	0.02	< 0.005	< 0.005	< 0.004	< 0.003	< 1	< 0.16
P083	Barreiras	0.002	< 0.003	0.006	< 0.005	< 0.005	< 0.004	< 0.003	< 1	< 0.16
P085	Barreiras	0.004	< 0.003	0.009	< 0.005	< 0.005	< 0.004	< 0.003	< 1	0.18
P087	Pós-Barreiras	0.002	< 0.003	0.013	< 0.005	< 0.005	0.032	< 0.003	< 1	< 0.16
P094	Barreiras	0.008	< 0.003	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.004	< 0.003	< 1	< 0.16
P098	Pirabas Inferior	0.054	< 0.003	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.004	< 0.003	< 1	< 0.16
P103	Barreiras	0.003	< 0.003	0.011	< 0.005	< 0.005	0.012	< 0.003	< 1	< 0.16
P117	Barreiras	0.004	< 0.003	0.014	< 0.005	< 0.005	< 0.004	< 0.003	< 1	< 0.16
P119	Barreiras	0.055	0.015	0.042	< 0.005	< 0.005	< 0.004	< 0.003	< 1	< 0.16
RED21	Barreiras	0.016	< 0.003	0.007	< 0.005	< 0.005	< 0.004	< 0.003	< 1	0.63
NAZ39	NI	0.014	< 0.003	0.012	< 0.005	< 0.005	0.006	< 0.003	< 1	< 0.16
Rimas1	Pirabas Superior	0.008	< 0.003	0.022	< 0.005	< 0.005	0.005	< 0.003	< 1	< 0.16
Rimas4	Pirabas Inferior	0.056	< 0.003	0.047	< 0.005	< 0.005	< 0.004	< 0.003	< 1	0.60
Rimas5	Pirabas Inferior	0.038	< 0.003	0.051	< 0.005	< 0.005	< 0.004	< 0.003	< 1	0.65
Rimas6	Pirabas Inferior	0.037	< 0.003	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.004	< 0.003	< 1	0.26
Rimas7	NI	0.17	< 0.003	0.006	< 0.005	< 0.005	0.005	< 0.003	< 1	< 0.16

* Hg = Limite de detecção (LD) = 0.02 µg/L; Limite de quantificação (LQ) = 1 µg/L

* As = Limite de detecção (LD) = 0.05 µg/L; Limite de quantificação (LQ) = 0.16 µg/L



LEGENDA

- ▣ Capital Estadual **Metais Pesados**
- ⊙ Sede Municipal **Aquífero**
- Rodovia
- ~ Hidrografia
- ☁ Massa d'água
- ⊕ Área de Estudo
- - - Limite municipal
- ▲ Pós-Barreiras
- ▲ Barreiras
- ▲ Pirabas Superior
- ▲ Pirabas Inferior
- ▲ Não Informado

Figura 55 – Localização dos pontos de coleta de água para análise de Metais Pesados na área de estudo



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA. Pontos de monitoramento: ANA/Profil

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_55_Pontos_Amostrados_MP_A3
Escala:	1:290.000

2.5.2 Índices de Fenóis

A principal fonte de fenóis para as águas subterrâneas são as descargas de efluentes industriais. Os fenóis são tóxicos aos humanos e aos organismos aquáticos. Nos tratamentos de águas para abastecimento público, quando presentes, os fenóis reagem com o cloro livre formando os clorofenóis, imprimindo sabor e odor a água.

Os limites máximos permitidos para compostos de fenóis não estão claramente definidos na legislação brasileira. A Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde não estabelece valor máximo permitido para índice de fenol na água para consumo humano, sendo que os valores indicados nesta Portaria são para pentaclorofenol (9 µg/L) e triclorofenol (0,2 µg/L).

A Resolução nº 396/2008 (classificação e diretrizes ambientais das águas subterrâneas) estabelece valores máximos para índice de fenóis de 3 µg/L para consumo humano, 2 µg/L para dessedentação de animais e 2 µg/L para recreação. No entanto, o limite de quantificação praticável (LQP) da portaria, que é a menor quantidade de uma substância que pode ser determinada quantitativamente com precisão e exatidão, é de 10 µg/L.

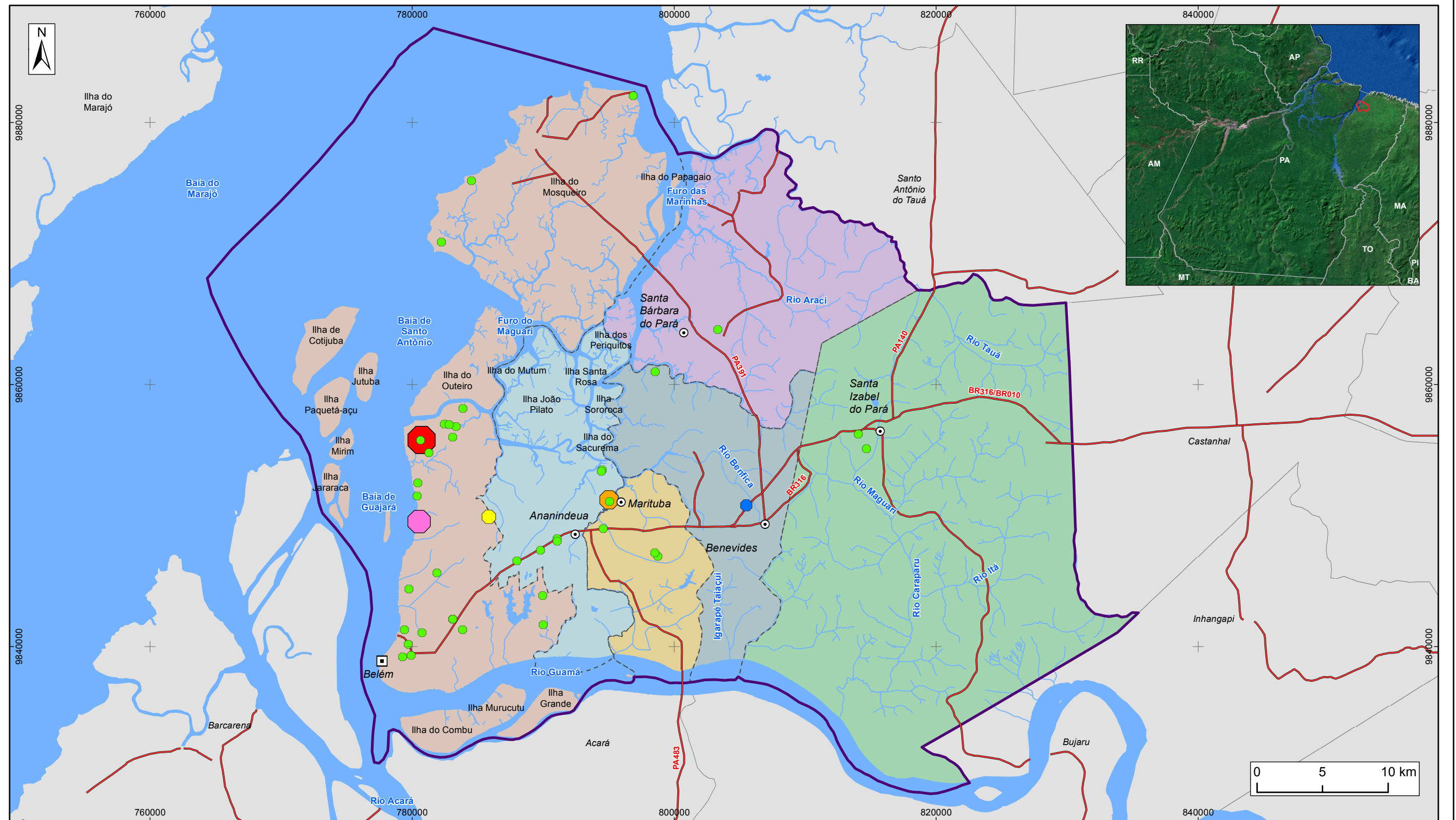
Na área de estudo foram selecionados 43 pontos para amostragem de água para análise de índices de fenóis. Das 43 amostras, 6 são do Aquífero Pós Barreiras, 24 do Aquífero Barreiras, 3 do Aquífero Pirabas Superior, 8 do Aquífero Pirabas Inferior e 2 amostras de poços em que não foram identificados os aquíferos explorados (Figura 56).

Todas as amostras foram coletadas segundo os padrões específicos de amostragem, tendo sido em seguida encaminhadas ao laboratório.

Como consta no Quadro 8, os valores para índices de fenóis variam de < 0,001 mg/L (1 µg/L) a 1,4 mg/L (1400 µg/L), a maioria abaixo do LQP aceitável para aplicação da resolução Conama 396/2008. No entanto, quatro amostras apresentam concentrações acima de 1 µg/L, necessitando de tratamento convencional prévio para consumo humano, conforme prevê a resolução Conama 20/1998, que estabelece que valores de fenóis acima de 1 µg/L necessitam de tratamento; já o limite máximo de conteúdo em fenóis para tratamento, segundo a mesma resolução, é de 30 µg/L. A amostra Rimas 5 (Poço RIMAS – SAAEB/ICO/SOUZA FRANCO/CPRM– Aquífero Pirabas Inferior) apresentou valor de 1,4 mg/L para índices de fenóis ultrapassando os valores máximos permitidos pelas legislações.

Quadro 8 – Índices de fenóis nas águas subterrâneas da área de estudo.

Nº Amostra	Aquifero	Índice de Fenóis (mg/L)	Nº Amostra	Aquifero	Índice de Fenóis (mg/L)
P01	Barreiras	< 0,001	P67	Barreiras	< 0,001
P02	Pirabas Superior	< 0,001	P68	Pós-Barreiras	< 0,001
P03	Pirabas Inferior	< 0,001	P73	Barreiras	< 0,001
P05	Pirabas Inferior	< 0,001	P83	Barreiras	0.008
P14	Barreiras	< 0,001	P85	Barreiras	< 0,001
P15	Barreiras	< 0,001	P87	Pós-Barreiras	< 0,001
P30	Pós-Barreiras	< 0,001	P94	Barreiras	< 0,001
P31	Pós-Barreiras	< 0,001	P98	Pirabas Inferior	0.011
P32	Barreiras	< 0,001	P103	Barreiras	< 0,001
P33	Barreiras	< 0,001	P111	Barreiras	< 0,001
P35	Pós-Barreiras	< 0,001	P117	Barreiras	< 0,001
P37	Pirabas Inferior	0.001	P119	Barreiras	< 0,001
P45	Barreiras	< 0,001	P144	Barreiras	< 0,001
P46	Barreiras	0.002	P147	Pirabas Superior	< 0,001
P47	Barreiras	< 0,001	RED21	Barreiras	< 0,001
P48	Pós-Barreiras	< 0,001	NAZ39	não informado	< 0,001
P50	Barreiras	< 0,001	Rimas1	Pirabas Superior	< 0,001
P51	Barreiras	< 0,001	Rimas4	Pirabas Inferior	< 0,001
P52	Barreiras	< 0,001	Rimas5	Pirabas Inferior	1.4
P56	Barreiras	< 0,001	Rimas6	Pirabas Inferior	< 0,001
P57	Pirabas Inferior	< 0,001	Rimas7	não informado	< 0,001
P60	Barreiras	< 0,001			



LEGENDA

- | | |
|------------------------|--------------------------------|
| □ Capital Estadual | Índice de Fenóis (mg/L) |
| ⊙ Sede Municipal | ● < 0,001 |
| — Rodovia | ● 0,001 |
| ~ Hidrografia | ● 0,002 |
| ☁ Massa d'água | ● 0,008 |
| ⊕ Área de Estudo | ● 0,011 |
| - - - Limite municipal | ● 1,4 |

Figura 56 – Localização de pontos de coleta de água subterrânea para análise de índices de fenóis na área de estudo



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA. Pontos de monitoramento: ANA/Profil

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_56_Pontos_Amostrados_Fenóis_A3
Escala:	1:290.000

2.5.3 BTEX

BTEX (Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno, o-Xileno e m.p-Xileno) são hidrocarbonetos aromáticos derivados do petróleo, formados por uma mistura complexa de compostos orgânicos. Os BTEX são extremamente tóxicos e comumente contaminam o ambiente; são indicadores úteis da quantidade de hidrocarboneto resultante de vazamentos relativamente recentes.

Para análise de BTEX foram selecionados os mesmos pontos amostrados para índice de fenóis (Figura 57).

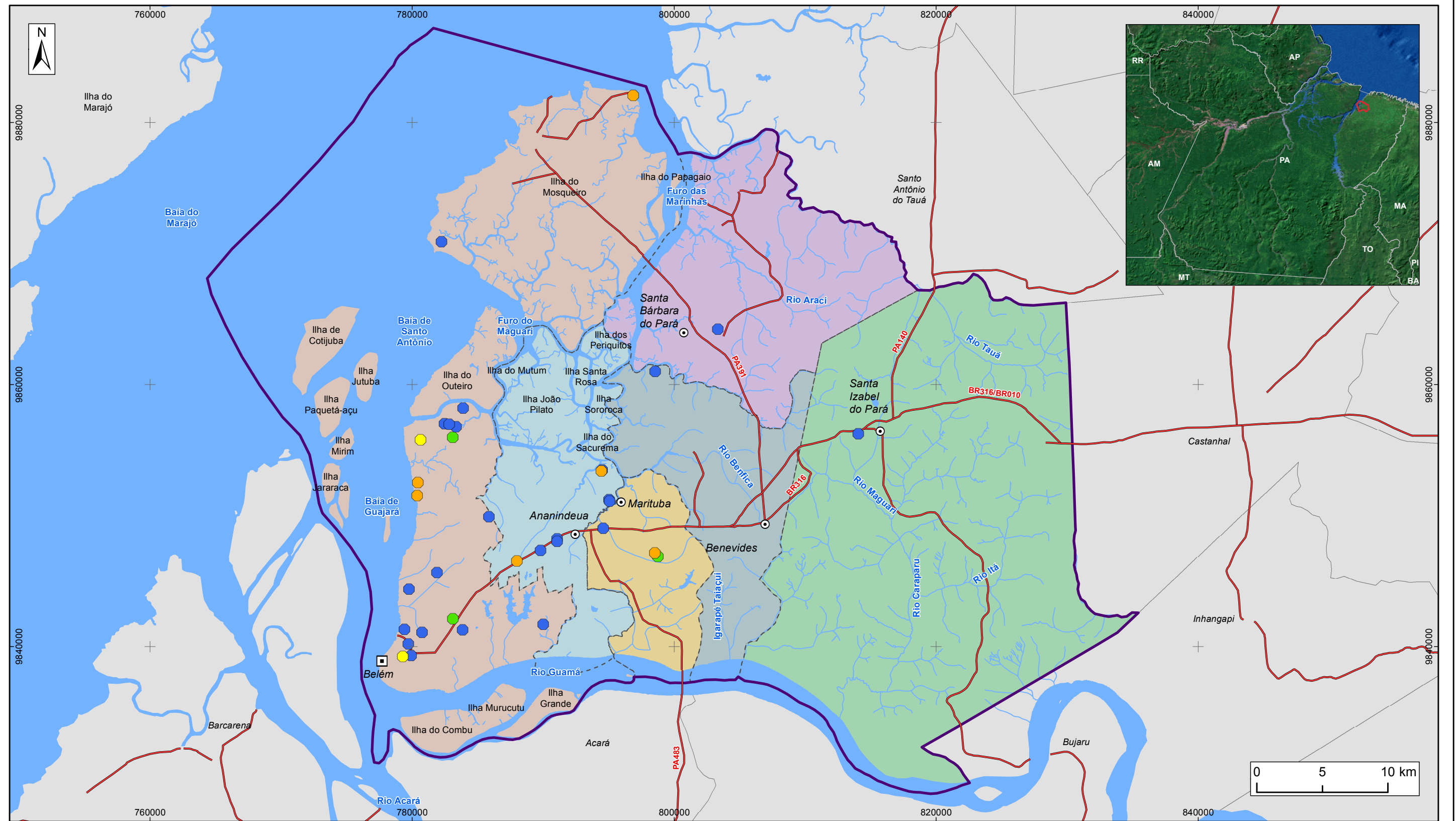
As amostras coletadas seguiram os padrões específicos de amostragem e foram encaminhadas ao laboratório.

A Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, bem como a Resolução 396/2008 estabelecem valores máximos de 0,005 mg/L de benzeno, 0,17 mg/L de tolueno, 0,2 mg/L de etilbenzeno, e 0,3 mg/L de o-xileno, m,p-xileno e xileno em água para consumo humano.

No Quadro 9 pode-se observar que todas as amostras analisadas apresentam valores inferiores aos máximos permitidos nas citadas Portaria e Resolução. Cabe também ressaltar que todas as análises têm resultados abaixo do limite da técnica empregada para detecção desses compostos orgânicos.

Quadro 9 – BTEX nas águas subterrâneas da área de estudo.

Nº Amostra	Aquifero	Benzeno	Tolueno	Etilbenzeno	m,p-Xilenos	o-Xileno
		µg/L				
P01	Barreiras	<1	<1	<1	<2	<1
P02	Pirabas Superior	<1	<1	<1	<2	<1
P03	Pirabas Inferior	<1	<1	<1	<2	<1
P05	Pirabas Inferior	<1	<1	<1	<2	<1
P14	Barreiras	<1	<1	<1	<2	<1
P15	Barreiras	<1	<1	<1	<2	<1
P30	Pós-Barreiras	<1	<1	<1	<2	<1
P31	Pós-Barreiras	<1	<1	<1	<2	<1
P32	Barreiras	<1	<1	<1	<2	<1
P33	Barreiras	<1	<1	<1	<2	<1
P35	Pós-Barreiras	<1	<1	<1	<2	<1
P37	Pirabas Inferior	<1	<1	<1	<2	<1
P45	Barreiras	<1	<1	<1	<2	<1
P46	Barreiras	<1	<1	<1	<2	<1
P47	Barreiras	<1	<1	<1	<2	<1
P48	Pós-Barreiras	<1	<1	<1	<2	<1
P50	Barreiras	<1	<1	<1	<2	<1
P51	Barreiras	<1	<1	<1	<2	<1
P52	Barreiras	<1	<1	<1	<2	<1
P56	Barreiras	<1	<1	<1	<2	<1
P57	Pirabas Inferior	<1	<1	<1	<2	<1
P60	Barreiras	<1	<1	<1	<2	<1
P67	Barreiras	<1	<1	<1	<2	<1
P68	Pós-Barreiras	<1	<1	<1	<2	<1
P73	Barreiras	<1	<1	<1	<2	<1
P83	Barreiras	<1	<1	<1	<2	<1
P85	Barreiras	<1	<1	<1	<2	<1
P87	Pós-Barreiras	<1	<1	<1	<2	<1
P94	Barreiras	<1	<1	<1	<2	<1
P98	Pirabas Inferior	<1	<1	<1	<2	<1
P103	Barreiras	<1	<1	<1	<2	<1
P111	Barreiras	<1	<1	<1	<2	<1
P117	Barreiras	<1	<1	<1	<2	<1
P119	Barreiras	<1	<1	<1	<2	<1
P144	Barreiras	<1	<1	<1	<2	<1
P147	Pirabas Superior	<1	<1	<1	<2	<1
RED21	Barreiras	<1	<1	<1	<2	<1
NAZ39	não informado	<1	<1	<1	<2	<1
Rimas1	Pirabas Superior	<1	<1	<1	<2	<1
Rimas4	Pirabas Inferior	<1	<1	<1	<2	<1
Rimas5	Pirabas Inferior	<1	<1	<1	<2	<1
Rimas6	Pirabas Inferior	<1	<1	<1	<2	<1
Rimas7	não informado	<1	<1	<1	<2	<1



LEGENDA

- Capital Estadual **BTEX**
- ⊙ Sede Municipal **Aquífero**
- Rodovia
- ~ Hidrografia
- ☁ Massa d'água
- ⊕ Área de Estudo
- - - Limite municipal
- Pós-Barreiras
- Barreiras
- Pirabas Superior
- Pirabas Inferior
- Não Informado

Figura 57 – Localização dos pontos de coleta de água subterrânea para análise de BTEX na área de estudo



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA. Pontos de monitoramento: ANA/Profil

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_57_Pontos_Amostrados_Btex_A3
Escala:	1:290.000

2.5.4 Conteúdo Bacteriológico

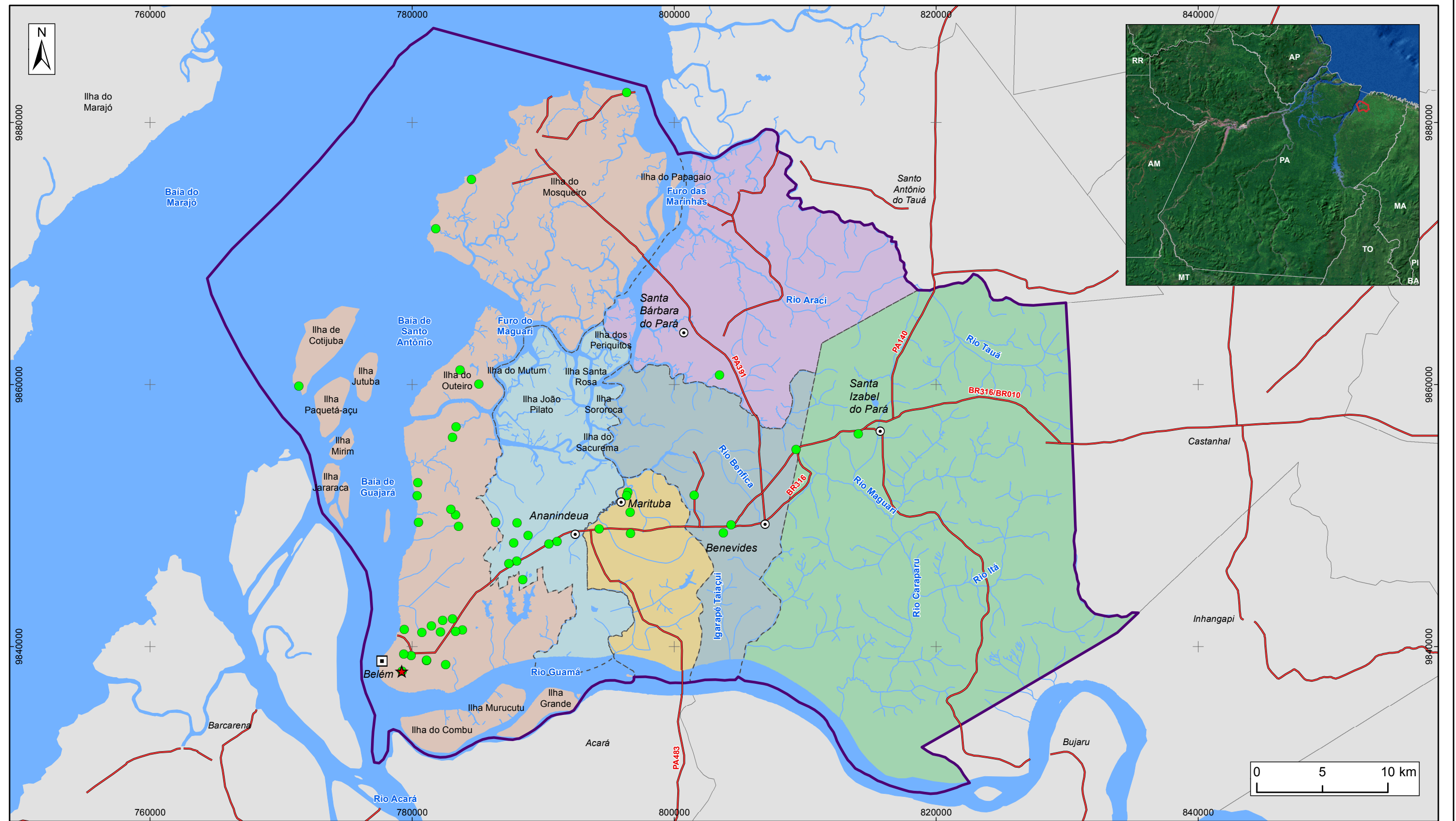
Nos aquíferos da área de estudo foram selecionados 50 poços para amostragem de água subterrânea, para análise de conteúdo bacteriológico (coliformes termotolerantes e totais, e *Escherichia coli*), sendo 9 poços do Aquífero Pós-Barreiras, 30 poços do Aquífero Barreiras, 5 poços do Aquífero Pirabas Superior e 6 poços do Aquífero Pirabas Inferior (Figura 58). As amostragens adotaram todos os padrões estabelecidos para coleta e, em seguida, as amostras foram encaminhadas ao laboratório para análises específicas.

A Portaria 2914/2011 e a Resolução 396/2008 estabelecem que para consumo humano o conteúdo bacteriológico deve estar ausente em 100 ml de amostra. Dentre as amostras analisadas (Quadro 10), apenas uma amostra (P134 – Faculdade – Bairro Batista Campos/Belém – Aquífero Barreiras) apresentou resultados positivos para análises de coliformes termotolerantes e totais, como também para *Escherichia Coli*. Este poço apresenta considerável concentração de nitrato (9.1 mg/L – 2ª campanha), embora esta concentração de NO₃ não ultrapasse os limites estabelecidos pela Portaria 2914/11. Alguns fatores podem ser considerados para esta possível contaminação, com a construção do poço, sua pequena profundidade (12m), ou ainda, a contaminação na amostragem.

No gráfico da Figura 59 observa-se que muitos poços que apresentam resultados bacteriológicos negativos mostram concentrações de nitrato e amônio em suas amostras, sendo que oito poços apresentam concentração de nitrato acima do máximo permitido pela Portaria 2914/2011 (44 mg/L de NO₃).

Quadro 10 – Conteúdo bacteriológico das águas subterrâneas da região de Belém.

Amostra	Aquifero	Coliformes Termotolerantes	Coliformes Totais	Escherichia Coli	Amostra	Aquifero	Coliformes Termotolerantes	Coliformes Totais	Escherichia Coli
P01	Barreiras	Ausente	Ausente	Ausente	P54	Barreiras	Ausente	Ausente	Ausente
P02	Pirabas Superior	Ausente	Ausente	Ausente	P55	Pirabas Superior	Ausente	Ausente	Ausente
P03	Pirabas Inferior	Ausente	Ausente	Ausente	P64	Barreiras	Ausente	Ausente	Ausente
P06	Barreiras	Ausente	Ausente	Ausente	P65	Barreiras	Ausente	Ausente	Ausente
P07	Pós-Barreiras	Ausente	Ausente	Ausente	P66	Pirabas Inferior	Ausente	Ausente	Ausente
P12	Pirabas Superior	Ausente	Ausente	Ausente	P68	Pós-Barreiras	Ausente	Ausente	Ausente
P14	Barreiras	Ausente	Ausente	Ausente	P70	Pós-Barreiras	Ausente	Ausente	Ausente
P16	Pirabas Inferior	Ausente	Ausente	Ausente	P71	Pós-Barreiras	Ausente	Ausente	Ausente
P18	Barreiras	Ausente	Ausente	Ausente	P81	Barreiras	Ausente	Ausente	Ausente
P19	Barreiras	Ausente	Ausente	Ausente	P88	Barreiras	Ausente	Ausente	Ausente
P20	Pós-Barreiras	Ausente	Ausente	Ausente	P96	Barreiras	Ausente	Ausente	Ausente
P26	Pirabas Inferior	Ausente	Ausente	Ausente	P102	Barreiras	Ausente	Ausente	Ausente
P27	Pirabas Inferior	Ausente	Ausente	Ausente	P106	Barreiras	Ausente	Ausente	Ausente
P28	Pirabas Inferior	Ausente	Ausente	Ausente	P112	Barreiras	Ausente	Ausente	Ausente
P30	Pós-Barreiras	Ausente	Ausente	Ausente	P119	Barreiras	Ausente	Ausente	Ausente
P31	Pós-Barreiras	Ausente	Ausente	Ausente	P120	Barreiras	Ausente	Ausente	Ausente
P32	Barreiras	Ausente	Ausente	Ausente	P121	Barreiras	Ausente	Ausente	Ausente
P34	Barreiras	Ausente	Ausente	Ausente	P122	Barreiras	Ausente	Ausente	Ausente
P36	Barreiras	Ausente	Ausente	Ausente	P123	Barreiras	Ausente	Ausente	Ausente
P41	Pirabas Superior	Ausente	Ausente	Ausente	P128	Pirabas Superior	Ausente	Ausente	Ausente
P44	Barreiras	Ausente	Ausente	Ausente	P134	Barreiras	Presença	Presença	Presença
P47	Barreiras	Ausente	Ausente	Ausente	P139	Barreiras	Ausente	Ausente	Ausente
P48	Pós-Barreiras	Ausente	Ausente	Ausente	P142	Barreiras	Ausente	Ausente	Ausente
P52	Barreiras	Ausente	Ausente	Ausente	P144	Barreiras	Ausente	Ausente	Ausente
P53	Barreiras	Ausente	Ausente	Ausente	P150	Pós-Barreiras	Ausente	Ausente	Ausente



LEGENDA

- ▣ Capital Estadual
- ⊙ Sede Municipal
- Rodovia
- ~ Hidrografia
- ☪ Massa d'água
- ⊕ Área de Estudo
- ⋯ Limite municipal
- Conteúdo bacteriológico**
- Colif. e E.Coli (100 ml de amostra)**
- Ausente
- ★ Presente

Figura 58 - Mapa de localização dos pontos de coleta de água para análise de conteúdo bacteriológico, na região de Belém



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA. Pontos de monitoramento: ANA/Profil

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_58_Resultados_Coliformes_A3
Escala:	1:290.000

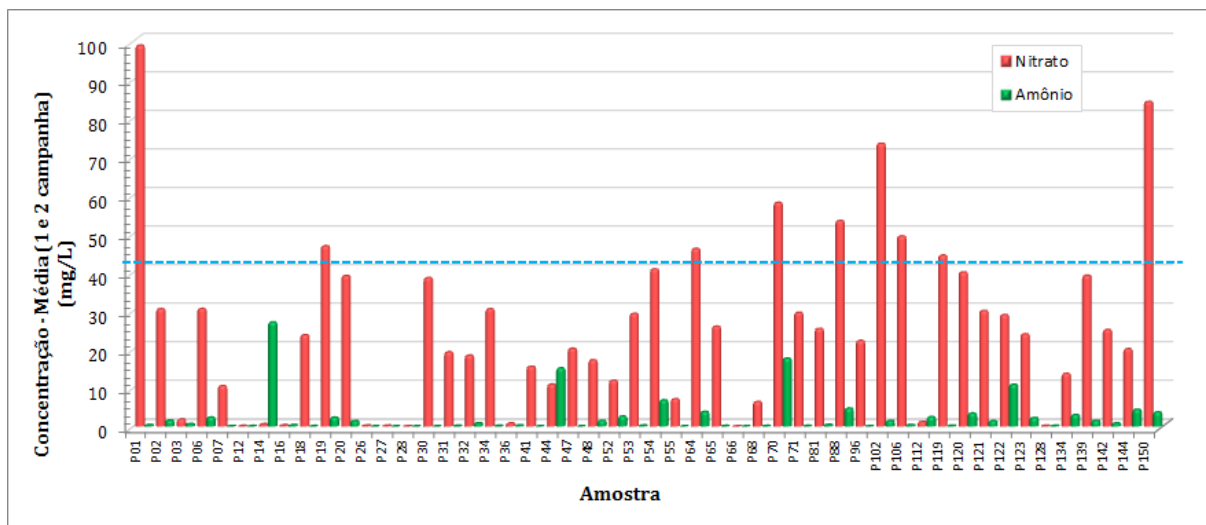


Figura 59 – Concentrações média (1 e 2 campanhas) de nitrato e amônio nas amostras selecionadas para conteúdo bacteriológico

2.6 ISÓTOPOS ESTÁVEIS DE OXIGÊNIO ($\delta^{18}\text{O}$) E DEUTÉRIO ($\delta^2\text{H}$)

O hidrogênio e o oxigênio da água ocorrem com diferentes combinações isotópicas em suas moléculas. Mais comuns e de maior interesse para hidroquímica são as moléculas $^1\text{H}_2^{16}\text{O}$ (comum), $^1\text{HD}^{16}\text{O}$ (raro) e $^1\text{H}_2^{18}\text{O}$ (raro), que podem ser divididas entre moléculas leves ($^1\text{H}_2^{16}\text{O}$) e moléculas pesadas ($^1\text{HD}_{16}\text{O}$ e $^1\text{H}_2^{18}\text{O}$).

Durante a evaporação, as moléculas leves da água evaporam mais rapidamente do que as moléculas pesadas e, à medida que a evaporação se processa, a água remanescente se enriquece em isótopos pesados, tornando o vapor relativamente mais leve. Na condensação, o vapor residual se torna mais pobre em isótopos pesados, enquanto que o vapor liquefeito fica mais rico. Esses dois processos fazem com que sucessivas condensações do mesmo vapor sejam mais e mais pobres em isótopos pesados, como acontece com as precipitações à medida que migram para altas latitudes.

A composição isotópica da água é expressa em relação à composição isotópica média da água do oceano, um padrão internacional chamado *Standard Mean Ocean Water* (SMOW) e, atualmente, Viena *Standard Mean Ocean Water* (VSMOW) (CRAIG, 1961).

A diferença entre a razão isotópica da água e deste padrão, determinada por espectrômetro de massa ou por espectroscopia em cavidade ressonante tipo *ring-down* (CRDS, *cavityring-downspectroscopy*), é expressa em partes por mil (‰). A razão de deutério é representada por δD , e de ^{18}O , por $\delta^{18}\text{O}$.

$$\delta D_{amostra} \text{ ‰} = \frac{(D/H)_{amostra} - (D/H)_{SMOW}}{(D/H)_{SMOW}} \times 1000$$

$$\delta O^{18}_{amostra} \text{ ‰} = \frac{(O^{18}/O^{16})_{amostra} - (O^{18}/O^{16})_{SMOW}}{(O^{18}/O^{16})_{SMOW}} \times 1000$$

Água com menos deutério que SMOW apresenta δD negativo; água com mais deutério que SMOW apresenta δD positivo. O mesmo ocorre com o $\delta^{18}O$. O ciclo hidrológico global mostra correlação linear entre $\delta^{18}O$ e δD . Essa relação resulta de vários processos de fracionamento, como resultado das mudanças de fases, de temperatura, circulação atmosférica global e destilação da massa de vapor de água durante a chuva (GAT, 1980).

Com base nos valores isotópicos de uma rede mundial de precipitação, levantados pela Agência Internacional de Energia Atômica, modelos de circulação de massas de vapor d'água do ar e processos físicos pelos quais a água passa em seu ciclo podem ser estudados e avaliados pelas medidas isotópicas dos corpos d'água.

2.6.1 Coletas e Análises Isotópicas das Amostras

Na segunda campanha de amostragem foram selecionados 33 poços para coleta amostras de água subterrânea na cidade de Belém e municípios adjacentes para análise dos isótopos ^{18}O e deutério, sendo 13 amostras do Aquífero Barreiras, 6 do Aquífero Pirabas Superior, 13 do Aquífero Pirabas Inferior e uma de poço em que os aquíferos explorados não foram identificados. Não foram selecionados poços no Aquífero Pós Barreiras para estas análises.

Em campo, foram seguidos todos os padrões recomendados para amostragem; em seguida, essas amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Hidrogeologia e Hidrogeoquímica do Departamento de Geologia Aplicada da UNESP, em Rio Claro, SP, para análises isotópicas.

Para análise dos isótopos estáveis (^{18}O e Deutério) utilizou-se a técnica de espectroscopia em cavidade ressonante tipo *ring-down*, que se baseia na absorção de radiação laser na faixa do infravermelho próximo (0,7 μ a 2,5 μ) por substâncias no estado gasoso, tais como água, gás carbônico e metano. O instrumento utilizado para análise isotópica foi Liquid Water Isotope Analyzer da Los Gatos Research Inc (LWIA-24d).

2.6.2 Características Isotópicas da Água dos Aquíferos Estudados

O Quadro 11 apresenta os resultados das medidas isotópicas de $\delta^{18}\text{O}$ e δD em amostras de água da segunda campanha de amostragem na área de estudo. As razões isotópicas das análises para $\delta^{18}\text{O}$ variam no intervalo de -5.42‰ a -1.48‰, enquanto que os resultados para δD oscilam de -29.6‰ a -5.4‰.

Quadro 11 – Isótopos de O^{18} e deutério nas amostras coletadas na área de estudo.

Nº Amostra	Aquífero	Prof. (m)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	δD (‰)	Nº Amostra	Aquífero	Prof. (m)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	δD (‰)
P01	Barreiras	100	-2.97	-14.2	P114	Barreiras	28	-3.30	-15.4
P03	Pirabas Inferior	188	-3.78	-17.4	P119	Barreiras	30	-3.15	-14.7
P05	Pirabas Inferior	246	-4.49	-26.7	P120	Barreiras	50	-2.55	-11.6
P08	Pirabas Inferior	252	-4.82	-29.0	P128	Pirabas Superior	120	-4.28	-23.2
P16	Pirabas Inferior	250.5	-3.50	-19.6	P132	Pirabas Superior	120	-4.39	-21.4
P26	Pirabas Inferior	252	-3.78	-18.8	P134	Barreiras	34	-2.69	-13.2
P27	Pirabas Inferior	264	-3.58	-17.9	P137	Barreiras	50	-2.45	-10.7
P37	Pirabas Inferior	282.34	-4.83	-26.8	P143	Barreiras	40	-2.88	-10.9
P44	Barreiras	42	-3.57	-17.5	P145	Pirabas Inferior	200	-4.47	-23.5
P50	Barreiras	80	-5.42	-29.6	P147	Pirabas Superior	130	-4.04	-20.0
P57	Pirabas Inferior	200	-4.01	-23.3	P148	Barreiras	96	-4.76	-24.3
P83	Barreiras	24	-1.56	-11.3	Rimas1	Pirabas Superior	270	-3.36	-16.0
P91	Pirabas Superior	102	-3.98	-20.8	Rimas 4	Pirabas Inferior	264	-4.90	-24.3
P98	Pirabas Inferior	180	-5.19	-27.9	Rimas 5	Pirabas Inferior	252.05	-3.40	-15.0
P101	Pirabas Superior	100	-3.67	-18.4	Rimas 6	Pirabas Inferior	280	-4.58	-23.0
P106	Barreiras	18	-1.5	-5.4	Rimas 7	NI	225	-5.33	-28.5
P112	Barreiras	42	-3.7	-16.6					

Pela Figura 60 verifica-se que a maioria das amostras tem composição isotópica próxima à da linha meteórica global (LMG), confirmando sua origem meteórica. Nota-se que a média da composição isotópica de águas de chuva (GNIP – 1965/1990) encontra-se próximo à das amostras do Aquífero Barreiras.

As amostras do Aquífero Barreiras são em geral mais enriquecidas isotopicamente que as águas do Aquífero Pirabas Inferior. Duas amostras (P83 e P106) do Aquífero Barreiras, de poços com menores profundidade (24 m e 18 m, respectivamente), encontram-se abaixo da LMG; possivelmente são amostras que sofreram evaporação. Outras duas amostras (P50 e P148) do mesmo aquífero, são mais empobrecidas que as demais, ficando no gráfico da Figura 60 próximas às amostras do Aquífero Pirabas Inferior, possivelmente por serem oriundas de poços mais profundos (80 m e 96 m, respectivamente), ou podem ser águas mistas, quando os poços exploram mais de uma unidade aquífera.

Nos histogramas da Figura 61 e da Figura 62 verifica-se que as águas do Aquífero Barreiras apresentam predomínio dos valores de $\delta^{18}\text{O}$ entre -2,5‰ a -4,0‰, enquanto que os valores de δD predominam entre -18,0‰ e -9,0‰, com média de -3,1‰ para $\delta^{18}\text{O}$ e de -15,0‰ para δD . Nas amostras do Aquífero Pirabas Superior predominam

valores de $\delta^{18}\text{O}$ entre -3.5‰ a -4.5‰ e de δD entre -24.0‰ e -18.0‰ , com médias de -4.0‰ para $\delta^{18}\text{O}$ e de -20.0‰ para δD . No Aquífero Pirabas Inferior os valores predominam entre -3.5‰ a -5.0‰ para $\delta^{18}\text{O}$ e se distribuem entre -30.0‰ e -15.0‰ para δD , com médias de -4.2‰ para $\delta^{18}\text{O}$ e de -23.0‰ para δD . Estas diferenças de valores isotópicos ficam evidentes nos mapas da Figura 63.

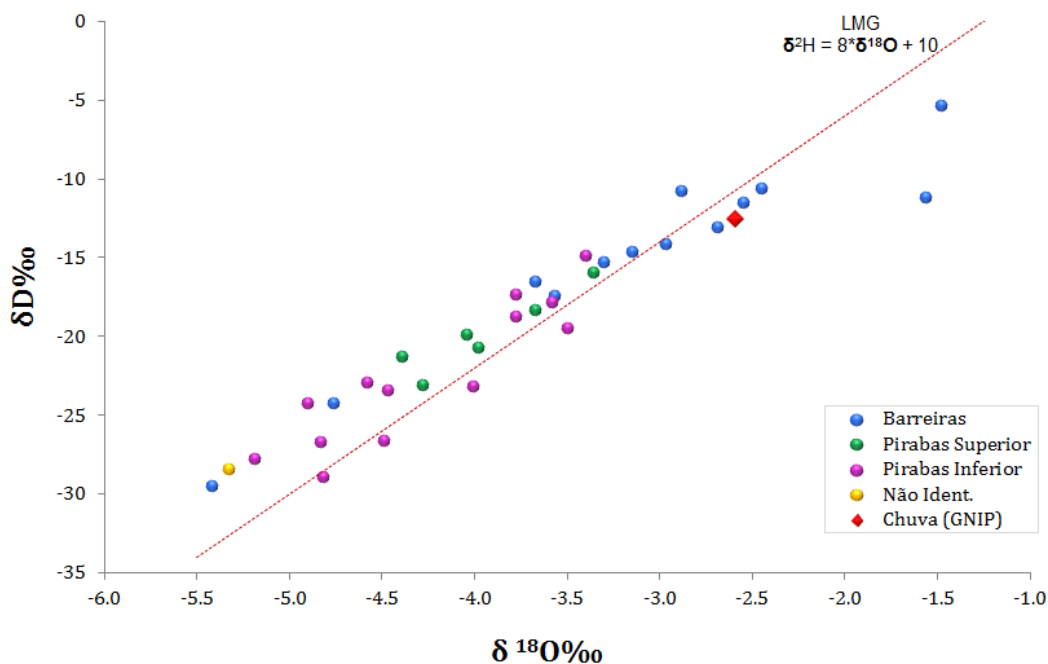


Figura 60 – Relação de $\delta^{18}\text{O}$ e δD para as amostras de águas coletadas na área de estudo.

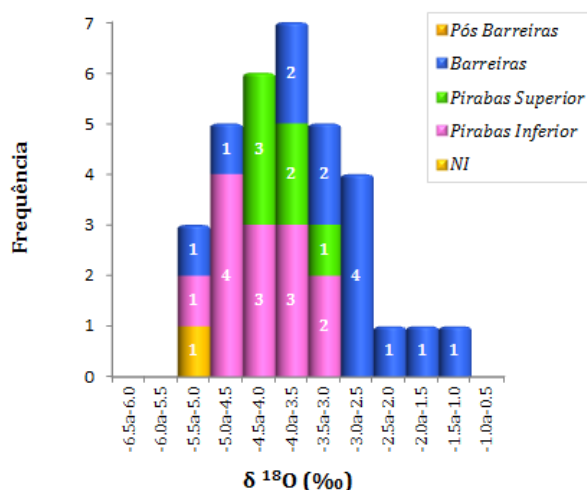


Figura 61 – Histograma de $\delta^{18}\text{O}$ para as amostras de águas coletadas na área de estudo.

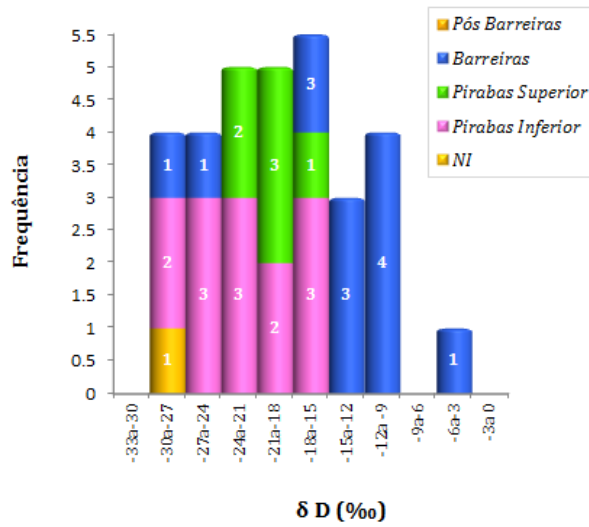
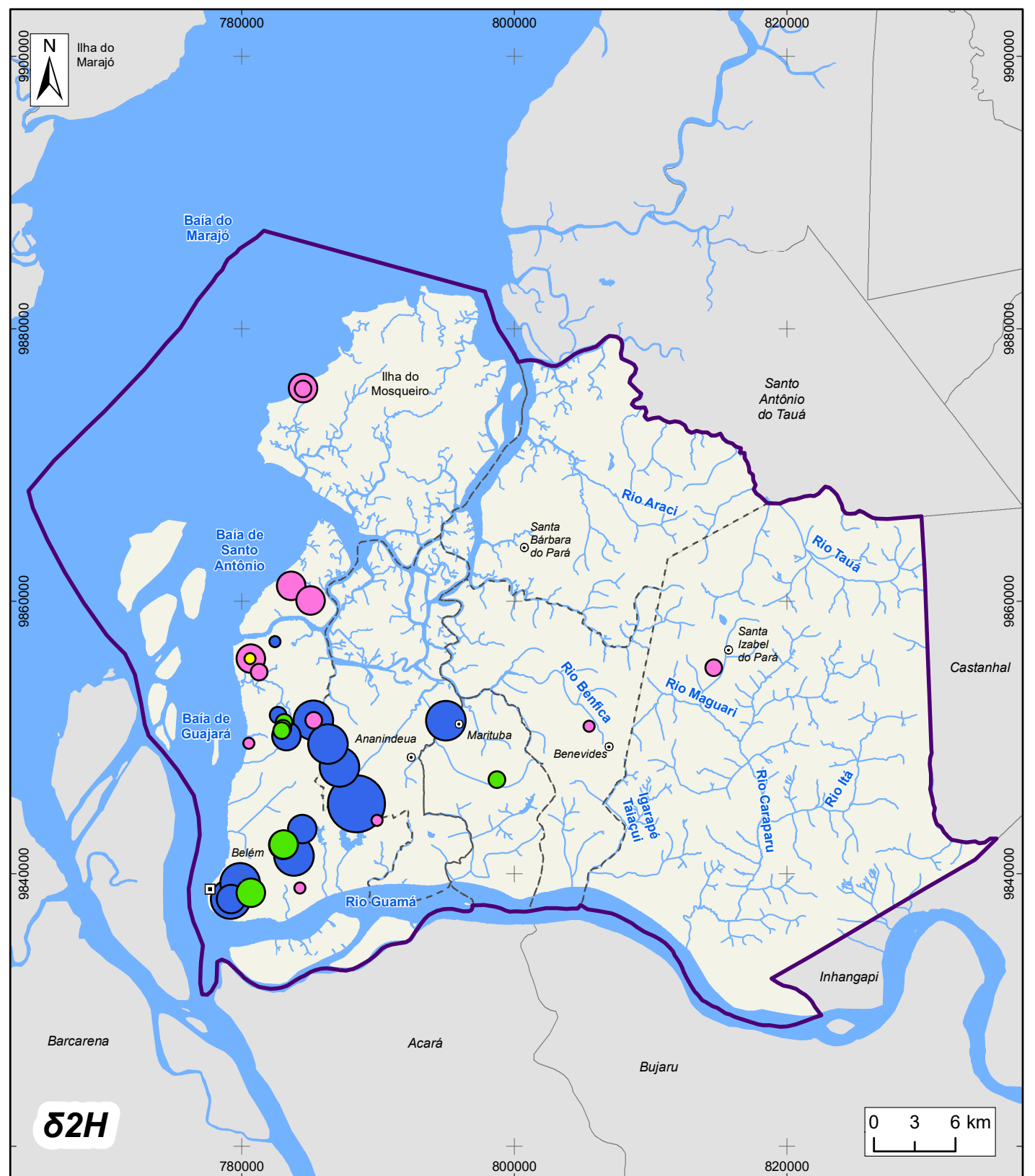
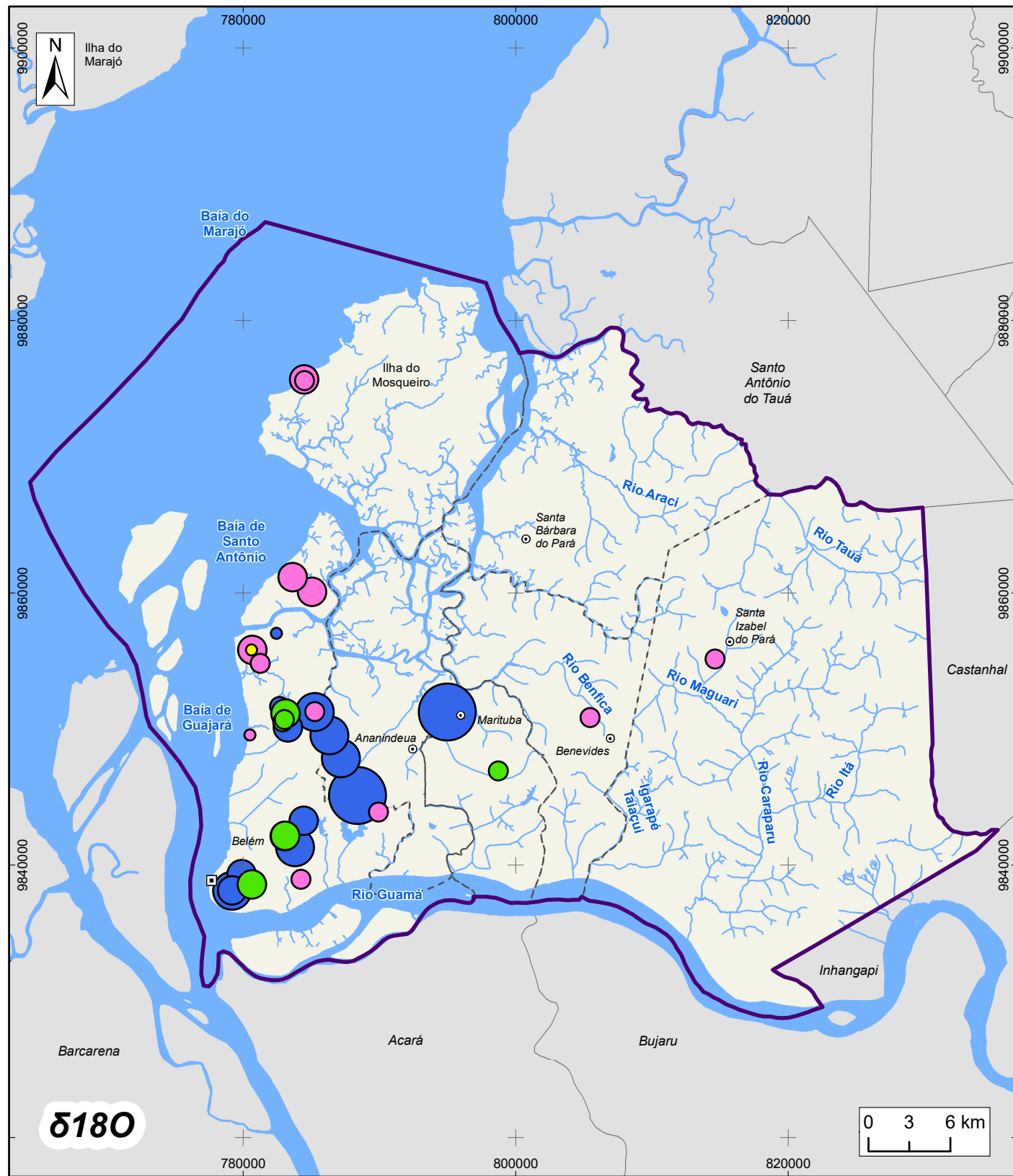


Figura 62 – Histograma de δD para as amostras de águas coletadas na área de estudo.



LEGENDA

<ul style="list-style-type: none"> ▣ Capital Estadual ⊙ Sede Municipal ~ Hidrografia ☁ Massa d'água ⬜ Área de Estudo - - - Limite municipal 	<p>Aquífero</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Barreiras ● Pirabas Superior ● Pirabas Inferior ● Não Informado 	<p>δ 18O‰</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ < -5 ○ -4.9 - -4 ○ -3.9 - -3 ○ -2.9 - -2 ○ > -2 	<p>δ D‰</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ < -25 ○ -24.9 - -20 ○ -19.9 - -15 ○ -14.9 - -10 ○ > -10
---	---	--	--

Figura 63 – Distribuição de δ18O e δD nas águas da área de estudo



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

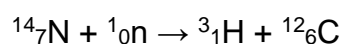
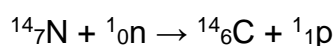
Fonte: Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA. Dados de δ18O e δD: ANA/Profil

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_63_Resultados_18O_deuterio_A3
Escala:	1:400.000

2.7 DATAÇÃO COM ISÓTOPOS INSTÁVEIS

O fenômeno da radioatividade presente nos isótopos instáveis, também chamados de radioisótopos, por estar estatisticamente relacionada com o tempo (mensurada em desintegrações por unidade de tempo), se presta para a determinação do tempo de permanência ou idade do traçador no aquífero, ou seja, constitui um meio de datação da água subterrânea.

O ^{14}C e o T (^3H – Trítio) são amplamente utilizados na datação de água devido ao intrínseco tempo de meia-vida que possuem, respectivamente de 5.730 anos e 12,43 anos, que definem as faixas acessíveis de datação de 200 a 30.000 anos e 0 a 50 anos. Ambos os isótopos são de origem secundária e são produzidos na alta atmosfera em reações nucleares num bombardeio de fluxo de nêutrons da radiação cósmica secundária com átomos de nitrogênio presentes na atmosfera:



Onde n = nêutron e p = próton.

Estes isótopos, no seu decaimento, são emissores de β^- , e apesar de terem uma concentração ínfima no planeta, sua medida quantitativa é possível através de detecção dessa radiação emitida. Esse decaimento segue a lei do decaimento radioativo:

$$a_t = a_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

Onde a_0 é a atividade específica inicial do nuclídeo-pai (em Bq/kg ou mBq/g; 1 Bq = 1 desintegração por segundo), a_t é a atividade específica depois de certo tempo t, e λ é a constante de decaimento.

Chamando de atividade, a, o número de transformações por unidade de tempo, e definindo a meia-vida ($t_{1/2}$) como tempo necessário para reduzir a atividade inicial para metade, tem-se $a(t_{1/2}) = a_0/2$, e $\lambda = \ln 2/t_{1/2}$. Com isso a equação simplifica para:

$$t = -\left(\frac{t_{1/2}}{\ln 2}\right) \cdot \ln\left(\frac{a_t}{a_0}\right)$$

2.7.1 Carbono-14

O isótopo ^{14}C (radiocarbono) no CO_2 atmosférico foi descoberto em 1946 por Libby, que determinou sua meia-vida em 5568 anos (conhecido como meia-vida de Libby) e reconheceu o potencial como ferramenta de datação.

Godwin (1962), posteriormente, refinou a determinação da meia-vida para 5730 anos. Atualmente o radiocarbono é utilizado por arqueólogos na reconstrução da história humana durante o Holoceno, serve como base em reconstruções climáticas do Neo-Pleistoceno e Holoceno, e é também a principal ferramenta na estimativa de idades de paleo-águas subterrâneas.

O carbono, apesar de não estar presente na molécula da água, ocorre naturalmente no ciclo hidrológico, em suas três formas isotópicas, na forma de bicarbonato e de CO_2 dissolvido. O $^{14}\text{CO}_2$ atmosférico interage com toda a biomassa viva através da fotossíntese, assim como com águas meteóricas e oceanos (e carbonatos formados nessas águas).

A datação de material orgânico com ^{14}C baseia-se no fato de que toda biomassa viva está em equilíbrio com a atmosfera, portanto com mesma atividade a_0 ; porém, a partir da morte da biomassa, essa não mais interage com a atmosfera e, desse momento em diante, a atividade do ^{14}C decresce de acordo com a lei de decaimento radioativo. A datação, assim, baseia-se na medição da diminuição do radionuclídeo-pai numa dada amostra. Para tal, é necessário assumir dois aspectos fundamentais:

(1) a concentração inicial do nuclídeo-pai é conhecida e permaneceu constante no passado e;

(2) o sistema é fechado para ganhos ou perdas do nuclídeo-pai, exceto através do decaimento radioativo (CLARK e FRITZ, 1997).

Para o cálculo da idade utiliza-se a equação de decaimento:

$$\lambda = \ln 2 / t_{1/2} \quad (\text{sendo } t_{1/2} \text{ o valor da meia-vida do radioisótopo})$$

Têm-se então as equações:

$$t_{Libby} = -8033 \cdot \ln\left(\frac{a_t^{14C}}{a_0^{14C}}\right)$$

$$t_{Godwin} = -8267 \cdot \ln\left(\frac{a_t^{14C}}{a_0^{14C}}\right)$$

onde:

t_{Libby} utiliza a meia-vida de Libby $t_{1/2} = 5568$ e;

t_{Godwin} utiliza $t_{1/2} = 5730$.

A equação de Libby (t_{Libby}) fornece a denominada “idade convencional”.

Dois tipos independentes de registros datados têm auxiliado no estabelecimento do a_0^{14C} nos últimos 30.000 anos, quais sejam, a contagem de anéis de crescimento das árvores (dendrocronologia) e corais. O alcance potencial da datação é limitado pela precisão analítica, que se estende até aproximadamente 10 meia-vidas ou 60.000 anos. No entanto, a pobre preservação e subsequente contaminação por material mais velho implicam em um alcance efetivo da datação muito mais curto: menos de 50.000 anos para matéria orgânica como vegetação e colágeno, e cerca de 30.000 anos para águas subterrâneas (CLARK e FRITZ, 1997).

Por convenção internacional, atividades específicas são comparadas com a atividade padrão, a_{0x} , que é igual a 0,95 vezes a atividade específica do ácido oxálico NBS ($0,95 \times 13,56$ desintegrações por minuto por grama de carbono (dpm/g C), no ano de 1950). A atividade específica inicial, a_0^{14C} , e a atividade específica medida, a_t^{14C} , podem ser expressas como porcentagens dessa atividade padrão em PMC (Porcentagem de Carbono Moderno), sendo $PMC = (a_t^{14C}/a_{0x}) \times 100\%$. Por convenção, o 14C moderno (pré-detonação nuclear) corresponde a 100 PMC (MOOK, 1980, STUIVER e POLACH, 1977).

Embora com muitos avanços nos procedimentos de coletas, análises e nas aplicações do radiocarbono em ciências hidrológicas, a interpretação de idade por meio do carbono dissolvido em águas subterrâneas ainda é limitada por incertezas na determinação da quantidade inicial do 14C dissolvido nas áreas de recarga dos aquíferos e por transformações biogeoquímicas que alteram essa quantidade ao longo da trajetória no aquífero (IAEA, 2013), tornando indispensável à aplicação de modelos de correção.

2.7.2 Trítio

A datação de águas subterrâneas pelo decaimento do trítio está baseada na suposição de que o trítio inicial na água subterrânea é conhecido e que o trítio “residual” é resultado apenas do decaimento, de acordo com a equação de decaimento:

$$a_t \text{ } ^3\text{H} = a_0 \text{ } ^3\text{H} \cdot e^{-\lambda t}$$

Aqui, $a_0^3\text{H}$ é a atividade inicial do trítio ou concentração (expressa em TU – *tritium unit*) e $a_t^3\text{H}$ é a atividade residual (medida na amostra) remanescente após o decaimento por certo período t . Considerando que $\lambda = \ln 2/t_{1/2}$, e a meia-vida do trítio sendo $t_{1/2} = 12.43$ anos, essa equação pode ser reescrita:

$$t = -17.93 \cdot \ln \left(\frac{a_t \text{ } ^3\text{H}}{a_0 \text{ } ^3\text{H}} \right)$$

Para o exemplo de $a_0^3\text{H} = 10$ TU, temos a seguinte série de decaimento:

anos	0	10	20	30	40	50	60
TU	10	5.7	3.3	1.9	1.1	0.6	0.4

Deste modo, a faixa útil para datação é menor do que 50 anos quando a análise é executada pelo método enriquecido (limite de detecção = 0.8 TU). Raramente se encontra águas subterrâneas que não estão contaminadas por mistura com águas mais jovens, ideais para uma datação precisa.

As fortes variações sazonais e anuais vistas na precipitação representam uma função complicada e torna mais complexa a determinação do ^3H inicial no momento da recarga. Para o modelo de fluxo de pistão (como um trem movendo pessoas numa única via comparado com carros numa rodovia de várias faixas), com pouca mistura ou dispersão ao longo da trajetória de fluxo, uma idade de recarga pode ser estimada a partir das linhas de decaimento.

O problema desta aproximação é a sua simplicidade, por assumir que apenas a precipitação de um ano tem contribuído para a amostra de água, sendo que mais comumente a entrada do trítio se dá em média em alguns anos. A função de entrada de ^3H em vários anos pode ser determinada a partir da:

(1) contribuição ponderada de 3H de cada ano e;

(2) com uma correção para o decaimento na contribuição de precipitação de cada ano durante o acúmulo na área de recarga.

Essa função pode ser aproximada utilizando um modelo de decaimento, o qual assume que cada componente da água subterrânea ao longo do sistema de fluxo tem recebido o mesmo “peso” de contribuição de vários anos de precipitação no ambiente de recarga. O peso de cada ano é aproximado por uma distribuição normal que põe o maior peso na precipitação dos anos centrais, com as menores contribuições nos primeiros e nos últimos anos.

A complexa evolução do ^3H inicial adicionada à mistura nos aquíferos com água subterrânea pré-bomba termonuclear conspiram contra interpretações refinadas na idade das águas. Uma interpretação quantitativa do tempo médio de residência da água subterrânea pode não ser possível, e somente interpretações qualitativas podem então ser feitas (CLARK e FRITZ, 1997):

Para regiões continentais	
< 0.8 TU	Submoderno - recarga anterior à 1952
0.8 a ~ 4 TU	Mistura entre submoderno e recarga recente
5 a 15 TU	Moderno (< 5 a 10 anos)
15 a 30 TU	Alguma "bomba" ^3H presente
> 30 TU	Considerável componente de recarga de 1960's ou 1970's
> 50 TU	Dominantemente recarga dos anos 1960's
Para regiões costeiras e de baixa latitude	
< 0.8 TU	Submoderno - recarga anterior à 1952
0.8 a ~ 2 TU	Mistura entre submoderno e recarga recente
2 a 8 TU	Moderno (< 5 a 10 anos)
10 a 20 TU	Alguma "bomba" ^3H presente
> 20 TU	Considerável componente de recarga de 1960's ou 1970's

2.7.3 Carbono-14 (^{14}C) nas Águas dos Aquíferos Barreiras, Pirabas Superior e Inferior

Na segunda campanha de amostragens, os mesmos pontos selecionados para análises de trítio foram amostrados também para análises de radiocarbono (^{14}C), com exceção dos poços P01, que não tinha concentração de carbono suficiente para esta análise; totalizando assim 32 amostras (Aquífero Barreiras (12), Aquífero Pirabas Superior (6), Aquífero Pirabas Inferior (13) e sem aquíferos identificados (1)).

Em campo foram seguidos todos os procedimentos de amostragem; em seguida, as amostras foram enviadas ao laboratório para análise específica. Os resultados estão agrupados no Quadro 12.

Para o Aquífero Barreiras foi admitida a datação fornecida pelo laboratório sem correções, calculada pela equação t_{Libby} , uma vez que, a Formação Barreiras é formada por sedimentos continentais com ausência de cimentação carbonática.

Para os Aquíferos Pirabas superior e inferior adotou o cálculo de correção pelo modelo $\delta^{13}C$ (*mixing*), foi atribuído o valor de -23‰ para o $\delta^{13}C$ do CO_2 do solo ($\delta^{13}C_{soil}$) e de 0‰ para o $\delta^{13}C$ de calcita dissolvida ($\delta^{13}C_{carb}$). Esta correção foi necessária nestas análises, pois a Formação Pirabas possui cimentação carbonáticas, o que interfere nos valores obtidos em laboratório.

O carbono-13 pode ser um bom traçador da evolução do DIC (carbono inorgânico dissolvido) em águas subterrâneas em sistema aberto e fechado. A ampla diferença em $\delta^{13}C$ entre DIC derivado do solo e de minerais carbonáticos ocasiona a diluição de ^{14}C por dissolução carbonática.

O modelo $\delta^{13}C$ (*mixing*) permite a incorporação de DIC (^{14}C ativo) durante a dissolução carbonática sob condições de sistema aberto, e subsequente diluição de ^{14}C sob condições de sistema fechado.

Qualquer processo que adiciona, remove ou troca carbono do DIC e que, desse modo, altera as concentrações de ^{14}C , também afeta as concentrações de ^{13}C . O fator de diluição q é então obtido do balanço de massa do isótopo de carbono:

$$q = \frac{\delta^{13}C_{DIC} - \delta^{13}C_{carb}}{\delta^{13}C_{soil} - \delta^{13}C_{carb}}$$

$\delta^{13}C_{DIC}$ = $\delta^{13}C$ medido na água subterrânea;

$\delta^{13}C_{soil}$ = $\delta^{13}C$ do CO_2 do solo (normalmente próximo a -23‰);

$\delta^{13}C_{carb}$ = $\delta^{13}C$ da calcita sendo dissolvida (normalmente próximo a 0‰).

As idades encontradas variam de moderna a 9407 anos para o Aquífero Barreiras, 100 anos a 14448 anos para o Aquífero Pirabas Superior e 1543 anos a 28864 anos para o Aquífero Pirabas Inferior (Quadro 12, Figura 64 e Figura 66).

Algumas considerações que podemos destacar nestas análises de Carbono-14: O poço P147 (COSANPA – Centro/Marituba – Aquífero Pirabas Superior – 14.448 anos) possivelmente explora água do Aquífero Pirabas Inferior; os poços P50 (Indústria – Maracacuera/Belém – Aquífero Barreiras – 9.407 anos) e P148 (Poço particular – Icoaraci/Belém – Aquífero Barreiras – 4.514 anos), provavelmente, exploram águas de mais uma unidade aquífera e não somente do Aquífero Barreiras como informado; os poços Rimas1 (Poço RIMAS – COSANPA/5º SETOR/PENTÁGONO – Aquífero Pirabas Superior – 100 anos), Rimas5 (Poço RIMAS ICOARACI/SOUZA FRANCO – Aquífero Pirabas Inferior – 1543 anos), P03 (Poço RIMAS – COSANPA/5º Setor/FEMAC – Aquífero Pirabas Inferior – 1.843 anos) e Rimas6 (Poço RIMAS – Icoaraci/Paracuri II – Aquífero Pirabas Inferior – 4.757 anos), possivelmente captam água também do aquífero Barreiras; o poço Rimas7 (Poço RIMAS – ICOARACI/FUNASA – sem informação sobre as posições filtrantes – 6.422 anos), possivelmente podem ter filtros no Aquífero Pirabas inferior devido a sua profundidade (225 m), porém observa-se pela idade e pelas características hidroquímicas, uma provável mistura de águas dos aquíferos Barreiras e Pirabas neste poço. Podemos observar na Figura 65 (diagramas de Stiff) estas diferenças quando comparamos os dados hidroquímicos.

Quadro 12 – Resultados das análises de ^{14}C e $\delta^{13}\text{C}$ das amostras de água da área de estudo

Nº Am	Aquífero	Prof (m)	$\delta^{13}\text{C}$	PMC	^{14}C (laboratório)	Correção $\delta^{13}\text{C}$ mixing
P05	Pirabas Inferior	246	-15.312	0.17	14258	11310
P08	Pirabas Inferior	252	-17.85	0.24	11464	9702
P16	Pirabas Inferior	250.5	-11.16	0.04	26020	20800
P26	Pirabas Inferior	252	-11.12	0.02	32350	27284
P27	Pirabas Inferior	264	-11.79	0.02	33415	28864
P37	Pirabas Inferior	282.34	-13.017	0.12	16978	12767
P44	Barreiras	42	-14.33	0.94	528	ND
P50	Barreiras	80	-11.19	0.31	9407	ND
P57	Pirabas Inferior	200	-11.681	0.04	25399	20538
P83	Barreiras	24	-16.19	1.05	Modern	ND
P91	Pirabas Superior	102	-17.84	0.67	3222	1217
P98	Pirabas Inferior	180	-11.29	0.15	15122	9680
P101	Pirabas Superior	100	-11.01	0.26	10875	5099
P106	Barreiras	18	-7.95	1.28	Modern	ND
P112	Barreiras	42	-13.71	0.99	119	ND
P114	Barreiras	28	-15.00	0.99	106	ND
P119	Barreiras	30	-13.56	0.97	279	ND
P120	Barreiras	50	-10.86	1.03	Modern	ND
P128	Pirabas Superior	120	-15.43	0.46	6321	3204
P132	Pirabas Superior	120	-16.86	0.55	4814	2388
P134	Barreiras	34	-15.88	1.00	Modern	ND
P137	Barreiras	50	-11.84	1.01	Modern	ND
P143	Barreiras	40	-13.45	1.00	Modern	ND
P145	Pirabas Inferior	200	-12.15	0.12	17261	12489
P147	Pirabas Superior	130	-12.875	0.10	18699	14448
P148	Barreiras	96	-15.53	0.57	4514	ND
P03	Pirabas Inferior	188	-13.33	0.79	1843	ND
Rimas 1	Pirabas Superior	270	-13.61	0.99	100	ND
Rimas 4	Pirabas Inferior	264	-16.73	0.27	10510	8185
Rimas 5	Pirabas Inferior	252.05	-18.65	0.68	3149	1543
Rimas 6	Pirabas Inferior	280	-15.66	0.38	7712	4757
Rimas 7	NI	225	-13.97	0.28	10246	6422

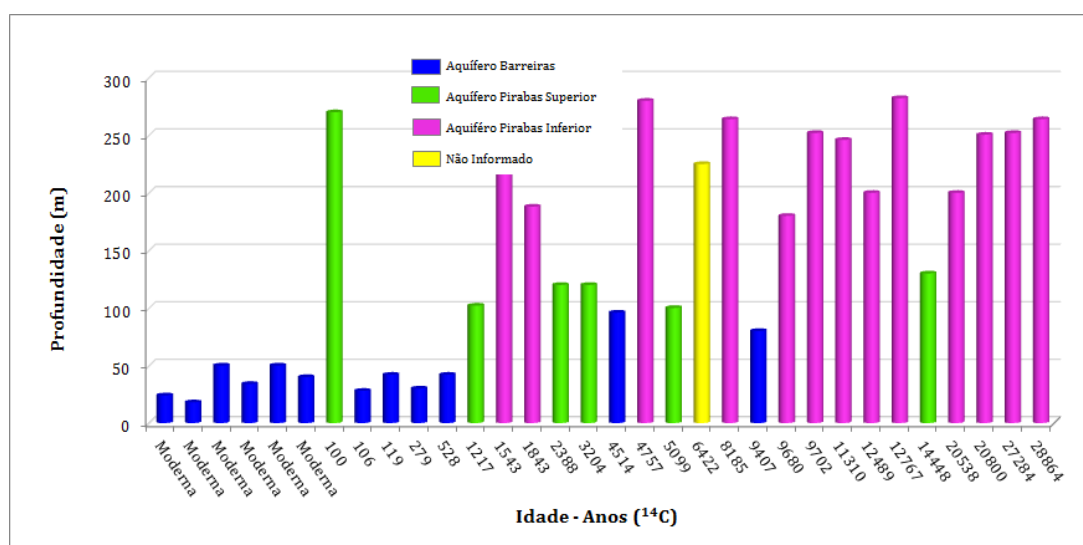


Figura 64 – Idades (^{14}C) versus profundidades (m) das amostras dos pontos de coleta de água subterrânea na região de Belém.

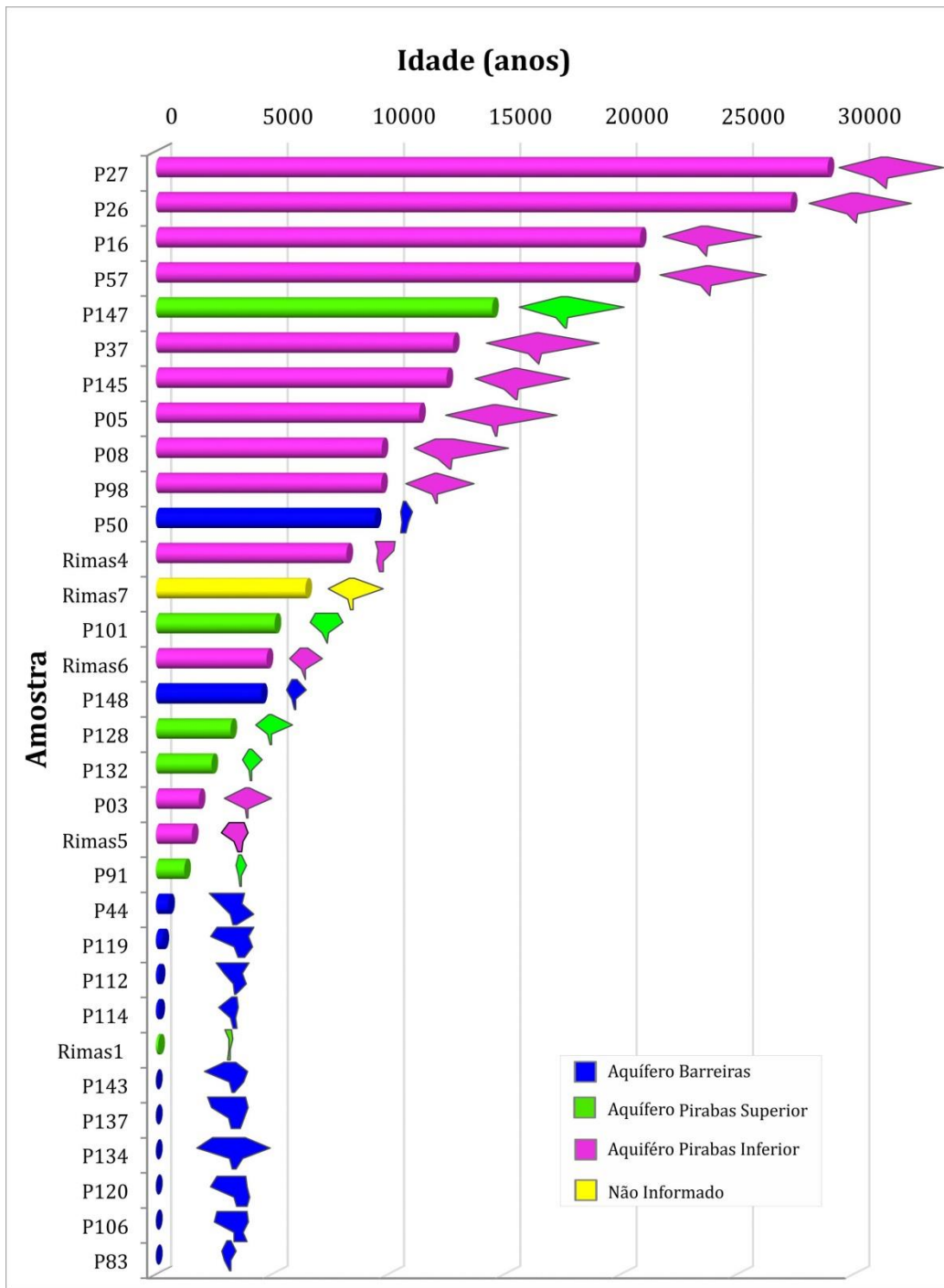
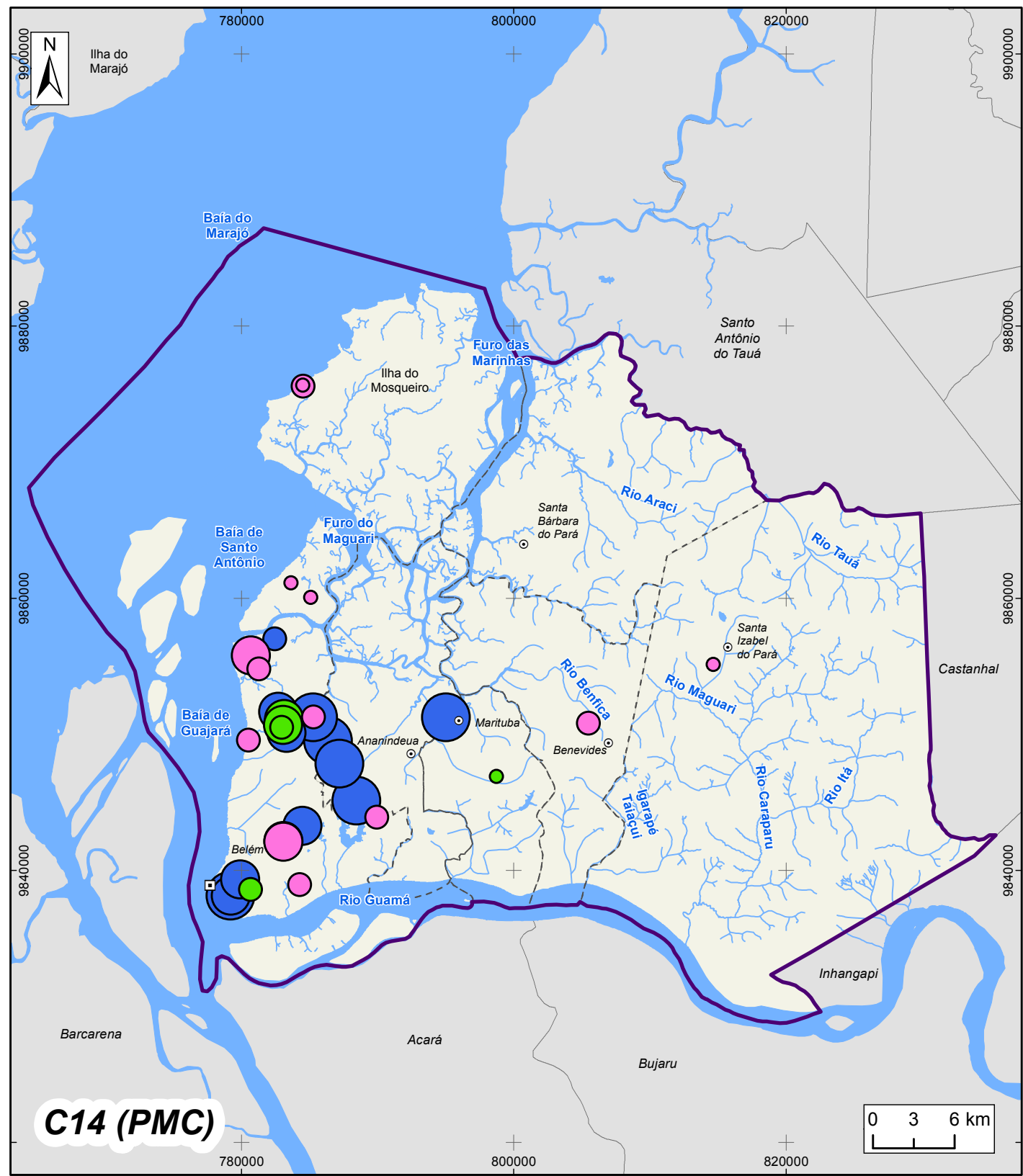
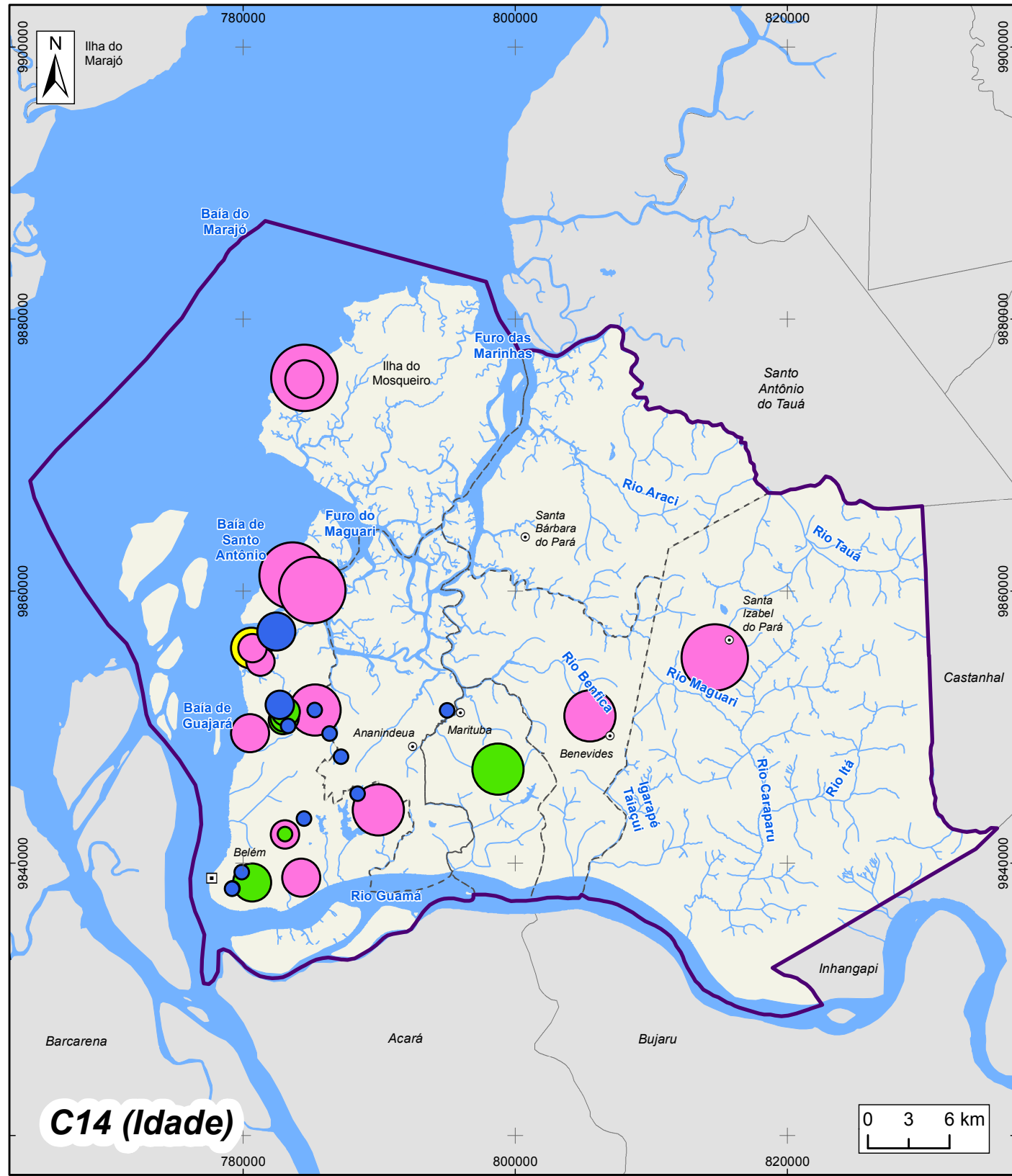


Figura 65 – Idades (^{14}C) das amostras e seus respectivos diagramas de Stiff (Aquíferos Barreiras, Pirabas Superior, Pirabas Inferior e aquíferos NI)



LEGENDA

Hidrografia	14C - Idade	10.001 - 20.000	14C - PMC
Massa d'água	< 1.000	1.001 - 5.000	0,02 - 0,10
Área de Estudo	1.001 - 5.000	> 20.000	0,11 - 0,50
Limite municipal	5.001 - 10.000		0,51 - 1,00
Aquífero			1,01 - 2,00
Barreiras			
Pirabas Superior			
Pirabas Inferior			
Não Informado			

Figura 66 – Mapas de distribuição de 14C (Idade e PMC- porcentagem de carbono moderno) dos pontos de coleta de água subterrânea, na região de Belém



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA. Dados de Idade e PMC: ANA/Profill

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_66_Resultados_C14_A3
Escala:	1:400.000

2.7.4 Trítio (H^3) nas Águas dos Aquíferos Barreiras, Pirabas Superior e Inferior

Foram realizadas análises de trítio (3H) em amostras de água de 33 poços (Aquífero Barreiras (13), Aquífero Pirabas Superior (6), Aquífero Pirabas Inferior (13) e sem aquíferos identificados (1)). Todos os procedimentos de amostragem em campo foram seguidos e as amostras foram enviadas ao laboratório para análise isotópica.

No Quadro 13 estão agrupados os resultados das análises e a interpretação qualitativa com base em Clark e Fritz (1997). Em seguida, apresentamos os mapas de localização das análises de δ^3H e das classificações interpretadas na área de estudo (Figura 68).

Os resultados das análises de água subterrânea nas áreas de estudo (aquíferos Barreiras, Pirabas Superior e Pirabas Inferior e Rimas 7 – aquífero não informado) apresentam valores de δ^3H que variam até 1.53 TU, ou seja, temos águas com recarga submoderna e mistura entre recarga submoderna e recarga recente.

Dentre as amostras analisadas, 29 constituem águas provenientes de recarga submoderna, presentes tanto no Aquífero Barreiras quanto nos aquíferos Pirabas (superior e inferior), sugerindo que estes aquíferos possuem recarga anterior ao ano de 1952. Porém, devido a sua meia vida curta (~12,4 anos) o trítio é indicado para análises de águas recentes, podendo assim sugerir uma interpretação equivocada para águas mais antigas.

Somente no Aquífero Barreiras foram identificadas águas provenientes de misturas de recarga submoderna com recarga recente. São amostras que foram coletadas em poços rasos (até 50 metros de profundidade - Figura 67 e Figura 68) e apresentam idade moderna na análise de carbono-14, o que corrobora com a pouca idade sugerida pelas análises de trítio.

Cabe destacar que a amostragem, possivelmente, reflete misturas de águas em um mesmo poço, ou seja, águas mais antigas da parte mais profunda do poço, com águas mais jovens da parte mais superficial do poço, interferindo assim nos resultados.

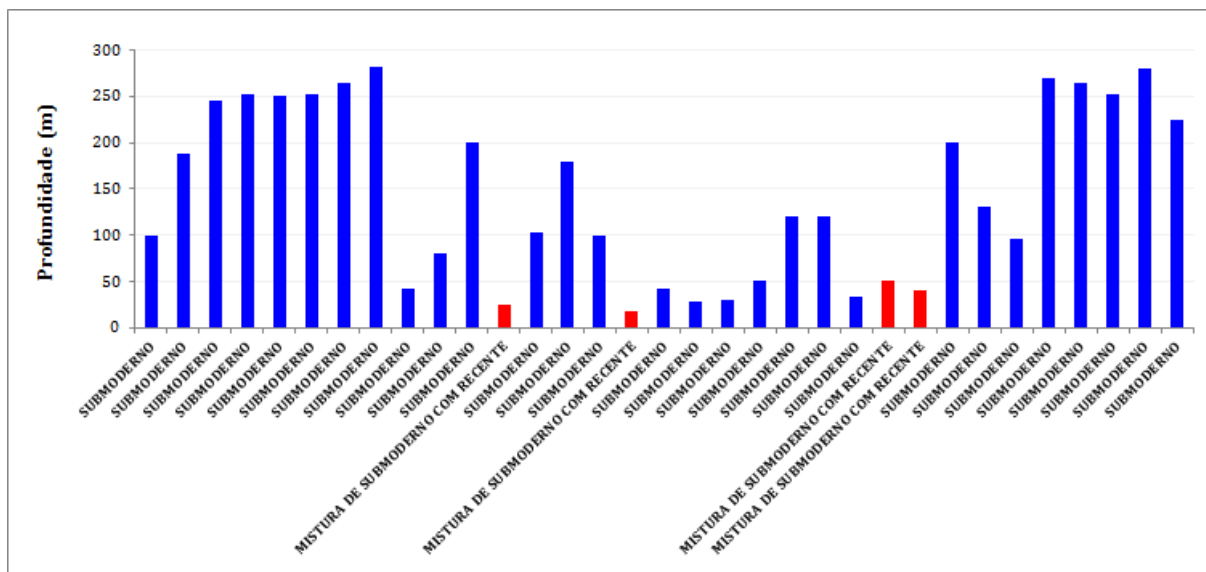
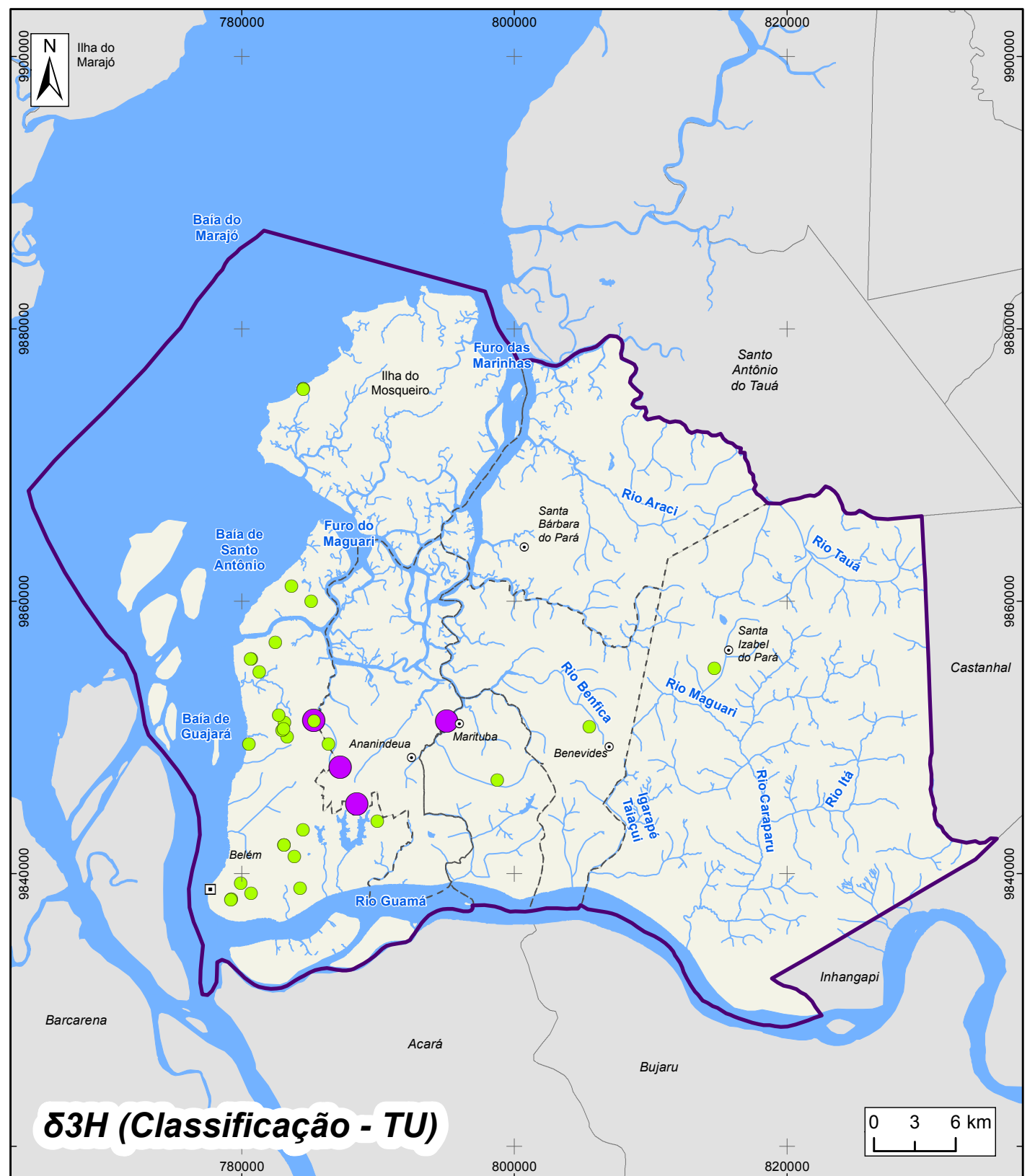
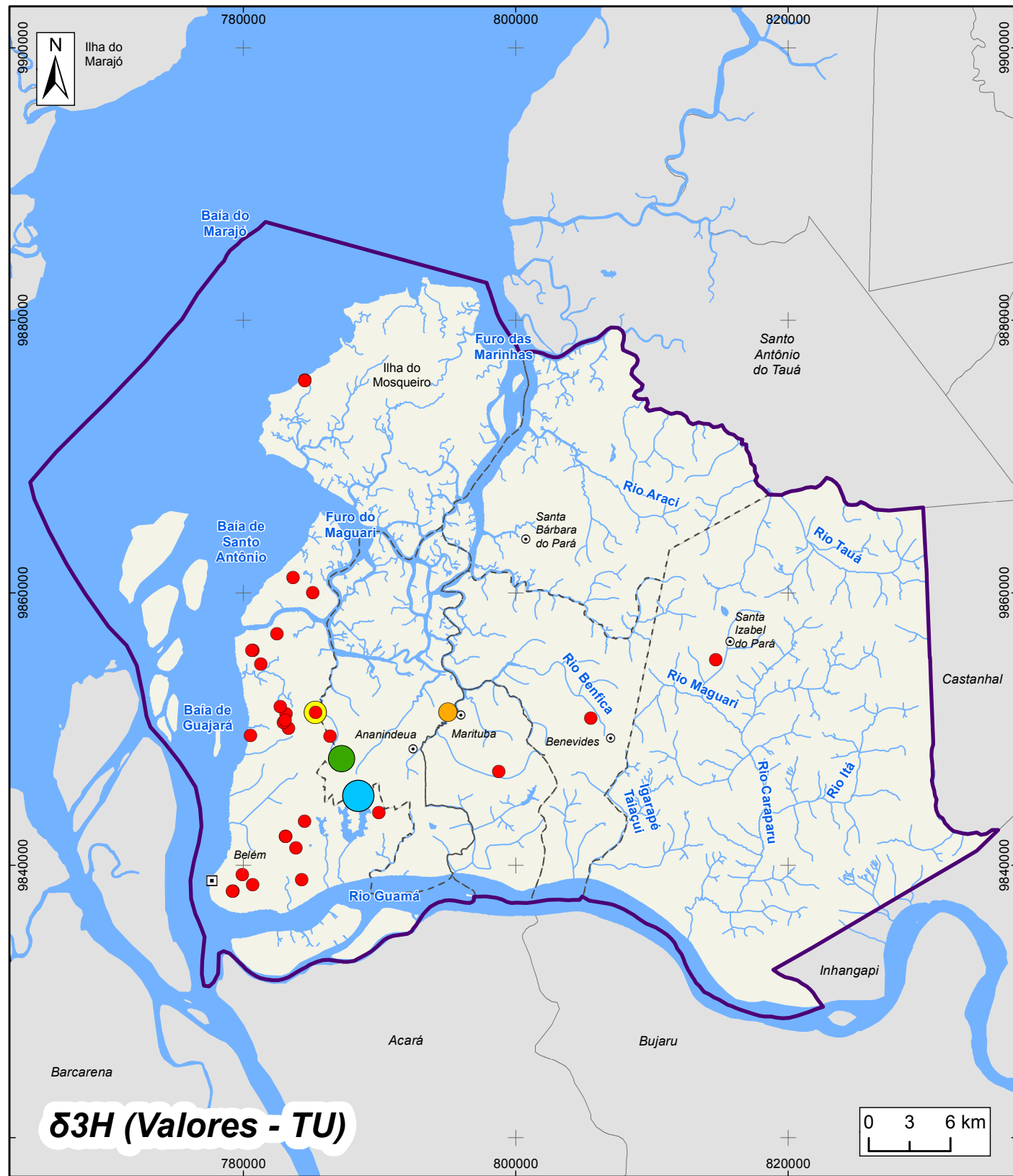


Figura 67 – Profundidade vs Interpretação Qualitativa (³H – Trítio) para as amostras de água subterrânea na região de Belém.

Quadro 13 – Resultados das análises de $\delta^3\text{H}$ de amostras de água na área de estudo com as interpretações qualitativas

Amostra	Aquifero	$\delta^3\text{H}$ (TU)	Interpretação Qualitativa
P01	Barreiras	<0.8	SUBMODERNO
P03	Pirabas Inferior	<0.8	SUBMODERNO
P05	Pirabas Inferior	<0.8	SUBMODERNO
P08	Pirabas Inferior	<0.8	SUBMODERNO
P16	Pirabas Inferior	<0.8	SUBMODERNO
P26	Pirabas Inferior	<0.8	SUBMODERNO
P27	Pirabas Inferior	<0.8	SUBMODERNO
P37	Pirabas Inferior	<0.8	SUBMODERNO
P44	Barreiras	<0.8	SUBMODERNO
P50	Barreiras	<0.8	SUBMODERNO
P57	Pirabas Inferior	<0.8	SUBMODERNO
P83	Barreiras	0.8	MISTURA DE SUBMODERNO COM RECENTE
P91	Pirabas Superior	<0.8	SUBMODERNO
P98	Pirabas Inferior	<0.8	SUBMODERNO
P101	Pirabas Superior	<0.8	SUBMODERNO
P106	Barreiras	1.5	MISTURA DE SUBMODERNO COM RECENTE
P112	Barreiras	<0.8	SUBMODERNO
P114	Barreiras	<0.8	SUBMODERNO
P119	Barreiras	<0.8	SUBMODERNO
P120	Barreiras	<0.8	SUBMODERNO
P128	Pirabas Superior	<0.8	SUBMODERNO
P132	Pirabas Superior	<0.8	SUBMODERNO
P134	Barreiras	<0.8	SUBMODERNO
P137	Barreiras	1.2	MISTURA DE SUBMODERNO COM RECENTE
P143	Barreiras	1.0	MISTURA DE SUBMODERNO COM RECENTE
P145	Pirabas Inferior	<0.8	SUBMODERNO
P147	Pirabas Superior	<0.8	SUBMODERNO
P148	Barreiras	<0.8	SUBMODERNO
Rimas1	Pirabas Superior	<0.8	SUBMODERNO
Rimas4	Pirabas Inferior	<0.8	SUBMODERNO
Rimas5	Pirabas Inferior	<0.8	SUBMODERNO
Rimas6	Pirabas Inferior	<0.8	SUBMODERNO
Rimas7	NI	<0.8	SUBMODERNO



LEGENDA

- | | | |
|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ☐ Capital Estadual ⊙ Sede Municipal ~ Hidrografia ☪ Massa d'água ⊕ Área de Estudo - - - Limite municipal | <p>Tritio (TU)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● <math>< 0,8</math> ● 0.81 - 1.00 ● 1.01 - 1.20 ● 1.21 - 1.40 ● 1.41 - 1.53 | <p>Tritio (TU) - Classificação</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Submoderna (anterior 1952) ● Mistura (Submoderna/Recente) |
|---|---|--|

Figura 68 – Mapa de localização e classificação das análises de $\delta 3H$ dos pontos de coleta de água subterrânea, na região de Belém



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA. Dados de Tritio: ANA/Profil

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_68_Resultados_Tritio_A3
Escala:	1:400.000

3 CONCLUSÕES

As águas dos aquíferos estudados foram classificadas, predominantemente, como cloretadas sódicas. Águas bicarbonatadas cálcicas ocorrem subordinadamente, mas de modo mais expressivo no Aquífero Pirabas Inferior. Águas sulfatadas cálcicas ocorrem em menores proporções, porém são mais significantes no Aquífero Pós-Barreiras. No geral, as águas dos aquíferos Pós-Barreiras e Barreiras são relativamente menos salinas e as águas do Aquífero Pirabas Inferior mais mineralizadas.

Nos aquíferos Pós-Barreiras e Barreiras predominam águas ácidas de baixa salinidade, enquanto no Aquífero Pirabas Inferior as amostras são mais alcalinas. Os ânions com maiores concentrações são: bicarbonato (HCO_3), principalmente no Aquífero Pirabas Inferior; nitrato e cloreto, principalmente no Aquífero Barreiras. Dentre os cátions, destacam-se concentrações mais elevadas de cálcio (Aquífero Pirabas Inferior) e sódio (demais aquíferos).

Métodos estatísticos de comparação mostraram que os aquíferos Pós Barreiras, Barreiras e Pirabas Superior são estatisticamente iguais quanto ao conteúdo físico-químico de suas águas, fato que pode estar relacionado à proximidade estratigráfica dessas unidades. O Aquífero Pirabas Inferior mostra-se estatisticamente diferente dos demais aquíferos estudados, o que pode estar relacionado às diferenças do conteúdo mineralógico do arcabouço rochoso dessas unidades aquíferas.

A análise de agrupamentos evidenciou a separação em quatro grupos de águas, sendo distinguidos basicamente por diferenças de salinidade (A, B e C), ou ainda por alguns contaminantes antrópicos, como o nitrato, que interferem na separação desses agrupamentos; o Grupo D pode ser considerado representativo do Aquífero Pirabas Inferior.

Águas com teores de nitrato elevados, ocasionalmente acima do permitido pela Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde, acompanhadas de cloreto, devem estar relacionadas à contaminação antrópica.

Algumas amostras apresentam teores de ferro e manganês que ultrapassam o máximo permitido pela Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde.

As concentrações elevadas de ferro no Aquífero Pirabas podem, possivelmente, ser explicadas pela presença de minerais como a nontronita, a pirita (Picanço et al. 2002); a marcassita, a magnetita (Barros et al. 2005) e a ankerita (Barros et al. 2003), porém estudos mais detalhados da mineralogia desta Formação seriam necessários.

As amostras selecionadas para análises de qualidade e potabilidade das águas das áreas estudadas (metais pesados, BTEX e índice de fenóis), em sua maioria apresentam valores inferiores ao máximo permitido pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde. Destaca-se a amostra P14, que apresentou elevada concentração de arsênio.

As análises de isótopos estáveis de oxigênio (O^{18}) e de hidrogênio (Deutério) confirmam a origem meteórica das águas da área estudada; as águas do Aquífero Pirabas Inferior apresenta proporção relativamente maior de isótopos leves em relação aos demais, possivelmente relacionada à sua maior profundidade.

Nas análises de trítio ($3H$) somente no Aquífero Barreiras foram identificadas águas provenientes de misturas de recarga submoderna com recarga recente. As análises de Carbono-14 confirmam águas mais antigas no Aquífero Pirabas Inferior.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA) and WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 1368 p. 2012.
- APPELO, C.A.J.; POSTMA, D. Geochemistry, groundwater and pollution. 2ª ed. Amsterdam: Balkema Publishers, 650p, 2005.
- BARROS, A.E.F.; COSTA, W.A.; LIMA, W.N. Estudo espectroscópico preliminar sobre a matéria orgânica de folhelhos associados à Formação Pirabas (Falésia da Praia do Bispo, Ilha dos Mosqueiro-PA). Geochim. Brasil, 19(1) 060-066, 2005.
- BARROS, A.E.F.; COSTA, W.A.; TAVORA, V.A. Contribuição à mineralogia e à geoquímica de sedimentitos de perfil litológico (ilha de Mosqueiro, PA). In: VIII SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, (Manaus, AM).
- BJORLYKKE, K.; EGEBERG, P.K. Quartz cementation in Sedimentary Basins. AAPG Bulletin, v.77, p.1538-1548, 1993.
- CAMPOS, G.M. Estatística prática para docentes e pós-graduandos. Notas de aula. http://www.furp.usp.br/restauradora/gmc/gmc_livro/gmc_livro.html. 2002.
- CAMPOS, H. Estatística experimental não paramétrica. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz - USP", São Paulo, 343p., 1979.
- CABRAL, N.M.T. Impacto da Urbanização na Qualidade das Águas Subterrâneas nos bairros do Reduto, Nazaré e Umarizal – Belém/PA. 2004, 289f. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém - PA, 2004.
- CLARK, I.D.; FRITZ, P. Environmental Isotopes in Hydrogeology, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1997.
- COSTA NETO, P.L.O. Estatística. Edgard Blücher Ltda., São Paulo, 264p., 1977.
- CRAIG, H. Isotopic variations in meteoric waters. Science, 1961. 133: 1702-1703.
- CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, M.R. Hidrologia subterrânea. 2ª ed. Barcelona: Ediciones Omega, 2v, 2350 p., 1996.
- GAT, J.R. Oxygen and Hydrogen Isotopes in the Hydrologic Cycle. Rev. Earth Planet v.24. 225-262p, 1996.
- GODWIN, H. Half life of radiocarbon. Nature 195, 984p., 1962.
- GULER, C.; THYNE, G.D. Hydrologic and geologic factors controlling surface and groundwater chemistry in Indian Wells-Owens Valley area, southeastern California, USA. Journal of Hydrology, Amsterdam, v.285, p 177-198, 2004.
- HEM, J.D. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. Alexandria: U.S.G.S., U.S. Geological Survey Water Supply Paper 2254. 272 p., 1985.
- LANDIM, P.M.B. Análise estatística espacial de dados geológicos multivariados. DGA/IGCE/UNESP Rio Claro. Laboratório de Geomatématica, texto didático 15, 158 p. 2006.
- LIBBY, W.F. Radiocarbon Dating. University of Chicago Press, Chicago, 124p.,1952. (Also published in Phoenix Science Series, second ed., 1965).

- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Isotope methods for dating old groundwater. IAEA, Vienna, 357p., 2013.
- MENG, S.X.; MAYNARD, J.B. Use os statistical analysis to formulate conceptual models of geochemical behavior: water chemical data from the Botucatu aquifer in São Paulo state, Brazil. Journal of Hydrology, Amsterdam, v. 250, p. 78-97, 2001.
- MOOK, W.G. Carbon-14 in hydrogeological studies. In: Handbook of environmental isotope geochemistry (Fritz, P, and Fontes, J.C., editors), Vol 1, Elsevier Sci. Publ. Co., Amsterdam, 49-74p, 1980.
- NORDSTROM, D.K.; MUNOZ, J.L. Geochemical Thermodynamics. Menlo Park, California. The Benjamin/Cummings Co., Inc. 477p, 1985.
- PARKHURST D.L.; APPELO P. User's guide to Phreeqc (Version 2) – A computer program for speciation. speciation. batch-reaction. one-dimensional transport. and inverse geochemical calculations: Denver: USGS, 1999, 310p. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 99-4259.
- PICANÇO, F.E.L.; LOPES, E.C.S; SOUZA, E.L.de. Fatores responsáveis pela ocorrência de ferro em águas subterrâneas da Região Metropolitana de Belém/PA. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2002, São Paulo. Resumos. São Paulo. ABAS, 2002.
- PIPER, A.M.A.A. Graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. Reprinted: American Geophysical Union Transactions, v.25, p. 914-923, 1944.
- PORTARIA 2914 DE 12 DE DEZEMBRO DE 2011 – Ministério da Saúde. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.
- RESOLUÇÃO 396 DE 03 DE ABRIL DE 2008 – MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE E CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.
- RICHARDS, L.A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: US Department of Agriculture, 1954. 160p. USDA Agricultural Handbook, 60
- STIFF, H.A. JR. The interpretation of chemical water analysis by means of patterns. Reprinted: Journal of Petroleum Technology, Oxford, v. 3, n. 10, p. 15-16, 1951.
- STUIVER, M.; POLACH, H. Discussion: Reporting of 14C data. Radiocarbon 19(3):355-363p.,1977.
- STUMM, W. Chemistry of the solid-water interface: processes at the mineral-water and particle-water interface in natural systems. Wiley-Interscience publication. 1992.
- VIDAL, A.C.; CHANG, H.K. Caracterização Hidroquímica dos Aquíferos da Bacia de Taubaté. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v.32, n. 2, p. 267-276, 2002.

5 ANEXOS

Na sequência são apresentados os seguintes anexos:

- ANEXO I – IDENTIFICAÇÕES DAS AMOSTRAS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS COLETADAS NA REGIÃO DE BELÉM
- ANEXO II – ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DAS AMOSTRAS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM (1ª. CAMPANHA DE AMOSTRAGENS).
- ANEXO III – ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DAS AMOSTRAS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM (2ª. CAMPANHA DE AMOSTRAGENS)
- ANEXO IV – BALANÇO IÔNICO (1ª CAMPANHA DE AMOSTRAGENS)
- ANEXO V – BALANÇO IÔNICO (2ª CAMPANHA DE AMOSTRAGENS)
- ANEXO VI – CLASSIFICAÇÃO HIDROQUÍMICA CONFORME DIAGRAMA DE PIPER (1ª E 2ª CAMPANHAS DE AMOSTRAGENS)
- ANEXO VII – DENDROGRAMAS DAS AMOSTRAS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM (1ª E 2ª CAMPANHAS DE AMOSTRAGENS)
- ANEXO VIII – RAZÕES IÔNICAS (1ª CAMPANHA DE AMOSTRAGENS)
- ANEXO IX – RAZÕES IÔNICAS (2ª CAMPANHA DE AMOSTRAGENS)
- ANEXO X – ÍNDICES DE SATURAÇÃO (1ª CAMPANHA DE AMOSTRAGENS)
- ANEXO XI – ÍNDICES DE SATURAÇÃO (2ª CAMPANHA DE AMOSTRAGENS)
- ANEXO XII – MAPAS DE ISOVALORES – 1ª E 2ª CAMPANHAS DE AMOSTRAGENS

ANEXO I – IDENTIFICAÇÕES DAS AMOSTRAS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS COLETADAS NA REGIÃO DE BELÉM

Anexo I – Identificações das amostras de água subterrânea coletadas na área de estudo

ID	ID Coleta	Aquífero	Campanhas	ID	ID Coleta	Aquífero	Campanhas
P01	P01	Barreiras	1 e 2	P41	CA-041	Pirabas Superior	1 e 2
P02	P02	Pirabas Superior	1 e 2	P42	CA-042	Pirabas Inferior	1 e 2
P03	P03	Pirabas Inferior	1 e 2	P43	P43	Pós-Barreiras	1
P04	P04	Pirabas Inferior	1 e 2	P44	CA-044	Barreiras	1 e 2
P05	P05	Pirabas Inferior	1 e 2	P45	P45	Barreiras	1 e 2
P06	P06	Barreiras	1 e 2	P46	CA-046	Barreiras	1 e 2
P07	P07	Pós-Barreiras	1 e 2	P47	CA-047	Barreiras	1 e 2
P08	P08	Pirabas Inferior	1 e 2	P48	CA-048	Pós-Barreiras	1 e 2
P09	P09	Pirabas Inferior	1 e 2	P49	P-49	Pós-Barreiras	1
P10	P10	Pirabas Inferior	1 e 2	P50	CA-050	Barreiras	1 e 2
P11	P11	Pirabas Inferior	1 e 2	P51	P51	Barreiras	1 e 2
P12	P12	Pirabas Superior	1 e 2	P52	CA-052	Barreiras	1 e 2
P13	P13	Pirabas Inferior	1 e 2	P53	P53/CA053	Barreiras	1 e 2
P14	P14	Barreiras	1 e 2	P54	Ca-054	Barreiras	1 e 2
P15	P15	Barreiras	1 e 2	P55	P55	Pirabas Superior	1 e 2
P16	P16	Pirabas Inferior	1 e 2	P56	Ca-056	Barreiras	1 e 2
P17	P17	Pós-Barreiras	1 e 2	P57	P57	Pirabas Inferior	1 e 2
P18	P18	Barreiras	1 e 2	P58	CA-058	Barreiras	1 e 2
P19	P19	Barreiras	1 e 2	P59	CA-059	Barreiras	1 e 2
P20	P20	Pós-Barreiras	1 e 2	P60	CA-060	Barreiras	1 e 2
P21	P21	Barreiras	1 e 2	P61	CA-061	Barreiras	1 e 2
P22	P22	Pirabas Inferior	1 e 2	P62	CA-062	Pirabas Inferior	1 e 2
P23	P23	Barreiras	1 e 2	P63	CA-063	Barreiras	1 e 2
P24	P24	Pós-Barreiras	1	P64	CA-064	Barreiras	1 e 2
P25	P25	Pirabas Superior	1 e 2	P65	P65/CA-065	Barreiras	1 e 2
P26	P26	Pirabas Inferior	1 e 2	P66	CA66	Pirabas Inferior	1 e 2
P27	P27	Pirabas Inferior	1 e 2	P67	P67	Barreiras	1 e 2
P28	P28	Pirabas Inferior	1 e 2	P68	CA-68	Pós-Barreiras	1 e 2
P29	P29	Barreiras	1 e 2	P69*	CA-69	Barreiras	1
P30	P30	Pós-Barreiras	1 e 2	P69*	CA-69	Pirabas Inferior	2
P31	P31	Pós-Barreiras	1 e 2	P70	CA-70	Pós-Barreiras	1 e 2
P32	CA32/32	Barreiras	1 e 2	P71	P71	Pós-Barreiras	1 e 2
P33	P33	Barreiras	1 e 2	P72	CA072	Pirabas Inferior	1 e 2
P34	CA34/P34	Barreiras	1 e 2	P73	P073	Barreiras	1 e 2
P35	P35	Pós-Barreiras	1 e 2	P74	CA074	Pirabas Inferior	1 e 2
P36	CA036/P36	Barreiras	1 e 2	P75	P075	Barreiras	1 e 2
P37	P37	Pirabas Inferior	1 e 2	P76	CA-076	Barreiras	1 e 2
P38	CA038/P38	Barreiras	1 e 2	P77	P77	Pós-Barreiras	1 e 2
P39	CA-039	Barreiras	1 e 2	P78	Ca-078	Barreiras	1 e 2
P40	CA040/P40	Pirabas Inferior	1 e 2	P79	P079	Pós-Barreiras	1 e 2

Anexo I – Identificações das amostras de água subterrânea coletadas na área de estudo

ID	ID Coleta	Aquífero	Campanhas	ID	ID Coleta	Aquífero	Campanhas
P80	CA-080	Barreiras	1 e 2	P120	CA-120	Barreiras	1 e 2
P81	P81	Barreiras	1 e 2	P121	CA-121	Barreiras	1 e 2
P82	Ca-082	Barreiras	1 e 2	P122	CA-122	Barreiras	1 e 2
P83	CA-083	Barreiras	1 e 2	P123	CA-123	Barreiras	1 e 2
P84	CA084	Barreiras	1 e 2	P124	CA-124	Barreiras	1 e 2
P85	CA085/P85	Barreiras	1 e 2	P125	CA-125	Barreiras	1 e 2
P86	CA-086	Barreiras	1 e 2	P126	CA-126	Barreiras	1 e 2
P87	Ca-087	Pós-Barreiras	1 e 2	P127	CA-127	Barreiras	1 e 2
P88	CA-088	Barreiras	1 e 2	P128	CA-128	Pirabas Superior	1 e 2
P89	CA-089	Barreiras	1 e 2	P129	CA-129	Barreiras	1 e 2
P90	Ca-090	Barreiras	1 e 2	P130	CA-130	Barreiras	1
P91	P91/CA091	Pirabas Superior	1 e 2	P131	CA-131	Barreiras	1 e 2
P92	CA-092	Barreiras	1 e 2	P132	CA-132	Pirabas Superior	1 e 2
P93	CA093	Barreiras	1 e 2	P133	CA-133	Barreiras	1 e 2
P94	CA094	Barreiras	1 e 2	P134	CA-134	Barreiras	1 e 2
P95	CA-095	Barreiras	1 e 2	P135	CA-135	Barreiras	1 e 2
P96	CA-096	Barreiras	1 e 2	P136	CA-136	Barreiras	1 e 2
P97	CA-097/P097	Barreiras	1 e 2	P137	CA-137	Barreiras	1 e 2
P98	CA-098	Pirabas Inferior	1 e 2	P138	CA-138	Barreiras	1 e 2
P99	CA-099	Pós-Barreiras	1 e 2	P139	CA-139	Barreiras	1 e 2
P100	CA-100	Barreiras	1	P140	CA-140	Barreiras	1 e 2
P101	CA-101	Pirabas Superior	1 e 2	P141	CA-141	Barreiras	1 e 2
P102	CA-102	Barreiras	1 e 2	P142	CA-142	Barreiras	1 e 2
P103	Ca-103	Barreiras	1 e 2	P143	CA-143	Barreiras	1 e 2
P104	Ca-104	Barreiras	1 e 2	P144	CA-144	Barreiras	1 e 2
P105	CA-105	Barreiras	1 e 2	P145	CA-145	Pirabas Inferior	1 e 2
P106	Ca-106	Barreiras	1 e 2	P146	CA-146	Barreiras	1 e 2
P107	CA107	Barreiras	1 e 2	P147	CA-147	Pirabas Superior	1 e 2
P108	CA-108	Barreiras	1 e 2	P148	CA-148	Barreiras	1 e 2
P109	CA109	Barreiras	1 e 2	P149	CA-149	Barreiras	1 e 2
P110	CA-110	Barreiras	1 e 2	P150	CA-150	Pós-Barreiras	1 e 2
P111	CA111	Barreiras	1 e 2	RED21	RED21	Barreiras	2
P112	CA-112	Barreiras	1 e 2	NAZ39	NAZ39	NI	2
P113	CA-113	Barreiras	1 e 2	Rimas1	5ª 1 (Pentágono)	Pirabas Superior	2
P114	CA-114	Barreiras	1 e 2	Rimas4	Mosqueiro 3 (Murubira)	Pirabas Inferior	2
P115	CA-115	Barreiras	1 e 2	Rimas5	Icoaraci_Souza Franco	Pirabas Inferior	2
P116	CA-116	Barreiras	1 e 2	Rimas6	Icoaraci_Paracuri II	Pirabas Inferior	2
P117	CA-117	Barreiras	1 e 2	Rimas7	Icoaraci_FUNASA	NI	2
P118	CA-118	Barreiras	1 e 2				
P119	CA-119	Barreiras	1 e 2				

**ANEXO II – ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DAS AMOSTRAS DE
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO DE BELÉM
(1ª CAMPANHA DE AMOSTRAGEM)**

Anexo II – Análises físico-químicas das amostras de águas subterrâneas coletadas – 1ª campanha

ID	ID Coleta	Aquifero	Temp °C	pH	CE μS/cm	Eh mV	CE μS/cm	pH	Cor CU	Turbidez NTU	STD	Dureza	HCO ₃	CO ₃	Cl	SO ₄	PO ₄	Na	K ⁺	Ca	Mg	Fe	Mn	NH ₄	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻													
																											mg/L												
																											Laboratório												
P01	P01	Barreiras*	30.0	4.0	418.0	406.7	440.0	4.3	45	6.34	257.8	82.3	-	-	39.8	32.1	0.00	37.7	5.1	28.6	2.6	0.01	0.03	< 0,050	< 0,020	101.0													
P02	P02	Pirabas Superior	30.4	4.1	155.1	398.9	161.0	4.3	8	0.28	83.6	17.3	-	-	16.5	6.1	0.05	14.2	2.2	5.4	0.9	0.01	0.02	1.30	< 0,020	31.7													
P03	P03	Pirabas Inferior	32.6	5.1	76.0	288.1	40.3	5.4	82	37.8	38.4	1.9	7.6	-	4.3	1.2	0.00	5.0	0.1	0.4	0.2	3.54	0.05	< 0,050	< 0,020	3.5													
P04	P04	Pirabas Inferior	31.7	6.9	366.0	212.8	369.0	7.6	129	16.8	323.1	156.0	216.0	-	6.6	6.0	0.06	15.1	1.6	51.3	6.9	0.54	0.10	< 0,050	< 0,020	< 0,040													
P05	P05	Pirabas Inferior	30.5	6.4	365.0	238.4	358.0	7.6	64	5.66	329.2	180.0	221.0	-	2.4	5.2	0.08	2.2	0.1	61.6	6.2	0.70	0.21	< 0,050	< 0,020	0.8													
P06	P06	Barreiras	29.2	4.6	158.3	345.3	162.0	4.1	7	0.26	89.3	3.8	-	-	22.0	1.9	0.03	21.2	1.3	0.7	0.5	0.08	0.01	2.44	< 0,020	30.0													
P07	P07	Pós-Barreiras	29.9	4.6	82.9	335.3	67.0	4.3	19	1.31	32.2	5.1	-	-	6.9	0.8	0.00	5.7	< 0,10	0.9	0.7	0.01	0.00	< 0,050	< 0,020	10.9													
P08	P08	Pirabas Inferior	32.5	6.6	350.0	189.9	361.0	7.4	145	18.3	317.8	153.0	210.0	-	5.2	7.3	0.20	13.9	4.2	46.0	9.2	1.35	0.17	< 0,050	< 0,020	< 0,040													
P09	P09	Pirabas Inferior	29.3	6.6	385.0	262.1	356.0	7.7	4	0.89	310.4	169.0	211.0	-	1.9	5.6	0.03	3.4	0.4	55.5	7.3	0.21	0.18	< 0,050	< 0,020	< 0,040													
P10	P10	Pirabas Inferior	31.2	7.4	327.0	355.7	326.0	7.7	51	4.25	294.5	159.0	198.0	-	2.5	5.6	0.31	4.2	< 0,10	52.1	7.0	0.64	0.19	< 0,050	< 0,020	0.4													
P11	P11	Pirabas Inferior	31.6	7.3	334.0	306.6	337.0	7.6	30	3.58	302.1	167.0	201.0	-	3.6	6.0	0.06	4.5	0.6	54.9	7.3	0.28	0.17	< 0,050	< 0,020	< 0,040													
P12	P12	Pirabas Superior	28.2	6.1	60.9	250.0	56.3	6.4	199	60.9	69.2	19.9	27.8	-	2.6	0.2	0.13	1.3	1.4	5.7	1.4	8.49	0.19	0.14	< 0,020	0.2													
P13	P13	Pirabas Inferior	30.6	7.5	374.0	205.9	350.0	7.9	32	1.82	320.5	178.0	216.0	-	1.9	5.4	0.04	2.7	0.4	59.4	7.2	0.30	0.19	< 0,050	< 0,020	< 0,040													
P14	P14	Barreiras	28.3	6.5	1017.0	129.8	979.0	6.7	1038	121	574.1	72.5	126.0	-	234.0	< 0,020	0.45	131.0	4.9	10.9	11.0	8.11	0.03	27.20	< 0,020	1.2													
P15	P15	Barreiras	32.1	4.7	35.5	389.5	35.0	4.8	2	0.19	22.2	3.9	1.1	-	3.7	1.3	0.02	3.3	0.1	1.1	0.3	0.04	0.00	< 0,050	< 0,020	5.4													
P16	P16	Pirabas Inferior	30.8	7.3	332.0	266.0	329.0	7.7	103	8.15	304.3	163.0	203.0	-	3.2	5.2	0.02	4.9	1.0	54.8	6.3	0.10	0.13	0.73	< 0,020	0.6													
P17	P17	Pós-Barreiras	29.8	4.8	35.7	416.1	32.2	5.2	56	4.57	22.3	7.8	4.0	-	3.4	1.7	< 0,015	2.0	0.4	2.4	0.4	0.23	0.01	0.12	< 0,020	3.3													
P18	P18	Barreiras	30.8	4.7	111.3	406.5	99.2	4.8	11	0.35	60.6	18.1	1.8	-	9.7	4.1	< 0,015	8.9	1.0	6.3	0.6	0.01	0.01	< 0,050	< 0,020	23.4													
P19	P19	Barreiras	30.3	4.1	239.0	422.1	242.0	4.3	12	0.22	136.7	30.6	-	-	25.2	7.3	< 0,015	20.9	3.2	10.3	1.2	0.01	0.01	2.63	< 0,020	58.6													
P20	P20	Pós-Barreiras	29.8	5.1	216.0	382.7	200.0	5.3	12	0.76	123.2	30.6	7.9	-	24.2	11.8	< 0,015	22.1	3.1	10.3	1.2	0.02	0.01	1.34	< 0,020	36.3													
P21	P21	Barreiras	29.9	4.7	113.6	427.7	110.0	4.8	8	0.32	64.8	7.4	1.3	-	18.4	2.6	< 0,015	15.3	0.5	2.4	0.3	0.03	0.01	0.53	< 0,020	16.5													
P22	P22	Pirabas Inferior	31.0	7.4	401.0	288.7	392.0	7.8	20	1.01	352.7	193.0	244.0	-	4.5	5.0	0.04	4.9	< 0,10	64.2	7.9	0.11	0.14	< 0,050	< 0,020	0.5													
P23	P23	Barreiras	29.5	4.3	51.4	445.7	53.1	4.4	8	0.55	28.3	3.0	-	-	2.4	0.3	< 0,015	3.9	< 0,10	0.5	0.4	0.08	0.00	0.14	< 0,020	13.6													
P24	P24	Pós-Barreiras	29.5	4.4	34.9	444.0	35.0	4.5	45	6.08	17.9	2.2	-	-	2.8	0.7	0.02	2.3	0.1	0.4	0.3	0.02	0.00	0.13	< 0,020	5.1													
P25	P25	Pirabas Superior	28.8	4.4	35.1	424.9	41.9	4.6	14	0.42	31.4	1.9	0.3	-	6.4	4.5	< 0,015	5.3	0.1	0.4	0.3	0.16	0.01	0.11	< 0,020	1.4													
P26	P26	Pirabas Inferior	31.7	7.4	326.0	182.9	328.0	7.8	38	4.44	303.9	164.0	201.0	-	3.4	5.5	< 0,015	4.5	< 0,10	55.0	6.5	0.10	0.14	< 0,050	< 0,020	0.5													
P27	P27	Pirabas Inferior	31.6	7.4	351.0	260.7	253.0	7.8	40	11.6	242.7	140.0	151.0	-	4.9	5.6	< 0,015	4.4	1.9	42.9	8.1	0.04	0.08	< 0,050	< 0,020	0.4													
P28	P28	Pirabas Inferior	32.3	7.4	353.0	251.5	348.0	7.8	36	2.42	315.1	165.0	212.0	-	4.9	5.7	< 0,015	6.3	< 0,10	52.3	8.4	0.09	0.11	< 0,050	< 0,020	< 0,040													
P29	P29	Barreiras	29.4	4.6	90.6	354.0	81.2	4.9	11	1.32	50.3	3.4	4.1	-	15.4	2.9	< 0,015	14.3	1.7	1.0	0.2	0.01	0.00	< 0,050	< 0,020	5.5													
P30	P30	Pós-Barreiras	30.1	4.4	215.0	320.9	149.0	4.4	0	0.15	85.7	17.5	-	-	14.9	1.7	< 0,015	14.6	1.5	5.8	0.8	< 0,005	0.01	< 0,050	< 0,020	40.8													
P31	P31	Pós-Barreiras	29.5	5.7	111.1	275.5	111.0	6.2	5	0.2	72.0	30.7	8.8	-	7.7	10.0	0.02	7.0	1.7	11.0	0.8	< 0,005	0.01	< 0,050	< 0,020	20.3													
P32	CA32/32	Barreiras	29.0	4.4	92.3	324.7	97.9	4.2	21	6.39	47.0	5.9	-	-	7.2	1.0	< 0,015	6.4	1.1	1.6	0.5	< 0,005	0.01	1.02	< 0,020	21.6													
P33	P33	Barreiras	29.3	4.2	47.5	333.8	42.3	4.3	5	0.21	22.9	1.6	-	-	2.6	4.8	< 0,015	1.7	< 0,10	0.2	0.2	0.18	0.01	< 0,050	< 0,020	0.3													
P34	CA34/P34	Barreiras	30.0	5.1	154.0	300.5	146.0	4.9	3	0.23	92.6	27.2	2.2	-	13.7	11.2	0.02	12.4	2.0	9.1	1.1	0.01	0.01	0.25	< 0,020	33.1													
P35	P35	Pós-Barreiras	28.3	4.3	50.3	342.1	46.5	4.7	33	5.81	29.7	2.6	0.3	-	4.5	1.2	< 0,015	4.5	< 0,10	0.5	0.3	0.17	0.01	< 0,050	< 0,020	7.9													
P36	CA036/P36	Barreiras	29.8	4.8	84.8	305.7	84.9	4.7	5	0.49	54.7	9.0	1.5	-	15.1	7.8	< 0,015	10.2	0.8	2.2	0.9	0.54	0.05	0.27	< 0,020	0.7													
P37	P37	Pirabas Inferior	31.4	7.3	367.0	251.9	362.0	7.7	50	4.36	336.9	185.0	230.0	-	2.0	5.4	< 0,015	2.3	0.7	63.0	6.7	0.18	0.12	< 0,050	< 0,020	< 0,040													
P38	CA038/P38	Barreiras	29.5	5.1	80.3	288.0	82.2	5.5	2	0.13	53.1	22.8	7.5	-	5.4	8.1	< 0,015	5.9	< 0,10	8.2	0.6	< 0,005	0.00	< 0,050	< 0,020	13.1													
P39	CA-039	Barreiras	32.2	4.1	32.0	380.1	35.2	4.3	7	0.64	19.2	1.9	-	-	1.8	1.1	< 0,015	1.1	0.3	0.3	0.3	0.03	0.01	< 0,050	< 0,020	4.4													
P40	CA040/P40	Pirabas Inferior	30.8	7.5	354.0	278.7	361.0	7.9	20	1.24	341.1	186.0	232.0	-	1.8	4.6	0.02	3.5	1.2	62.8	7.2	0.11	0.10	< 0,050	< 0,020	< 0,040													
P41	CA-041	Pirabas Superior	29.6	7.2	380.0	336.8	423.0	7.6	61	11	359.7	108.0	197.0	-	16.6	32.0	< 0,015	48.3	3.7	32.6	6.5	0.01	0.10	< 0,050	< 0,020	5.5													

Anexo II – Análises físico-químicas das amostras de águas subterrâneas coletadas – 1ª campanha (continuação)

ID	ID Coleta	Aquifero	Temp	pH	CE	Eh	CE	pH	Cor	Turbidez	STD	Dureza	HCO ₃	CO ₃	Cl	SO ₄	PO ₄	Na	K ⁺	Ca	Mg	Fe	Mn	NH ₄	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	
			°C		μS/cm	mV	μS/cm																				CU
Campo																				Laboratório							
P42	CA-042	Pirabas Inferior	30.8	7.2	236.0	95.2	341.0	7.7	54	4.02	319.4	171.0	216.0	-	2.0	5.2	0.08	3.8	1.1	57.5	6.8	0.42	0.24	< 0.050	< 0.020	< 0.040	
P43	P43	Pós-Barreiras	30.3	4.9	266.0	367.9	282.0	5.3	9	0.18	166.0	58.0	8.6	-	25.3	43.6	0.03	23.2	4.3	19.4	2.3	0.01	0.01	2.06	< 0.020	33.2	
P44	CA-044	Barreiras	29.8	5.4	310.0	326.5	318.0	5.8	5	0.21	197.1	44.0	48.6	-	21.4	56.4	< 0.015	26.2	6.8	14.9	1.7	0.01	0.01	12.70	< 0.020	5.7	
P45	P45	Barreiras	31.6	4.8	138.0	333.8	137.0	5.2	6	0.27	84.6	46.9	4.1	-	3.3	38.6	< 0.015	3.4	1.3	13.9	3.0	0.11	0.19	0.23	< 0.020	9.2	
P46	CA-046	Barreiras	29.1	5.3	86.4	299.7	81.9	5.4	58	7.02	59.1	4.8	4.1	-	16.1	5.8	0.02	12.4	< 0.10	0.8	0.7	4.30	0.08	< 0.050	< 0.020	0.6	
P47	CA-047	Barreiras	30.4	5.2	79.0	274.8	80.5	5.6	8	0.56	56.3	20.6	4.1	-	6.8	0.8	0.02	5.8	0.9	7.2	0.6	0.02	0.01	< 0.050	< 0.020	22.7	
P48	CA-048	Pós-Barreiras	29.1	4.3	105.0	392.2	98.6	4.6	4	0.46	53.6	5.5	-	-	12.8	2.7	0.13	10.2	1.4	1.6	0.4	0.05	0.01	1.65	< 0.020	16.3	
P49	P-49	Pós-Barreiras	29.0	5.6	67.3	299.4	119.0	5.2	82	9.31	74.8	12.7	4.5	-	14.8	9.4	< 0.015	15.6	0.7	4.1	0.6	0.48	0.01	0.79	< 0.020	16.8	
P50	CA-050	Barreiras	28.4	6.4	89.2	163.3	87.2	6.6	109	22.9	95.6	22.5	38.7	-	2.2	7.4	0.11	1.6	2.2	5.6	2.1	10.60	0.33	< 0.050	< 0.020	0.4	
P51	P51	Barreiras	30.6	6.3	105.9	298.0	48.5	5.6	3	0.21	33.3	11.4	2.6	-	5.6	2.4	< 0.015	3.6	0.5	3.9	0.4	0.01	0.00	0.11	< 0.020	9.3	
P52	CA-052	Barreiras	30.3	4.4	249.0	419.8	233.0	4.8	8	1.35	146.4	16.1	4.1	-	54.0	15.9	< 0.015	40.0	0.5	5.5	0.6	3.15	0.04	1.91	< 0.020	15.1	
P53	P53/CA053	Barreiras	30.8	4.6	123.0	242.7	101.0	4.6	10	0.23	63.1	17.9	0.8	-	8.6	2.1	< 0.015	7.7	1.1	5.9	0.8	0.45	0.01	0.18	< 0.020	29.1	
P54	Ca-054	Barreiras	29.7	4.5	258.0	347.1	251.0	5.0	11	0.19	148.9	14.9	4.1	-	39.5	3.8	< 0.015	29.9	5.3	3.7	1.4	0.01	0.02	6.43	< 0.020	42.6	
P55	P55	Pirabas Superior	28.4	4.8	51.7	295.1	53.6	4.5	0	0.12	28.0	2.3	-	-	3.9	0.6	0.02	5.3	< 0.10	0.5	0.2	0.09	0.00	< 0.050	< 0.020	8.4	
P56	Ca-056	Barreiras	29.4	4.2	190.8	420.7	194.0	4.4	9	1.09	111.9	11.2	-	-	27.7	6.2	< 0.015	26.6	3.3	3.4	0.7	0.24	0.01	0.95	< 0.020	35.7	
P57	P57	Pirabas Inferior	31.0	7.2	320.0	181.9	338.0	7.8	3	0.21	314.4	174.0	213.0	-	2.3	5.2	0.02	3.5	1.9	59.5	6.3	0.19	0.10	< 0.050	< 0.020	< 0.040	
P58	CA-058	Barreiras	28.6	6.0	253.0	191.6	162.0	6.4	211	4.68	140.8	71.4	91.3	-	3.3	2.3	0.15	2.4	0.9	20.9	4.7	5.61	0.03	0.68	< 0.020	< 0.040	
P59	CA-059	Barreiras	29.3	5.6	56.1	301.7	57.0	5.2	16	0.23	39.2	9.7	2.5	-	6.5	3.3	< 0.015	6.2	0.7	3.3	0.4	0.01	0.00	< 0.050	< 0.020	9.6	
P60	CA-060	Barreiras	30.1	4.4	89.6	397.1	64.2	4.5	75	5.9	35.2	6.7	-	-	9.2	3.5	< 0.015	6.0	0.7	2.1	0.4	0.14	0.01	< 0.050	< 0.020	4.0	
P61	CA-061	Barreiras	28.2	5.9	23.4	328.1	23.4	4.7	20	0.29	18.1	2.9	0.6	-	2.4	1.0	0.02	1.4	0.1	0.7	0.3	0.01	0.00	< 0.050	< 0.020	1.4	
P62	CA-062	Pirabas Inferior	31.2	7.3	364.0	117.5	373.0	7.6	112	16.4	342.3	194.0	223.0	-	10.3	5.1	0.10	3.3	2.2	66.3	6.8	0.61	0.15	< 0.050	< 0.020	< 0.040	
P63	CA-063	Barreiras	30.1	5.2	91.0	314.3	60.0	5.2	50	2	39.1	7.0	2.1	-	5.0	1.3	0.02	5.4	0.9	2.1	0.4	0.01	0.01	< 0.050	< 0.020	15.2	
P64	CA-064	Barreiras	29.3	4.8	426.0	370.7	376.0	4.9	19	0.46	219.5	71.5	4.0	-	33.7	52.6	0.02	28.8	9.5	24.1	2.8	0.04	0.02	1.65	< 0.020	54.0	
P65	P65/CA-065	Barreiras	28.1	4.5	121.0	300.9	131.0	4.5	20	0.21	76.1	11.9	-	-	14.8	2.8	< 0.015	15.4	1.7	3.6	0.7	0.01	0.01	< 0.050	< 0.020	31.8	
P66	CA66	Pirabas Inferior	30.0	7.4	334.0	216.5	353.0	7.8	33	1.44	325.5	176.0	215.0	-	5.4	6.0	1.47	5.8	2.5	55.6	9.1	0.01	0.10	< 0.050	< 0.020	< 0.040	
P67	P67	Barreiras	28.3	5.6	23.3	308.0	25.9	4.4	16	0.16	15.7	2.6	-	-	1.5	0.5	0.02	0.7	< 0.10	0.6	0.2	< 0.005	0.00	< 0.050	< 0.020	2.6	
P68	CA-68	Pós-Barreiras	30.5	4.3	76.0	331.5	77.0	4.7	11	0.83	51.3	5.0	0.4	-	14.8	6.0	< 0.015	10.1	0.2	1.4	0.4	4.56	0.05	0.08	0.91	3.7	
P69	CA-69	Barreiras	29.3	5.2	100.7	325.4	100.0	5.4	100	4.97	67.7	5.0	12.0	-	11.4	15.0	< 0.015	20.1	0.8	1.8	0.1	0.89	0.00	0.17	< 0.020	1.0	
P70	CA-70	Pós-Barreiras	29.4	4.7	213.0	365.0	246.0	4.9	15	0.58	126.5	11.4	6.8	-	41.0	26.6	0.02	33.1	2.4	2.8	1.1	0.60	0.01	3.31	< 0.020	1.1	
P71	P71	Pós-Barreiras	28.8	4.5	107.6	296.5	115.0	4.4	10	0.18	71.0	13.8	-	-	10.4	3.1	0.03	8.7	4.8	3.7	1.1	0.03	0.02	0.16	< 0.020	30.2	
P72	CA072	Pirabas Inferior	31.6	7.8	337.0	226.6	349.0	8.0	18	0.57	321.5	173.0	215.0	-	4.6	5.6	0.02	4.8	2.8	55.2	8.6	0.14	0.13	< 0.050	< 0.020	< 0.040	
P73	P073	Barreiras	29.5	7.0	83.1	279.6	87.3	6.2	7	0.39	59.0	13.9	9.7	-	8.0	5.2	0.02	10.4	2.6	5.1	0.3	< 0.005	0.00	< 0.050	< 0.020	14.4	
P74	CA074	Pirabas Inferior	28.6	7.3	361.0	96.4	374.0	7.7	123	9.29	354.7	197.0	235.0	-	3.0	5.7	0.49	2.0	1.4	69.0	5.9	1.56	0.30	< 0.050	< 0.020	< 0.040	
P75	P075	Barreiras	29.7	5.4	32.6	266.0	31.9	5.3	16	1.09	32.2	5.4	1.8	-	3.0	5.4	< 0.015	1.9	1.0	1.3	0.5	1.75	0.05	< 0.050	< 0.020	0.3	
P76	CA-076	Barreiras	27.7	4.3	55.9	420.1	44.2	4.3	14	0.42	22.5	4.2	-	-	2.9	2.0	< 0.015	2.1	0.2	1.1	0.4	0.07	0.01	< 0.050	< 0.020	5.2	
P77	P77	Pós-Barreiras	28.3	5.1	72.7	289.0	44.3	4.3	8	0.21	27.2	3.7	-	-	2.4	6.8	0.02	1.4	0.1	0.9	0.3	0.89	0.02	< 0.050	< 0.020	< 0.040	
P78	Ca-078	Barreiras	28.7	4.3	50.8	403.2	47.4	4.4	14	1.39	23.6	4.5	-	-	2.9	0.6	< 0.015	1.9	0.8	1.1	0.5	0.01	0.00	0.31	0.03	8.5	
P79	P079	Pós-Barreiras	30.4	6.2	27.4	271.1	33.0	4.5	6	0.34	18.0	3.2	-	-	2.2	0.4	< 0.015	1.5	0.1	0.8	0.3	0.17	0.00	< 0.050	< 0.020	5.6	
P80	CA-080	Barreiras	29.2	5.3	50.2	339.7	40.3	5.4	64	5.01	44.4	11.5	7.7	-	3.7	4.5	0.10	1.9	1.1	2.8	1.1	0.01	0.20	< 0.050	< 0.020	0.2	
P81	P81	Barreiras	29.4	4.7	79.5	299.2	104.0	4.3	18	0.94	58.9	7.0	-	-	9.7	0.3	0.02	11.1	0.9	1.6	0.7	0.42	0.01	0.33	< 0.020	24.9	
P82	Ca-082	Barreiras	28.8	4.6	23.8	426.2	20.5	4.7	14	0.32	15.3	4.0	0.6	-	2.1	1.1	< 0.015	1.4	< 0.10	1.2	0.3	0.05	0.02	< 0.050	< 0.020	1.7	

Anexo II – Análises físico-químicas das amostras de águas subterrâneas coletadas – 1ª campanha (continuação)

ID	ID Coleta	Aquifero	Temp	pH	CE	Eh	CE	pH	Cor	Turbidez	STD	Dureza	HCO ₃	CO ₃	Cl	SO ₄	PO ₄	Na	K ⁺	Ca	Mg	Fe	Mn	NH ₄	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	
			°C		µS/cm	mV	µS/cm		CU	NTU	mg/L																
			Campo							Laboratório																	
P83	CA-083	Barreiras	29.2	5.4	87.9	276.8	97.0	5.9	22	0.21	71.4	40.0	32.7	-	3.8	7.2	< 0.015	3.0	0.5	10.2	3.5	< 0.005	0.00	< 0.050	< 0.020	7.0	
P84	CA084	Barreiras	29.3	4.5	30.7	356.8	27.1	4.6	177	23.7	22.9	5.2	0.6	-	3.4	1.3	0.02	2.2	0.2	1.4	0.4	0.04	0.00	< 0.050	< 0.020	2.2	
P85	CA085/P85	Barreiras	29.8	6.2	48.2	288.3	53.6	6.2	302	82.5	67.4	19.2	16.3	-	2.4	6.6	< 0.015	1.6	1.8	4.3	2.1	0.15	0.77	< 0.050	< 0.020	< 0.040	
P86	CA-086	Barreiras	29.9	4.3	60.9	407.5	63.4	4.4	0	1.12	34.5	3.4	-	7.4	0.5	< 0.015	6.5	1.3	0.9	0.3	< 0.005	0.00	0.11	< 0.020	12.3		
P87	Ca-087	Pós-Barreiras	28.7	5.2	28.5	300.2	30.1	4.6	25	5.4	16.4	2.8	-	2.8	0.8	< 0.015	2.0	0.3	0.6	0.3	< 0.005	0.01	< 0.050	< 0.020	3.9		
P88	CA-088	Barreiras	30.6	4.4	241.0	362.9	269.0	4.5	7	0.21	156.7	25.4	-	36.8	21.6	< 0.015	31.6	6.1	8.3	1.1	< 0.005	0.01	3.20	< 0.020	42.4		
P89	CA-089	Barreiras	29.8	4.5	36.9	279.2	39.0	4.4	2	0.16	18.6	2.8	-	3.8	0.4	0.03	2.0	0.3	0.6	0.3	0.01	0.00	< 0.050	< 0.020	3.9		
P90	Ca-090	Barreiras	29.4	4.5	37.8	363.5	47.1	4.3	35	4	22.9	6.4	-	2.8	1.3	< 0.015	1.6	< 0.10	1.6	0.6	0.12	0.02	< 0.050	< 0.020	8.0		
P91	P91/CA091	Pirabas Superior	29.6	6.2	52.8	233.9	56.4	6.2	103	8.34	59.1	19.2	23.0	-	2.9	1.9	0.08	1.4	1.8	5.3	1.5	1.98	0.09	< 0.050	< 0.020	< 0.040	
P92	CA-092	Barreiras	29.0	4.3	85.0	412.0	72.7	4.3	9	0.36	41.0	5.6	-	10.7	0.5	< 0.015	8.2	0.3	1.2	0.7	< 0.005	0.01	< 0.050	< 0.020	10.3		
P93	CA093	Barreiras	30.6	4.5	39.3	288.1	46.1	4.3	13	0.53	24.0	4.3	-	3.4	1.1	< 0.015	1.9	0.6	0.9	0.5	0.01	0.01	< 0.050	< 0.020	7.5		
P94	CA094	Barreiras	30.0	5.7	269.0	292.3	242.0	5.8	20	0.95	150.3	32.9	27.9	-	22.9	21.9	< 0.015	23.2	6.2	10.7	1.5	< 0.005	0.01	5.34	< 0.020	26.0	
P95	CA-095	Barreiras	29.1	5.5	40.6	314.3	33.0	4.4	14	0.33	27.3	2.9	-	3.7	0.5	< 0.015	2.5	1.3	0.5	0.4	0.01	0.01	< 0.050	< 0.020	9.6		
P96	CA-096	Barreiras	28.5	4.3	96.6	405.0	99.9	4.4	11	0.3	59.2	10.3	-	12.3	1.7	0.02	11.4	0.6	3.0	0.7	< 0.005	0.01	0.08	< 0.020	23.3		
P97	CA-097/P097	Barreiras	29.2	6.3	26.5	310.0	22.6	4.9	12	0.17	15.2	1.6	0.3	-	2.6	0.7	< 0.015	2.1	< 0.10	0.3	0.2	< 0.005	0.00	< 0.050	< 0.020	2.5	
P98	CA-098	Pirabas Inferior	28.9	6.7	228.0	132.9	229.0	7.1	222	21.8	224.1	117.0	141.0	-	1.8	2.0	0.49	2.2	1.7	40.7	3.7	2.99	0.26	< 0.050	< 0.020	0.3	
P99	CA-099	Pós-Barreiras	28.7	6.6	20.3	301.7	21.2	4.9	0	0.12	14.1	1.6	1.7	-	2.6	0.6	< 0.015	1.8	< 0.10	0.3	0.2	0.02	0.00	< 0.050	< 0.020	2.3	
P100	CA-100	Barreiras	27.7	5.0	95.5	541.0	106.0	4.9	0	0.18	135.5	3.9	4.1	-	69.1	1.3	0.02	44.2	2.0	0.9	0.4	< 0.005	0.00	< 0.050	< 0.020	6.6	
P101	CA-101	Pirabas Superior	31.1	6.3	120.1	275.4	67.2	7.3	14	0.38	112.7	57.9	60.3	-	7.9	2.0	< 0.015	3.9	1.8	19.1	2.5	0.02	0.14	< 0.050	< 0.020	0.6	
P102	CA-102	Barreiras	29.8	4.8	278.0	348.9	162.0	4.8	11	2.14	209.7	53.8	4.1	-	44.7	12.6	< 0.015	28.8	6.3	18.4	1.9	0.15	0.01	1.96	< 0.020	86.0	
P103	Ca-103	Barreiras	29.4	4.9	41.2	282.1	24.1	4.5	4	0.48	19.6	2.5	-	5.0	0.4	< 0.015	1.9	1.0	0.6	0.3	< 0.005	0.01	< 0.050	< 0.020	4.9		
P104	Ca-104	Barreiras	29.4	5.5	78.4	329.0	27.5	4.3	4	0.39	32.3	7.5	-	2.7	9.1	< 0.015	1.7	0.4	1.5	0.9	0.30	0.05	< 0.050	0.04	1.2		
P105	CA-105	Barreiras	32.7	5.2	120.8	269.8	50.4	4.9	0	0.24	60.1	5.5	0.6	-	23.5	0.6	0.02	11.4	5.3	1.0	0.7	< 0.005	0.01	< 0.050	< 0.020	10.7	
P106	Ca-106	Barreiras	30.2	6.1	270.0	224.0	157.0	6.4	272	7.37	228.1	88.0	60.5	-	30.7	9.4	< 0.015	20.2	5.6	31.6	2.2	3.24	0.05	0.33	< 0.020	57.0	
P107	CA107	Barreiras	28.2	5.5	21.3	299.5	19.2	4.8	14	1.23	14.3	2.0	0.5	-	2.2	1.0	0.03	1.1	< 0.10	0.5	0.2	0.01	0.00	< 0.050	< 0.020	0.9	
P108	CA-108	Barreiras	30.1	5.8	42.8	283.8	25.1	5.2	8	0.82	25.7	1.9	1.8	-	4.9	1.9	0.04	2.1	0.6	0.2	0.3	0.22	0.02	< 0.050	< 0.020	0.1	
P109	CA109	Barreiras	29.5	5.5	58.0	298.0	35.4	5.9	47	1.47	69.0	11.8	22.5	-	3.0	8.5	0.03	2.2	1.5	2.4	1.4	6.38	0.24	< 0.050	< 0.020	0.3	
P110	CA-110	Barreiras	29.0	6.4	22.5	304.1	24.2	4.9	10	0.29	23.9	2.5	0.3	-	2.8	3.1	< 0.015	1.5	0.3	0.5	0.3	0.48	0.01	< 0.050	< 0.020	< 0.040	
P111	CA111	Barreiras	30.1	6.1	61.8	223.3	57.3	6.4	75	3.53	65.6	13.0	16.8	-	2.6	8.6	< 0.015	1.6	1.5	3.3	1.2	7.10	0.31	< 0.050	< 0.020	0.2	
P112	CA-112	Barreiras	29.6	5.7	206.0	280.8	118.0	5.8	8	0.77	150.6	45.7	29.2	-	33.9	32.1	0.03	21.4	4.9	15.1	2.0	0.07	0.03	2.19	< 0.020	1.3	
P113	CA-113	Barreiras	28.8	5.8	23.1	190.6	20.3	5.0	69	6.54	22.9	1.5	0.4	-	4.4	0.2	< 0.015	2.0	0.2	0.2	0.3	2.20	0.02	0.18	< 0.020	< 0.040	
P114	CA-114	Barreiras	30.2	5.9	102.0	225.7	145.0	6.0	10	0.53	87.7	44.9	28.0	-	8.2	8.3	< 0.015	6.5	0.8	16.4	1.0	0.01	0.00	< 0.050	< 0.020	13.2	
P115	CA-115	Barreiras	29.6	4.5	47.7	325.9	51.0	4.4	9	0.51	34.5	5.3	1.0	-	4.0	0.4	< 0.015	3.7	1.8	1.2	0.6	< 0.005	0.01	< 0.050	< 0.020	15.1	
P116	CA-116	Barreiras	29.6	5.1	96.0	278.9	109.0	5.1	5	0.35	66.3	21.4	4.1	-	8.7	9.9	0.02	8.0	3.1	7.3	0.8	0.04	0.01	1.36	< 0.020	18.4	
P117	CA-117	Barreiras	29.3	5.6	126.5	294.6	135.0	4.9	3	1.85	82.9	13.6	0.5	-	34.1	7.2	0.02	20.7	1.2	4.5	0.6	< 0.005	0.01	< 0.050	< 0.020	10.4	
P118	CA-118	Barreiras	28.8	5.2	56.6	290.5	74.4	4.1	17	1.72	38.7	4.5	-	6.0	9.5	0.02	4.8	0.6	1.1	0.5	1.52	0.04	0.09	< 0.020	0.2		
P119	CA-119	Barreiras	29.7	6.3	391.0	272.4	455.0	6.6	7	0.36	328.8	166.0	100.0	-	30.5	29.4	0.03	23.8	6.6	61.4	3.0	< 0.005	< 0.001	< 0.050	< 0.020	63.8	
P120	CA-120	Barreiras	30.4	5.7	270.0	273.0	316.0	5.9	6	0.56	202.6	82.7	33.2	-	22.4	39.4	0.02	21.3	6.0	30.0	1.9	0.01	0.01	2.85	< 0.020	40.5	
P121	CA-121	Barreiras	30.3	4.7	234.0	285.8	273.0	4.4	4	0.28	150.7	34.7	-	36.7	20.2	0.02	28.8	6.3	11.2	1.6	0.01	0.02	0.83	< 0.020	38.2		
P122	CA-122	Barreiras	30.4	5.0	318.0	284.7	366.0	5.4	6	0.53	217.5	41.2	16.9	-	49.3	43.6	< 0.015	38.5	9.2	13.0	2.1	0.01	0.01	10.90	< 0.020	27.8	
P123	CA-123	Barreiras	29.7	5.1	221.0	291.0	254.0	5.2	2	0.32	147.6	36.7	7.7	-	39.1	20.1	< 0.015	28.4	6.3	11.8	1.8	< 0.005	0.02	2.09	< 0.020	27.3	

Anexo II – Análises físico-químicas das amostras de águas subterrâneas coletadas–1ª campanha (continuação)

ID	ID Coleta	Aquifero	Temp	pH	CE	Eh	CE	pH	Cor	Turbidez	STD	Dureza	HCO ₃	CO ₃	Cl	SO ₄	PO ₄	Na	K ⁺	Ca	Mg	Fe	Mn	NH ₄	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻			
			°C		µS/cm	mV	µS/cm		CU	NTU	mg/L																		
			Campo							Laboratório																			
P124	CA-124	Barreiras	29.3	6.4	34.9	254.8	39.9	6.0	127	9.65	42.8	12.5	13.1	-	2.8	2.5	< 0.015	1.4	1.0	3.8	0.7	0.37	0.07	< 0.050	< 0.020	< 0.040			
P125	CA-125	Barreiras	28.9	4.6	32.0	308.0	35.3	4.5	7	0.55	16.9	1.5	-	2.2	0.3	0.02	2.6	0.1	0.2	0.2	0.01	0.00	< 0.050	< 0.020	6.0				
P126	CA-126	Barreiras	28.7	4.8	281.0	347.3	303.0	5.5	53	3.34	186.3	5.6	15.7	-	43.7	38.5	0.03	54.4	1.3	1.8	0.3	0.04	0.00	< 0.050	< 0.020	24.3			
P127	CA-127	Barreiras	27.4	5.4	38.2	266.4	38.7	4.9	18	1.9	33.7	8.9	3.2	-	3.6	6.0	< 0.015	2.1	0.6	2.4	0.7	0.09	0.06	< 0.050	< 0.020	< 0.040			
P128	CA-128	Pirabas Superior	29.0	6.4	112.8	186.7	112.0	6.7	145	8.92	111.6	47.3	60.7	-	2.8	1.4	0.14	1.5	2.2	15.7	2.0	2.96	0.12	0.13	< 0.020	0.2			
P129	CA-129	Barreiras	28.3	5.2	47.7	293.2	44.1	4.8	41	2.88	35.4	9.2	1.0	-	4.9	8.9	0.03	2.9	1.1	2.4	0.8	1.10	0.11	< 0.050	< 0.020	0.2			
P130	CA-130	Barreiras	29.0	6.0	69.9	233.5	69.1	6.6	104	11.9	72.2	21.6	28.0	-	3.7	4.4	0.05	1.3	2.1	6.1	1.5	4.25	0.01	0.15	< 0.020	< 0.040			
P131	CA-131	Barreiras	28.2	5.3	21.7	313.6	24.5	4.8	16	3.78	15.6	2.5	0.7	-	2.2	1.2	0.03	1.5	0.4	0.6	0.2	0.14	0.00	< 0.050	< 0.020	2.7			
P132	CA-132	Pirabas Superior	30.0	6.1	82.2	218.1	83.9	6.5	97	8.71	88.7	36.7	43.7	-	2.7	1.1	0.06	1.4	2.2	11.9	1.7	2.43	0.10	< 0.050	< 0.020	0.1			
P133	CA-133	Barreiras	29.7	5.1	32.0	313.4	38.6	4.7	14	2.62	19.2	3.7	0.3	-	3.6	1.4	< 0.015	2.5	0.7	1.1	0.2	< 0.005	0.00	< 0.050	< 0.020	4.1			
P134	CA-134	Barreiras	29.7	6.1	295.0	215.7	344.0	6.7	66	8.67	262.2	107.0	114.0	-	22.5	24.5	0.02	21.8	7.2	38.9	2.4	0.40	0.03	3.04	< 0.020	15.8			
P135	CA-135	Barreiras	39.0	5.0	184.0	270.9	207.0	5.0	1	0.43	125.8	17.2	4.4	-	25.5	8.3	< 0.015	21.6	5.4	5.5	0.8	0.49	0.01	5.60	< 0.020	41.4			
P136	CA-136	Barreiras	28.0	4.7	29.7	293.0	40.1	4.6	11	0.8	21.1	2.9	-	-	3.0	2.7	< 0.015	2.3	0.4	0.7	0.3	0.07	0.01	< 0.050	< 0.020	3.5			
P137	CA-137	Barreiras	29.3	5.8	293.0	263.1	333.0	6.0	7	0.92	219.9	66.6	48.1	-	28.7	36.7	0.04	28.1	7.7	23.5	1.9	0.56	0.01	8.11	< 0.020	32.7			
P138	CA-138	Barreiras	29.5	5.1	147.7	256.3	163.0	5.1	0	0.34	89.2	16.8	7.8	-	29.7	8.9	< 0.015	21.1	2.2	5.5	0.7	0.50	0.01	0.77	< 0.020	6.3			
P139	CA-139	Barreiras	30.7	5.0	263.0	292.0	302.0	5.4	0	0.41	187.7	71.8	11.5	-	25.2	50.0	< 0.015	23.2	6.7	25.3	2.1	< 0.005	0.01	1.19	< 0.020	39.2			
P140	CA-140	Barreiras	30.1	5.1	31.6	291.3	28.8	4.5	0	0.56	16.1	1.9	-	-	1.9	0.5	< 0.015	1.7	< 0.10	0.3	0.3	0.05	0.00	< 0.050	< 0.020	4.2			
P141	CA-141	Barreiras	28.5	6.1	27.6	228.5	27.2	5.4	22	2.15	28.8	2.5	4.1	-	4.2	0.8	0.03	2.5	0.4	0.6	0.3	2.29	0.02	0.11	< 0.020	0.1			
P142	CA-142	Barreiras	29.4	4.4	130.4	320.9	149.0	4.4	0	0.45	82.6	7.7	-	-	18.7	3.4	< 0.015	18.6	3.3	2.1	0.6	0.01	0.01	0.93	< 0.020	27.8			
P143	CA-143	Barreiras	30.1	6.0	216.0	266.7	231.0	6.3	29	1.52	162.3	94.2	59.2	-	7.7	32.8	0.05	7.6	2.0	35.6	1.3	0.04	0.00	< 0.050	< 0.020	11.9			
P144	CA-144	Barreiras	29.7	5.1	218.0	289.1	252.0	5.6	13	0.5	152.5	25.6	11.1	-	31.2	29.9	< 0.015	29.3	9.1	8.0	1.4	0.01	0.01	4.08	< 0.020	19.9			
P145	CA-145	Pirabas Inferior	30.1	7.0	294.0	157.6	318.0	7.4	198	15.8	296.5	170.0	196.0	-	1.7	5.2	0.05	2.1	1.1	52.5	9.5	0.24	0.49	< 0.050	< 0.020	< 0.040			
P146	CA-146	Barreiras	28.6	5.8	60.9	207.5	62.1	6.1	87	14.3	65.4	19.9	24.4	-	2.5	2.4	0.10	1.2	1.9	5.9	1.3	3.61	0.09	< 0.050	< 0.020	< 0.040			
P147	CA-147	Pirabas Superior	29.8	6.8	297.0	278.6	348.0	7.5	23	1.35	318.6	174.0	208.0	-	5.2	5.4	0.58	5.6	1.6	59.6	6.1	0.08	0.13	< 0.050	< 0.020	< 0.040			
P148	CA-148	Barreiras	28.5	6.6	80.2	193.2	77.5	6.5	91	9.1	81.6	29.2	36.6	-	2.5	2.9	< 0.015	1.3	2.1	8.6	1.9	2.58	0.11	< 0.050	< 0.020	< 0.040			
P149	CA-149	Barreiras	29.3	4.9	143.0	330.6	169.0	4.3	0	0.34	87.3	13.4	-	-	21.0	1.8	0.02	18.7	0.7	4.0	0.8	0.02	0.02	< 0.050	< 0.020	33.9			
P150	CA-150	Pós-Barreiras	30.0	4.3	312.0	287.7	344.0	4.5	0	0.65	185.0	38.1	-	-	31.4	8.0	< 0.015	26.9	14.2	10.3	3.0	0.04	0.01	2.25	< 0.020	83.9			

**ANEXO III – ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DAS AMOSTRAS DE
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO DE BELÉM
(2ª CAMPANHA DE AMOSTRAGEM)**

Anexo III – Análises físico-químicas das amostras de águas subterrâneas coletadas – 2ª campanha

ID	ID Coleta	Aquifero	Temp	pH	CE	Eh	CE	pH	Cor	Turbidez	STD	Dureza	HCO ₃	CO ₃	Cl	SO ₄	PO ₄	Na	K ⁺	Ca	Mg	Fe	Mn	NH ₄	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻
			°C		μS/cm	mV	μS/cm		CU	NTU	mg/L															
			Campo								Laboratório															
P01	P01	Barreiras*	29.2	4.2	430.0	408.5	386.0	4.3	10	1.34	243.0	79.5	-	-	36.5	25.3	< 0.015	33.6	7.3	27.8	2.5	0.01	0.04	0.72	< 0.020	96.8
P02	P02	Pirabas Superior	29.2	4.0	150.0	401.8	150.0	4.4	0	0.15	86.5	15.6	-	-	15.5	9.9	0.03	15.0	2.8	4.9	0.8	0.15	0.01	1.89	< 0.020	29.2
P03	P03	Pirabas Inferior	29.2	6.8	137.6	172.2	161.0	7.4	254	28.4	134.0	74.2	90.0	-	4.1	0.1	< 0.015	2.6	1.4	28.0	1.0	0.85	0.13	1.35	< 0.020	0.2
P04	P04	Pirabas Inferior	30.9	7.1	293.0	294.6	339.0	7.8	35	3.92	320.0	175.0	215.0	-	3.2	5.2	0.09	5.7	2.2	60.2	6.1	0.02	0.07	< 0.050	< 0.020	< 0.040
P05	P05	Pirabas Inferior	30.2	7.0	308.0	168.0	351.0	7.5	54	5.53	319.0	165.0	221.0	-	2.5	5.0	< 0.015	2.4	2.5	61.1	3.1	0.22	0.20	< 0.050	< 0.020	< 0.040
P06	P06	Barreiras	28.5	4.3	139.9	313.5	152.0	4.6	0	0.84	286.0	3.8	-	-	19.9	2.2	< 0.015	20.1	2.4	0.7	0.5	0.12	0.01	2.30	< 0.020	31.1
P07	P07	Pós-Barreiras	28.7	4.9	86.4	401.0	58.1	4.5	0	0.87	33.9	4.5	-	-	7.3	1.0	< 0.015	6.7	0.2	0.7	0.7	0.22	0.00	< 0.050	< 0.020	10.1
P08	P08	Pirabas Inferior	33.4	7.1	318.0	151.5	351.0	7.8	112	10.1	320.0	145.0	211.0	-	6.1	6.9	0.15	17.2	6.5	42.8	9.2	1.03	0.15	< 0.050	< 0.020	< 0.040
P09	P09	Pirabas Inferior	31.0	7.7	308.0	255.9	327.0	8.2	17	0.4	309.0	166.0	209.0	-	2.0	5.2	0.03	3.7	2.8	54.9	7.0	0.02	0.05	0.28	< 0.020	< 0.040
P10	P10	Pirabas Inferior	30.5	7.3	265.0	164.3	315.0	7.7	41	2.9	295.0	159.0	197.0	-	2.5	5.3	0.30	4.4	2.6	52.4	6.9	0.28	0.19	< 0.050	< 0.020	< 0.040
P11	P11	Pirabas Inferior	29.9	7.2	245.0	267.6	323.0	7.8	13	1.34	303.0	164.0	201.0	-	3.7	6.1	0.03	4.8	1.9	54.4	6.9	0.03	0.16	< 0.050	< 0.020	< 0.040
P12	P12	Pirabas Superior	28.0	5.9	52.9	340.2	38.6	6.3	247	78	55.9	15.6	17.7	-	2.7	< 0.10	0.35	1.2	1.2	4.5	1.1	6.62	0.18	< 0.050	< 0.020	0.1
P13	P13	Pirabas Inferior	31.4	7.2	277.0	253.3	342.0	7.8	17	1.16	320.0	176.0	216.0	-	2.2	4.9	0.03	2.9	2.6	58.9	6.9	0.17	0.19	< 0.050	< 0.020	< 0.040
P14	P14	Barreiras	29.0	6.5	974.0	157.2	1218.0	6.9	1386	119	692.0	87.4	190.0	-	265.0	< 0.020	0.74	144.0	8.3	11.4	14.3	8.08	0.03	26.90	< 0.020	< 0.040
P15	P15	Barreiras	30.6	5.1	45.5	321.3	44.5	4.5	5	0.86	21.9	2.9	-	-	3.8	1.0	0.08	3.2	0.3	0.6	0.3	0.04	0.00	0.09	< 0.020	6.4
P16	P16	Pirabas Inferior	32.0	7.4	280.0	234.1	323.0	8.2	22	0.96	299.0	155.0	203.0	-	3.3	4.9	0.13	5.0	2.3	51.8	6.1	0.04	0.13	< 0.050	< 0.020	< 0.040
P17	P17	Pós-Barreiras	33.3	6.6	23.6	283.5	23.7	5.4	30	1.45	15.8	7.0	1.2	-	2.5	1.8	0.13	1.1	0.5	2.2	0.4	0.08	0.00	< 0.050	< 0.020	2.2
P18	P18	Barreiras	32.9	4.3	95.6	309.9	101.0	4.6	0	0.23	56.5	14.7	-	-	9.3	3.1	< 0.015	9.6	1.5	5.0	0.6	0.12	0.01	0.11	< 0.020	24.0
P19	P19	Barreiras	29.2	4.5	174.7	305.4	189.0	4.5	14	0.73	102.0	17.7	-	-	27.5	1.7	0.02	20.8	3.0	6.0	0.7	0.01	0.01	2.02	< 0.020	35.0
P20	P20	Pós-Barreiras	30.2	5.5	186.0	336.8	213.0	5.3	7	0.86	130.0	32.2	6.1	-	25.9	10.0	< 0.015	23.0	4.3	10.8	1.3	0.04	0.01	1.44	< 0.020	41.8
P21	P21	Barreiras	28.5	4.7	96.9	264.1	110.0	4.9	0	0.2	62.0	9.5	1.6	-	16.5	3.7	< 0.015	14.6	1.2	3.2	0.4	0.08	0.01	0.57	< 0.020	15.1
P22	P22	Pirabas Inferior	30.9	7.2	347.0	186.2	386.0	7.9	10	0.74	360.0	199.0	246.0	-	4.9	5.2	0.02	5.3	1.9	66.6	7.8	0.02	0.13	< 0.050	< 0.020	< 0.040
P23	P23	Barreiras	30.4	4.4	36.4	322.1	33.1	4.7	0	0.38	20.3	1.4	-	-	1.9	0.4	< 0.015	3.4	0.2	0.2	0.2	0.31	0.00	< 0.050	< 0.020	7.7
P25	P25	Pirabas Superior	29.0	5.5	38.7	340.7	36.6	4.5	167	37.3	24.3	2.2	-	-	3.6	2.6	< 0.015	2.8	0.4	0.5	0.3	0.23	0.01	< 0.050	< 0.020	1.7
P26	P26	Pirabas Inferior	29.8	6.7	281.0	205.1	325.0	7.7	14	0.65	303.0	164.0	203.0	-	3.1	4.9	< 0.015	4.9	2.8	55.0	6.5	0.03	0.10	< 0.050	< 0.020	< 0.040
P27	P27	Pirabas Inferior	28.0	7.1	328.0	255.8	349.4	7.9	7	0.54	318.0	175.0	213.0	-	4.7	5.7	< 0.015	4.7	1.7	55.4	8.8	0.02	0.13	< 0.050	< 0.020	< 0.040
P28	P28	Pirabas Inferior	28.0	7.0	334.0	245.4	349.5	7.8	13	1.73	319.0	173.0	213.0	-	4.6	5.5	< 0.015	6.1	2.0	54.7	8.9	0.03	0.12	< 0.050	< 0.020	< 0.040
P29	P29	Barreiras	29.3	4.7	64.0	293.3	69.3	5.0	0	0.78	43.5	2.0	4.3	-	10.5	3.0	< 0.015	10.6	1.3	0.5	0.2	0.07	0.00	0.19	< 0.020	5.6
P30	P30	Pós-Barreiras	28.5	4.7	124.8	315.6	139.0	4.4	2	0.61	80.0	16.7	-	-	15.2	1.6	0.07	13.6	2.1	5.4	0.8	0.01	0.01	< 0.050	< 0.020	36.3
P31	P31	Pós-Barreiras	28.4	5.6	114.0	281.5	95.8	5.6	0	0.72	61.1	22.7	2.8	-	9.2	8.4	0.06	7.5	2.6	7.9	0.8	0.06	0.01	0.25	< 0.020	18.3
P32	CA32/32	Barreiras	30.2	4.4	85.8	331.3	79.3	4.3	39	6.26	38.5	3.5	-	-	6.3	0.8	< 0.015	6.3	0.9	0.8	0.4	0.01	0.00	0.68	< 0.020	15.3
P33	P33	Barreiras	29.1	4.7	42.8	315.5	41.0	4.3	8	0.94	22.6	2.7	-	-	2.5	5.0	< 0.015	1.7	0.3	0.6	0.3	0.19	0.01	< 0.050	< 0.020	0.1
P34	CA34/P34	Barreiras	32.0	4.3	116.5	323.9	122.0	4.6	0	0.17	75.6	17.3	-	-	11.4	7.1	< 0.015	12.0	1.5	5.5	0.8	0.61	0.01	< 0.050	< 0.020	27.8
P35	P35	Pós-Barreiras	28.3	5.0	37.8	294.1	37.3	4.5	20	6.15	24.1	2.6	-	-	3.8	2.5	0.03	2.9	0.4	0.4	0.4	0.32	0.01	< 0.050	< 0.020	2.8
P36	CA036/P36	Barreiras	25.1	4.6	90.4	397.1	87.0	4.8	0	0.67	57.5	9.8	0.8	-	17.5	8.1	< 0.015	10.5	1.3	2.3	1.0	0.03	0.06	0.28	< 0.020	0.9
P37	P37	Pirabas Inferior	30.7	7.1	315.0	225.2	350.0	8.3	14	1.31	324.0	184.0	204.0	9.7	2.1	7.4	< 0.015	2.5	1.9	62.5	6.8	0.08	0.12	< 0.050	< 0.020	< 0.040
P38	CA038/P38	Barreiras	28.0	5.3	70.7	379.2	82.3	6.9	0	0.18	53.5	23.1	8.3	-	5.4	10.4	< 0.015	5.5	0.3	8.2	0.6	< 0.005	0.00	< 0.050	< 0.020	10.4
P39	CA-039	Barreiras	32.3	4.3	34.2	327.0	36.6	4.4	0	0.49	19.7	2.1	-	-	2.8	1.2	< 0.015	1.8	1.5	0.3	0.3	0.04	0.01	0.22	< 0.020	4.5
P40	CA040/P40	Pirabas Inferior	30.2	7.3	330.0	276.6	361.0	7.9	34	5.23	336.0	183.0	228.0	-	1.9	4.7	< 0.015	3.5	2.0	61.1	7.3	0.07	0.10	< 0.050	< 0.020	< 0.040
P41	CA-041	Pirabas Superior	28.2	5.5	147.9	392.2	192.0	6.0	0	0.38	137.0	45.3	20.1	-	22.3	17.0	< 0.015	19.2	2.2	16.0	1.3	< 0.005	0.01	< 0.050	< 0.020	25.5

Anexo III – Análises físico-químicas das amostras de águas subterrâneas coletadas– 2ª campanha (continuação)

ID	ID Coleta	Aquifero	Temp	pH	CE	Eh	CE	pH	Cor	Turbidez	STD	Dureza	HCO ₃	CO ₃	Cl	SO ₄	PO ₄	Na	K ⁺	Ca	Mg	Fe	Mn	NH ₄	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻
			°C		µS/cm	mV	µS/cm		CU	NTU	mg/L															
			Campo							Laboratório																
P42	CA-042	Pirabas Inferior	31.2	7.1	275.0	176.9	336.0	7.5	59	7.22	309.0	172.0	212.0	-	2.2	5.4	0.03	3.1	2.2	57.4	7.0	0.17	0.28	< 0.050	< 0.020	< 0.040
P44	CA-044	Barreiras	29.9	5.3	299.0	270.5	348.0	5.6	11	0.49	213.0	45.0	37.5	-	26.6	62.4	0.09	25.5	9.2	15.1	1.8	0.04	0.01	17.50	< 0.020	16.1
P45	P45	Barreiras	28.9	4.9	128.2	280.0	128.0	5.1	0	0.38	81.6	43.0	5.1	-	3.3	37.0	0.12	3.6	2.2	12.7	2.8	0.05	0.18	0.23	< 0.020	8.1
P46	CA-046	Barreiras	27.9	5.0	86.6	245.9	92.9	5.0	32	10.2	51.6	5.0	0.5	-	15.6	7.4	< 0.015	11.5	0.6	0.8	0.7	0.67	0.09	< 0.050	< 0.020	< 0.040
P47	CA-047	Barreiras	28.6	6.6	110.6	312.4	70.7	6.3	22	2.31	49.8	19.2	4.4	-	6.2	1.6	0.08	4.8	1.4	6.7	0.6	0.01	0.01	< 0.050	< 0.020	17.7
P48	CA-048	Pós-Barreiras	28.0	4.8	90.0	339.9	94.5	4.5	0	0.72	53.2	5.2	-	-	11.3	2.9	0.03	10.1	1.9	1.5	0.4	0.02	0.01	1.38	< 0.020	18.1
P50	CA-050	Barreiras	28.1	6.8	115.0	198.5	69.3	6.3	222	72.8	77.5	20.9	27.4	-	2.1	7.9	0.12	1.2	3.0	5.0	2.0	7.56	0.32	< 0.050	< 0.020	< 0.040
P51	P51	Barreiras	29.6	6.7	90.0	266.4	46.9	5.7	25	5.23	31.0	10.7	2.1	-	5.1	2.3	0.02	3.6	1.2	3.6	0.4	0.16	0.01	0.26	< 0.020	8.1
P52	CA-052	Barreiras	29.6	4.9	324.0	302.3	334.0	4.6	7	1.45	171.0	9.9	-	-	78.5	16.0	< 0.015	53.6	1.0	2.9	0.7	2.91	0.02	3.30	< 0.020	8.7
P53	P53/CA053	Barreiras	29.8	4.2	106.5	420.5	127.0	4.2	0	0.26	63.0	14.9	-	-	9.6	1.6	< 0.015	8.5	1.7	4.6	0.8	0.12	0.01	0.24	< 0.020	29.4
P54	Ca-054	Barreiras	28.1	4.2	188.2	371.1	238.0	5.1	0	0.31	153.0	14.6	5.2	-	41.4	5.9	0.02	29.4	7.1	3.6	1.4	0.01	0.02	7.19	< 0.020	39.1
P55	P55	Pirabas Superior	30.6	4.6	42.2	310.0	33.9	4.7	0	0.21	23.1	1.3	-	-	3.4	0.5	< 0.015	4.1	0.2	0.2	0.2	0.01	0.00	< 0.050	< 0.020	5.8
P56	Ca-056	Barreiras	29.8	5.0	169.1	286.9	187.0	4.8	203	40.7	111.0	10.3	1.1	-	28.8	10.0	0.15	27.2	2.9	3.0	0.7	0.10	0.01	2.36	< 0.020	28.6
P57	P57	Pirabas Inferior	29.8	7.3	331.0	216.9	337.0	8.0	24	1.17	306.0	174.0	208.0	-	2.1	5.2	0.10	3.4	1.9	59.2	6.4	0.07	0.10	< 0.050	< 0.020	< 0.040
P58	CA-058	Barreiras	27.9	6.1	51.1	219.5	56.4	5.9	349	33.6	44.6	11.1	18.4	-	4.2	2.0	0.08	2.3	0.3	3.7	0.5	1.79	0.01	0.91	< 0.020	< 0.040
P59	CA-059	Barreiras	30.1	5.5	68.0	321.3	64.5	4.9	10	0.73	41.1	9.2	1.5	-	7.2	3.0	0.05	7.2	0.7	3.0	0.4	0.17	0.01	< 0.050	< 0.020	12.0
P60	CA-060	Barreiras	31.4	4.6	68.2	309.0	61.4	4.5	103	13.5	31.8	5.4	-	-	8.1	3.6	< 0.015	5.2	0.9	1.6	0.4	0.12	0.01	0.09	< 0.020	3.9
P61	CA-061	Barreiras	26.9	4.5	24.0	433.2	51.2	4.2	0	0.26	16.1	1.5	-	-	2.2	0.8	< 0.015	1.4	0.1	0.2	0.2	< 0.005	0.00	< 0.050	< 0.020	1.2
P62	CA-062	Pirabas Inferior	28.3	7.3	333.0	217.2	377.0	7.6	11	0.59	341.0	192.0	225.0	-	9.8	5.3	< 0.015	3.2	1.8	65.7	6.9	0.03	0.15	< 0.050	< 0.020	< 0.040
P63	CA-063	Barreiras	27.1	4.7	37.8	433.2	59.7	4.5	0	0.4	34.8	7.8	-	-	4.7	1.5	< 0.015	3.6	1.4	2.3	0.5	0.06	0.01	0.15	< 0.020	14.2
P64	CA-064	Barreiras	24.8	4.6	278.0	386.8	307.0	5.1	4	1.26	189.0	39.0	4.4	-	41.0	37.3	0.03	30.5	9.7	12.8	1.7	0.02	0.01	5.98	< 0.020	38.2
P65	P65/CA-065	Barreiras	27.0	4.2	84.2	441.0	87.6	4.3	0	0.52	45.3	5.8	-	-	7.0	1.4	< 0.015	7.1	0.8	1.5	0.5	0.09	0.01	0.17	< 0.020	20.1
P66	CA66	Pirabas Inferior	27.7	6.7	315.0	348.0	350.0	7.8	9	1.53	325.0	174.0	213.0	-	5.4	6.5	2.05	6.2	2.8	55.4	8.7	< 0.005	0.08	< 0.050	< 0.020	< 0.040
P67	P67	Barreiras	28.0	5.6	27.1	296.7	23.4	4.6	0	1.12	15.7	1.9	-	-	1.7	0.7	< 0.015	0.8	0.4	0.4	0.2	0.01	0.00	< 0.050	< 0.020	2.8
P68	CA-68	Pós-Barreiras	29.6	5.8	72.6	319.3	69.4	4.5	3	0.25	41.0	3.5	-	-	10.8	1.9	0.03	10.0	0.3	0.7	0.4	0.05	0.00	0.09	< 0.020	9.1
P69	CA-69*	Pirabas Inferior	30.8	7.2	279.0	160.1	332.0	7.5	39	5.23	312.0	169.0	212.0	-	2.1	5.2	0.18	2.6	2.3	56.1	7.0	0.15	0.21	< 0.050	< 0.020	< 0.040
P70	CA-70	Pós-Barreiras	29.1	5.8	502.0	268.2	557.0	7.6	1	3.62	357.0	63.3	63.5	-	41.3	25.4	0.02	40.8	12.0	19.7	3.4	< 0.005	0.01	32.00	< 0.020	115.0
P71	P71	Pós-Barreiras	28.5	4.2	122.1	309.5	116.0	4.4	0	0.43	71.0	13.4	-	-	11.4	3.9	< 0.015	9.4	5.0	3.5	1.1	0.01	0.01	0.07	< 0.020	28.9
P72	CA072	Pirabas Inferior	28.0	7.2	310.0	227.1	349.0	8.0	5	0.38	319.0	174.0	212.0	-	4.6	6.1	< 0.015	4.9	2.3	55.6	8.4	0.02	0.14	< 0.050	< 0.020	< 0.040
P73	P073	Barreiras	22.7	6.8	94.4	283.5	49.9	6.6	1182	262	57.3	15.7	8.8	-	2.4	7.0	0.10	1.3	1.6	3.1	2.0	0.01	0.76	< 0.050	< 0.020	< 0.040
P74	CA074	Pirabas Inferior	28.5	7.3	312.0	278.4	304.0	7.4	27	4.33	307.0	198.0	188.0	-	3.2	< 0.10	5.73	1.8	1.7	70.8	5.1	0.89	0.29	< 0.050	< 0.020	< 0.040
P75	P075	Barreiras	26.8	4.7	38.2	328.3	26.6	5.6	24	5.09	30.0	5.1	1.8	-	2.5	4.3	< 0.015	1.1	1.1	0.9	0.7	< 0.005	0.08	< 0.050	< 0.020	< 0.040
P76	CA-076	Barreiras	27.8	5.6	40.6	313.5	43.2	4.3	111	25.3	23.0	3.4	-	-	2.8	1.4	< 0.015	2.0	0.3	0.7	0.4	0.55	0.01	< 0.050	< 0.020	6.1
P77	P77	Pós-Barreiras	30.4	4.9	68.5	383.9	44.9	4.3	22	1.59	26.5	3.8	-	-	2.2	6.7	< 0.015	1.5	0.3	1.0	0.4	0.05	0.02	0.09	< 0.020	< 0.040
P78	Ca-078	Barreiras	30.5	4.1	52.3	404.3	55.8	4.4	1	0.75	32.6	5.0	-	-	2.6	1.1	< 0.015	2.3	0.9	1.0	0.6	< 0.005	0.01	1.08	< 0.020	15.7
P79	P079	Pós-Barreiras	30.4	5.8	26.3	363.4	42.7	4.5	3	0.41	27.5	2.1	-	-	2.3	0.6	0.02	4.7	< 0.10	0.4	0.3	0.01	0.00	< 0.050	< 0.020	11.9
P80	CA-080	Barreiras	27.9	5.6	180.1	410.8	39.5	5.3	61	10.4	44.0	11.3	8.1	-	3.7	4.4	0.05	1.7	1.4	2.6	1.2	1.29	0.19	< 0.050	< 0.020	< 0.040
P81	P81	Barreiras	27.4	4.5	91.9	307.7	101.0	4.3	13	1.95	60.5	4.0	-	-	10.0	0.3	< 0.015	11.9	1.3	0.5	0.7	0.01	0.01	0.51	< 0.020	25.8
P82	Ca-082	Barreiras	30.4	4.3	25.6	425.6	17.6	4.8	2	0.34	13.6	1.6	1.9	-	1.4	1.0	< 0.015	0.9	< 0.10	0.3	0.2	0.55	0.00	< 0.050	< 0.020	0.7
P83	CA-083	Barreiras	28.1	5.8	85.1	313.5	83.5	6.3	16	2.01	59.6	32.8	24.6	-	3.3	6.1	0.05	3.2	0.6	8.2	3.0	0.01	0.00	< 0.050	< 0.020	7.6

Anexo III – Análises físico-químicas das amostras de águas subterrâneas coletadas– 2ª campanha (continuação)

ID	ID Coleta	Aquifero	Temp	pH	CE	Eh	CE	pH	Cor	Turbidez	STD	Dureza	HCO ₃	CO ₃	Cl	SO ₄	PO ₄	Na	K ⁺	Ca	Mg	Fe	Mn	NH ₄	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	
			°C		µS/cm	mV	µS/cm		CU	NTU	mg/L																
			Campo								Laboratório																
P84	CA084	Barreiras	29.3	4.3	33.2	295.9	31.1	4.6	59	9	20.5	2.7	-	-	3.2	1.1	< 0.015	2.2	0.2	0.5	0.4	0.02	0.00	< 0.050	< 0.020	2.2	
P85	CA085/P85	Barreiras	30.7	6.6	50.8	280.5	95.0	6.1	0	0.74	64.9	12.6	6.2	-	9.0	5.2	< 0.015	13.0	2.8	4.6	0.3	< 0.005	0.00	< 0.050	< 0.020	21.2	
P86	CA-086	Barreiras	28.6	4.4	54.5	330.0	56.1	4.5	0	0.28	30.0	3.4	-	-	5.5	0.5	< 0.015	5.4	1.7	0.9	0.3	< 0.005	0.00	< 0.050	< 0.020	10.7	
P87	Ca-087	Pós-Barreiras	28.3	5.1	35.1	312.7	29.5	4.6	0	1.09	15.7	2.9	-	-	2.7	0.8	0.02	2.1	0.2	0.7	0.3	0.02	0.01	< 0.050	< 0.020	3.7	
P88	CA-088	Barreiras	28.6	4.4	312.0	289.5	364.0	4.7	2	0.55	203.0	25.5	-	-	42.6	25.1	< 0.015	44.7	5.7	8.4	1.1	0.01	0.01	6.14	< 0.020	64.3	
P89	CA-089	Barreiras	28.6	4.7	25.6	478.3	28.8	5.0	7	0.27	19.6	3.6	0.9	-	3.4	0.3	0.02	2.1	0.4	0.9	0.4	0.01	0.00	< 0.050	< 0.020	4.4	
P90	Ca-090	Barreiras	28.6	4.7	38.7	430.8	55.6	4.2	109	10.6	22.2	4.9	-	-	2.0	5.1	< 0.015	1.2	0.3	1.2	0.5	0.19	0.03	0.08	< 0.020	3.9	
P91	P91/CA091	Pirabas Superior	28.3	6.3	55.5	239.0	50.3	6.5	77	12.4	55.5	19.7	21.6	-	2.5	1.8	0.07	1.3	2.3	5.5	1.5	1.08	0.09	< 0.050	< 0.020	< 0.040	
P92	CA-092	Barreiras	29.0	4.2	60.8	421.7	62.8	4.4	0	0.21	37.1	3.4	-	-	8.1	0.6	< 0.015	6.2	0.4	0.3	0.7	< 0.005	0.01	< 0.050	< 0.020	10.9	
P93	CA093	Barreiras	28.0	4.1	45.7	335.0	45.4	4.3	0	0.2	22.2	3.7	-	-	3.1	1.1	< 0.015	1.6	0.3	0.5	0.6	0.01	0.01	< 0.050	< 0.020	6.1	
P94	CA094	Barreiras	29.3	5.5	251.0	272.2	253.0	5.7	4	0.36	156.0	32.6	25.1	-	26.4	17.8	< 0.015	25.2	4.6	10.6	1.5	0.01	0.01	5.33	< 0.020	34.7	
P95	CA-095	Barreiras	27.8	4.2	49.7	388.9	80.6	3.9	2	0.56	26.8	3.0	-	-	2.9	0.4	< 0.015	2.1	1.1	0.5	0.4	0.01	0.00	0.21	< 0.020	10.1	
P96	CA-096	Barreiras	29.1	4.5	95.0	336.0	94.7	4.4	0	0.74	53.0	8.5	-	-	10.1	1.8	0.02	10.7	0.5	2.4	0.6	0.04	0.01	< 0.050	< 0.020	21.2	
P97	CA-097/P097	Barreiras	26.4	4.8	30.2	395.2	26.6	5.0	0	0.44	20.5	4.5	0.7	-	2.6	3.3	< 0.015	2.3	< 0.10	0.9	0.5	< 0.005	0.03	< 0.050	< 0.020	2.2	
P98	CA-098	Pirabas Inferior	28.6	6.9	226.0	165.6	220.0	7.1	229	47.3	208.0	107.0	135.0	-	1.6	2.1	0.27	1.9	1.9	37.1	3.5	1.91	0.25	< 0.050	< 0.020	< 0.040	
P99	CA-099	Pós-Barreiras	26.8	4.6	23.2	444.8	26.8	4.6	0	0.17	12.7	1.9	-	-	2.6	0.6	< 0.015	1.9	< 0.10	0.5	0.2	< 0.005	0.00	< 0.050	< 0.020	2.6	
P101	CA-101	Pirabas Superior	31.3	6.4	185.3	273.2	194.0	7.3	12	1.26	142.0	62.6	61.1	-	23.0	4.4	< 0.015	14.6	2.0	19.8	3.2	0.01	0.04	0.34	< 0.020	0.9	
P102	CA-102	Barreiras	30.1	5.6	223.0	364.8	267.0	4.3	0	0.46	150.0	37.1	-	-	29.3	7.8	< 0.015	24.8	5.2	12.6	1.4	0.82	0.02	0.91	< 0.020	60.8	
P103	Ca-103	Barreiras	30.1	4.7	44.4	324.6	47.0	4.4	4	1.66	21.8	4.1	-	-	4.9	0.8	< 0.015	2.1	1.3	1.1	0.4	0.01	0.01	< 0.050	< 0.020	6.4	
P104	Ca-104	Barreiras	27.9	5.7	50.2	370.0	58.0	4.3	7	0.49	31.3	7.7	-	-	3.1	8.7	0.12	2.1	0.4	1.6	0.9	0.15	0.05	< 0.050	< 0.020	1.5	
P105	CA-105	Barreiras	28.7	4.3	103.3	306.6	110.0	4.6	0	0.27	56.3	5.7	-	-	18.5	0.8	< 0.015	11.3	6.5	1.1	0.7	0.01	0.01	< 0.050	< 0.020	11.5	
P106	Ca-106	Barreiras	30.3	5.8	282.0	230.0	281.0	6.8	115	18.8	194.0	71.4	43.6	-	22.7	18.8	< 0.015	22.5	5.3	26.0	1.6	2.80	0.03	0.45	< 0.020	41.7	
P107	CA107	Barreiras	28.2	5.0	26.1	309.5	20.9	4.7	0	2.22	14.4	1.5	-	-	2.0	1.1	< 0.015	1.1	< 0.10	0.3	0.2	< 0.005	0.00	< 0.050	< 0.020	0.8	
P108	CA-108	Barreiras	27.8	4.7	34.6	274.5	23.8	5.8	4	1.36	25.2	2.2	1.5	-	3.9	2.1	< 0.015	2.1	0.4	0.4	0.3	1.49	0.01	< 0.050	< 0.020	< 0.040	
P109	CA109	Barreiras	28.0	5.8	79.9	222.5	46.8	6.0	73	16.4	54.4	14.5	10.4	-	4.6	7.8	0.05	1.2	2.0	3.4	1.5	< 0.005	0.32	< 0.050	< 0.020	< 0.040	
P110	CA-110	Barreiras	28.2	5.7	24.9	314.9	24.6	4.9	16	0.48	22.0	2.4	0.3	-	2.7	3.0	0.06	1.5	0.4	0.5	0.3	0.40	0.01	< 0.050	< 0.020	< 0.040	
P111	CA111	Barreiras	29.6	6.7	100.0	187.0	61.5	6.8	153	35.9	72.0	14.8	25.6	-	2.1	7.6	0.06	1.2	2.2	3.6	1.4	7.02	0.31	0.06	< 0.020	< 0.040	
P112	CA-112	Barreiras	30.3	5.9	202.0	269.2	223.0	6.1	1	0.43	144.0	42.1	27.8	-	28.4	32.4	0.04	23.2	4.6	13.8	1.9	0.09	0.03	2.75	< 0.020	1.1	
P113	CA-113	Barreiras	28.1	5.5	17.5	291.0	16.6	5.2	19	2.68	21.2	2.1	0.3	-	4.2	0.3	0.06	1.8	0.5	0.5	0.2	1.09	0.02	0.09	< 0.020	0.1	
P114	CA-114	Barreiras	29.8	5.6	110.7	278.6	118.0	6.3	25	1.31	79.5	43.8	21.3	-	8.6	8.5	0.03	0.0	2.2	15.9	1.0	0.01	0.00	0.62	< 0.020	17.0	
P115	CA-115	Barreiras	30.6	4.3	58.9	333.5	56.7	4.4	0	0.31	32.0	5.1	-	-	4.0	0.4	< 0.015	3.6	2.0	1.2	0.5	0.16	0.01	< 0.050	< 0.020	13.9	
P116	CA-116	Barreiras	28.9	4.7	95.9	294.4	106.0	5.0	0	0.34	67.6	20.7	4.3	-	8.8	7.2	< 0.015	8.1	2.5	7.1	0.7	0.11	0.01	1.05	< 0.020	22.8	
P117	CA-117	Barreiras	29.0	4.9	99.2	291.4	110.0	4.7	0	1.13	60.3	9.0	1.3	-	20.2	4.8	< 0.015	15.3	1.2	2.9	0.4	0.58	0.01	0.22	< 0.020	10.1	
P118	CA-118	Barreiras	30.8	5.4	63.9	356.1	68.0	4.2	28	0.44	35.5	3.4	-	-	6.0	10.0	0.03	4.8	0.6	0.7	0.4	1.45	0.03	0.12	< 0.020	0.1	
P119	CA-119	Barreiras	29.3	5.6	328.0	253.8	333.0	6.1	19	4.51	222.0	92.5	39.9	-	34.1	42.9	0.03	25.7	5.1	32.5	2.8	0.07	0.04	0.34	< 0.020	25.0	
P120	CA-120	Barreiras	30.7	6.0	319.0	277.9	323.0	6.9	23	1.05	211.0	83.1	40.3	-	22.0	40.4	< 0.015	22.8	6.0	30.4	1.8	< 0.005	0.01	3.98	< 0.020	39.5	
P121	CA-121	Barreiras	29.3	4.3	220.0	376.1	235.0	4.4	0	0.72	137.0	23.6	-	-	34.5	28.5	< 0.015	26.8	6.3	7.3	1.3	0.53	0.03	1.98	< 0.020	21.8	
P122	CA-122	Barreiras	29.8	5.8	317.0	305.6	356.0	5.8	0	0.52	214.0	36.0	18.8	-	44.7	42.8	< 0.015	38.1	9.7	11.3	1.9	0.01	0.01	10.80	< 0.020	30.1	
P123	CA-123	Barreiras	28.8	5.3	202.0	334.9	220.0	5.6	0	0.29	132.0	28.7	7.3	-	35.8	21.0	< 0.015	26.4	4.7	9.3	1.4	< 0.005	0.02	2.31	< 0.020	20.6	
P124	CA-124	Barreiras	28.4	7.0	39.0	329.2	36.1	6.5	75	32.3	42.5	12.9	11.7	-	2.7	2.6	< 0.015	1.4	1.0	4.0	0.7	0.11	0.07	0.08	< 0.020	0.0	

Anexo III – Análises físico-químicas das amostras de águas subterrâneas coletadas – 2ª campanha (continuação)

ID	ID Coleta	Aquifero	Temp	pH	CE	Eh	CE	pH	Cor	Turbidez	STD	Dureza	HCO ₃	CO ₃	Cl	SO ₄	PO ₄	Na	K ⁺	Ca	Mg	Fe	Mn	NH ₄	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻
			°C		μS/cm	mV	μS/cm		CU	NTU	mg/L															
			Campo						Laboratório																	
P125	CA-125	Barreiras	28.7	4.0	32.6	406.3	29.0	4.7	0	0.29	18.0	1.7	-	-	2.4	0.4	< 0.015	2.9	0.2	0.3	0.2	0.01	0.00	< 0.050	< 0.020	5.7
P126	CA-126	Barreiras	29.3	6.1	261.0	242.5	298.0	7.5	9	1.55	220.0	49.7	56.8	-	32.0	22.7	< 0.015	43.7	4.6	18.5	0.8	< 0.005	0.01	< 0.050	< 0.020	26.9
P127	CA-127	Barreiras	27.3	5.0	41.2	348.5	33.1	5.5	5	1.57	32.7	8.5	2.5	-	3.1	6.0	< 0.015	1.9	0.4	2.2	0.7	0.62	0.05	< 0.050	< 0.020	< 0.040
P128	CA-128	Pirabas Superior	29.6	6.7	111.7	195.1	138.0	6.7	33	3.89	126.0	53.8	78.3	-	2.6	1.5	0.11	1.9	2.6	17.4	2.5	0.27	0.13	0.17	< 0.020	0.1
P129	CA-129	Barreiras	27.9	5.0	41.7	432.8	44.6	5.8	0	1.15	37.5	7.2	9.4	-	4.4	0.9	< 0.015	3.4	1.3	2.2	0.4	0.66	0.01	< 0.050	< 0.020	7.0
P131	CA-131	Barreiras	27.3	4.8	28.5	386.8	25.3	5.0	2	0.87	17.6	3.1	0.5	-	3.4	1.1	< 0.015	2.2	0.4	0.8	0.3	0.02	0.01	0.08	< 0.020	3.1
P132	CA-132	Pirabas Superior	28.6	6.5	78.7	219.0	75.6	6.5	23	6.19	79.6	33.9	40.0	-	2.5	1.0	0.10	1.3	2.1	10.8	1.7	1.14	0.10	< 0.050	< 0.020	< 0.040
P133	CA-133	Barreiras	27.9	6.8	34.0	400.7	33.9	4.8	9	2.63	20.6	3.1	0.4	-	3.6	1.6	< 0.015	3.2	0.5	0.9	0.2	< 0.005	0.00	< 0.050	< 0.020	4.4
P134	CA-134	Barreiras	29.6	6.7	336.0	210.4	382.0	6.9	136	34.2	290.0	117.0	134.0	-	26.1	26.2	0.03	24.7	6.3	42.9	2.5	0.61	0.03	2.99	< 0.020	11.6
P135	CA-135	Barreiras	29.2	4.8	204.0	61.5	199.0	5.0	21	0.63	121.0	16.2	4.2	-	22.6	7.4	0.09	22.4	3.6	5.2	0.8	0.04	0.00	5.57	< 0.020	42.8
P136	CA-136	Barreiras	27.3	4.6	26.2	375.7	26.6	5.3	0	0.26	24.8	5.4	0.3	-	2.4	5.0	< 0.015	1.7	0.4	1.6	0.3	0.09	0.01	0.09	< 0.020	1.5
P137	CA-137	Barreiras	29.0	5.8	294.0	260.8	347.0	6.4	22	1.14	232.0	67.4	61.3	-	29.3	34.4	< 0.015	28.2	7.8	23.7	2.0	0.29	0.01	9.97	< 0.020	32.1
P138	CA-138	Barreiras	31.0	4.9	149.3	214.7	156.0	5.0	17	0.57	81.6	16.0	5.5	-	28.5	10.1	< 0.015	17.8	2.2	5.2	0.7	0.52	0.00	1.32	< 0.020	4.3
P139	CA-139	Barreiras	32.6	6.0	303.0	219.9	306.0	5.6	19	0.41	184.0	72.0	11.8	-	24.4	47.3	< 0.015	23.7	5.3	25.4	2.1	0.01	0.01	1.73	< 0.020	39.1
P140	CA-140	Barreiras	30.2	5.3	24.3	374.5	26.9	4.5	0	0.29	15.4	2.0	-	-	1.7	0.5	< 0.015	1.4	< 0.10	0.3	0.3	0.02	0.00	< 0.050	< 0.020	4.1
P141	CA-141	Barreiras	27.3	5.9	27.9	236.0	23.9	5.0	10	1.36	23.5	2.2	0.9	-	3.8	0.8	< 0.015	2.5	0.4	0.5	0.2	1.31	0.01	0.16	< 0.020	0.0
P142	CA-142	Barreiras	28.3	4.2	114.1	326.2	122.0	4.3	0	0.42	66.3	4.9	-	-	14.1	2.7	< 0.015	14.1	2.5	1.2	0.5	0.02	0.01	0.77	< 0.020	22.3
P143	CA-143	Barreiras	30.1	5.9	227.0	272.0	226.0	6.1	10	2.92	163.0	86.9	57.7	-	8.5	34.2	0.14	8.6	2.4	32.8	1.2	0.02	0.01	< 0.050	< 0.020	13.4
P144	CA-144	Barreiras	29.5	5.0	235.0	332.0	251.0	5.7	0	0.21	154.0	23.9	10.7	-	35.5	27.3	0.05	28.6	9.3	7.4	1.3	0.02	0.01	4.64	< 0.020	20.3
P145	CA-145	Pirabas Inferior	30.1	6.9	317.0	155.8	310.0	7.2	298	56.1	289.0	161.0	194.0	-	1.7	5.4	0.08	1.9	1.6	49.2	9.3	0.68	0.46	< 0.050	< 0.020	< 0.040
P146	CA-146	Barreiras	28.1	6.5	62.5	228.6	57.7	6.2	34	5.54	63.1	23.4	26.1	-	2.5	2.3	0.07	1.4	2.7	6.8	1.5	1.10	0.10	< 0.050	< 0.020	< 0.040
P147	CA-147	Pirabas Superior	29.3	7.5	308.0	258.2	339.0	7.6	0	0.96	316.0	170.0	210.0	-	4.5	5.3	0.06	5.2	1.6	56.5	6.9	0.32	0.07	< 0.050	< 0.020	< 0.040
P148	CA-148	Barreiras	29.9	6.6	114.8	193.7	89.9	6.5	76	16.5	90.7	34.4	41.6	-	3.8	2.9	0.10	2.8	4.2	9.9	2.4	1.97	0.13	0.28	< 0.020	0.3
P149	CA-149	Barreiras	30.5	4.7	123.0	396.7	139.0	4.3	3	0.29	76.1	9.3	-	-	18.2	2.1	< 0.015	16.7	1.1	2.7	0.6	0.01	0.01	< 0.050	< 0.020	28.9
P150	CA-150	Pós-Barreiras	27.2	4.9	272.0	360.6	287.0	5.2	0	0.21	182.0	37.5	0.6	-	26.0	10.7	< 0.015	19.7	18.0	10.1	3.0	0.01	0.01	5.09	< 0.020	84.6
RED21	RED21	Barreiras	28.8	4.3	417.0	332.5	453.0	6.3	3	0.9	288.0	58.7	49.8	-	90.8	40.1	< 0.015	68.8	6.1	5.9	10.7	0.26	0.05	2.14	< 0.020	1.2
NAZ39	NAZ39	NI	28.6	6.8	209.0	333.2	231.0	7.2	2	0.26	167.0	78.4	61.4	-	19.0	17.2	0.04	15.0	0.5	28.4	1.8	0.01	0.00	< 0.050	< 0.020	13.6
Rimas1	5º 1 (Pentágono)	Pirabas Superior	31.9	6.8	26.7	384.1	50.9	5.8	31	4.32	44.5	3.0	13.9	-	4.7	1.0	< 0.015	5.2	0.6	0.8	0.3	3.26	0.12	0.09	0.05	2.0
Rimas4	Mosqueiro3 (Murubira)	Pirabas Inferior	28.6	6.8	93.4	200.3	152.0	6.0	40	19.9	130.0	31.5	39.6	-	26.5	1.7	< 0.015	8.1	4.3	5.7	4.2	6.30	0.53	0.29	< 0.020	0.6
Rimas5	Icoaraci_Souza Franco	Pirabas Inferior	29.0	5.7	102.5	349.7	170.0	6.6	70	14.6	134.0	57.7	41.4	-	15.5	16.3	0.05	10.2	2.7	19.7	2.1	0.09	0.20	< 0.050	< 0.020	16.2
Rimas6	Icoaraci_Paracuri II	Pirabas Inferior	32.0	7.4	93.5	354.0	130.0	7.7	147	28.7	104.0	54.1	66.3	-	7.0	0.3	0.40	4.2	2.9	18.1	2.2	0.01	0.18	0.16	< 0.020	0.2
Rimas7	Icoaraci_FUNASA	NI	32.0	6.4	134.3	355.2	192.0	7.2	310	52.7	178.0	87.6	112.0	-	3.5	0.4	0.31	2.3	3.0	28.8	3.8	2.89	0.28	< 0.050	< 0.020	1.6

ANEXO IV – BALANÇO IÔNICO (1ª CAMPANHA DE AMOSTRAGENS)

ANEXO IV – Balanço Iônico – 1ª Campanha

ID	Σ de cátions meq/L	Σ de ânions meq/L	Balanço iônico %	ID	Σ de cátions meq/L	Σ de ânions meq/L	Balanço iônico %	ID	Σ de cátions meq/L	Σ de ânions meq/L	Balanço iônico %	ID	Σ de cátions meq/L	Σ de ânions meq/L	Balanço iônico %
P01	3.54	3.43	1.64	P39	0.12	0.14	-10.04	P77	0.20	0.21	-2.26	P115	0.34	0.38	-5.29
P02	1.16	1.10	2.47	P40	3.93	3.96	-0.29	P78	0.24	0.23	1.96	P116	0.94	0.82	6.98
P03	0.40	0.33	9.35	P41	4.37	4.46	-1.03	P79	0.16	0.16	-0.16	P117	1.21	1.29	-2.90
P04	3.86	3.86	-0.05	P42	3.66	3.71	-0.78	P80	0.35	0.33	3.42	P118	0.40	0.37	3.02
P05	3.73	3.82	-1.11	P43	2.42	2.30	2.68	P81	0.71	0.68	2.02	P119	4.53	4.14	4.44
P06	1.21	1.14	2.99	P44	2.90	2.67	4.26	P82	0.15	0.12	11.61	P120	2.92	2.65	4.84
P07	0.37	0.39	-2.29	P45	1.18	1.11	2.82	P83	0.95	0.91	2.51	P121	2.18	2.07	2.64
P08	3.84	3.77	0.99	P46	0.80	0.65	10.28	P84	0.21	0.17	10.60	P122	3.35	3.02	5.07
P09	3.56	3.64	-1.11	P47	0.72	0.64	5.73	P85	0.54	0.48	6.40	P123	2.26	2.09	3.84
P10	3.41	3.45	-0.50	P48	0.73	0.68	3.82	P86	0.41	0.42	-1.04	P124	0.36	0.35	1.01
P11	3.58	3.53	0.80	P49	1.03	0.96	3.65	P87	0.16	0.16	0.54	P125	0.16	0.17	-1.81
P12	0.82	0.54	20.60	P50	0.97	0.86	6.13	P88	2.25	2.17	1.77	P126	2.52	2.68	-3.11
P13	3.72	3.71	0.03	P51	0.42	0.40	2.95	P89	0.17	0.18	-3.12	P127	0.29	0.28	1.96
P14	9.10	8.70	2.25	P52	2.34	2.17	3.93	P90	0.22	0.24	-3.40	P128	1.20	1.11	3.88
P15	0.25	0.24	2.64	P53	0.80	0.77	1.98	P91	0.57	0.50	6.31	P129	0.40	0.34	7.28
P16	3.55	3.55	0.04	P54	2.15	1.95	4.86	P92	0.50	0.48	1.90	P130	0.71	0.66	3.75
P17	0.31	0.25	10.54	P55	0.29	0.26	6.81	P93	0.22	0.24	-4.49	P131	0.14	0.14	0.16
P18	0.79	0.77	1.54	P56	1.56	1.49	2.34	P94	2.14	1.98	3.87	P132	0.95	0.82	7.02
P19	1.81	1.81	-0.21	P57	3.70	3.67	0.43	P95	0.23	0.27	-7.71	P133	0.21	0.20	1.32
P20	1.74	1.64	2.92	P58	1.81	1.64	5.02	P96	0.75	0.76	-0.57	P134	3.46	3.28	2.71
P21	0.88	0.86	0.93	P59	0.49	0.45	4.57	P97	0.13	0.13	-0.05	P135	1.76	1.63	3.81
P22	4.09	4.25	-1.99	P60	0.43	0.40	4.34	P98	2.61	2.42	3.87	P136	0.19	0.20	-3.26
P23	0.27	0.29	-3.84	P61	0.14	0.12	6.93	P99	0.12	0.15	-10.85	P137	3.24	2.89	5.65
P24	0.17	0.18	-1.25	P62	4.11	4.06	0.60	P100	2.08	2.15	-1.70	P138	1.39	1.25	5.27
P25	0.30	0.30	-0.66	P63	0.43	0.45	-2.47	P101	1.39	1.27	4.45	P139	2.70	2.57	2.42
P26	3.49	3.58	-1.26	P64	3.03	2.98	0.87	P102	2.65	2.98	-5.94	P140	0.13	0.13	-1.54
P27	3.06	2.77	4.90	P65	1.02	0.99	1.37	P103	0.19	0.23	-8.57	P141	0.26	0.20	12.60
P28	3.60	3.80	-2.81	P66	3.90	3.81	1.14	P104	0.25	0.29	-6.15	P142	1.13	1.05	3.81
P29	0.74	0.65	6.50	P67	0.09	0.10	-0.41	P105	0.77	0.86	-5.47	P143	2.27	2.06	4.83
P30	1.08	1.12	-1.68	P68	0.72	0.63	6.54	P106	2.92	2.97	-0.90	P144	2.26	2.01	5.88
P31	0.97	0.90	3.58	P69	1.04	0.85	10.04	P107	0.10	0.10	-3.43	P145	3.56	3.38	2.64
P32	0.55	0.57	-1.75	P70	1.95	1.84	2.93	P108	0.16	0.21	-13.65	P146	0.64	0.55	7.35
P33	0.13	0.18	-17.62	P71	0.85	0.85	0.02	P109	0.62	0.64	-1.50	P147	3.80	3.68	1.63
P34	1.21	1.19	0.71	P72	3.76	3.78	-0.24	P110	0.16	0.15	1.88	P148	0.79	0.73	4.00
P35	0.27	0.28	-2.78	P73	0.80	0.72	5.19	P111	0.64	0.53	9.37	P149	1.22	1.18	1.83
P36	0.72	0.63	6.78	P74	4.14	4.06	0.97	P112	2.11	2.13	-0.37	P150	2.46	2.40	1.17
P37	3.83	3.95	-1.45	P75	0.29	0.23	11.81	P113	0.21	0.14	21.31				
P38	0.72	0.66	4.61	P76	0.20	0.21	-1.35	P114	1.21	1.08	5.65				

ANEXO V - BALANÇO IÔNICO (2ª CAMPANHA DE AMOSTRAGENS)

ANEXO V – Balanço Iônico – 2ª Campanha

ID	Σ de	Σ de	Balanço	ID	Σ de	Σ de	Balanço	ID	Σ de	Σ de	Balanço	ID	Σ de	Σ de	Balanço
	cátions	ânions			iônico	cátions			ânions	iônico			cátions	ânions	
	meq/L		%		meq/L		%		meq/L		%		meq/L		%
P01	3.38	3.12	4.01	P40	3.87	3.89	-0.31	P80	0.39	0.33	8.57	P119	3.13	2.91	3.57
P02	1.20	1.12	3.55	P41	1.80	1.72	2.13	P81	0.69	0.70	-1.09	P120	3.03	2.76	4.71
P03	1.74	1.60	4.19	P42	3.65	3.66	-0.09	P82	0.11	0.10	1.57	P121	1.95	1.92	0.79
P04	3.82	3.73	1.25	P44	3.23	2.92	4.90	P83	0.82	0.74	4.86	P122	3.23	2.95	4.61
P05	3.50	3.80	-4.19	P45	1.12	1.08	2.15	P84	0.16	0.15	5.25	P123	1.98	1.90	1.96
P06	1.17	1.11	2.60	P46	0.64	0.60	3.40	P85	0.89	0.80	5.08	P124	0.36	0.32	5.47
P07	0.41	0.39	2.91	P47	0.64	0.56	6.28	P86	0.36	0.34	3.22	P125	0.17	0.17	1.57
P08	3.87	3.80	0.88	P48	0.71	0.67	2.47	P87	0.16	0.15	3.78	P126	3.03	2.74	4.91
P09	3.57	3.60	-0.33	P50	0.84	0.67	10.66	P88	2.97	2.76	3.70	P127	0.29	0.26	6.07
P10	3.48	3.42	0.85	P51	0.43	0.36	8.80	P89	0.19	0.19	-0.25	P128	1.26	1.39	-5.15
P11	3.56	3.53	0.40	P52	2.89	2.69	3.45	P90	0.19	0.22	-9.07	P129	0.38	0.41	-3.75
P12	0.65	0.38	26.41	P53	0.78	0.78	-0.08	P91	0.56	0.47	9.12	P131	0.18	0.18	-0.12
P13	3.72	3.71	0.15	P54	2.20	2.01	4.69	P92	0.37	0.41	-5.66	P132	0.84	0.75	5.50
P14	10.04	10.61	-2.76	P55	0.21	0.20	3.14	P93	0.18	0.21	-6.56	P133	0.22	0.21	1.60
P15	0.24	0.23	0.83	P56	1.63	1.50	3.90	P94	2.17	2.09	2.05	P134	3.79	3.67	1.63
P16	3.38	3.53	-2.11	P57	3.69	3.59	1.44	P95	0.22	0.25	-6.46	P135	1.72	1.55	5.16
P17	0.23	0.16	17.61	P58	0.45	0.46	-1.54	P96	0.68	0.66	0.86	P136	0.21	0.20	2.67
P18	0.77	0.71	3.61	P59	0.53	0.48	5.03	P97	0.20	0.19	2.76	P137	3.34	3.07	4.33
P19	1.47	1.38	3.35	P60	0.38	0.37	1.86	P98	2.37	2.31	1.22	P138	1.26	1.17	3.69
P20	1.86	1.71	4.00	P61	0.10	0.10	-1.49	P99	0.13	0.12	1.23	P139	2.72	2.50	4.26
P21	0.91	0.81	5.61	P62	4.05	4.08	-0.38	P101	1.96	1.76	5.58	P140	0.11	0.12	-5.15
P22	4.27	4.28	-0.21	P63	0.39	0.39	-0.55	P102	2.10	1.97	3.20	P141	0.22	0.14	21.52
P23	0.20	0.19	3.74	P64	2.70	2.62	1.49	P103	0.24	0.26	-2.68	P142	0.84	0.81	1.88
P25	0.19	0.18	2.96	P65	0.54	0.55	-1.07	P104	0.27	0.29	-3.73	P143	2.18	2.11	1.58
P26	3.58	3.53	0.73	P66	3.90	3.78	1.50	P105	0.80	0.72	5.06	P144	2.24	2.07	3.94
P27	3.75	3.75	0.05	P67	0.09	0.11	-7.74	P106	2.67	2.42	4.94	P145	3.39	3.35	0.56
P28	3.79	3.74	0.68	P68	0.54	0.49	4.96	P107	0.09	0.09	0.07	P146	0.65	0.55	8.02
P29	0.55	0.52	3.13	P69*	3.58	3.66	-1.02	P108	0.20	0.18	6.35	P147	3.68	3.69	-0.07
P30	1.03	1.05	-1.05	P70	5.13	4.59	5.57	P109	0.41	0.46	-6.71	P148	1.02	0.86	8.84
P31	0.87	0.78	5.75	P71	0.85	0.87	-1.01	P110	0.15	0.15	-0.07	P149	1.00	1.02	-0.91
P32	0.44	0.44	-0.73	P72	3.75	3.74	0.20	P111	0.67	0.64	2.50	P150	2.39	2.33	1.20
P33	0.16	0.18	-6.22	P73	0.44	0.36	10.59	P112	2.13	1.95	4.39	RED21	4.45	4.23	2.54
P34	0.98	0.92	3.15	P74	4.13	3.29	11.28	P113	0.18	0.13	16.26	NAZ39	2.24	2.12	2.74
P35	0.21	0.21	1.17	P75	0.19	0.19	-1.22	P114	0.97	1.04	-3.55	Rimas1	0.43	0.42	1.83
P36	0.71	0.69	1.75	P76	0.20	0.21	-1.75	P115	0.34	0.34	-0.42	Rimas4	1.36	1.45	-3.17
P37	3.85	3.88	-0.43	P77	0.18	0.20	-5.32	P116	0.90	0.84	3.84	Rimas5	1.68	1.72	-1.02
P38	0.71	0.67	3.03	P78	0.33	0.35	-3.05	P117	0.91	0.85	3.41	Rimas6	1.37	1.30	2.78
P39	0.19	0.18	3.14	P79	0.26	0.27	-1.84	P118	0.37	0.38	-1.39	Rimas7	2.06	1.97	2.20

**ANEXO VI - CLASSIFICAÇÃO HIDROQUÍMICA CONFORME
DIAGRAMA DE PIPER (1ª E 2ª CAMPANHAS DE
AMOSTRAGENS)**

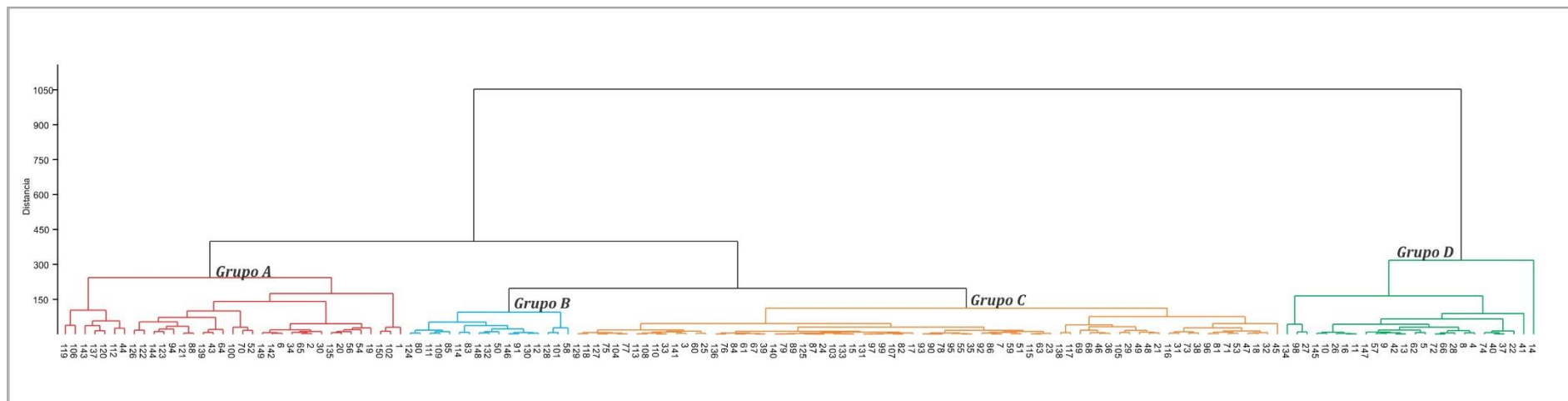
ANEXO VI – Classificação Hidroquímica (1ª Campanha)

ID	Classificação	ID	Classificação	ID	Classificação	ID	Classificação
P01	Cloreta Sódica	P39	Cloreta Sódica	P77	Sulfatada Cálcica	P115	Cloreta Sódica
P02	Cloreta Sódica	P40	Bicarbonatada Cálcica	P78	Cloreta Sódica	P116	Sulfatada Cálcica
P03	Cloreta Sódica	P41	Bicarbonatada Cálcica	P79	Cloreta Sódica	P117	Cloreta Sódica
P04	Bicarbonatada Cálcica	P42	Bicarbonatada Cálcica	P80	Sulfatada Cálcica	P118	Cloreta Sódica
P05	Bicarbonatada Cálcica	P43	Sulfatada Cálcica	P81	Cloreta Sódica	P119	Bicarbonatada Cálcica
P06	Cloreta Sódica	P44	Cloreta Sódica	P82	Sulfatada Cálcica	P120	Sulfatada Cálcica
P07	Cloreta Sódica	P45	Sulfatada Cálcica	P83	Bicarbonatada Cálcica	P121	Cloreta Sódica
P08	Bicarbonatada Cálcica	P46	Cloreta Sódica	P84	Sulfatada Cálcica	P122	Cloreta Sódica
P09	Bicarbonatada Cálcica	P47	Sulfatada Cálcica	P85	Bicarbonatada Cálcica	P123	Cloreta Sódica
P10	Bicarbonatada Cálcica	P48	Cloreta Sódica	P86	Cloreta Sódica	P124	Bicarbonatada Cálcica
P11	Bicarbonatada Cálcica	P49	Cloreta Sódica	P87	Cloreta Sódica	P125	Cloreta Sódica
P12	Bicarbonatada Cálcica	P50	Bicarbonatada Cálcica	P88	Cloreta Sódica	P126	Cloreta Sódica
P13	Bicarbonatada Cálcica	P51	Sulfatada Cálcica	P89	Cloreta Sódica	P127	Sulfatada Cálcica
P14	Cloreta Sódica	P52	Cloreta Sódica	P90	Sulfatada Cálcica	P128	Bicarbonatada Cálcica
P15	Cloreta Sódica	P53	Cloreta Sódica	P91	Bicarbonatada Cálcica	P129	Sulfatada Cálcica
P16	Bicarbonatada Cálcica	P54	Cloreta Sódica	P92	Cloreta Sódica	P130	Bicarbonatada Cálcica
P17	Sulfatada Cálcica	P55	Cloreta Sódica	P93	Cloreta Sódica	P131	Cloreta Sódica
P18	Cloreta Sódica	P56	Cloreta Sódica	P94	Cloreta Sódica	P132	Bicarbonatada Cálcica
P19	Cloreta Sódica	P57	Bicarbonatada Cálcica	P95	Cloreta Sódica	P133	Cloreta Sódica
P20	Cloreta Sódica	P58	Bicarbonatada Cálcica	P96	Cloreta Sódica	P134	Bicarbonatada Cálcica
P21	Cloreta Sódica	P59	Cloreta Sódica	P97	Cloreta Sódica	P135	Cloreta Sódica
P22	Bicarbonatada Cálcica	P60	Cloreta Sódica	P98	Bicarbonatada Cálcica	P136	Cloreta Sódica
P23	Cloreta Sódica	P61	Cloreta Sódica	P99	Cloreta Sódica	P137	Cloreta Sódica
P24	Cloreta Sódica	P62	Bicarbonatada Cálcica	P100	Cloreta Sódica	P138	Cloreta Sódica
P25	Cloreta Sódica	P63	Cloreta Sódica	P101	Bicarbonatada Cálcica	P139	Sulfatada Cálcica
P26	Bicarbonatada Cálcica	P64	Cloreta Sódica	P102	Cloreta Sódica	P140	Cloreta Sódica
P27	Bicarbonatada Cálcica	P65	Cloreta Sódica	P103	Cloreta Sódica	P141	Cloreta Sódica
P28	Bicarbonatada Cálcica	P66	Bicarbonatada Cálcica	P104	Sulfatada Cálcica	P142	Cloreta Sódica
P29	Cloreta Sódica	P67	Sulfatada Cálcica	P105	Cloreta Sódica	P143	Bicarbonatada Cálcica
P30	Cloreta Sódica	P68	Cloreta Sódica	P106	Sulfatada Cálcica	P144	Cloreta Sódica
P31	Sulfatada Cálcica	P69	Cloreta Sódica	P107	Cloreta Sódica	P145	Bicarbonatada Cálcica
P32	Cloreta Sódica	P70	Cloreta Sódica	P108	Cloreta Sódica	P146	Bicarbonatada Cálcica
P33	Cloreta Sódica	P71	Cloreta Sódica	P109	Bicarbonatada Cálcica	P147	Bicarbonatada Cálcica
P34	Cloreta Sódica	P72	Bicarbonatada Cálcica	P110	Cloreta Sódica	P148	Bicarbonatada Cálcica
P35	Cloreta Sódica	P73	Cloreta Sódica	P111	Bicarbonatada Cálcica	P149	Cloreta Sódica
P36	Cloreta Sódica	P74	Bicarbonatada Cálcica	P112	Cloreta Sódica	P150	Cloreta Sódica
P37	Bicarbonatada Cálcica	P75	Sulfatada Cálcica	P113	Cloreta Sódica		
P38	Sulfatada Cálcica	P76	Cloreta Sódica	P114	Bicarbonatada Cálcica		

ANEXO VI – Classificação Hidroquímica (2ª Campanha)

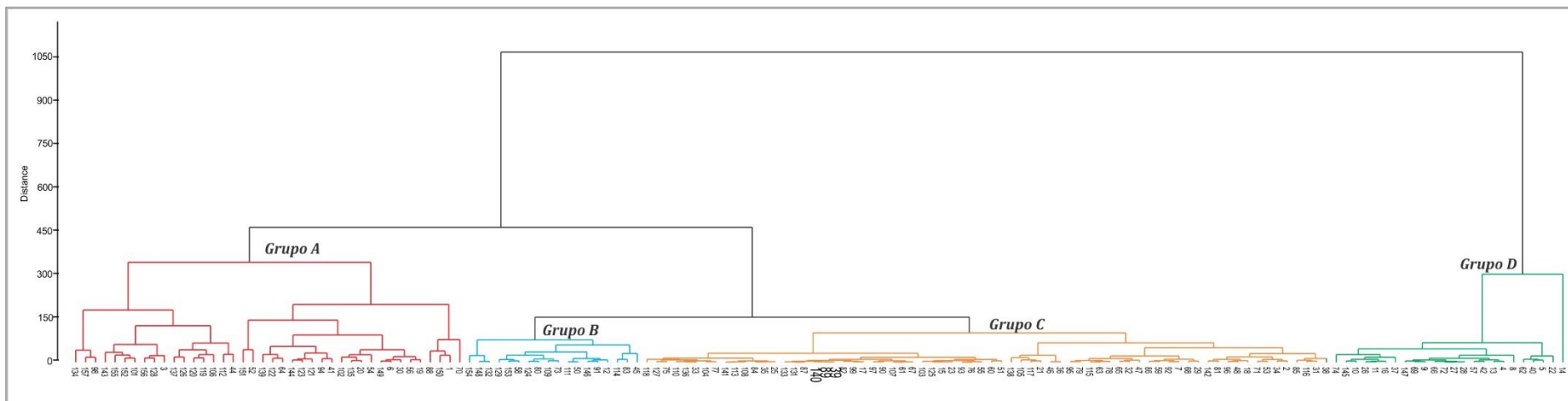
ID	Classificação	ID	Classificação	ID	Classificação	ID	Classificação
P01	Cloreta Sódica	P40	Bicarbonatada Cálcica	P80	Cloreta Sódica	P119	Sulfatada Cálcica
P02	Cloreta Sódica	P41	Sulfatada Cálcica	P81	Cloreta Sódica	P120	Sulfatada Cálcica
P03	Bicarbonatada Cálcica	P42	Bicarbonatada Cálcica	P82	Cloreta Sódica	P121	Cloreta Sódica
P04	Bicarbonatada Cálcica	P44	Cloreta Sódica	P83	Bicarbonatada Cálcica	P122	Cloreta Sódica
P05	Bicarbonatada Cálcica	P45	Sulfatada Cálcica	P84	Cloreta Sódica	P123	Cloreta Sódica
P06	Cloreta Sódica	P46	Cloreta Sódica	P85	Cloreta Sódica	P124	Bicarbonatada Cálcica
P07	Cloreta Sódica	P47	Sulfatada Cálcica	P86	Cloreta Sódica	P125	Cloreta Sódica
P08	Bicarbonatada Cálcica	P48	Cloreta Sódica	P87	Cloreta Sódica	P126	Cloreta Sódica
P09	Bicarbonatada Cálcica	P50	Bicarbonatada Cálcica	P88	Cloreta Sódica	P127	Sulfatada Cálcica
P10	Bicarbonatada Cálcica	P51	Sulfatada Cálcica	P89	Cloreta Sódica	P128	Bicarbonatada Cálcica
P11	Bicarbonatada Cálcica	P52	Cloreta Sódica	P90	Sulfatada Cálcica	P129	Cloreta Sódica
P12	Bicarbonatada Cálcica	P53	Cloreta Sódica	P91	Bicarbonatada Cálcica	P131	Cloreta Sódica
P13	Bicarbonatada Cálcica	P54	Cloreta Sódica	P92	Cloreta Sódica	P132	Bicarbonatada Cálcica
P14	Cloreta Sódica	P55	Cloreta Sódica	P93	Cloreta Sódica	P133	Cloreta Sódica
P15	Cloreta Sódica	P56	Cloreta Sódica	P94	Cloreta Sódica	P134	Bicarbonatada Cálcica
P16	Bicarbonatada Cálcica	P57	Bicarbonatada Cálcica	P95	Cloreta Sódica	P135	Cloreta Sódica
P17	Sulfatada Cálcica	P58	Bicarbonatada Cálcica	P96	Cloreta Sódica	P136	Sulfatada Cálcica
P18	Cloreta Sódica	P59	Cloreta Sódica	P97	Cloreta Sódica	P137	Cloreta Sódica
P19	Cloreta Sódica	P60	Cloreta Sódica	P98	Bicarbonatada Cálcica	P138	Cloreta Sódica
P20	Cloreta Sódica	P61	Cloreta Sódica	P99	Cloreta Sódica	P139	Sulfatada Cálcica
P21	Cloreta Sódica	P62	Bicarbonatada Cálcica	P101	Bicarbonatada Cálcica	P140	Cloreta Sódica
P22	Bicarbonatada Cálcica	P63	Cloreta Sódica	P102	Cloreta Sódica	P141	Cloreta Sódica
P23	Cloreta Sódica	P64	Cloreta Sódica	P103	Cloreta Sódica	P142	Cloreta Sódica
P25	Cloreta Sódica	P65	Cloreta Sódica	P104	Sulfatada Cálcica	P143	Bicarbonatada Cálcica
P26	Bicarbonatada Cálcica	P66	Bicarbonatada Cálcica	P105	Cloreta Sódica	P144	Cloreta Sódica
P27	Bicarbonatada Cálcica	P67	Cloreta Sódica	P106	Sulfatada Cálcica	P145	Bicarbonatada Cálcica
P28	Bicarbonatada Cálcica	P68	Cloreta Sódica	P107	Cloreta Sódica	P146	Bicarbonatada Cálcica
P29	Cloreta Sódica	P69*	Bicarbonatada Cálcica	P108	Cloreta Sódica	P147	Bicarbonatada Cálcica
P30	Cloreta Sódica	P70	Cloreta Sódica	P109	Sulfatada Cálcica	P148	Bicarbonatada Cálcica
P31	Sulfatada Cálcica	P71	Cloreta Sódica	P110	Cloreta Sódica	P149	Cloreta Sódica
P32	Cloreta Sódica	P72	Bicarbonatada Cálcica	P111	Bicarbonatada Cálcica	P150	Cloreta Sódica
P33	Cloreta Sódica	P73	Sulfatada Cálcica	P112	Cloreta Sódica	RED21	Cloreta Sódica
P34	Cloreta Sódica	P74	Bicarbonatada Cálcica	P113	Cloreta Sódica	NAZ39	Bicarbonatada Cálcica
P35	Cloreta Sódica	P75	Sulfatada Cálcica	P114	Sulfatada Cálcica	Rimas1	Bicarbonatada Sódica
P36	Cloreta Sódica	P76	Cloreta Sódica	P115	Cloreta Sódica	Rimas4	Cloreta Sódica
P37	Bicarbonatada Cálcica	P77	Sulfatada Cálcica	P116	Sulfatada Cálcica	Rimas5	Sulfatada Cálcica
P38	Sulfatada Cálcica	P78	Cloreta Sódica	P117	Cloreta Sódica	Rimas6	Bicarbonatada Cálcica
P39	Cloreta Sódica	P79	Cloreta Sódica	P118	Cloreta Sódica	Rimas7	Bicarbonatada Cálcica

**ANEXO VII – DENDROGRAMAS DAS AMOSTRAS DE ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM (1ª E 2ª CAMPANHAS
DE AMOSTRAGENS)**



Classificação por Grupos - 1ª Campanha de Amostragens

Nº	GRUPO	Nº	GRUPO	Nº	GRUPO	Nº	GRUPO	Nº	GRUPO	Nº	GRUPO				
P01	A	P20	A	P39	C	P58	B	P77	C	P96	C	P115	C	P134	D
P02	A	P21	C	P40	D	P59	C	P78	C	P97	C	P116	C	P135	A
P03	C	P22	D	P41	D	P60	C	P79	C	P98	D	P117	C	P136	C
P04	D	P23	C	P42	D	P61	C	P80	B	P99	C	P118	C	P137	A
P05	D	P24	C	P43	A	P62	D	P81	C	P100	A	P119	A	P138	C
P06	A	P25	C	P44	A	P63	C	P82	C	P101	B	P120	A	P139	A
P07	C	P26	D	P45	C	P64	A	P83	B	P102	A	P121	A	P140	C
P08	D	P27	D	P46	C	P65	A	P84	C	P103	C	P122	A	P141	C
P09	D	P28	D	P47	C	P66	D	P85	B	P104	C	P123	A	P142	A
P10	D	P29	C	P48	C	P67	C	P86	C	P105	C	P124	B	P143	A
P11	D	P30	A	P49	C	P68	C	P87	C	P106	A	P125	C	P144	A
P12	B	P31	C	P50	B	P69	C	P88	A	P107	C	P126	A	P145	D
P13	D	P32	C	P51	C	P70	A	P89	C	P108	C	P127	C	P146	B
P14	D	P33	C	P52	A	P71	C	P90	C	P109	B	P128	B	P147	D
P15	C	P34	A	P53	C	P72	D	P91	B	P110	C	P129	C	P148	B
P16	D	P35	C	P54	A	P73	C	P92	C	P111	B	P130	B	P149	A
P17	C	P36	C	P55	C	P74	D	P93	C	P112	A	P131	C	P150	A
P18	C	P37	D	P56	A	P75	C	P94	A	P113	C	P132	B		
P19	A	P38	C	P57	D	P76	C	P95	C	P114	B	P133	C		



Classificação por Grupos - 2ª Campanha de Amostragens

Nº	GRUPO	Nº	GRUPO	Nº	GRUPO	Nº	GRUPO	Nº	GRUPO	Nº	GRUPO						
P01	A	P20	A	P40	D	P61	C	P80	B	P99	C	P119	A	P139	A		
P02	C	P21	C	P41	A	P62	D	P81	C	P101	A	P120	A	P140	C		
P03	A	P22	D	P42	D	P63	C	P82	C	P102	A	P121	A	P141	C		
P04	D	P23	C	P44	A	P64	A	P83	B	P103	C	P122	A	P142	C		
P05	D	P25	C	P45	B	P65	C	P84	C	P104	C	P123	A	P143	A		
P06	A	P26	D	P46	C	P66	D	P85	C	P105	C	P124	B	P144	A		
P07	C	P27	D	P47	C	P67	C	P86	C	P106	A	P125	C	P145	D		
P08	D	P28	D	P48	C	P68	C	P87	C	P107	C	P126	A	P146	B		
P09	D	P29	C	P50	B	P69*	D	P88	A	P108	C	P127	C	P147	D		
P10	D	P30	A	P51	C	P70	A	P89	C	P109	B	P128	A	P148	B		
P11	D	P31	C	P52	A	P71	C	P90	C	P110	C	P129	B	P149	A		
P12	B	P32	C	P53	C	P72	D	P91	B	P111	B	P131	C	P150	A		
P13	D	P33	C	P54	A	P73	B	P92	C	P112	A	P132	B	RED21	A		
P14	D	P34	C	P55	C	P74	D	P93	C	P113	C	P133	C	NAZ39	A		
P15	C	P35	C	P56	A	P75	C	P94	A	P114	B	P134	A	Rimas1	B		
P16	D	P36	C	P57	D	P76	C	P95	C	P115	C	P135	A	Rimas4	B		
P17	C	P37	D	P58	B	P77	C	P96	C	P116	C	P136	C	Rimas5	A		
P18	C	P38	C	P59	C	P78	C	P97	C	P117	C	P137	A	Rimas6	A		
P19	A	P39	C	P60	C	P79	C	P98	A	P118	C	P138	C	Rimas7	A		

ANEXO VIII - RAZÕES IÔNICAS (1ª CAMPANHA DE AMOSTRAGENS)

ANEXO VIII – Razões Iônicas – 1ª Campanha

ID	rMg^{2+}/rCa^{2+}	rK^+/rNa^+	rNa^+/rCa^{2+}	$rNa^+/(rCa^{2+} + Mg^{2+})$	$rCl^-/rHCO_3^-$	ITB
P01	0.15	0.08	1.15	1.00	-	-0.28
P02	0.28	0.09	2.28	1.78	-	-0.33
P03	0.97	0.01	11.13	5.64	0.98	-0.48
P04	0.22	0.06	0.26	0.21	0.05	-0.14
P05	0.17	0.04	0.03	0.03	0.02	-0.01
P06	1.11	0.03	25.31	12.02	-	-0.64
P07	1.30	0.00	5.54	2.41	-	-0.26
P08	0.33	0.18	0.26	0.20	0.04	-0.16
P09	0.22	0.07	0.05	0.04	0.02	-0.03
P10	0.22	0.00	0.07	0.06	0.02	-0.03
P11	0.22	0.08	0.07	0.06	0.03	-0.03
P12	0.39	0.64	0.19	0.14	0.16	-0.04
P13	0.20	0.09	0.04	0.03	0.02	-0.02
P14	1.66	0.02	10.48	3.93	3.20	0.37
P15	0.40	0.02	2.55	1.82	5.56	-0.31
P16	0.19	0.12	0.08	0.07	0.03	-0.04
P17	0.29	0.11	0.71	0.55	1.46	-0.01
P18	0.16	0.07	1.24	1.06	9.20	-0.28
P19	0.19	0.09	1.77	1.49	-	-0.26
P20	0.19	0.08	1.87	1.57	5.30	-0.37
P21	0.23	0.02	5.51	4.47	25.34	-0.46
P22	0.20	0.00	0.07	0.06	0.03	-0.02
P23	1.54	0.00	7.25	2.85	-	-0.45
P24	0.97	0.03	4.56	2.31	-	-0.26
P25	1.14	0.01	12.76	5.95	44.27	-0.42
P26	0.19	0.00	0.07	0.06	0.03	-0.03
P27	0.31	0.25	0.09	0.07	0.06	-0.04
P28	0.27	0.00	0.11	0.08	0.04	-0.04
P29	0.36	0.07	12.47	9.15	6.45	-1.07
P30	0.22	0.06	2.21	1.81	-	-0.36
P31	0.12	0.14	0.55	0.49	1.50	-0.19
P32	0.51	0.10	3.58	2.38	-	-0.28
P33	1.72	0.00	6.48	2.38	-	0.00
P34	0.19	0.09	1.18	0.99	10.72	-0.25
P35	1.22	0.00	8.57	3.86	29.59	-0.45
P36	0.65	0.05	4.08	2.47	16.99	-0.20
P37	0.18	0.19	0.03	0.03	0.01	-0.02
P38	0.12	0.00	0.63	0.56	1.24	-0.20
P39	1.59	0.15	3.34	1.29	-	-0.05
P40	0.19	0.20	0.05	0.04	0.01	-0.03
P41	0.33	0.04	1.29	0.97	0.15	-0.43
P42	0.19	0.16	0.06	0.05	0.02	-0.04
P43	0.20	0.11	1.04	0.87	5.09	-0.26
P44	0.18	0.15	1.53	1.30	0.76	-0.34
P45	0.35	0.23	0.21	0.16	1.37	-0.09
P46	1.35	0.00	13.18	5.62	6.73	-0.43
P47	0.15	0.09	0.71	0.62	2.90	-0.19
P48	0.36	0.08	5.52	4.07	-	-0.37
P49	0.23	0.02	3.29	2.67	5.72	-0.52
P50	0.61	0.81	0.25	0.16	0.10	-0.08

ANEXO VIII – Razões Iônicas – 1ª Campanha (Continuação)

ID	rMg^{2+}/rCa^{2+}	rK^+/rNa^+	rNa^+/rCa^{2+}	$rNa^+/(rCa^{2+} + Mg^{2+})$	$rCl^-/rHCO_3^-$	ITB
P51	0.17	0.08	0.80	0.69	3.71	-0.05
P52	0.18	0.01	6.36	5.40	22.67	-0.36
P53	0.23	0.08	1.15	0.93	18.11	-0.23
P54	0.62	0.10	7.06	4.37	16.75	-0.39
P55	0.73	0.00	8.51	4.91	-	-0.81
P56	0.34	0.07	6.90	5.16	-	-0.65
P57	0.17	0.32	0.05	0.04	0.02	-0.04
P58	0.37	0.22	0.10	0.07	0.06	-0.02
P59	0.19	0.07	1.65	1.39	4.46	-0.39
P60	0.30	0.07	2.55	1.97	-	-0.15
P61	0.60	0.04	1.63	1.02	7.22	0.10
P62	0.17	0.39	0.04	0.04	0.08	0.02
P63	0.32	0.10	2.20	1.67	4.19	-0.37
P64	0.19	0.19	1.04	0.88	14.61	-0.27
P65	0.33	0.06	3.74	2.82	-	-0.52
P66	0.27	0.25	0.09	0.07	0.04	-0.05
P67	0.62	0.00	1.01	0.62	-	0.21
P68	0.44	0.01	6.29	4.38	65.32	-0.14
P69	0.13	0.02	9.84	8.71	1.64	-1.09
P70	0.64	0.04	10.38	6.33	10.38	-0.50
P71	0.48	0.32	2.04	1.38	-	-0.38
P72	0.26	0.34	0.08	0.06	0.04	-0.04
P73	0.08	0.15	1.77	1.63	1.41	-0.59
P74	0.14	0.42	0.02	0.02	0.02	-0.01
P75	0.64	0.30	1.28	0.78	2.83	-0.17
P76	0.52	0.07	1.63	1.07	-	-0.11
P77	0.62	0.06	1.31	0.81	-	0.04
P78	0.70	0.24	1.55	0.91	-	-0.14
P79	0.73	0.06	1.72	1.00	-	-0.07
P80	0.64	0.36	0.57	0.35	0.82	-0.02
P81	0.75	0.05	6.05	3.45	-	-0.57
P82	0.38	0.00	1.05	0.76	6.40	-0.03
P83	0.57	0.09	0.26	0.16	0.20	-0.04
P84	0.50	0.06	1.36	0.90	10.01	-0.03
P85	0.79	0.63	0.33	0.19	0.25	-0.12
P86	0.52	0.12	6.41	4.22	-	-0.53
P87	0.75	0.07	2.78	1.59	-	-0.22
P88	0.22	0.11	3.31	2.71	-	-0.44
P89	0.98	0.08	2.98	1.50	-	0.23
P90	0.60	0.00	0.87	0.55	-	0.07
P91	0.46	0.79	0.22	0.15	0.21	-0.06
P92	0.96	0.02	6.21	3.17	-	-0.35
P93	1.01	0.17	1.98	0.99	-	-0.01
P94	0.23	0.16	1.89	1.54	1.41	-0.39
P95	1.29	0.30	4.26	1.86	-	-0.22
P96	0.36	0.03	3.29	2.42	-	-0.40
P97	0.87	0.00	5.41	2.89	16.11	-0.29
P98	0.15	0.45	0.05	0.04	0.02	-0.04
P99	0.82	0.00	4.61	2.53	2.65	-0.05
P100	0.68	0.03	41.88	24.91	29.15	-0.12

ANEXO VIII – Razões Iônicas– 1ª Campanha (Continuação)

ID	rMg^{2+}/rCa^{2+}	rK^+/rNa^+	rNa^+/rCa^{2+}	$rNa^+/(rCa^{2+} + Mg^{2+})$	$rCl^-/rHCO_3^-$	ITB
P101	0.21	0.27	0.18	0.15	0.23	0.01
P102	0.17	0.13	1.36	1.17	18.67	-0.09
P103	0.74	0.31	2.90	1.67	-	0.34
P104	1.02	0.15	1.02	0.50	-	-0.05
P105	1.12	0.27	9.65	4.55	67.41	0.16
P106	0.11	0.16	0.56	0.50	0.87	-0.07
P107	0.69	0.00	1.94	1.15	8.22	0.33
P108	2.20	0.16	7.48	2.34	4.56	0.47
P109	0.98	0.40	0.82	0.41	0.23	-0.09
P110	1.12	0.11	2.82	1.33	17.46	0.09
P111	0.57	0.57	0.42	0.27	0.27	-0.08
P112	0.21	0.14	1.24	1.02	2.00	-0.09
P113	2.06	0.07	8.59	2.81	19.60	3.32
P114	0.10	0.07	0.35	0.32	0.50	-0.09
P115	0.84	0.29	2.77	1.50	6.72	-0.35
P116	0.17	0.23	0.94	0.81	3.64	-0.31
P117	0.20	0.03	4.00	3.32	112.87	0.10
P118	0.72	0.07	3.95	2.30	-	-0.28
P119	0.08	0.16	0.34	0.31	0.52	-0.10
P120	0.10	0.17	0.62	0.56	1.16	-0.22
P121	0.24	0.13	2.24	1.81	-	-0.36
P122	0.27	0.14	2.58	2.03	5.02	-0.32
P123	0.24	0.13	2.10	1.69	8.71	-0.30
P124	0.31	0.43	0.32	0.24	0.37	-0.03
P125	1.90	0.03	11.20	3.87	-	-0.52
P126	0.23	0.01	26.05	21.24	4.79	-0.80
P127	0.52	0.17	0.77	0.51	1.95	-0.02
P128	0.21	0.89	0.08	0.07	0.08	-0.04
P129	0.55	0.21	1.06	0.69	8.29	-0.07
P130	0.41	0.93	0.19	0.14	0.22	-0.02
P131	0.64	0.16	2.11	1.29	5.52	-0.19
P132	0.23	0.91	0.10	0.08	0.11	-0.05
P133	0.33	0.16	1.97	1.48	22.25	-0.23
P134	0.10	0.19	0.49	0.44	0.34	-0.19
P135	0.25	0.15	3.41	2.73	10.07	-0.39
P136	0.79	0.10	3.07	1.72	-	-0.22
P137	0.14	0.16	1.04	0.92	1.03	-0.29
P138	0.21	0.06	3.32	2.74	6.60	-0.33
P139	0.14	0.17	0.80	0.70	3.77	-0.25
P140	1.35	0.00	4.49	1.91	-	-0.26
P141	0.74	0.09	3.74	2.15	1.74	0.00
P142	0.45	0.11	7.61	5.25	-	-0.71
P143	0.06	0.15	0.19	0.18	0.22	-0.09
P144	0.28	0.18	3.19	2.49	4.84	-0.56
P145	0.30	0.31	0.04	0.03	0.01	-0.02
P146	0.36	0.95	0.18	0.13	0.18	-0.07
P147	0.17	0.17	0.08	0.07	0.04	-0.04
P148	0.36	0.98	0.13	0.09	0.12	-0.06
P149	0.34	0.02	4.08	3.05	-	-0.41
P150	0.48	0.31	2.28	1.54	-	-0.43

ANEXO IX - RAZÕES IÔNICAS (2ª CAMPANHA DE AMOSTRAGENS)

ANEXO IX – Razões Iônicas – 2ª Campanha

ID	rMg^{2+}/rCa^{2+}	rK^{+}/rNa^{+}	rNa^{+}/rCa^{2+}	$rNa^{+}/(rCa^{2+} + Mg^{2+})$	$rCl^{-}/rHCO_3^{-}$	ITB
P01	0.15	0.13	1.05	0.92	-	-0.30
P02	0.27	0.11	2.66	2.09	-	-0.42
P03	0.06	0.31	0.08	0.08	0.08	-0.02
P04	0.17	0.23	0.08	0.07	0.03	-0.06
P05	0.08	0.62	0.03	0.03	0.02	-0.03
P06	1.11	0.07	24.00	11.39	-	-0.69
P07	1.78	0.02	8.97	3.23	-	-0.51
P08	0.36	0.22	0.35	0.26	0.05	-0.21
P09	0.21	0.46	0.06	0.05	0.02	-0.05
P10	0.22	0.34	0.07	0.06	0.02	-0.06
P11	0.21	0.24	0.08	0.06	0.03	-0.05
P12	0.40	0.59	0.23	0.16	0.26	-0.02
P13	0.19	0.53	0.04	0.04	0.02	-0.04
P14	2.07	0.03	11.01	3.59	2.40	0.32
P15	0.85	0.06	4.56	2.46	-	-0.34
P16	0.19	0.27	0.08	0.07	0.03	-0.05
P17	0.26	0.24	0.42	0.34	3.54	0.11
P18	0.18	0.09	1.68	1.42	-	-0.42
P19	0.18	0.09	3.02	2.55	-	-0.34
P20	0.20	0.11	1.86	1.55	7.34	-0.39
P21	0.20	0.05	3.99	3.33	17.64	-0.58
P22	0.19	0.21	0.07	0.06	0.03	-0.03
P23	1.91	0.04	15.37	5.28	-	-0.73
P25	0.86	0.08	5.12	2.76	-	-0.36
P26	0.20	0.34	0.08	0.06	0.03	-0.06
P27	0.26	0.21	0.07	0.06	0.04	-0.03
P28	0.27	0.19	0.10	0.08	0.04	-0.05
P29	0.74	0.07	19.66	11.32	4.21	-0.89
P30	0.24	0.09	2.19	1.77	-	-0.35
P31	0.16	0.20	0.84	0.72	5.57	-0.26
P32	0.69	0.09	6.56	3.89	-	-0.46
P33	0.70	0.09	2.33	1.37	-	-0.12
P34	0.25	0.08	1.89	1.51	-	-0.40
P35	1.35	0.09	5.82	2.48	-	-0.33
P36	0.67	0.07	3.91	2.34	40.16	0.02
P37	0.18	0.45	0.03	0.03	0.02	-0.03
P38	0.13	0.03	0.58	0.51	1.11	-0.18
P39	1.60	0.48	4.70	1.81	-	-0.37
P40	0.20	0.33	0.05	0.04	0.01	-0.04
P41	0.13	0.07	1.05	0.92	1.91	-0.24
P42	0.20	0.41	0.05	0.04	0.02	-0.04
P44	0.19	0.21	1.47	1.23	1.22	-0.27
P45	0.36	0.36	0.24	0.18	1.11	-0.12
P46	1.47	0.03	12.38	5.02	59.67	-0.46
P47	0.15	0.18	0.62	0.54	2.41	-0.18
P48	0.40	0.11	5.87	4.21	-	-0.48
P50	0.66	1.43	0.21	0.13	0.13	-0.12
P51	0.20	0.20	0.87	0.73	4.25	-0.19
P52	0.37	0.01	16.22	11.82	-	-0.30
P53	0.29	0.12	1.60	1.24	-	-0.28
P54	0.64	0.14	7.20	4.39	13.73	-0.35

ANEXO IX – Razões Iônicas – 2ª Campanha (Continuação)

ID	rMg^{2+}/rCa^{2+}	rK^+/rNa^+	rNa^+/rCa^{2+}	$rNa^+/(rCa^{2+} + Mg^{2+})$	$rCl^-/rHCO_3^-$	ITB
P55	1.94	0.02	21.02	7.15	-	-0.82
P56	0.39	0.06	8.01	5.76	43.87	-0.65
P57	0.18	0.33	0.05	0.04	0.02	-0.04
P58	0.21	0.07	0.53	0.44	0.39	0.04
P59	0.22	0.05	2.08	1.70	8.37	-0.45
P60	0.39	0.10	2.90	2.09	-	-0.16
P61	1.72	0.03	5.35	1.96	-	0.07
P62	0.17	0.34	0.04	0.04	0.08	0.02
P63	0.36	0.23	1.37	1.01	-	-0.23
P64	0.22	0.19	2.08	1.70	15.93	-0.28
P65	0.53	0.07	4.07	2.66	-	-0.37
P66	0.26	0.26	0.10	0.08	0.04	-0.05
P67	1.02	0.29	1.98	0.98	-	0.02
P68	0.95	0.02	12.28	6.29	-	-0.74
P69	0.20	0.51	0.04	0.03	0.02	-0.03
P70	0.29	0.17	1.81	1.40	1.12	-0.27
P71	0.53	0.31	2.32	1.52	-	-0.39
P72	0.25	0.27	0.08	0.06	0.04	-0.04
P73	1.06	0.72	0.36	0.18	0.46	-0.10
P74	0.12	0.56	0.02	0.02	0.03	-0.01
P75	1.30	0.60	1.10	0.48	2.48	-0.06
P76	0.91	0.08	2.42	1.27	-	-0.11
P77	0.60	0.11	1.35	0.85	-	-0.07
P78	1.03	0.22	2.03	1.00	-	-0.18
P79	1.29	0.00	10.95	4.78	-	-0.67
P80	0.75	0.50	0.57	0.33	0.79	-0.02
P81	2.56	0.07	23.05	6.47	-	-0.64
P82	1.40	0.00	2.91	1.21	1.33	0.02
P83	0.60	0.11	0.34	0.21	0.23	-0.10
P84	1.11	0.06	3.67	1.74	-	-0.20
P85	0.10	0.13	2.47	2.25	2.51	-0.70
P86	0.46	0.19	5.02	3.44	-	-0.67
P87	0.67	0.06	2.60	1.56	-	-0.25
P88	0.22	0.08	4.65	3.81	-	-0.57
P89	0.69	0.11	2.11	1.25	6.54	-0.05
P90	0.72	0.14	0.93	0.54	-	-0.04
P91	0.44	1.03	0.21	0.15	0.20	-0.12
P92	3.75	0.04	18.52	3.90	-	-0.28
P93	1.87	0.10	2.77	0.96	-	0.09
P94	0.23	0.11	2.07	1.68	1.81	-0.35
P95	1.51	0.29	3.87	1.54	-	-0.22
P96	0.42	0.03	3.90	2.75	-	-0.51
P97	0.93	0.00	2.10	1.09	6.14	-0.21
P98	0.16	0.57	0.05	0.04	0.02	-0.04
P99	0.58	0.00	3.47	2.19	-	-0.21
P101	0.27	0.08	0.64	0.51	0.65	-0.03
P102	0.18	0.12	1.72	1.45	-	-0.34
P103	0.53	0.36	1.69	1.10	-	0.11
P104	0.92	0.10	1.17	0.61	-	-0.08
P105	1.07	0.34	8.87	4.29	-	-0.67
P106	0.10	0.14	0.75	0.69	0.90	-0.27

ANEXO IX – Razões Iônicas – 2ª Campanha (Continuação)

ID	rMg^{2+}/rCa^{2+}	rK^+/rNa^+	rNa^+/rCa^{2+}	$rNa^+/(rCa^{2+} + Mg^{2+})$	$rCl^-/rHCO_3^-$	ITB
P107	0.96	0.00	3.06	1.57	-	0.26
P108	1.38	0.10	5.04	2.12	4.49	0.10
P109	0.71	1.01	0.30	0.17	0.76	0.08
P110	1.10	0.14	2.96	1.41	15.16	0.02
P111	0.66	1.11	0.28	0.17	0.14	-0.08
P112	0.22	0.12	1.47	1.20	1.76	-0.28
P113	0.74	0.18	3.11	1.79	27.67	2.11
P114	0.10	-	0.00	0.00	0.69	0.23
P115	0.76	0.33	2.71	1.54	-	-0.41
P116	0.16	0.18	0.99	0.85	3.51	-0.29
P117	0.23	0.04	4.57	3.71	27.59	-0.44
P118	0.94	0.08	6.01	3.10	-	-0.27
P119	0.14	0.12	0.69	0.60	1.47	-0.15
P120	0.09	0.15	0.65	0.60	0.94	-0.25
P121	0.30	0.14	3.22	2.47	-	-0.37
P122	0.27	0.15	2.94	2.31	4.09	-0.38
P123	0.24	0.10	2.49	2.00	8.41	-0.29
P124	0.30	0.42	0.32	0.24	0.40	-0.05
P125	1.31	0.03	8.63	3.74	-	-0.62
P126	0.07	0.06	2.06	1.92	0.97	-0.61
P127	0.52	0.14	0.72	0.47	2.15	-0.02
P128	0.24	0.83	0.09	0.08	0.06	-0.06
P129	0.29	0.22	1.33	1.03	0.80	-0.20
P131	0.52	0.09	2.29	1.51	13.12	-0.09
P132	0.26	0.96	0.10	0.08	0.11	-0.06
P133	0.39	0.09	3.09	2.23	15.98	-0.43
P134	0.09	0.15	0.50	0.46	0.34	-0.17
P135	0.26	0.09	3.78	3.01	9.33	-0.47
P136	0.33	0.14	0.93	0.70	16.73	-0.13
P137	0.14	0.16	1.04	0.91	0.82	-0.27
P138	0.22	0.07	2.96	2.43	8.87	-0.07
P139	0.14	0.13	0.81	0.72	3.56	-0.26
P140	1.54	0.00	4.05	1.59	-	-0.19
P141	0.76	0.09	4.31	2.45	7.05	-0.29
P142	0.69	0.10	10.69	6.33	-	-0.67
P143	0.06	0.16	0.23	0.22	0.25	-0.10
P144	0.29	0.19	3.35	2.60	5.71	-0.45
P145	0.31	0.49	0.03	0.03	0.01	-0.02
P146	0.37	1.12	0.18	0.13	0.16	-0.13
P147	0.20	0.19	0.08	0.07	0.04	-0.04
P148	0.39	0.88	0.25	0.18	0.16	-0.17
P149	0.38	0.04	5.43	3.93	-	-0.47
P150	0.49	0.54	1.70	1.14	77.16	-0.37
RED21	3.02	0.05	10.25	2.55	3.14	-0.35
NAZ39	0.11	0.02	0.46	0.42	0.53	-0.08
Rimas1	0.59	0.07	5.92	3.73	0.58	-0.38
Rimas4	1.20	0.32	1.23	0.56	1.15	0.41
Rimas5	0.17	0.15	0.45	0.38	0.64	-0.06
Rimas6	0.20	0.40	0.20	0.17	0.18	-0.05
Rimas7	0.22	0.76	0.07	0.06	0.05	-0.04

ANEXO X - ÍNDICES DE SATURAÇÃO (1ª CAMPANHA DE AMOSTRAGENS)

ANEXO X – Índices de Saturação – 1ª Campanha

ID	IS Calcita	IS Quartzo	ID	IS Calcita	IS Quartzo	ID	IS Calcita	IS Quartzo
P01		-0.15	P51	-4.83	-0.47	P101	-0.99	0.02
P02		-0.47	P52	-5.17	-0.41	P102	-4.68	-0.51
P03	-5.45	-0.04	P53	-5.66	-0.37	P103		-0.41
P04	0.19	0.13	P54	-5.23	-0.06	P104		0.02
P05	0.30	0.32	P55		-0.18	P105	-6.40	-0.37
P06		-0.19	P56		-0.30	P106	-1.78	-0.27
P07		-0.35	P57	0.48	0.21	P107	-6.66	-0.23
P08	-0.08	0.16	P58	-1.68	-0.20	P108	-6.37	0.00
P09	0.33	0.25	P59	-5.15	-0.31	P109	-3.67	0.18
P10	0.30	0.23	P60		-0.17	P110	-6.73	0.02
P11	0.23	0.23	P61	-6.50	-0.12	P111	-3.23	0.22
P12	-2.75	0.17	P62	0.29	0.25	P112	-2.91	-0.22
P13	0.53	0.29	P63	-5.54	-0.33	P113	-7.00	-0.02
P14	-1.68	0.13	P64	-4.46	-0.22	P114	-2.69	-0.43
P15	-6.18	-0.39	P65		-0.46	P115	-6.30	-0.32
P16	0.35	0.24	P66	0.45	0.27	P116	-4.73	-0.47
P17	-5.20	-0.53	P67		-0.16	P117	-5.72	-0.57
P18	-5.32	-0.46	P68	-6.26	-0.19	P118		0.02
P19		-0.30	P69	-4.61	-0.51	P119	-1.08	-0.13
P20	-4.16	-0.44	P70	-5.15	-0.25	P120	-2.55	-0.46
P21	-5.82	-0.30	P71		-0.23	P121		-0.31
P22	0.58	0.19	P72	0.66	0.24	P122	-3.63	-0.35
P23		-0.31	P73	-3.40	-0.62	P123	-4.21	-0.67
P24		-0.36	P74	0.46	0.35	P124	-3.61	0.10
P25	-6.89	-0.03	P75	-5.59	0.05	P125		-0.42
P26	0.36	0.24	P76		-0.21	P126	-4.49	-0.34
P27	0.17	0.19	P77		0.02	P127	-5.42	0.04
P28	0.38	0.19	P78		-0.29	P128	-1.68	0.20
P29	-5.71	-0.42	P79		-0.30	P129	-5.87	-0.06
P30		-0.42	P80	-4.51	0.20	P130	-2.49	0.18
P31	-3.22	-0.50	P81		-0.20	P131	-6.50	-0.36
P32		-0.35	P82	-6.27	-0.29	P132	-2.12	0.20
P33		-0.03	P83	-2.92	-0.61	P133	-6.39	-0.41
P34	-5.14	-0.29	P84	-6.21	-0.09	P134	-1.10	-0.07
P35	-6.79	-0.12	P85	-3.24	0.37	P135	-4.93	-0.31
P36	-5.86	0.02	P86		-0.44	P136		-0.23
P37	0.39	0.29	P87		-0.38	P137	-2.33	-0.58
P38	-4.01	-0.50	P88		-0.42	P138	-4.59	-0.38
P39		-0.15	P89		-0.27	P139	-3.55	-0.67
P40	0.57	0.30	P90		-0.31	P140		-0.29
P41	0.00	0.09	P91	-3.00	0.15	P141	-5.45	0.00
P42	0.38	0.28	P92		-0.18	P142		-0.29
P43	-3.89	-0.57	P93		-0.24	P143	-1.77	-0.52
P44	-2.76	-0.71	P94	-3.17	-0.48	P144	-3.86	-0.21
P45	-4.48	-0.28	P95		-0.20	P145	-0.05	0.30
P46	-5.40	0.02	P96		-0.36	P146	-3.03	0.20
P47	-4.36	-0.29	P97	-6.86	-0.34	P147	0.16	0.29
P48		-0.37	P98	-0.51	0.30	P148	-2.29	0.23
P49	-4.89	-0.30	P99	-6.47	-0.48	P149		-0.40
P50	-2.45	0.25	P100	-5.79	-0.33	P150		-0.46

ANEXO XI - ÍNDICES DE SATURAÇÃO (2ª CAMPANHA DE AMOSTRAGENS)

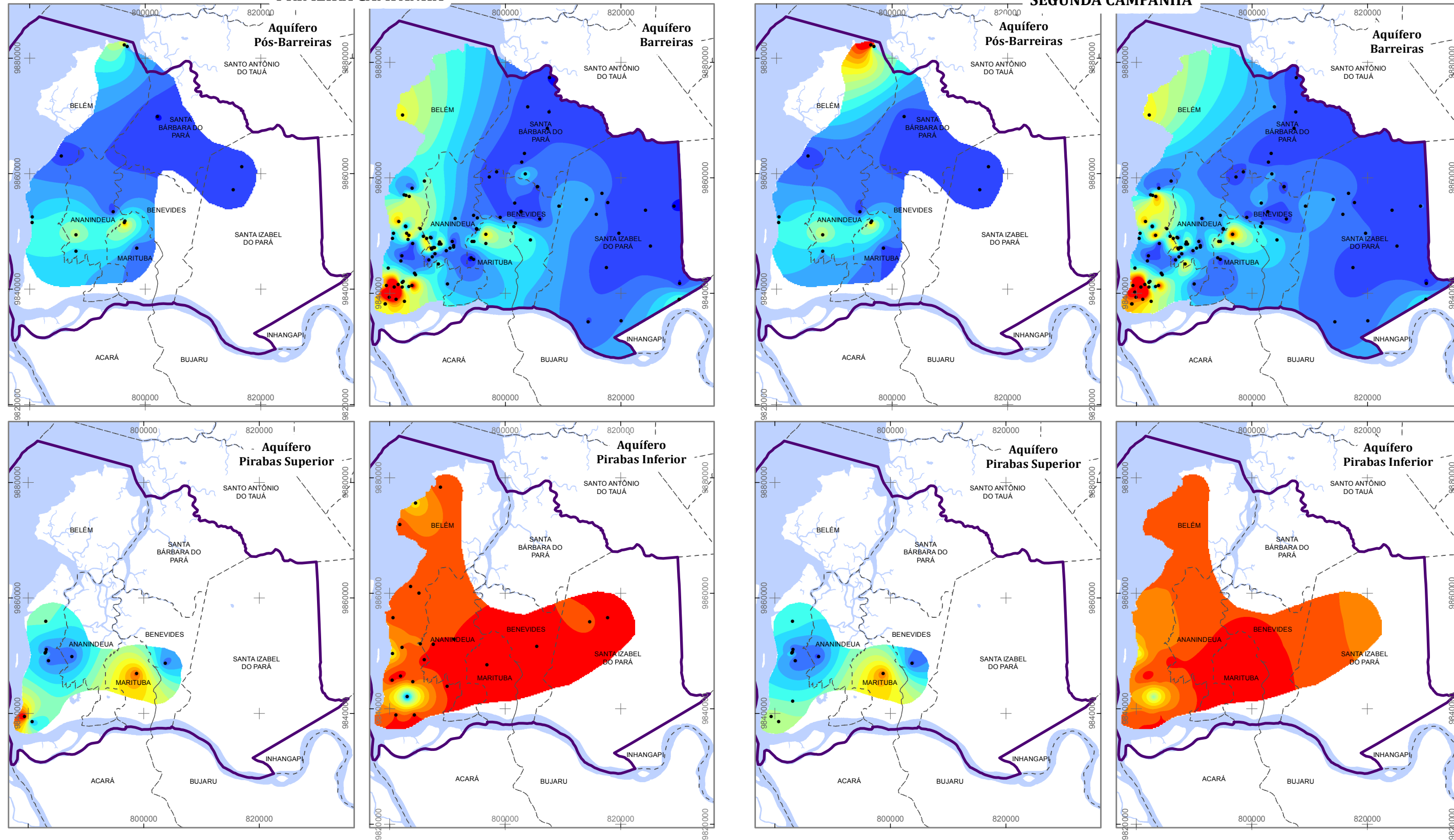
ANEXO XI – Índices de Saturação – 2ª Campanha

Nº	IS Calcita	IS Quartzo	Nº	IS Calcita	IS Quartzo	Nº	IS Calcita	IS Quartzo
P01		-0.08	P55		-0.19	P107		-0.19
P02		-0.36	P56	-5.80	-0.36	P108	-5.75	-0.02
P03	-0.58	-0.56	P57	0.66	0.16	P109	-3.76	0.24
P04	0.46	0.20	P58	-3.54	-0.11	P110	-6.71	-0.02
P05	0.16	0.19	P59	-5.62	-0.37	P111	-2.62	0.19
P06		-0.32	P60		-0.23	P112	-2.69	-0.27
P07		-0.29	P61		-0.13	P113	-6.62	-0.05
P08	0.29	0.11	P62	0.35	0.23	P114	-2.56	-0.50
P09	0.80	0.23	P63		-0.34	P115		-0.34
P10	0.28	0.22	P64	-4.49	-0.28	P116	-4.80	-0.44
P11	0.36	0.24	P65		-0.36	P117	-5.76	-0.62
P12	-3.09	0.18	P66	0.45	0.28	P118		-0.09
P13	0.43	0.26	P67		-0.19	P119	-2.17	-0.01
P14	-1.25	0.22	P68		-0.27	P120	-1.47	-0.52
P15		-0.36	P69	0.18	0.23	P121		-0.24
P16	0.75	0.20	P70	-0.84	-0.53	P122	-3.27	-0.37
P17	-5.66	-0.56	P71		-0.26	P123	-3.98	-0.66
P18		-0.62	P72	0.61	0.26	P124	-3.09	0.12
P19		-0.46	P73	-3.25	0.35	P125		-0.36
P20	-4.32	-0.43	P74	0.08	0.34	P126	-0.85	0.00
P21	-5.60	-0.45	P75	-5.45	0.11	P127	-5.03	0.05
P22	0.64	0.21	P76		-0.19	P128	-1.50	0.14
P23		-0.36	P77		0.02	P129	-4.24	-0.27
P25		-0.04	P78		-0.29	P131	-6.38	-0.37
P26	0.34	0.21	P79		-0.27	P132	-2.21	0.15
P27	0.51	0.24	P80	-4.68	0.15	P133	-6.42	-0.37
P28	0.45	0.24	P81		-0.16	P134	-0.73	-0.07
P29	-5.94	-0.26	P82	-6.63	-0.32	P135	-4.97	-0.33
P30		-0.47	P83	-2.73	-0.66	P136	-6.19	-0.08
P31	-4.35	-0.63	P84		-0.10	P137	-1.90	-0.62
P32		-0.30	P85	-3.78	-0.70	P138	-4.90	-0.42
P33		-0.06	P86		-0.45	P139	-3.35	-0.74
P34		-0.21	P87		-0.42	P140		-0.29
P35		-0.11	P88		-0.42	P141	-6.40	-0.02
P36	-5.91	0.03	P89	-6.24	-0.30	P142		-0.22
P37	0.78	-0.31	P90		-0.25	P143	-1.98	-0.53
P38	-2.67	-0.49	P91	-2.79	0.12	P144	-3.79	-0.19
P39		-0.30	P92		-0.14	P145	-0.20	0.26
P40	0.61	0.30	P93		-0.19	P146	-2.82	0.13
P41	-2.90	0.01	P94	-3.26	-0.50	P147	0.25	0.28
P42	0.18	0.14	P95		-0.18	P148	-2.20	0.17
P44	-3.03	-0.98	P96		-0.41	P149		-0.42
P45	-4.48	-0.34	P97	-6.23	-0.24	P150	-5.70	-0.50
P46	-6.37	0.01	P98	-0.64	0.21	RED21	-2.70	-0.05
P47	-3.61	-0.33	P99		-0.48	NAZ39	-0.98	-0.14
P48		-0.42	P101	-0.99	-0.03	Rimas1	-4.52	-0.04
P50	-2.89	0.19	P102		-0.37	Rimas4	-2.99	0.38
P51	-4.80	-0.52	P103		-0.47	Rimas5	-1.92	-0.17
P52		-0.62	P104		-0.02	Rimas6	-0.54	-0.83
P53		-0.36	P105		-0.37	Rimas7	-0.65	0.14
P54	-5.03	-0.05	P106	-1.56	-0.19			

ANEXO XII-MAPAS DE ISOVALORES – 1ª E 2ª CAMPANHAS DE AMOSTRAGENS

PRIMEIRA CAMPANHA

SEGUNDA CAMPANHA



LEGENDA

- Pontos Amostrados
 - ▭ Área de Estudo
 - - - Limite municipal
 - ▭ Massa d'água
- | | | |
|--|--|--|
| <p>Condutividade Elétrica (microS/cm)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▭ < 25 ▭ 25.1 - 50 ▭ 50.1 - 75 ▭ 75.1 - 100 ▭ 100.1 - 125 ▭ 125.1 - 150 ▭ 150.1 - 175 ▭ 175.1 - 200 | <ul style="list-style-type: none"> ▭ 200.1 - 225 ▭ 225.1 - 250 ▭ 250.1 - 275 ▭ 275.1 - 300 ▭ 300.1 - 325 ▭ 325.1 - 350 ▭ > 350 | |
|--|--|--|

Figura I – Mapas de isovalores de condutividade elétrica das águas subterrâneas da região de Belém – 1ª e 2ª campanhas de amostragens



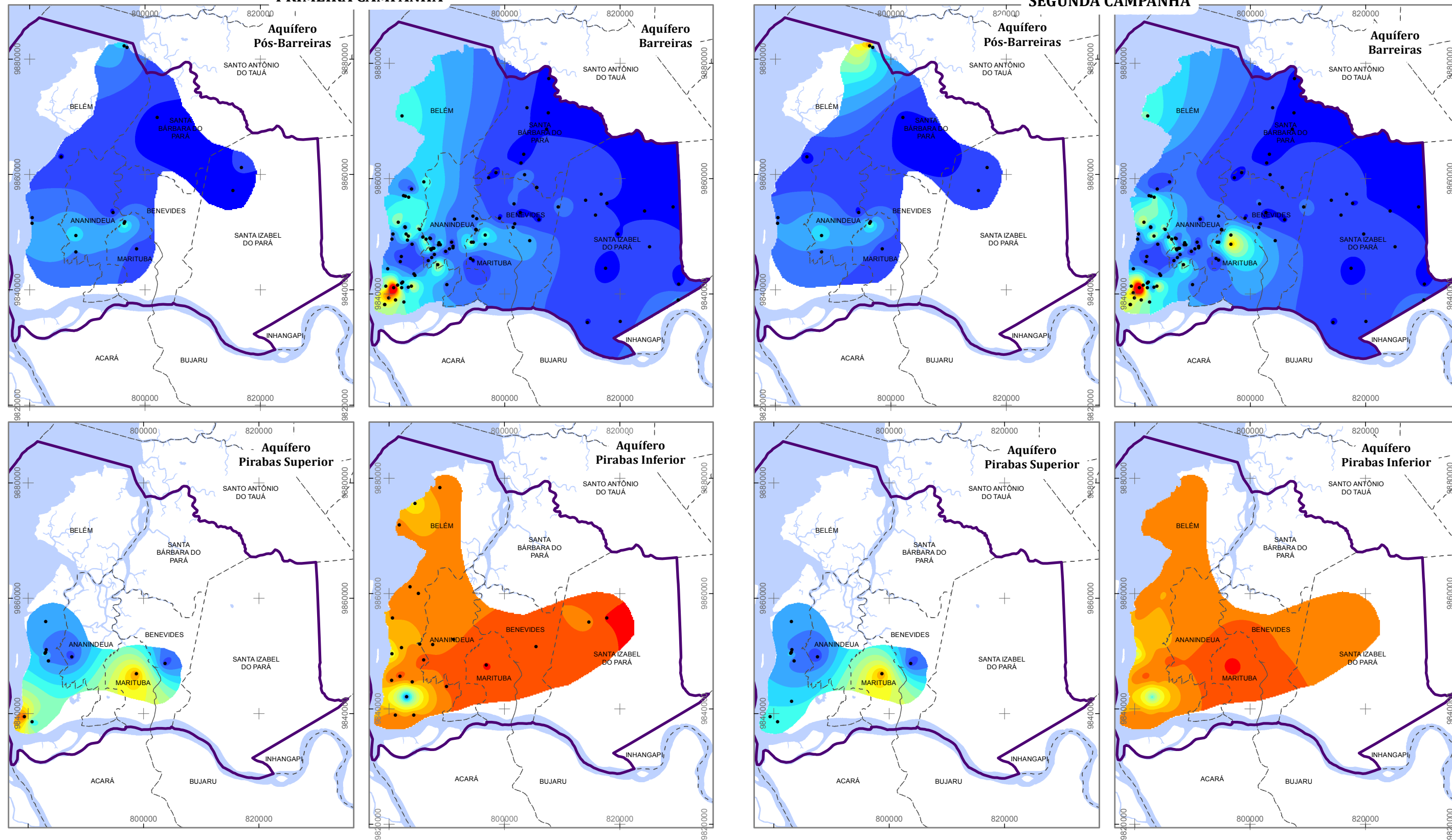
ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA. Isovalores de CE: ANA/Profil

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Anexo_xi_Figura_i_Condutividade_Eletrica_A3
Escala:	1:670.000

PRIMEIRA CAMPANHA

SEGUNDA CAMPANHA



LEGENDA

- Pontos Amostrados
 - ▭ Área de Estudo
 - - - Limite municipal
 - ▭ Massa d'água
- | | | |
|-----------------------------------|-------------------|---------------|
| Sólidos Totais Dissolvidos | STD (mg/L) | |
| ▭ < 25 | ▭ 25.1 - 50 | ▭ 200.1 - 225 |
| ▭ 50.1 - 75 | ▭ 75.1 - 100 | ▭ 225.1 - 250 |
| ▭ 100.1 - 125 | ▭ 125.1 - 150 | ▭ 250.1 - 275 |
| ▭ 150.1 - 175 | ▭ 175.1 - 200 | ▭ 275.1 - 300 |
| ▭ 300.1 - 325 | ▭ 325.1 - 350 | ▭ > 350 |

Figura II – Mapas de isovalores de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) das águas subterrâneas da região de Belém – 1ª e 2ª campanhas de amostragens



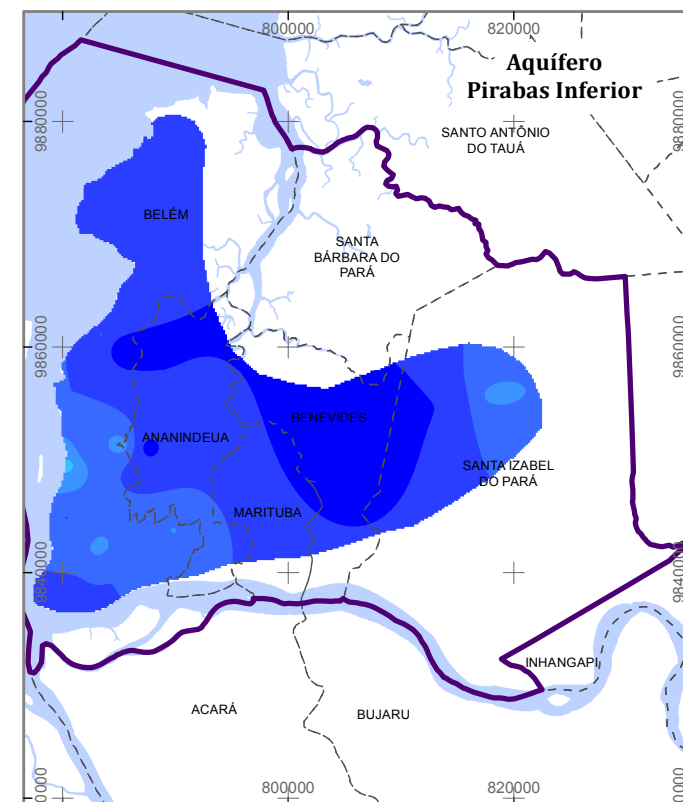
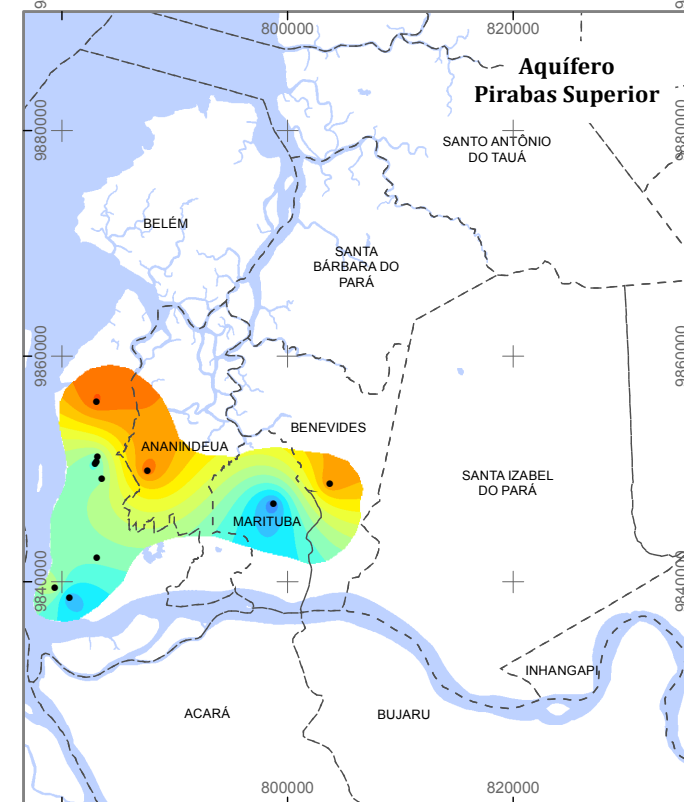
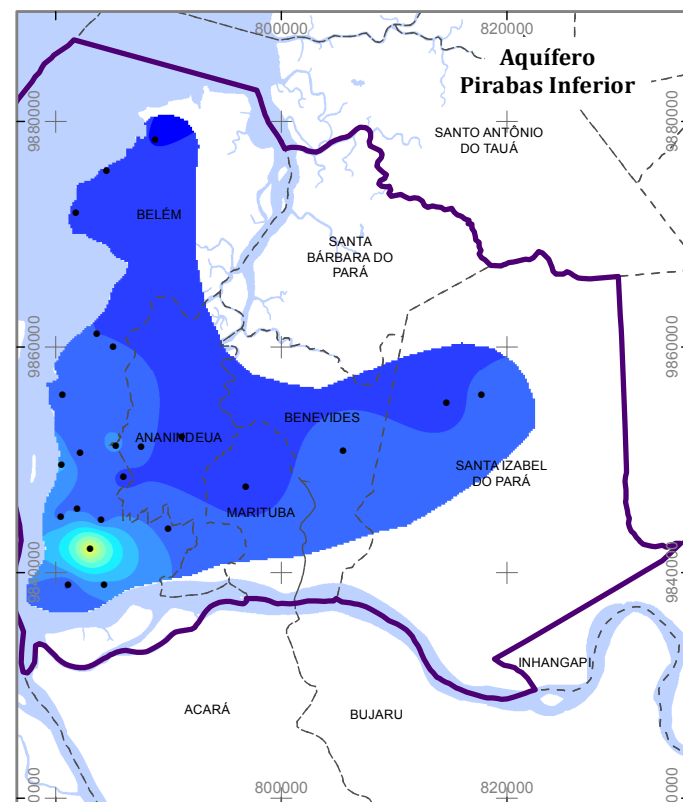
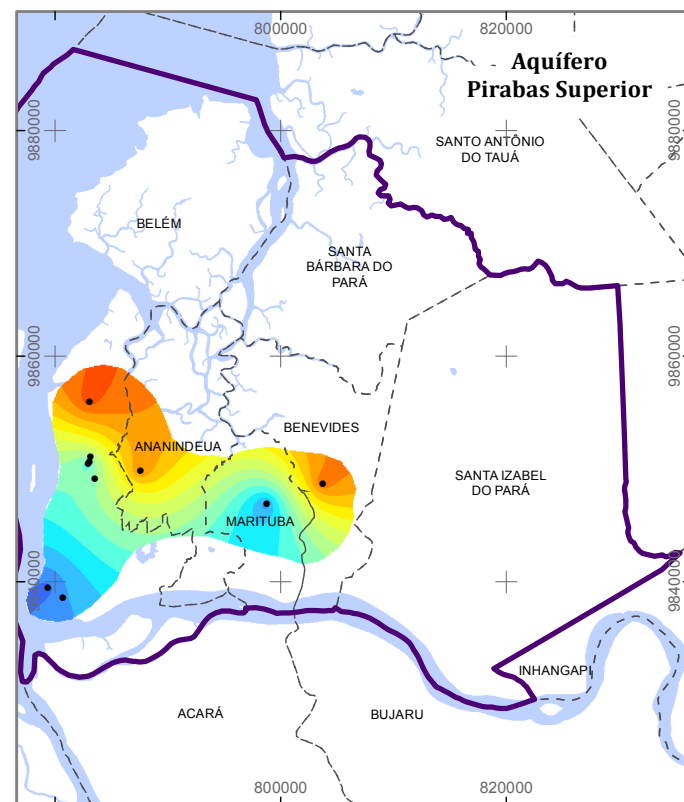
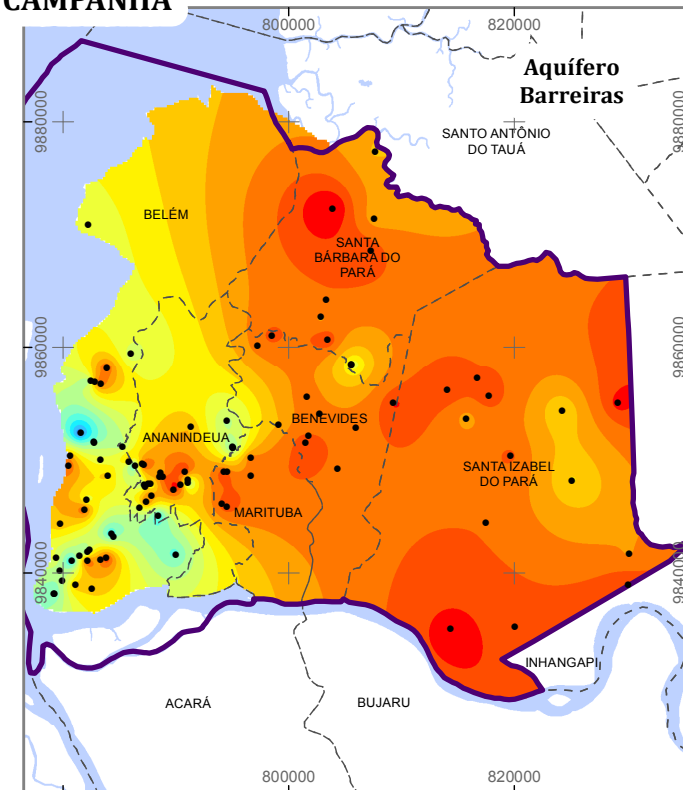
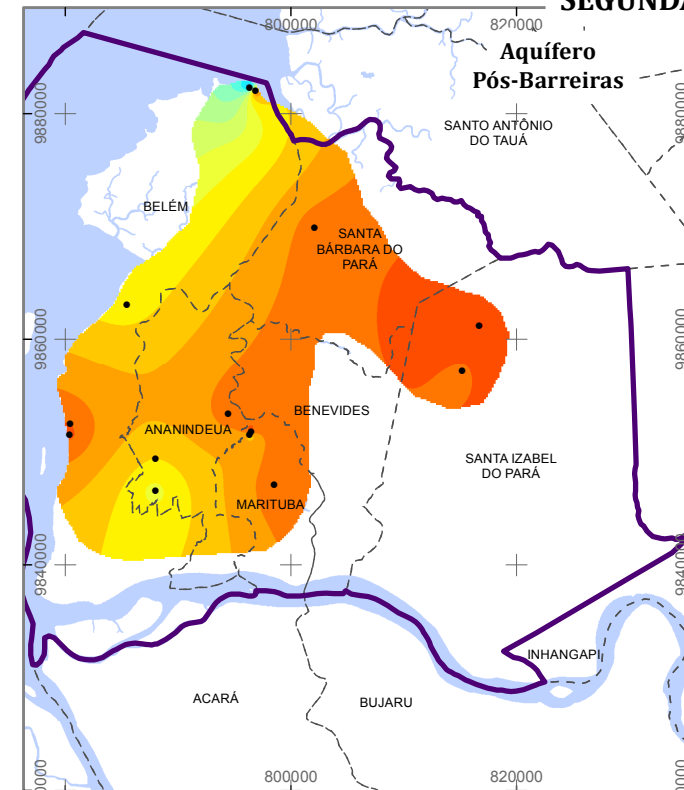
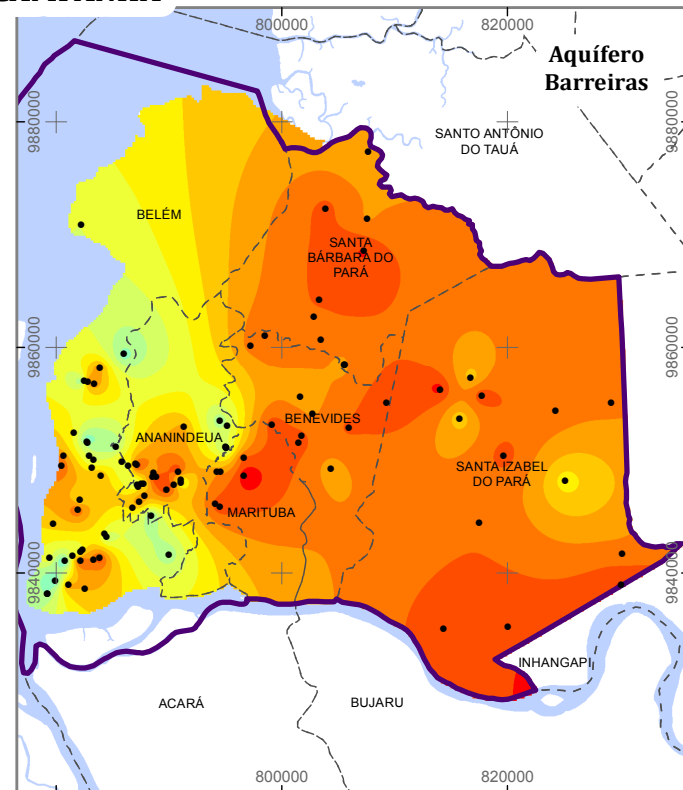
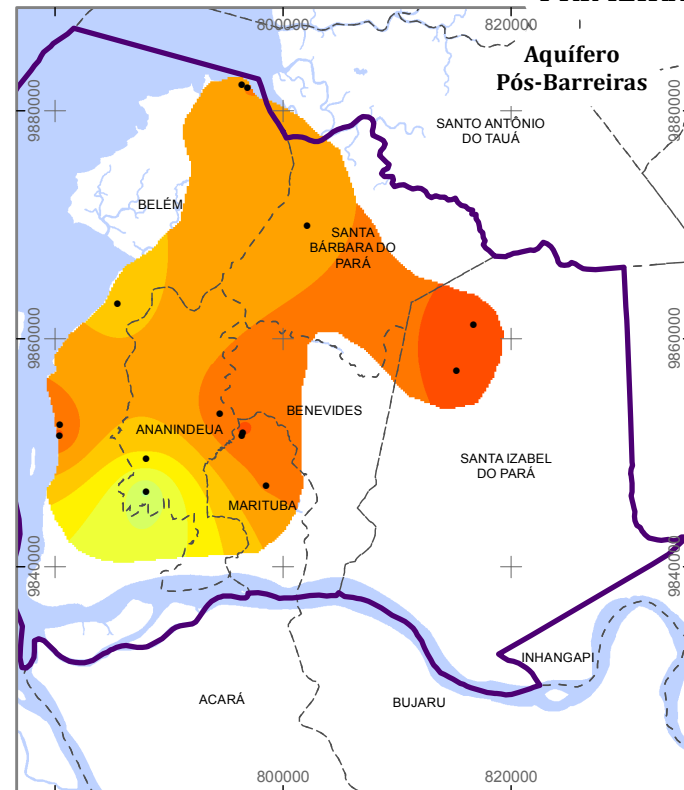
ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA. Isovalores de STD: ANA/Profil

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Anexo_xi_Figura_ii_STD_A3
Escala:	1:670.000

PRIMEIRA CAMPANHA

SEGUNDA CAMPANHA



LEGENDA

- Pontos Amostrados
 - ▭ Área de Estudo
 - - - Limite municipal
 - ▭ Massa d'água
- pH**
- | | | |
|--------------|---------------|---------------|
| ▭ < 4.25 | ▭ 4.51 - 4.75 | ▭ 6.26 - 6.5 |
| ▭ 4.25 - 4.5 | ▭ 4.76 - 5 | ▭ 6.51 - 6.75 |
| | ▭ 5.01 - 5.25 | ▭ 6.76 - 7 |
| | ▭ 5.26 - 5.5 | ▭ 7.01 - 7.25 |
| | ▭ 5.51 - 5.75 | ▭ 7.26 - 7.5 |
| | ▭ 5.76 - 6 | ▭ 7.51 - 7.75 |
| | ▭ 6.01 - 6.25 | ▭ 7.76 - 8 |
| | | ▭ > 8 |

Figura III – Mapas de isovalores de pH das águas subterrâneas da região de Belém – 1ª e 2ª campanhas de amostragens



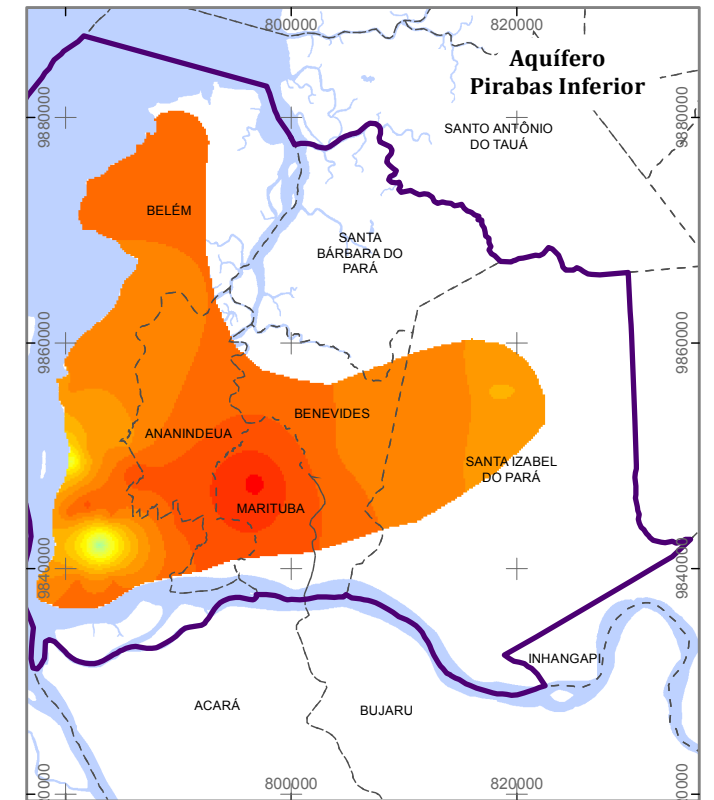
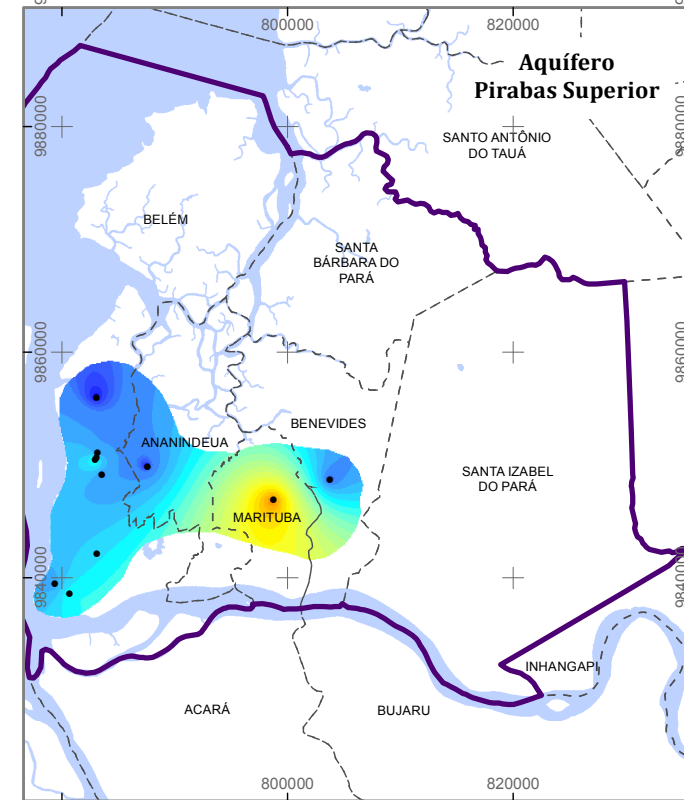
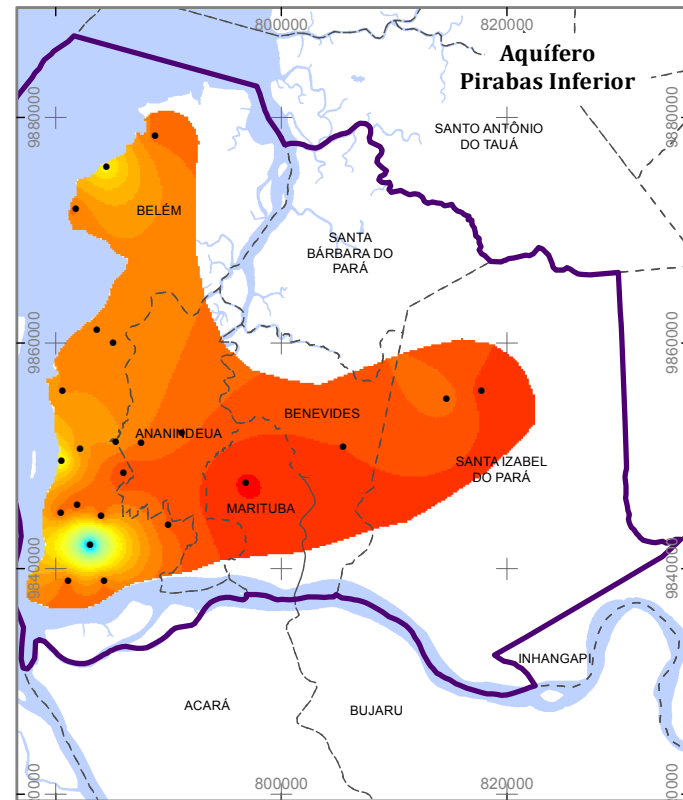
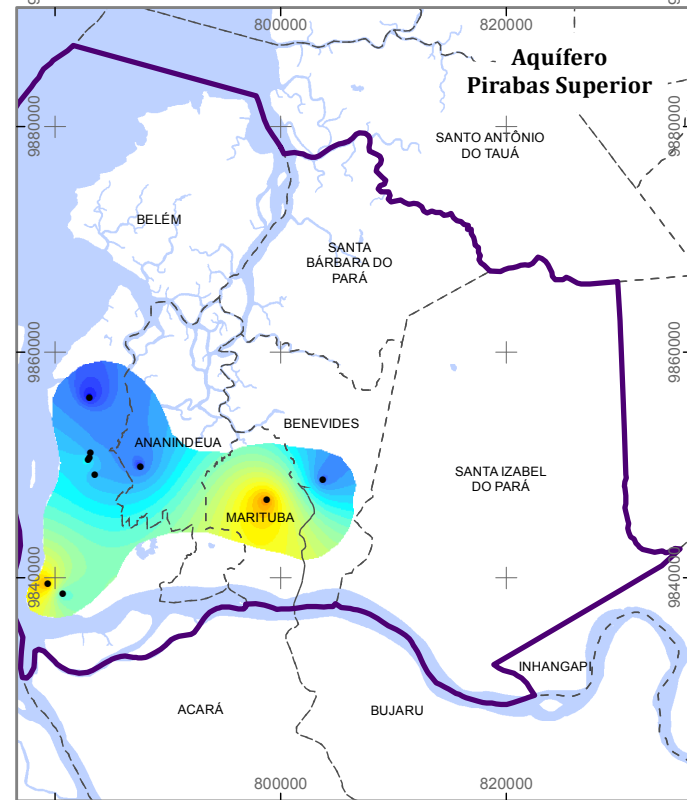
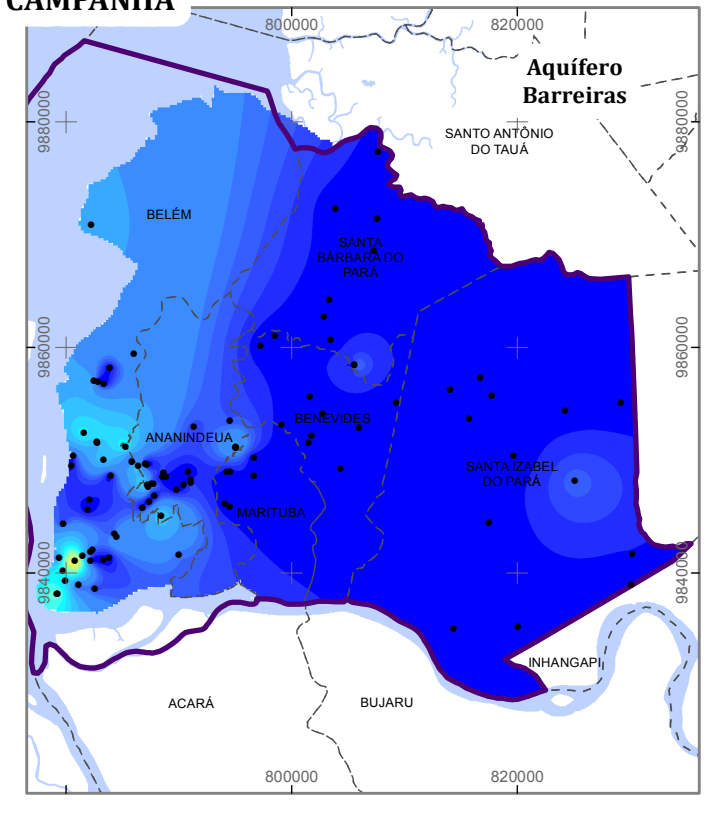
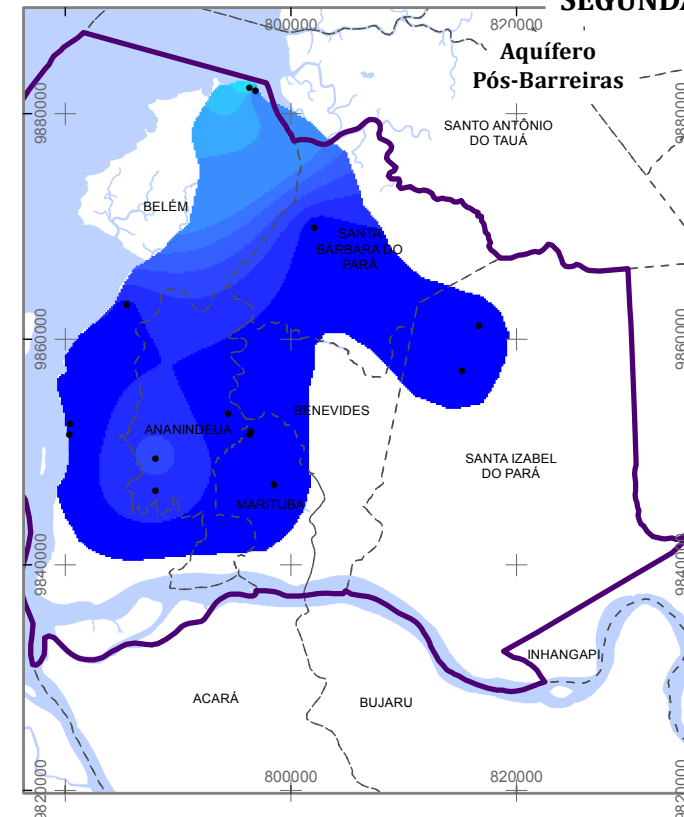
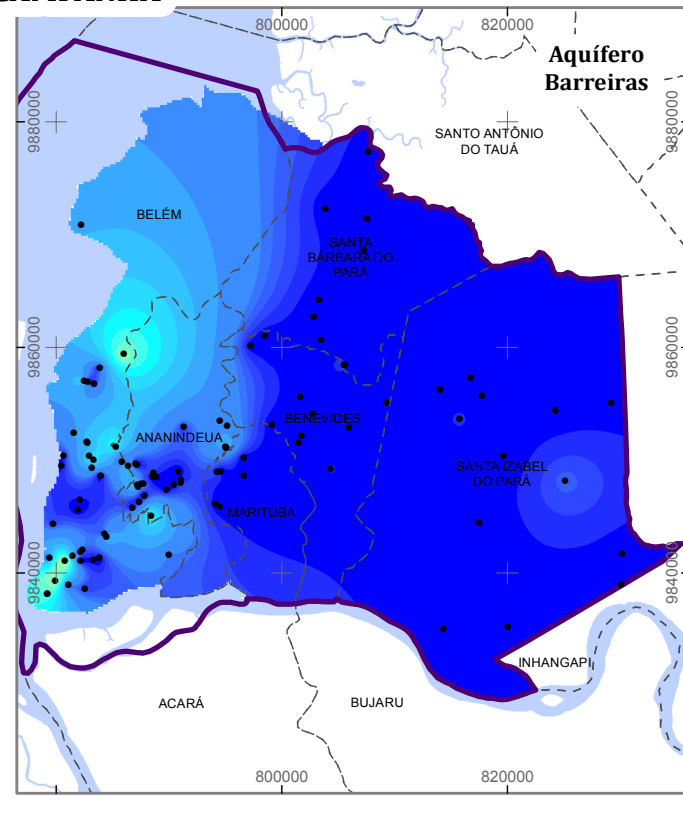
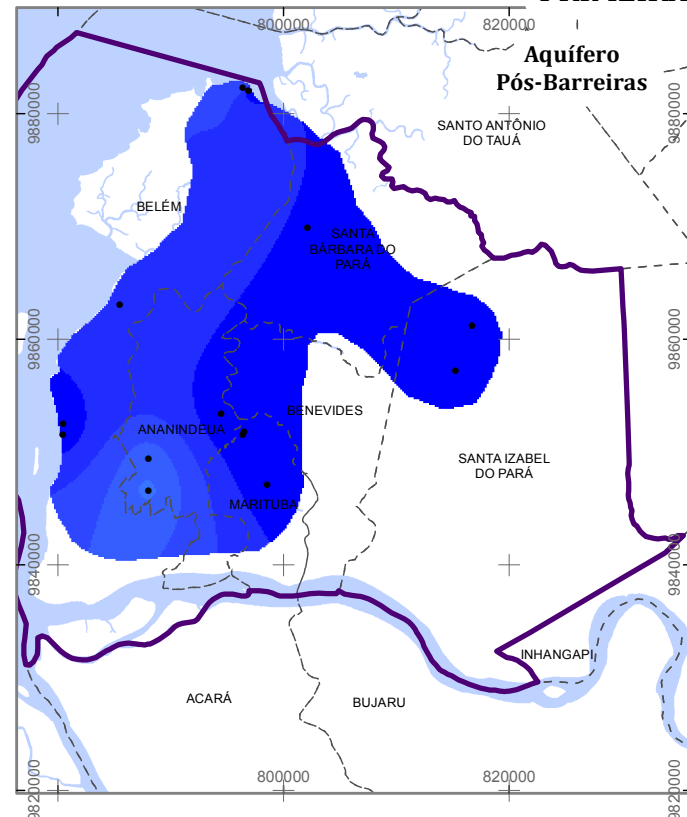
ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA. Isovalores de pH: ANA/Profil

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Anexo_xi_Figura_iii_pH_A3
Escala:	1:662.921

PRIMEIRA CAMPANHA

SEGUNDA CAMPANHA



LEGENDA

• Pontos Amostrados	6.1 - 8	80.1 - 90	170.1 - 180
□ Área de Estudo	8.1 - 10	90.1 - 100	180.1 - 190
- - - Limite municipal	10.1 - 20	100.1 - 110	190.1 - 200
■ Massa d'água	20.1 - 30	110.1 - 120	200.1 - 210
Alcalinidade (HCO₃) (mg/L)	30.1 - 40	120.1 - 130	210.1 - 220
■ < 2	40.1 - 50	130.1 - 140	220.1 - 230
■ 2.1 - 4	50.1 - 60	140.1 - 150	230.1 - 240
■ 4.1 - 6	60.1 - 70	150.1 - 160	< 240
	70.1 - 80	160.1 - 170	

Figura IV – Mapas de isovalores de alcalinidade (HCO₃) das águas subterrâneas da região de Belém – 1ª e 2ª campanhas de amostragens



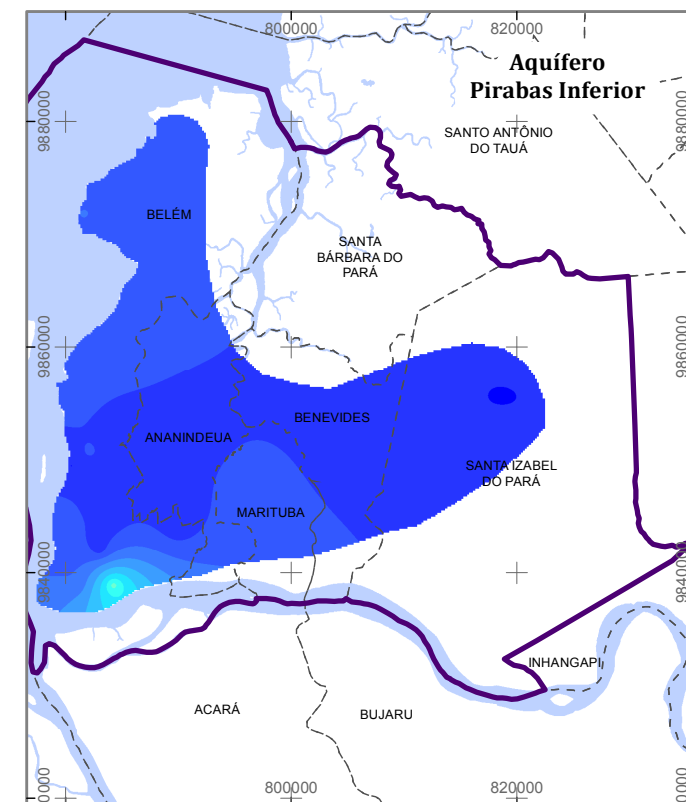
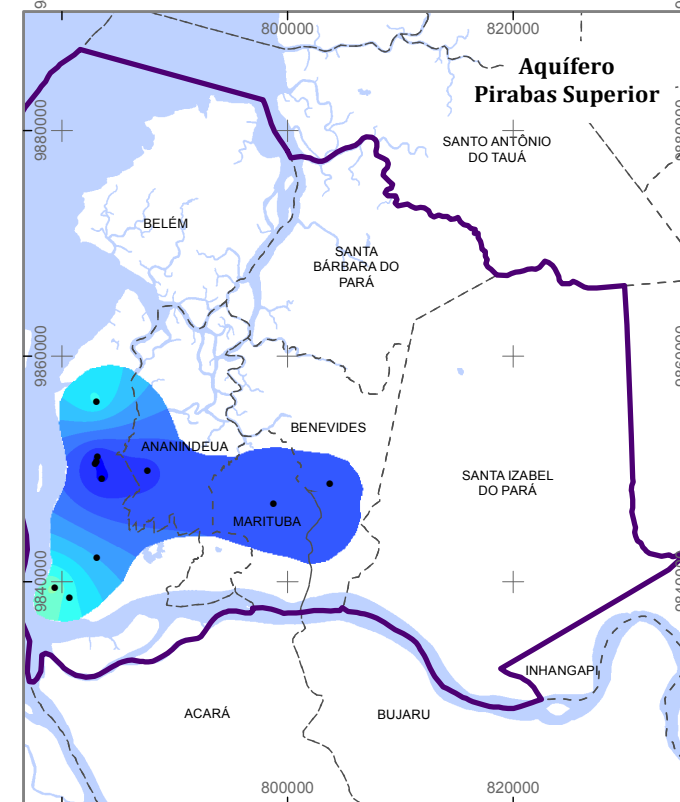
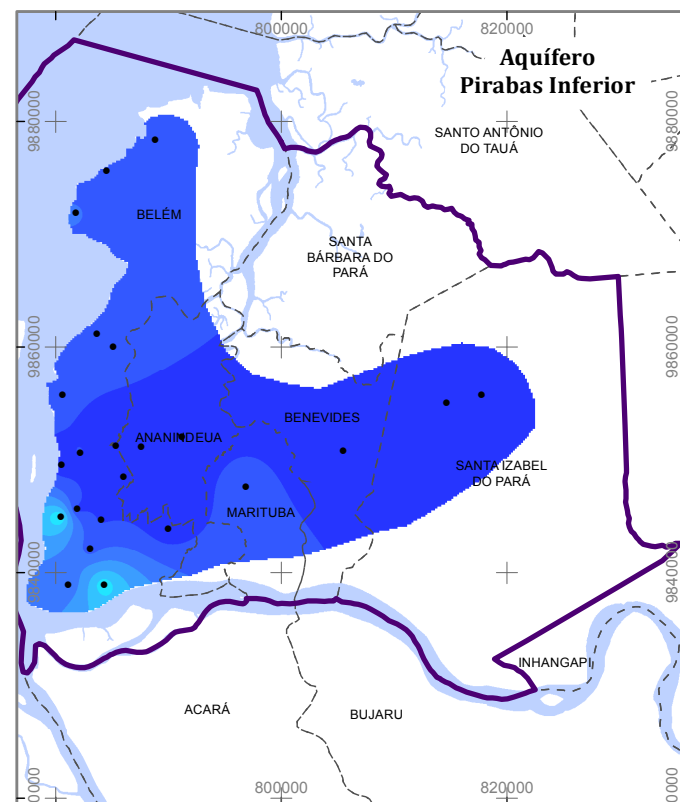
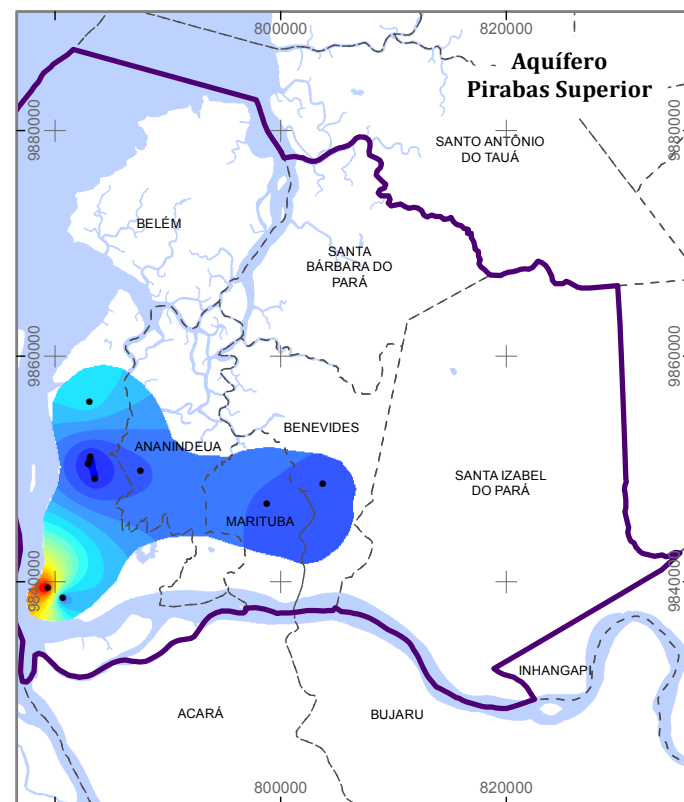
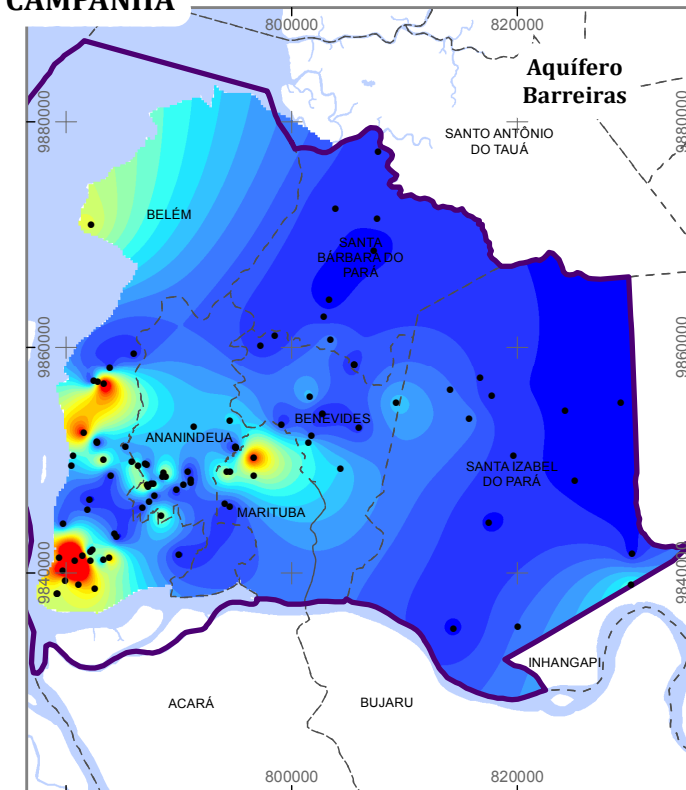
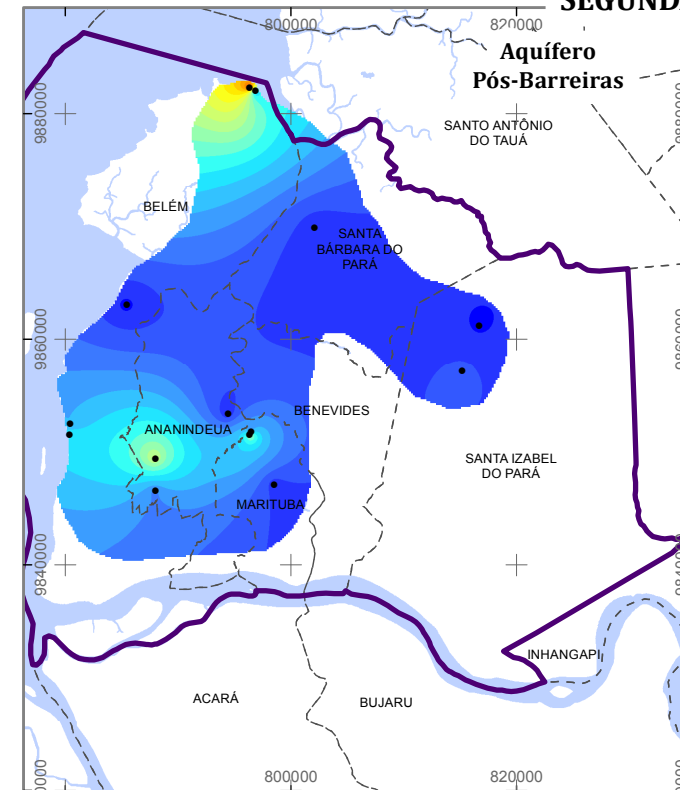
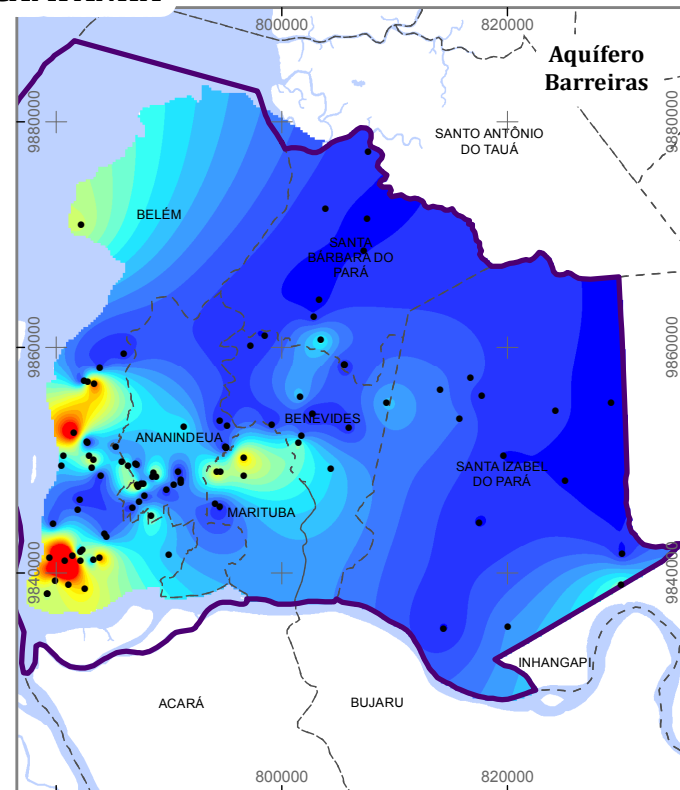
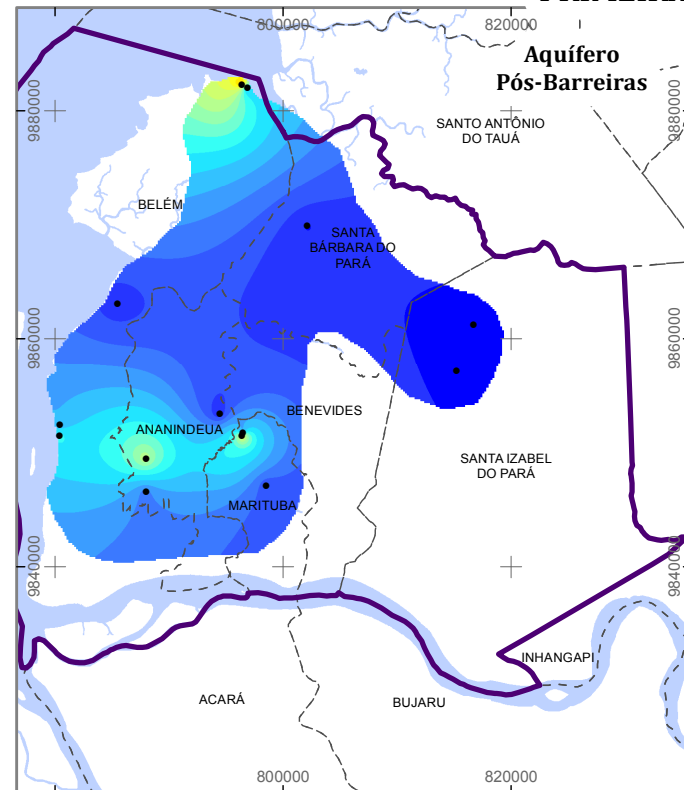
ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA. Isovalores de Alcalinidade (HCO₃): ANA/Profil

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Anexo_xi_Figura_iv_Alcalinidade_A3
Escala:	1:670.000

PRIMEIRA CAMPANHA

SEGUNDA CAMPANHA



LEGENDA

• Pontos Amostrados	6.1 - 8	24.1 - 26
□ Área de Estudo	8.1 - 10	26.1 - 28
- - - Limite municipal	10.1 - 12	28.1 - 30
■ Massa d'água	12.1 - 14	30.1 - 32
Sódio (Na)	14.1 - 16	32.1 - 34
(mg/L)	16.1 - 18	34.1 - 36
■ < 2	18.1 - 20	36.1 - 38
■ 2.1 - 4	20.1 - 22	38.1 - 40
■ 4.1 - 6	22.1 - 24	>40

Figura V – Mapas de isovalores de Sódio (Na) das águas subterrâneas da região de Belém – 1ª e 2ª campanhas de amostragens



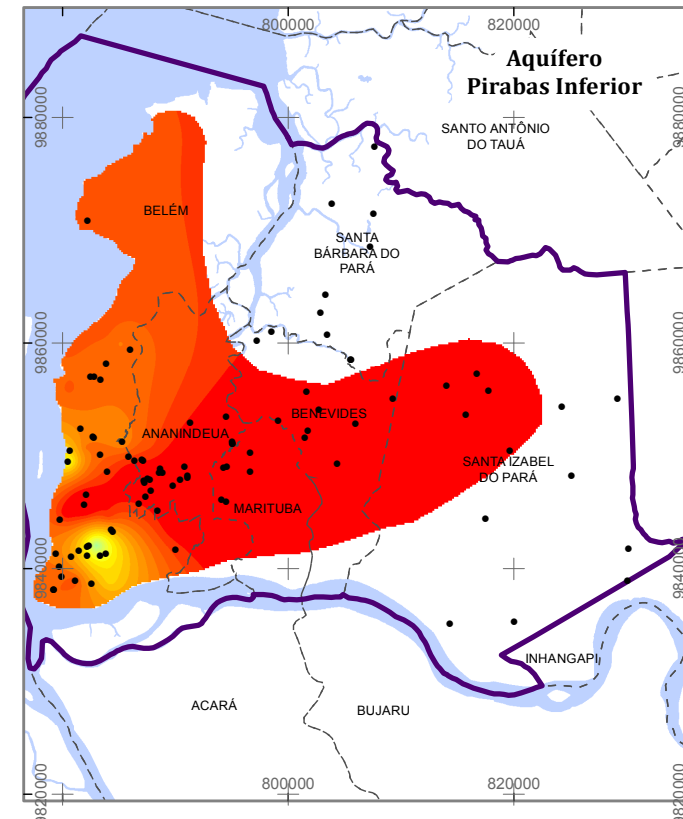
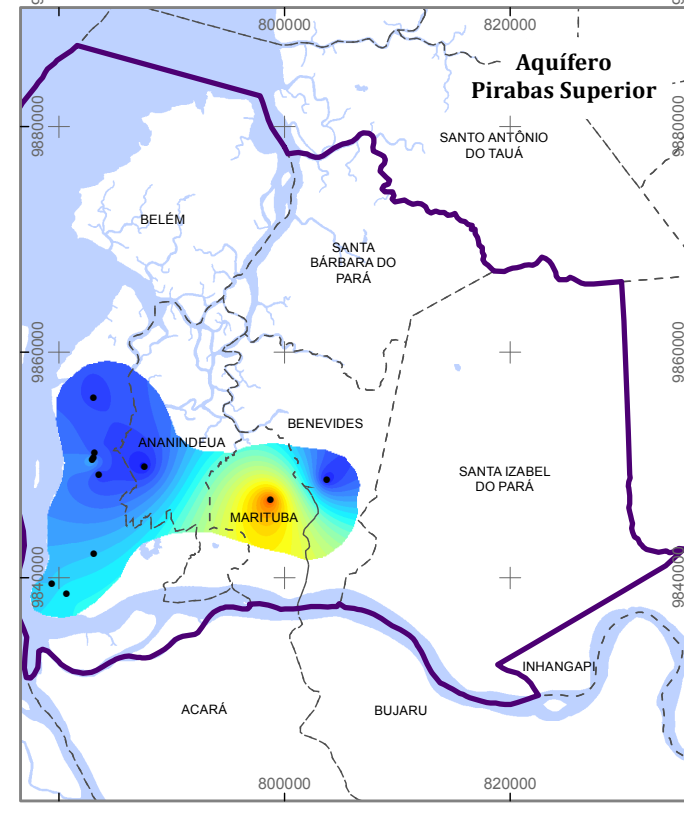
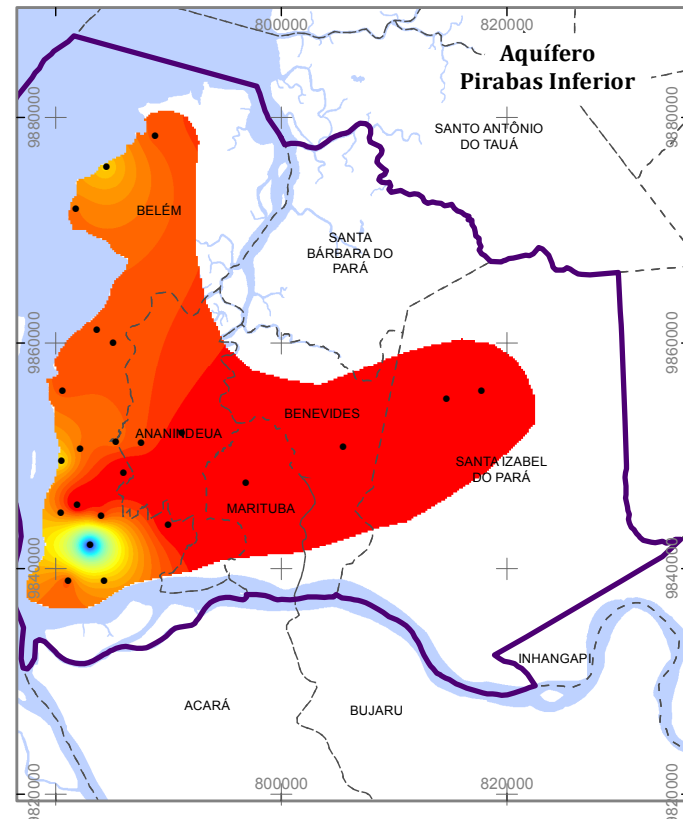
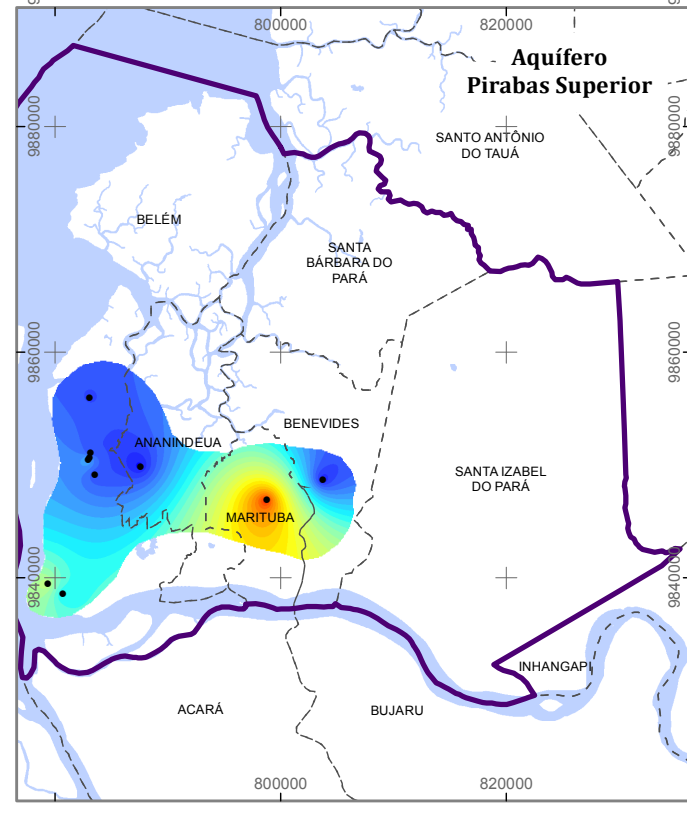
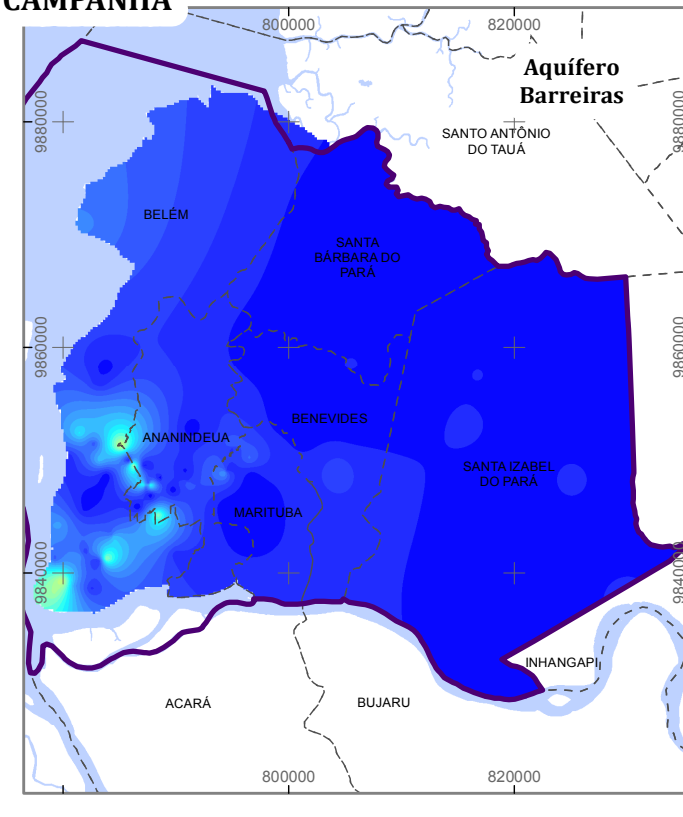
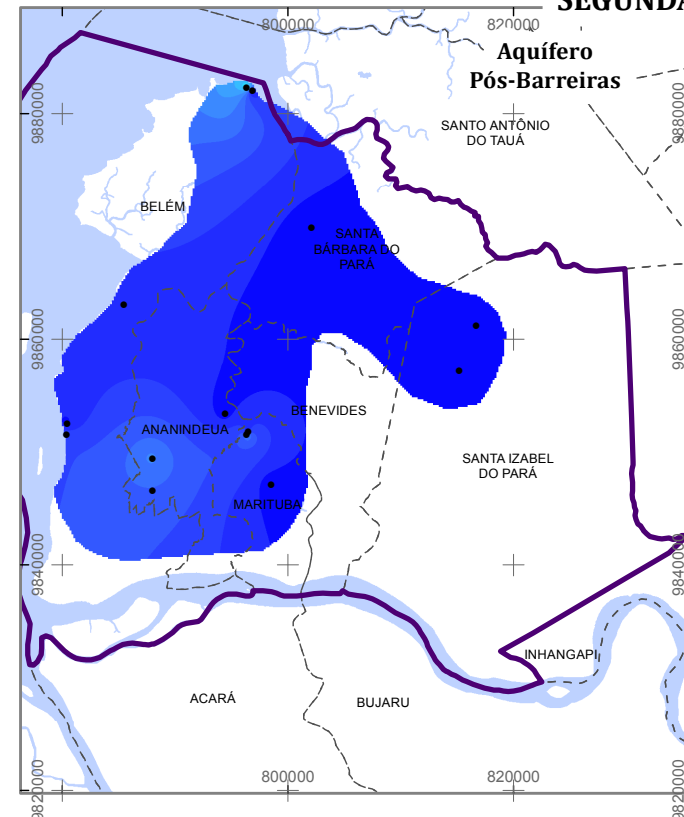
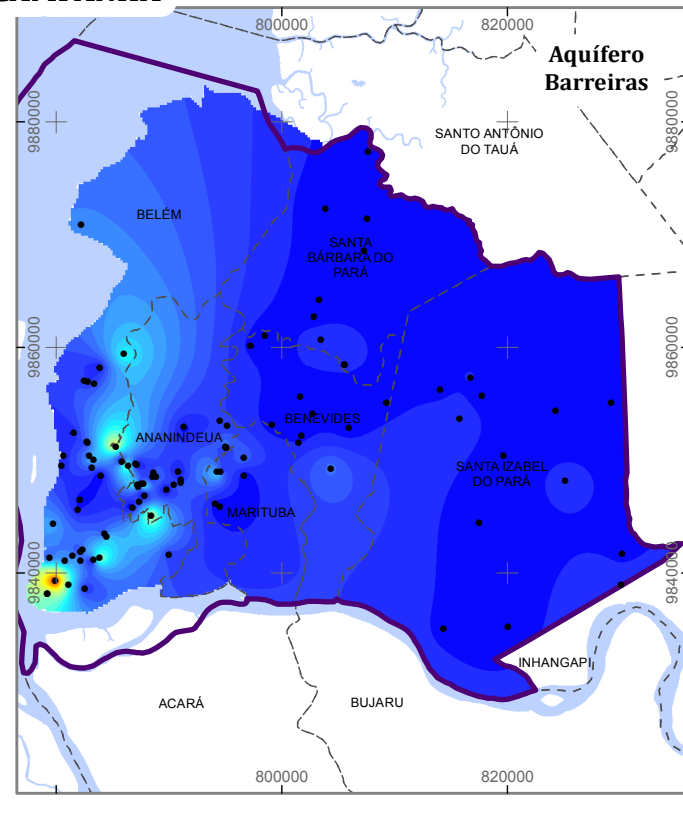
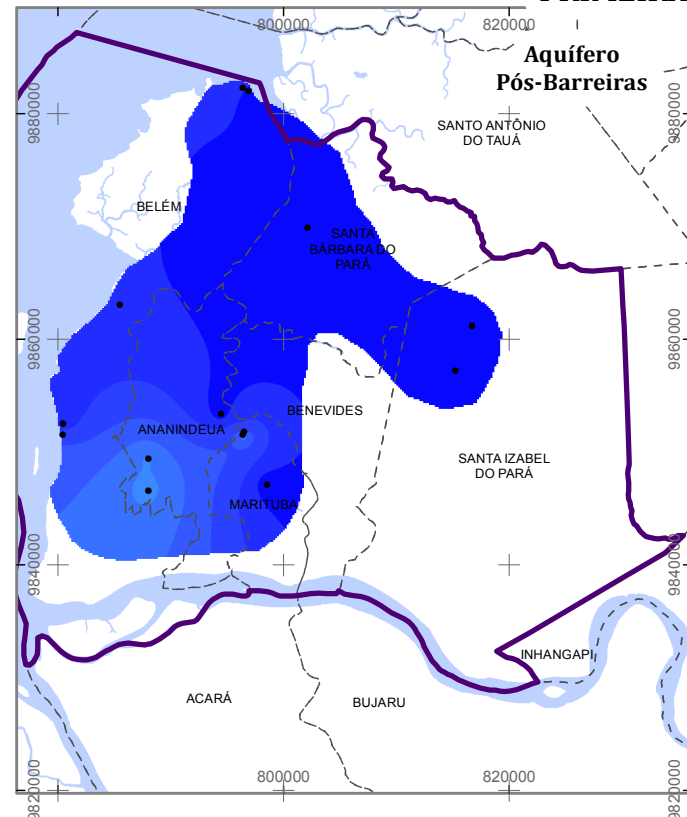
ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA. Isovalores de Sódio (Na): ANA/Profil

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Anexo_xi_Figura_v_Sodio_A3
Escala:	1:670.000

PRIMEIRA CAMPANHA

SEGUNDA CAMPANHA



LEGENDA

• Pontos Amostrados	6.01 - 8	24.01 - 26	42.01 - 44
□ Área de Estudo	8.01 - 10	26.01 - 28	44.01 - 46
- - - Limite municipal	10.01 - 12	28.01 - 30	46.01 - 48
■ Massa d'água	12.01 - 14	30.01 - 32	48.01 - 50
Cálcio (Ca)	14.01 - 16	32.01 - 34	50.01 - 52
(mg/L)	16.01 - 18	34.01 - 36	52.01 - 54
■ < 2	18.01 - 20	36.01 - 38	54.01 - 56
■ 2.01 - 4	20.01 - 22	38.01 - 40	56.01 - 58
■ 4.01 - 6	22.01 - 24	40.01 - 42	> 58

Figura VI – Mapas de isovalores de cálcio (Ca) das águas subterrâneas da região de Belém – 1ª e 2ª campanhas de amostragens



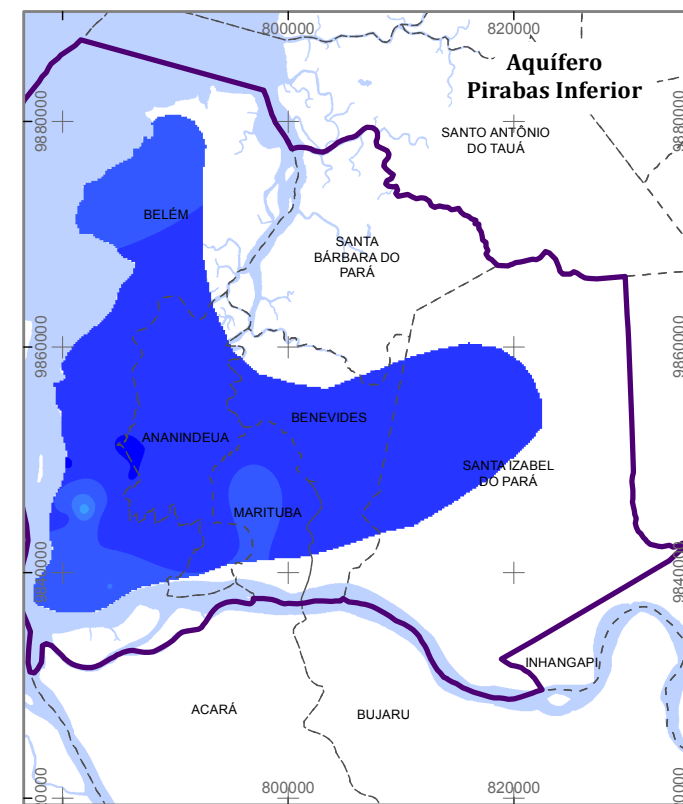
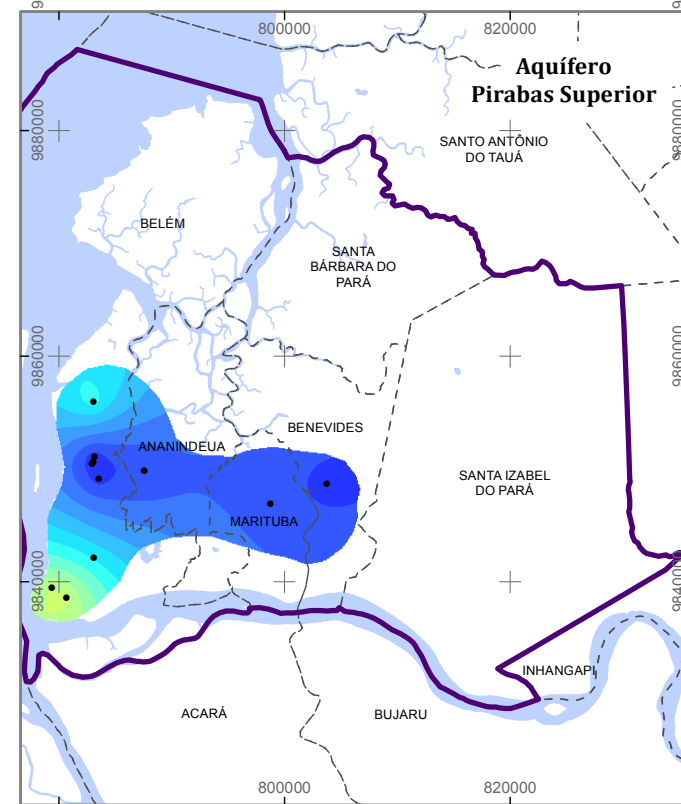
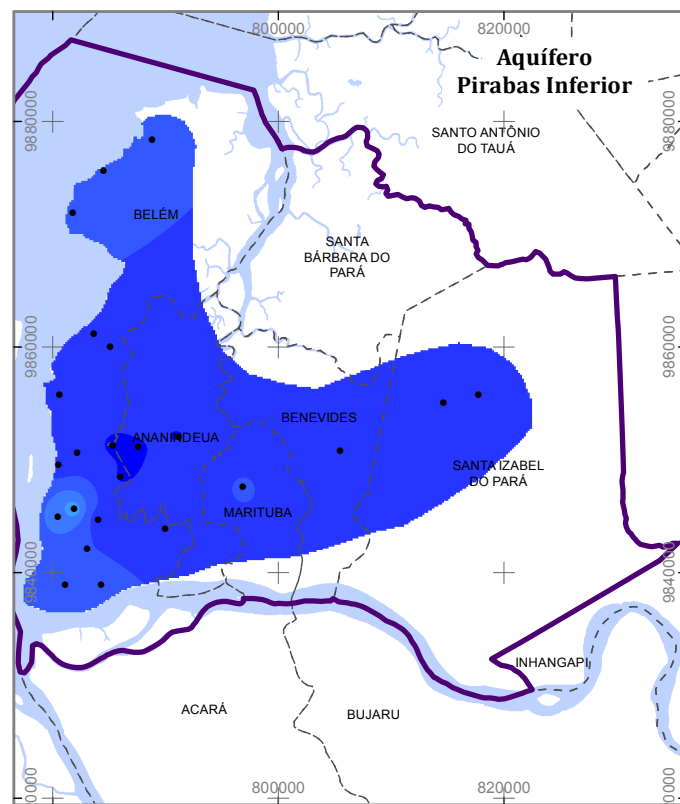
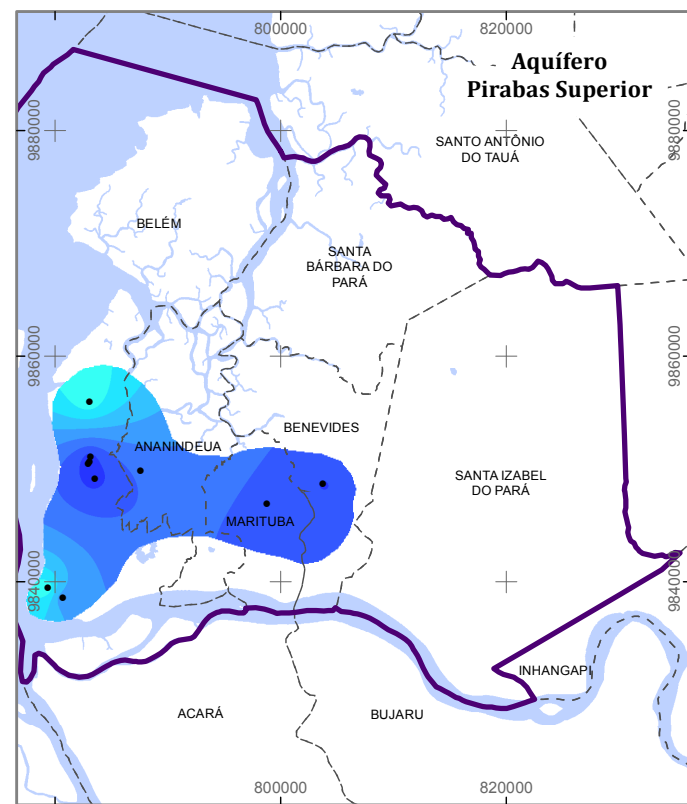
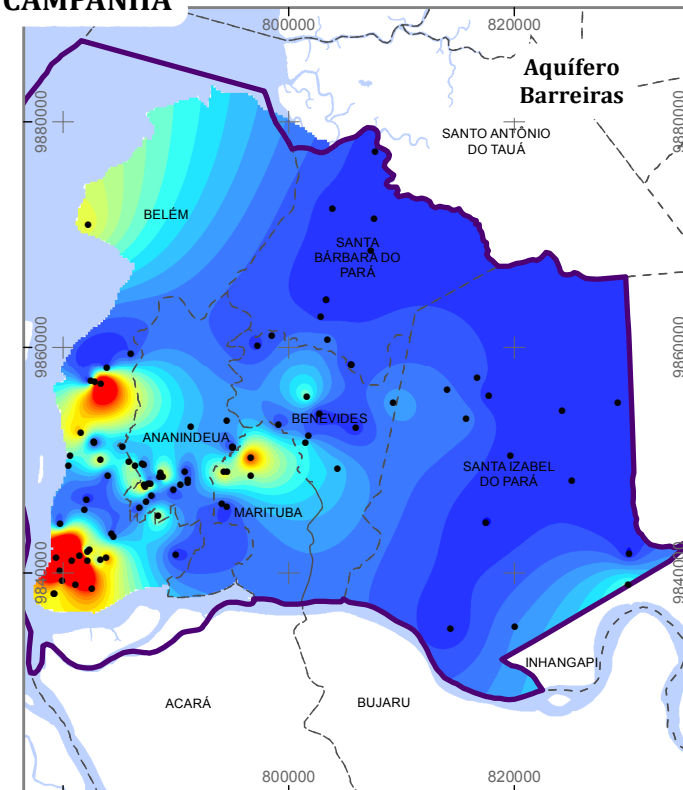
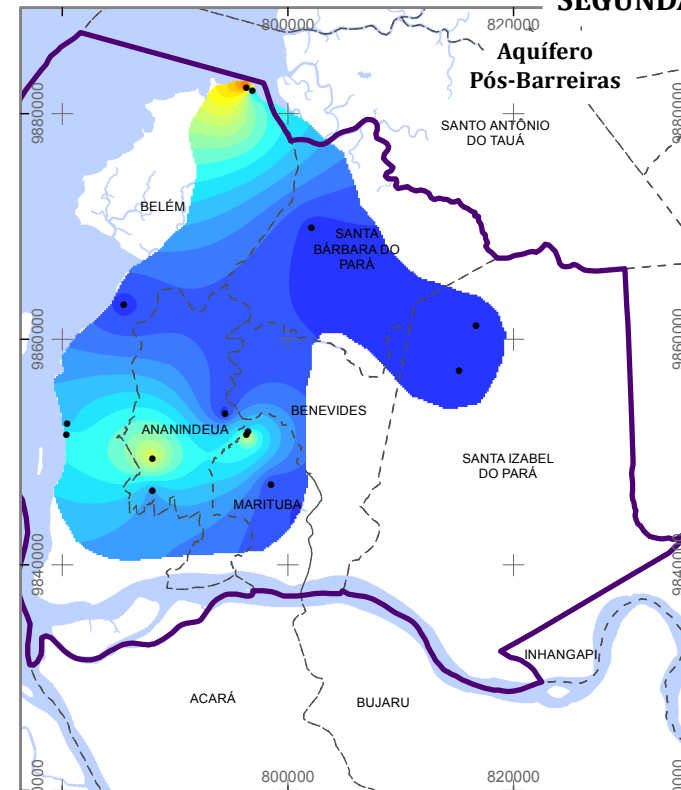
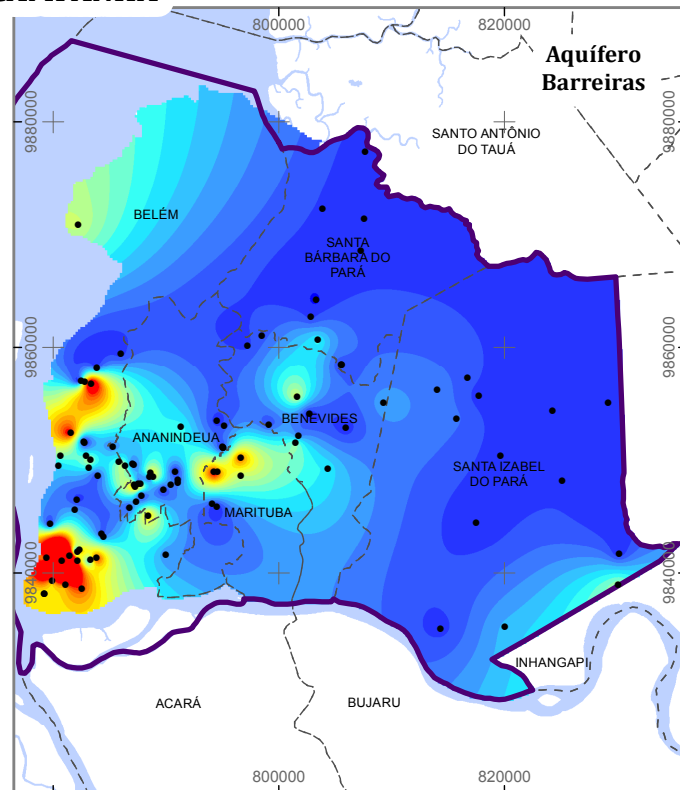
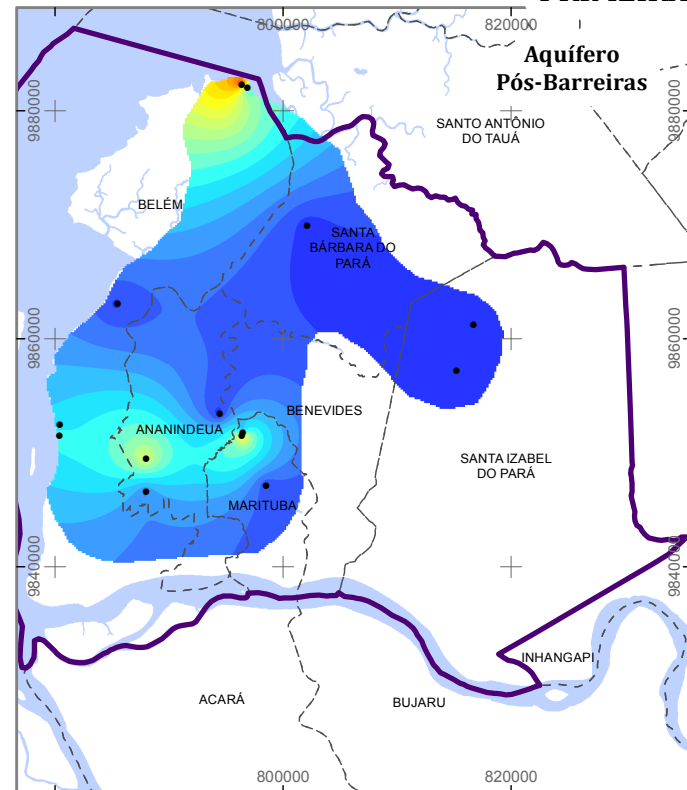
ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA. Isovalores de Cálcio (Ca): ANA/Profil

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Anexo_xi_Figura_vi_Calcio_A3
Escala:	1:670.000

PRIMEIRA CAMPANHA

SEGUNDA CAMPANHA



LEGENDA

• Pontos Amostrados	6.1 - 8	24.1 - 26
▭ Área de Estudo	8.1 - 10	26.1 - 28
- - - Limite municipal	10.1 - 12	28.1 - 30
▭ Massa d'água	12.1 - 14	30.1 - 32
Cloreto (Cl)	14.1 - 16	32.1 - 34
(mg/L)	16.1 - 18	34.1 - 36
▭ < 2	18.1 - 20	36.1 - 38
▭ 2.1 - 4	20.1 - 22	38.1 - 40
▭ 4.1 - 6	22.1 - 24	> 40

Figura VII – Mapas de isovalores de cloreto (Cl) das águas subterrâneas da região de Belém – 1ª e 2ª campanhas de amostragens



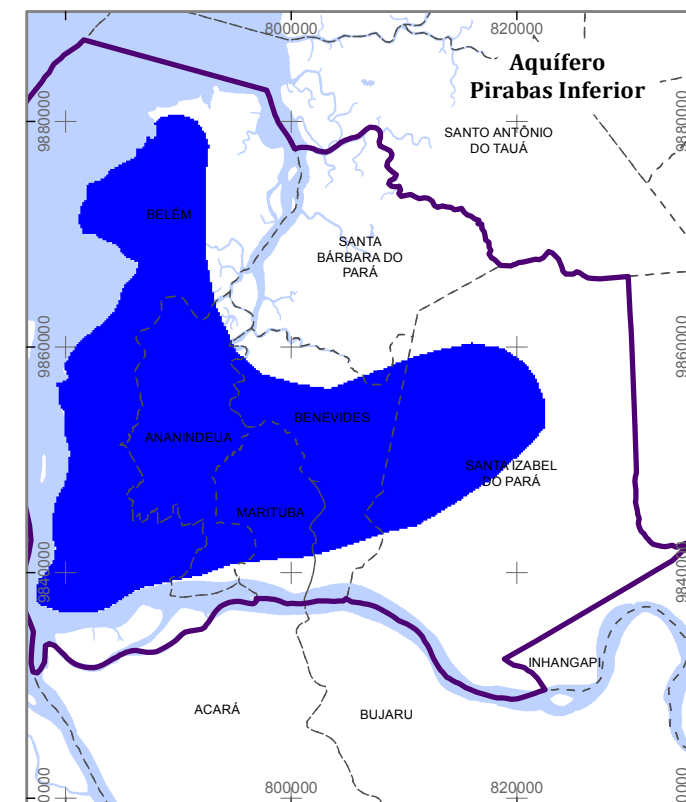
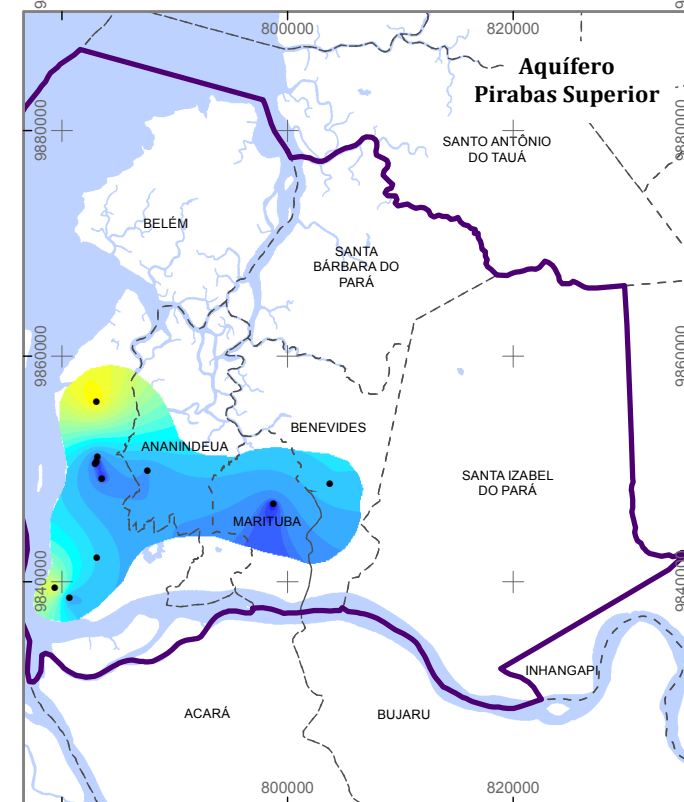
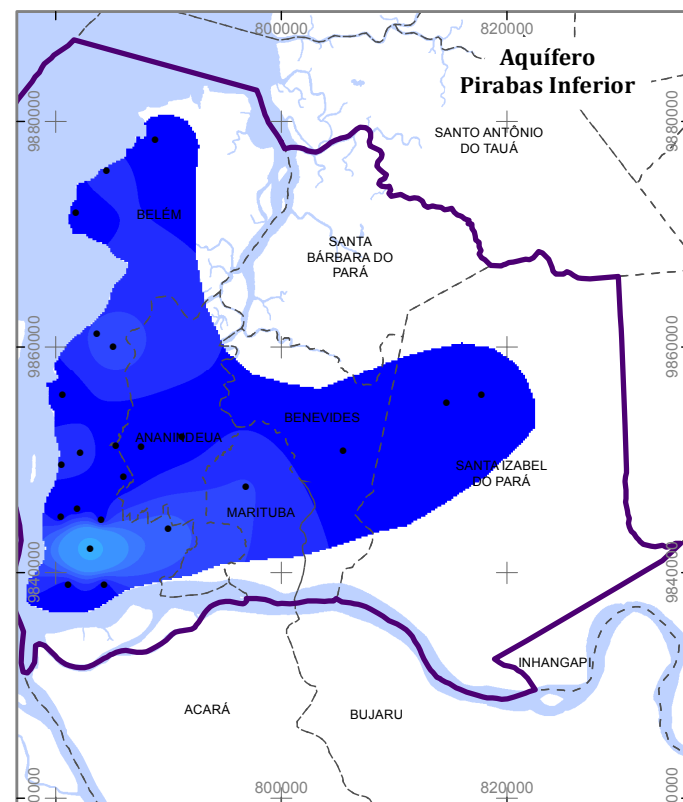
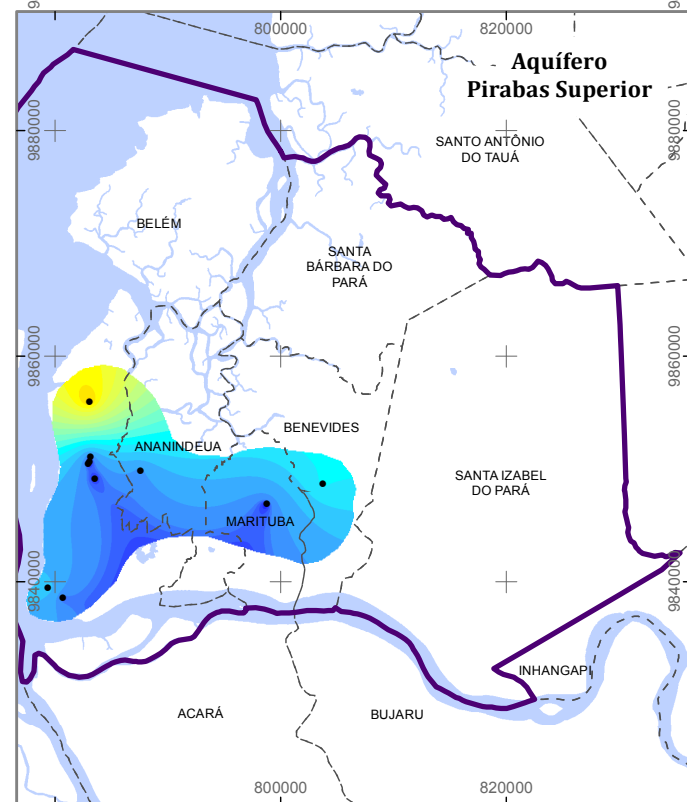
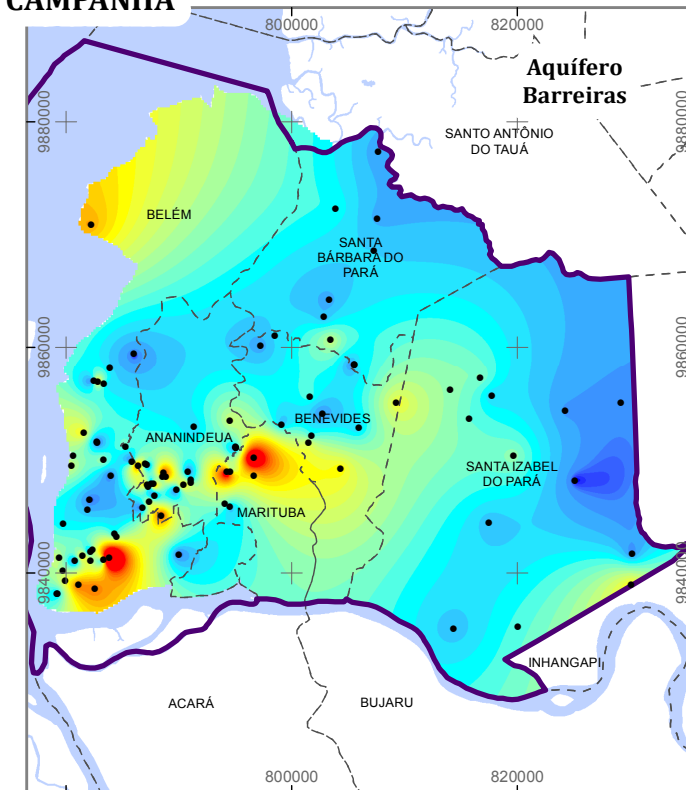
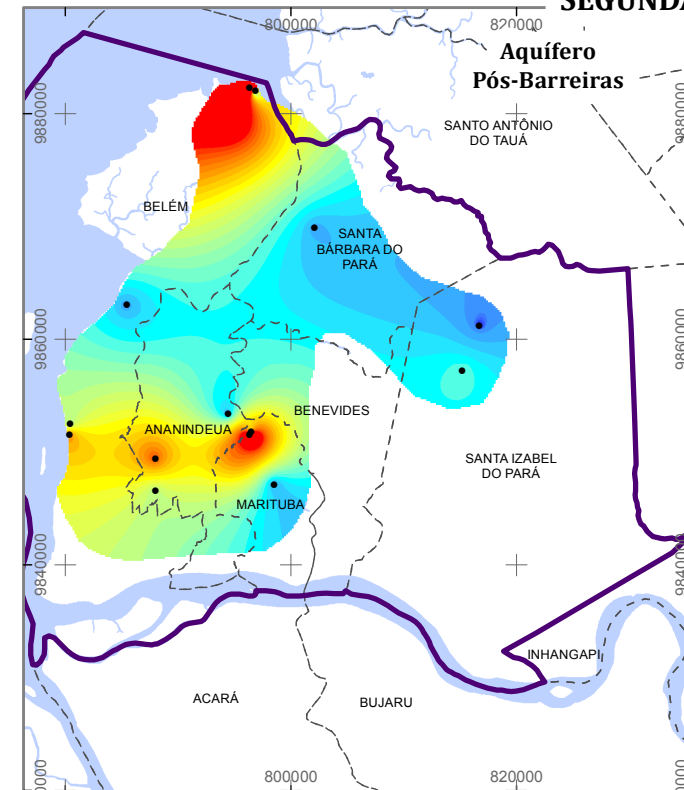
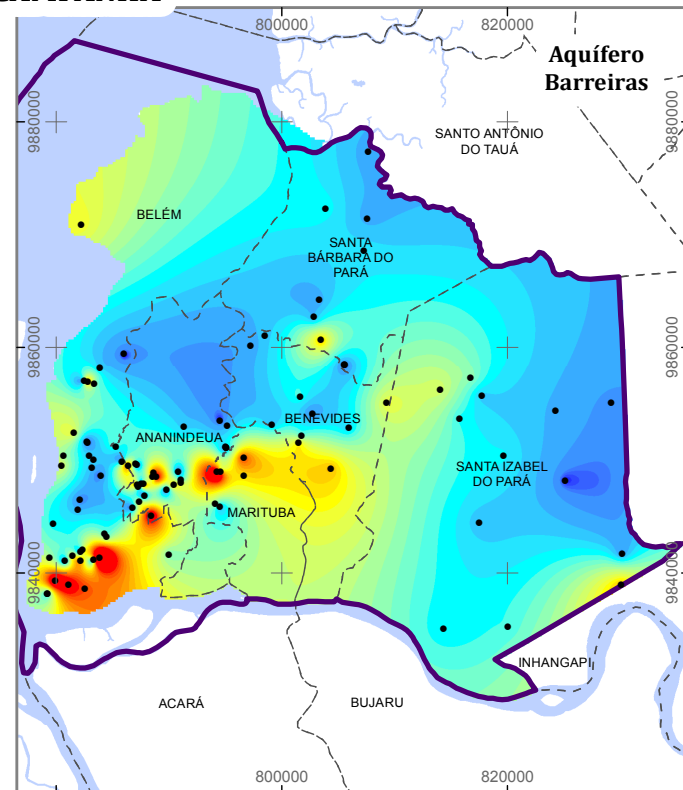
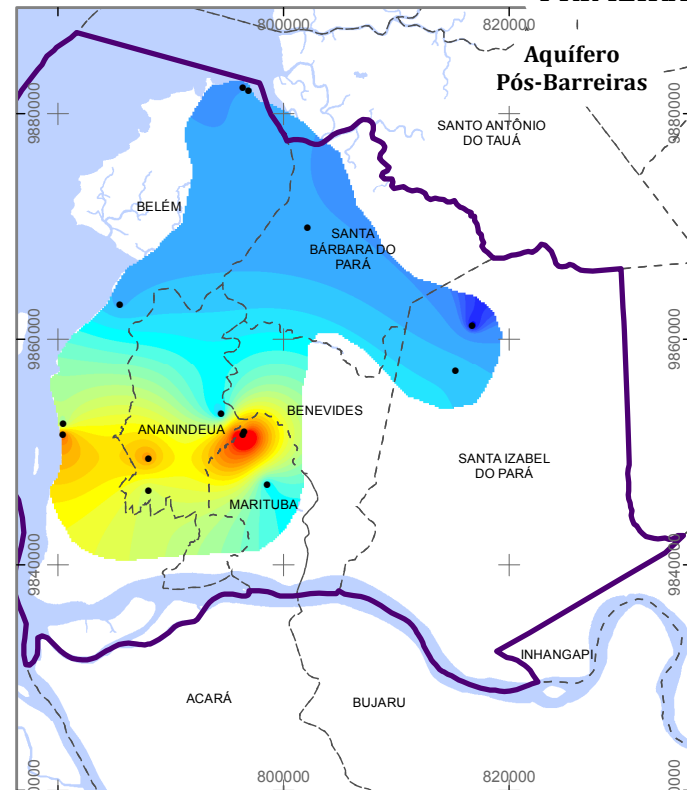
ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA. Isovalores de Cloreto (Cl): ANA/Profil

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Anexo_xi_Figura_vii_Cloreto_A3
Escala:	1:662.921

PRIMEIRA CAMPANHA

SEGUNDA CAMPANHA



LEGENDA

• Pontos Amostrados	0.7 - 0.8	14.1 - 16	32.1 - 34
□ Área de Estudo	0.9 - 1	16.1 - 18	34.1 - 36
- - - Limite municipal	1.1 - 2	18.1 - 20	36.1 - 38
■ Massa d'água	2.1 - 4	20.1 - 22	38.1 - 40
Nitrato (NO3)	4.1 - 6	22.1 - 24	40.1 - 42
(mg/L)	6.1 - 8	24.1 - 26	42.1 - 44
■ < 0.2	8.1 - 10	26.1 - 28	> 44
■ 0.3 - 0.4	10.1 - 12	28.1 - 30	
■ 0.5 - 0.6	12.1 - 14	30.1 - 32	

Figura VIII – Mapas de isovalores de nitrato (NO3) das águas subterrâneas da região de Belém – 1ª e 2ª campanhas de amostragens



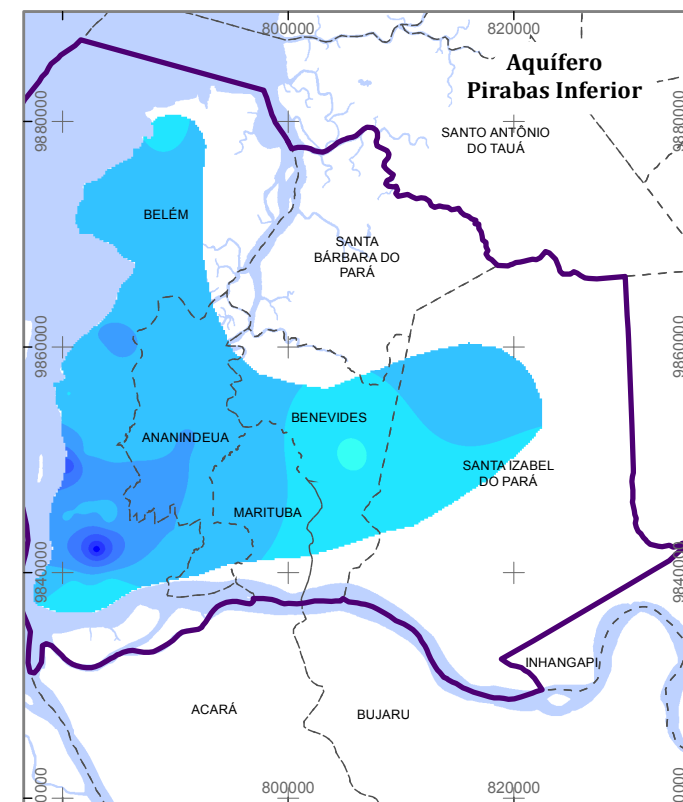
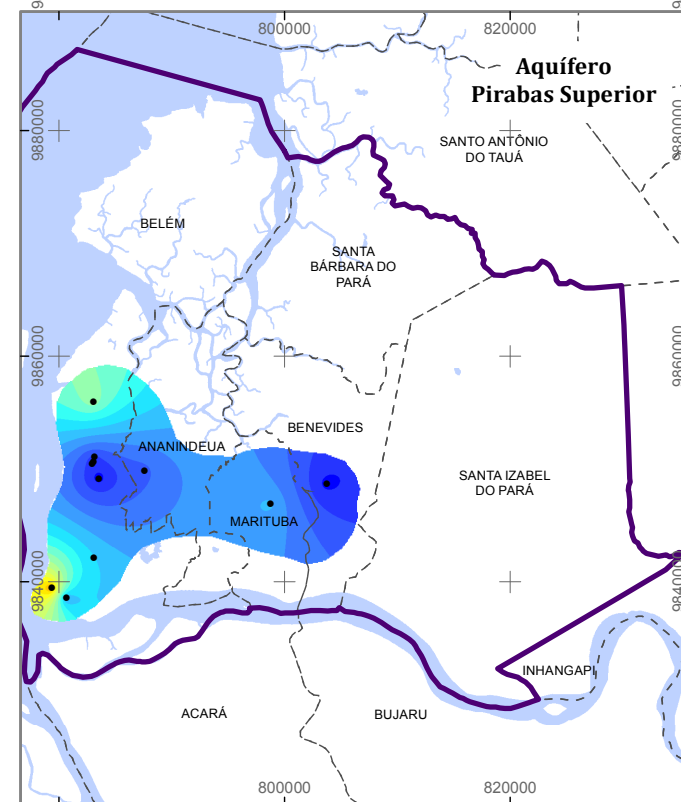
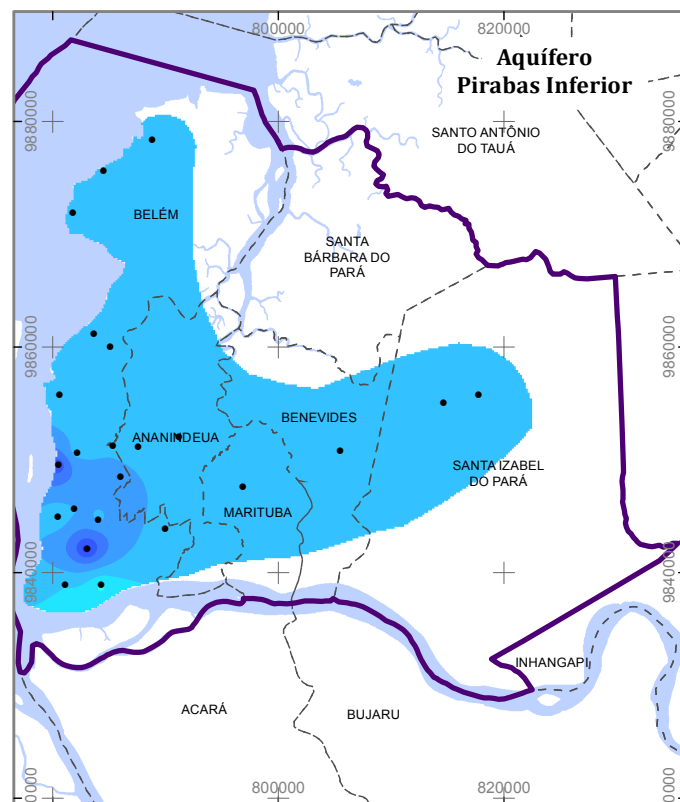
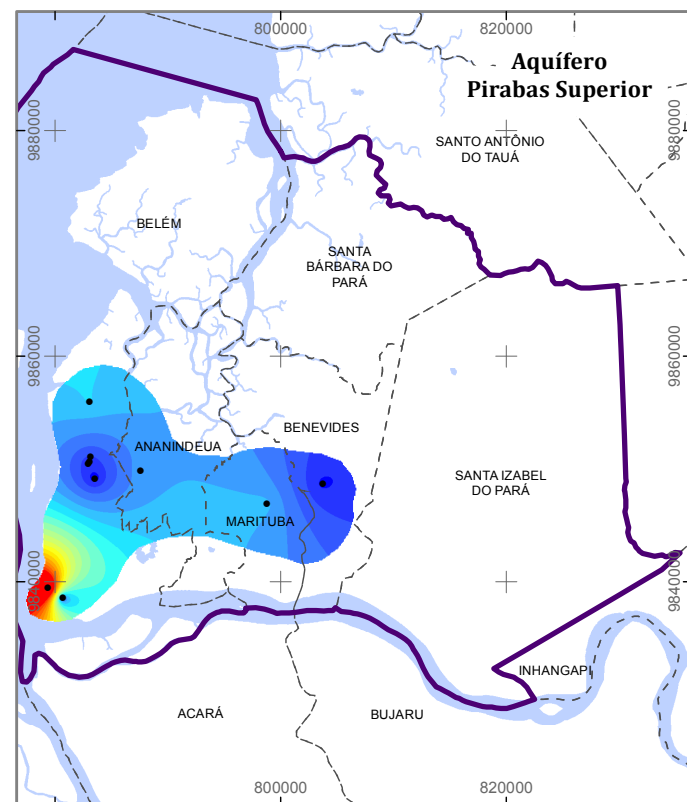
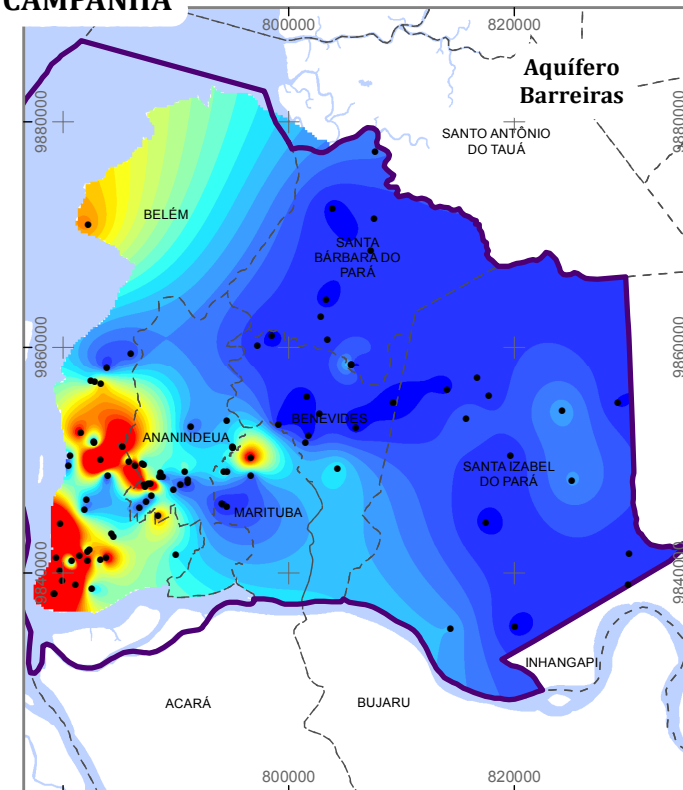
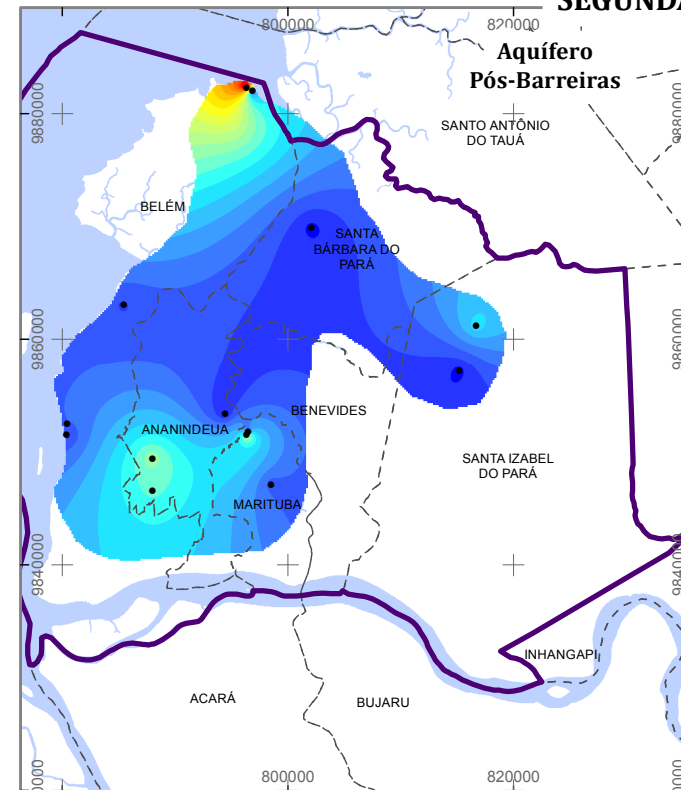
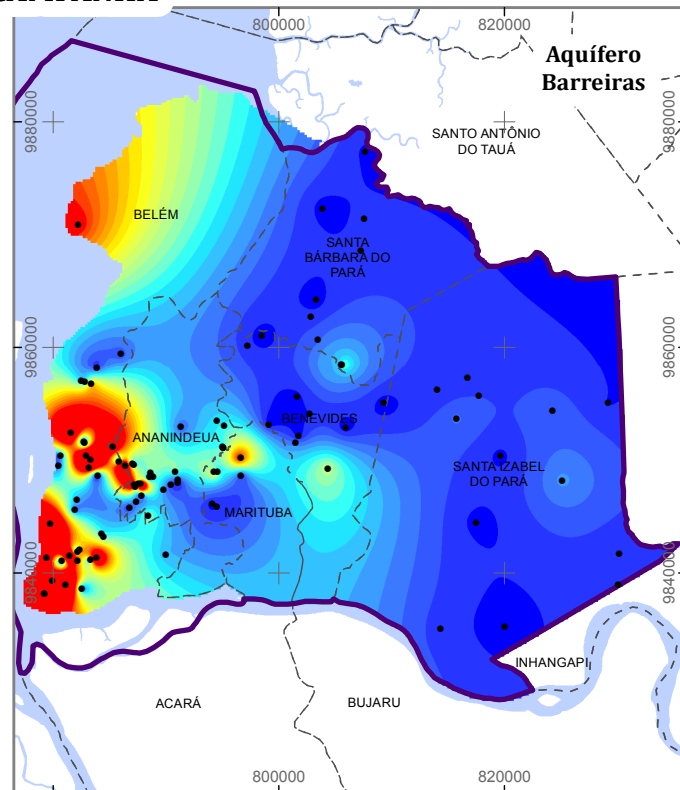
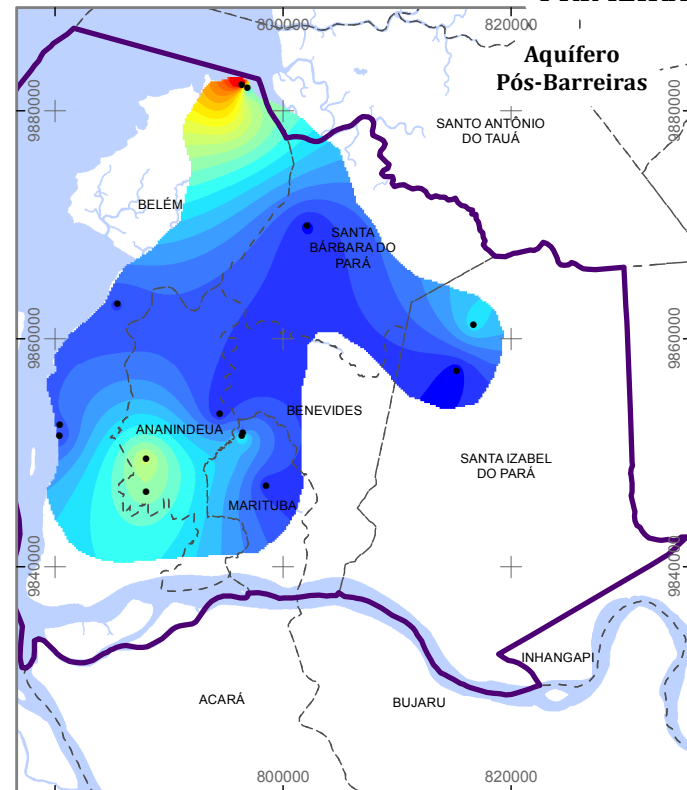
ESTUDOS HIDROGEOLOGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA. Isovalores de Nitrato (NO3): ANA/Profil

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Anexo_xi_Figura_viii_Nitrato_A3
Escala:	1:670.000

PRIMEIRA CAMPANHA

SEGUNDA CAMPANHA



LEGENDA

• Pontos Amostrados	3.01 - 4	12.01 - 13
□ Área de Estudo	4.01 - 5	13.01 - 14
- - - Limite municipal	5.01 - 6	14.01 - 15
■ Massa d'água	6.01 - 7	15.01 - 16
Sulfato (SO4)	7.01 - 8	16.01 - 17
(mg/L)	8.01 - 9	17.01 - 18
■ < 1	9.01 - 10	18.01 - 19
■ 1.01 - 2	10.01 - 11	19.01 - 20
■ 2.01 - 3	11.01 - 12	> 20

Figura IX – Mapas de isovalores de sulfato (SO4) das águas subterrâneas da região de Belém – 1ª e 2ª campanhas de amostragens



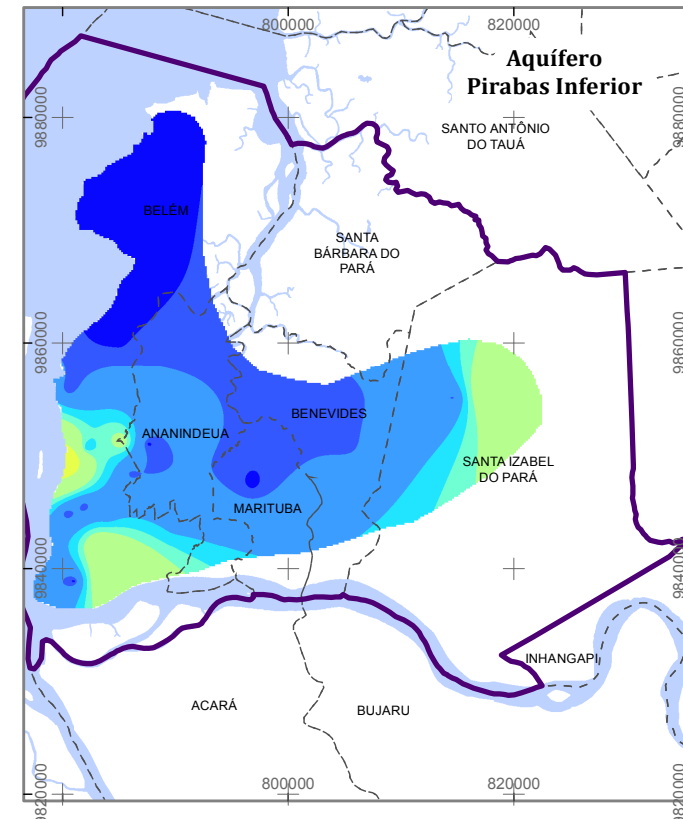
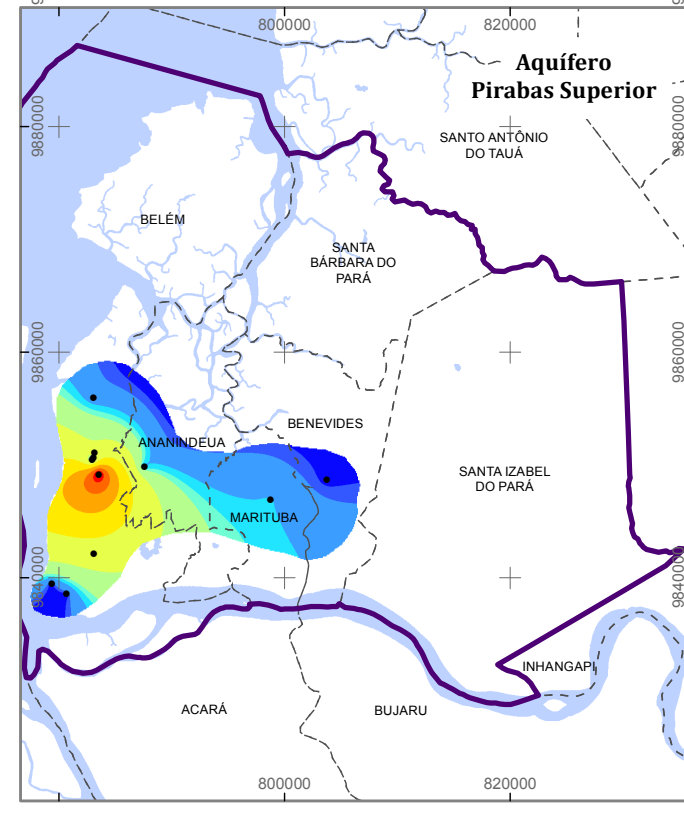
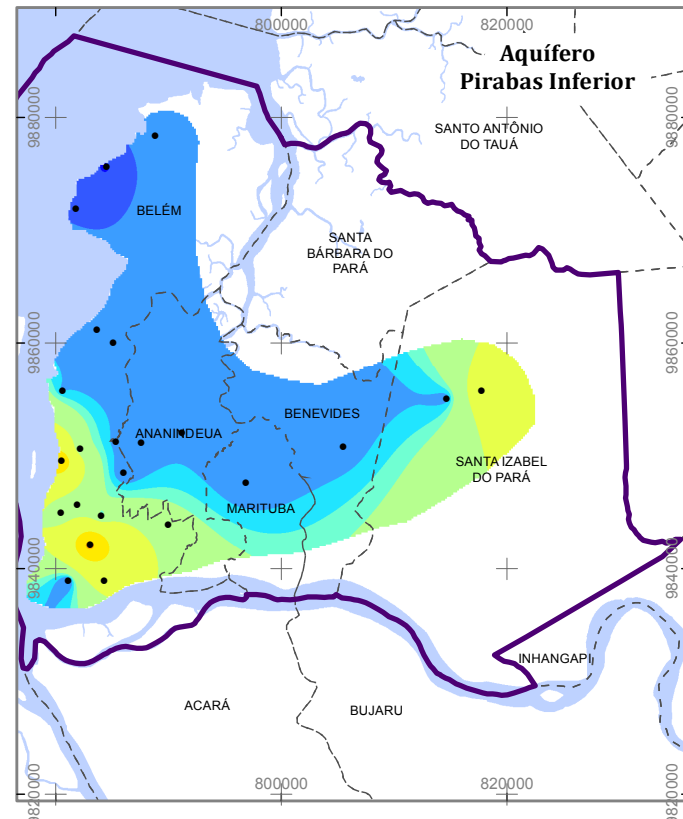
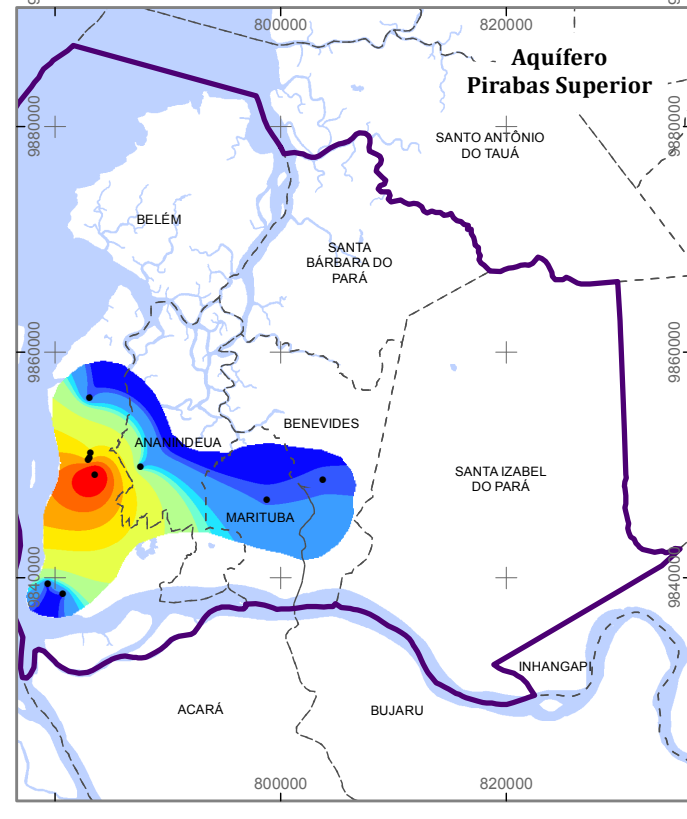
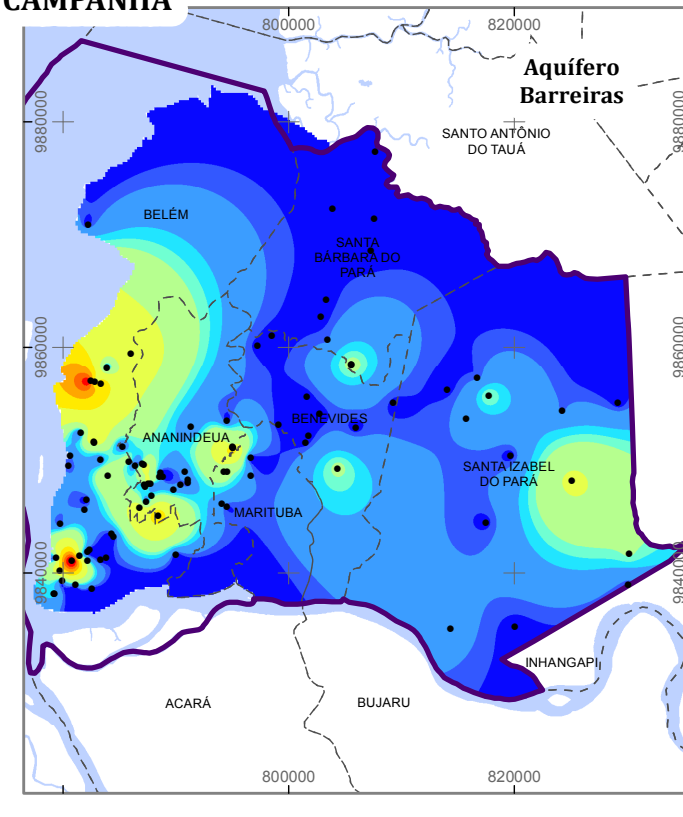
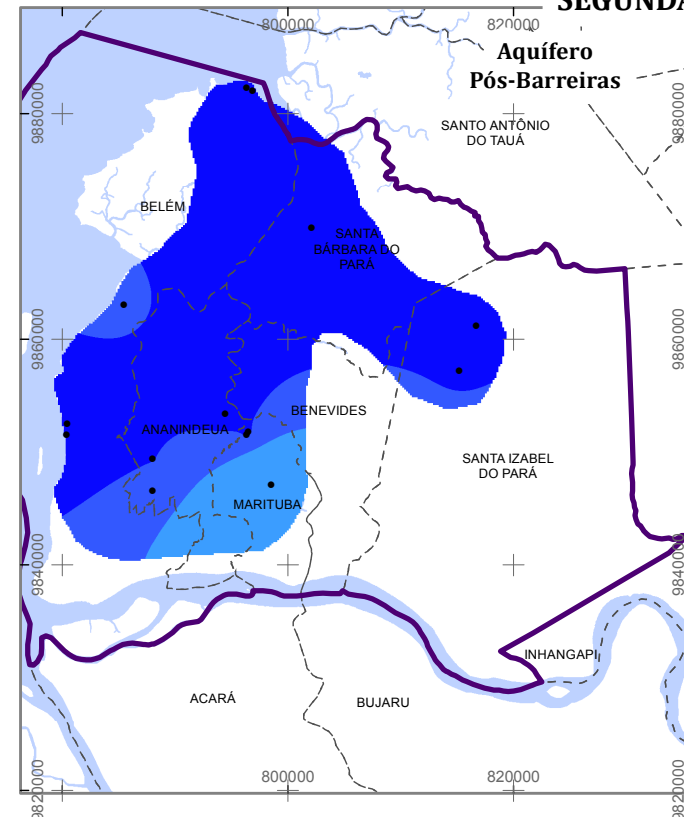
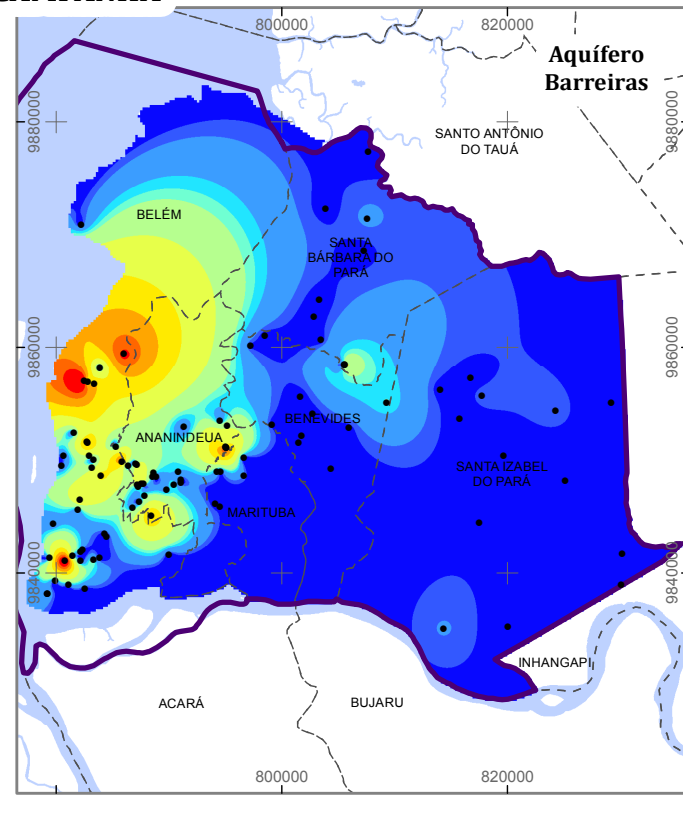
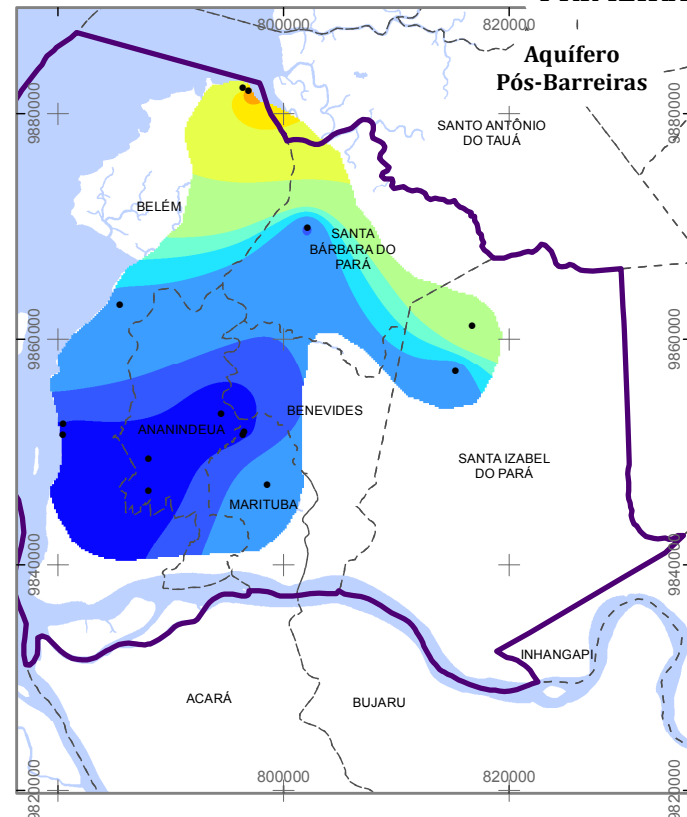
ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA. Isovalores de Sulfato (SO4): ANA/Profil

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Anexo_xi_Figura_ix_Sulfato_A3
Escala:	1:670.000

PRIMEIRA CAMPANHA

SEGUNDA CAMPANHA



LEGENDA

- Pontos Amostrados
- ▭ Área de Estudo
- - - Limite municipal
- Massa d'água
- Ferro (Fe - mg/L)**
- Limite Port. 2914/11 - 0,3 mg/L**
- < 0.05
- 0.06 - 0.1
- 0.11 - 0.3
- 0.31 - 0.4
- 0.41 - 0.5
- 0.51 - 1
- 1.01 - 2
- 2.01 - 3
- 3.01 - 4
- 4.01 - 5
- > 5

Figura X – Mapas de isovalores de ferro (Fe) das águas subterrâneas da região de Belém – 1ª e 2ª campanhas de amostragens



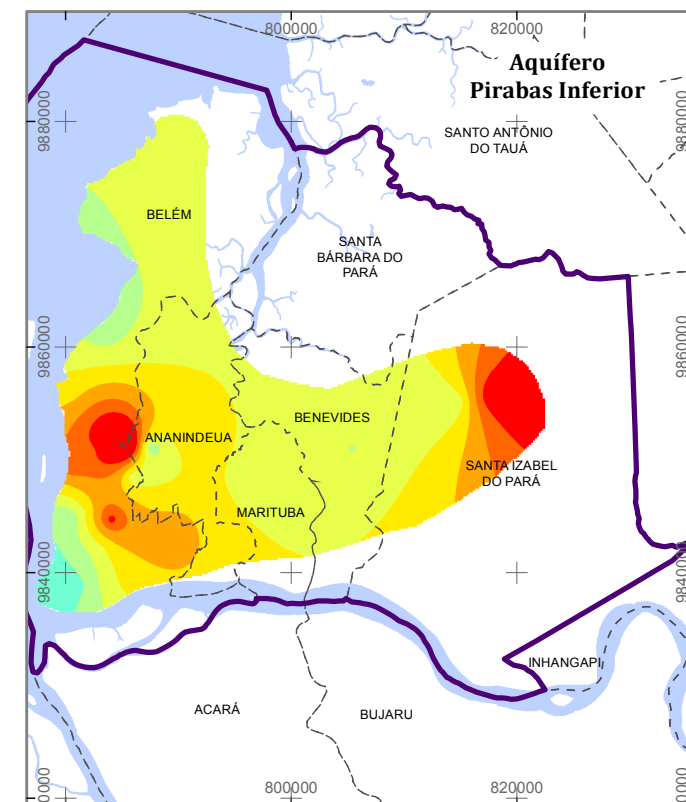
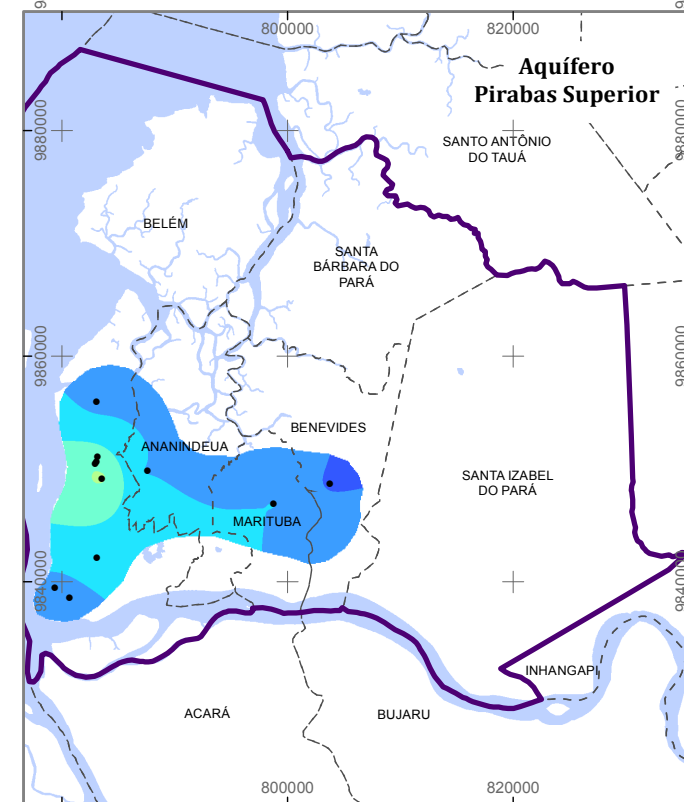
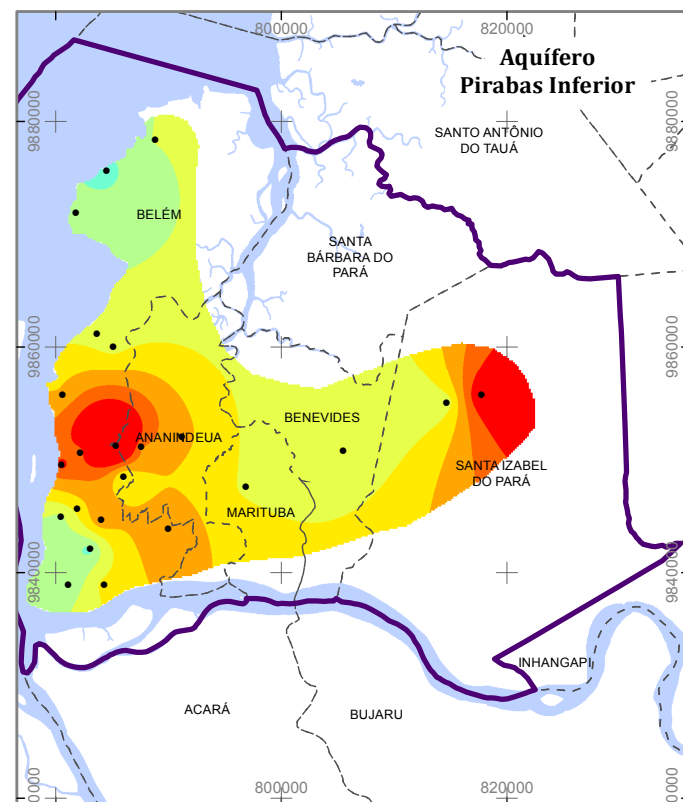
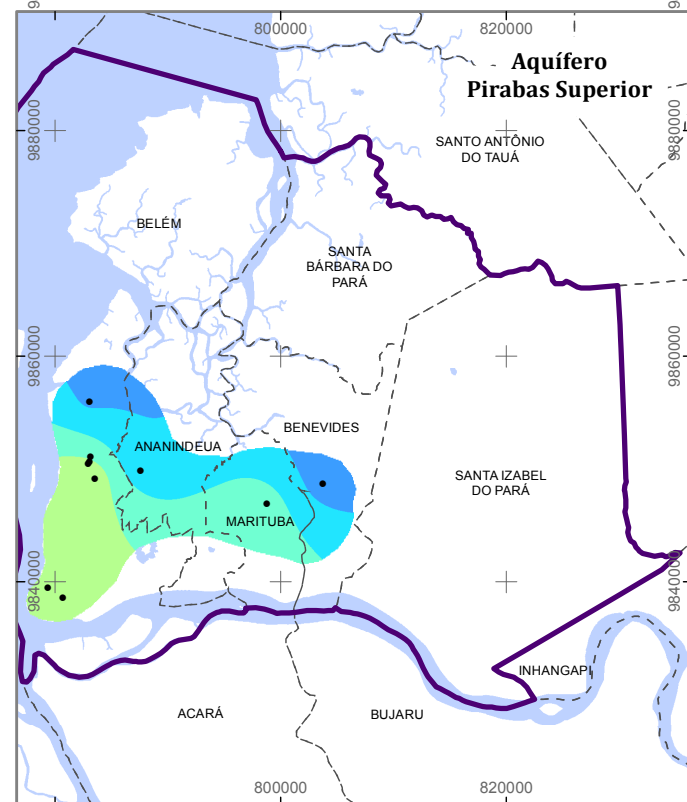
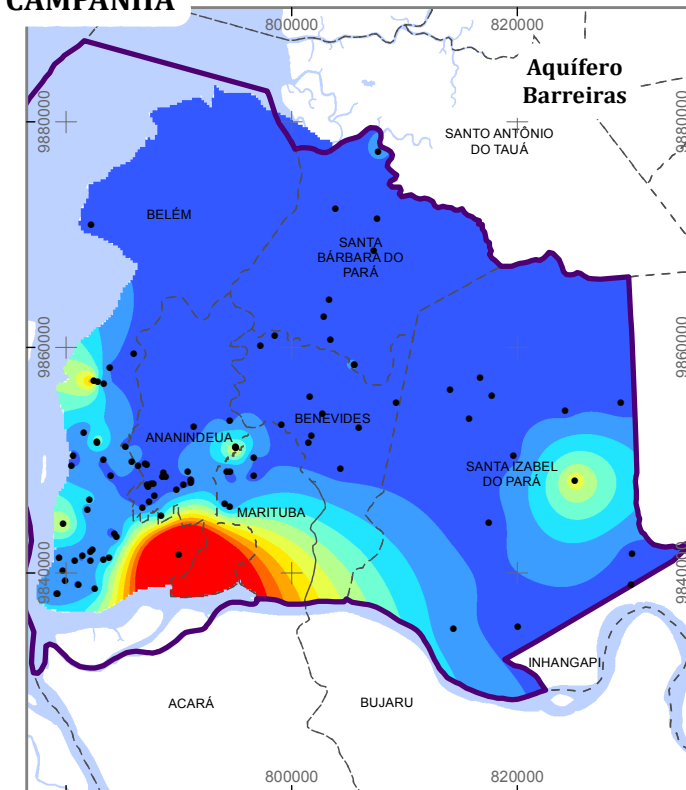
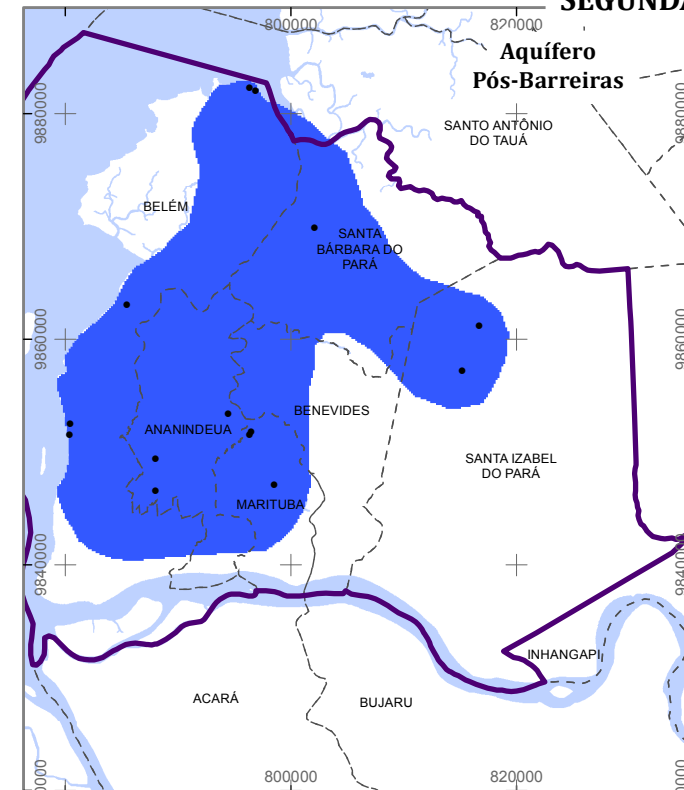
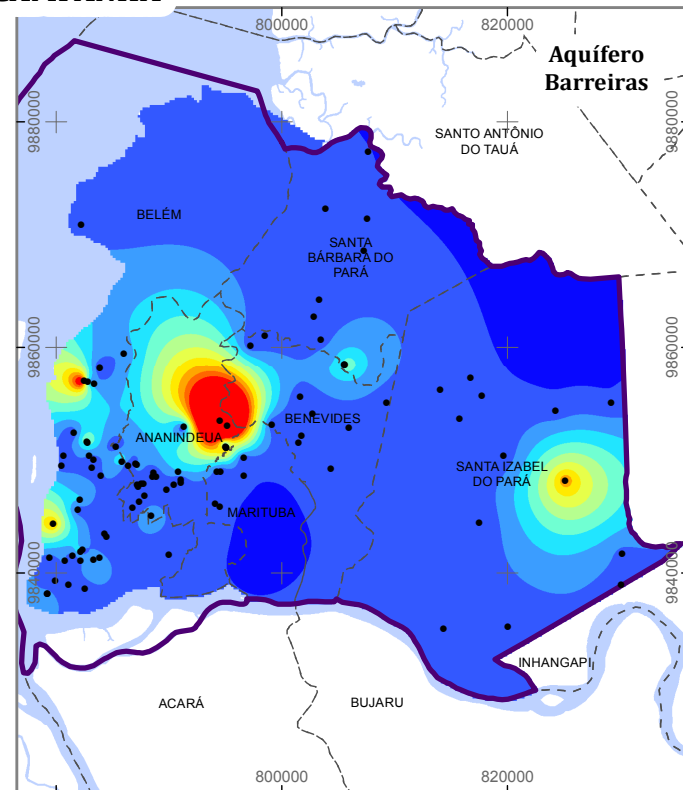
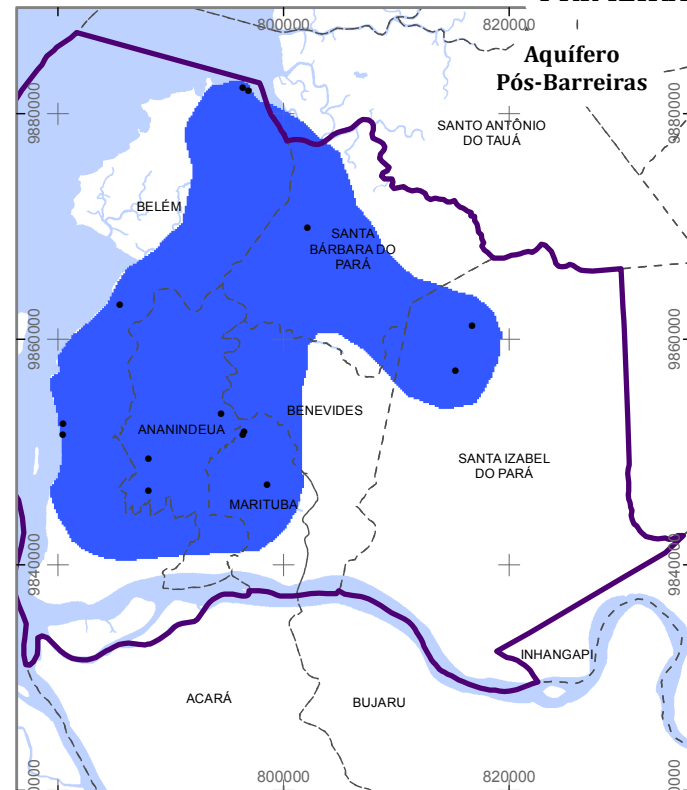
ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA. Isovalores de Ferro (Fe): ANA/Profil

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Anexo_xi_Figura_x_Ferro_A3
Escala:	1:670.000

PRIMEIRA CAMPANHA

SEGUNDA CAMPANHA



LEGENDA

- Pontos Amostrados
 - ▭ Área de Estudo
 - - - Limite municipal
 - ▭ Massa d'água
- Manganês (Mn - mg/L)**
- Limite Port. 2914/11 - 0,1 mg/L**
- 0 - 0.01
 - 0.002 - 0.025
 - 0.026 - 0.05
 - 0.051 - 0.075
 - 0.076 - 0.1
 - 0.101 - 0.125
 - 0.126 - 0.15
 - 0.151 - 0.175
 - 0.176 - 0.2
 - 0.201 - 0.225
 - > 0.225

Figura XI – Mapas de isovalores de manganês (Mn) das águas subterrâneas da região de Belém – 1ª e 2ª campanhas de amostragens



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA. Isovalores de Manganês (Mn): ANA/Profil

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Anexo_xi_Figura_xi_Manganes_A3
Escala:	1:670.000



AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

Setor Policial, área 5, Quadra 3,
Blocos "B", "L", "M", "N", "O" e T.
PABX: (61) 2109-5400 | 21095252
www.ana.gov.br



Av. Iguazu, 451, 6º andar, Petrópolis.
Porto Alegre - RS. CEP: 90470-430
Fone | Fax: (51) 3211-3944
www.profill.com.br

