

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA  
Contrato 002/ANA/2011



*ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO  
DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL (RMN)*

*Relatório Final - RF*  
**Volume 2 - Avaliação da Urbanização e de Outras Atividades  
Antrópicas Impactantes nas Águas Subterrâneas**

*Maio/2012*

**República Federativa do Brasil**

Dilma Vana Roussef

Presidenta

**Ministério do Meio Ambiente**

Izabella Mônica Vieira Teixeira

Ministra

**Agência Nacional de Águas**

**Diretoria Colegiada**

Vicente Andreu (Diretor-Presidente)

Dalvino Troccoli Franca

Paulo Lopes Varella Neto

João Gilberto Lotufo Conejo

Paulo Rodrigues Vieira

**Superintendência de Implementação de Programas e Projetos(Coordenação)**

Ricardo Medeiros de Andrade

Humberto Cardoso Gonçalves

**Gerência de Águas Subterrâneas**

Fernando Roberto de Oliveira

Fabício Bueno da Fonseca Cardoso

Flávio Soares do Nascimento (Gestor)

Adriana Niemeyer Pires Ferreira

Marco Vinicius Castro Gonçalves

Leonardo de Almeida

Márcia Tereza Pantoja Gaspar



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

Flávio Soares do Nascimento (ANA)  
Adriana Niemeyer Pires Ferreira (ANA)  
Paula Stein (SEMARH-RN)  
Natalina Maria Tinoco Cabral (SEMARH-RN)  
Carlos Alberto Martins (SEMARH-RN)  
Elmo Marinho de Figuerêdo (SEMARH-RN)  
Glaucia Regina Luz Xavier da Costa (IGARN)  
Marcelo Augusto de Queiroz (CAERN)  
Joana D'Arc Freire de Medeiros (SEMARH-RN)

## **Elaboração e Execução**

### **SERVMAR Serviços Técnicos Ambientais Ltda.**

Maurício Prado Alves – Diretor Técnico  
Mateus Delatim Simonato – Gerente do Contrato

## **Equipe Executora**

João Carlos Simanke de Souza - Coordenador

Alessandra Marega Motta	Frederico Presotto
Altair Tadeu Alexandre	Juliana F. da Silva Cabral
Ana Cecília Hardt	Janete Monteiro de Souza
André Souza Cabral	Janny Juliana de Macêdo
Andressa Araújo	Jorge Penaranda Salgado
Antônio Carlos Lima Pereira	Lidjia Bruna Siqueira da Silva
Bruno Cesar Saraiva Dantas	Marcelo Freitas Marques
Bruno Pirilo Conicelli	Marcio Costa Abreu
Cícero André de Araújo Neto	Maria Anísia de Castro Pereira
Claudete Rodrigues de Souza	Mateus Delatim Simonato
Eduardo Pereira da Silva Junior	Maurício Prado Alves
Elaine Cristina da Cunha	Rejanne Alves da Silva França
Emanuel S. P. L'Apicciarella	Robson da Silva Rodrigues Trettel
Flávio Luiz Monteiro	Tereza Cristina Falcão

# **AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA**

**Contrato 002/ANA/2011**

## **ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL (RMN)**

### **RELATÓRIO FINAL**

**Volume 2**

**Avaliação da Urbanização e de Outras Atividades  
Antrópicas Impactantes nas Águas Subterrâneas**

**Maio 2012**



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

Equipe:  
Agência Nacional de Águas – ANA  
Superintendência de Implementação de Programas e Projetos – SIP  
Gerência de Águas Subterrâneas - GESUB

Elaboração e execução:  
SERVMAR Serviços Técnicos Ambientais Ltda.  
Av. Ceci, 2206, Planalto Paulista  
CEP: 04.065-004, São Paulo – SP  
Tel: 11 5070-6955  
Endereço eletrônico: <http://www.servmarambiental.com.br>

Capa:  
Fotografia – Mateus Delatim Simonato  
Local da Foto – Parque das Dunas, Via Costeira, Natal/RN  
Diagramação e Arte – Daniel Delatim Simonato

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

Estudos Hidrogeológicos para a Orientação do Manejo das  
Águas Subterrâneas da Região Metropolitana de Natal.

Volume 2 – Avaliação da Urbanização e de Outras Atividades  
Antrópicas Impactantes nas Águas Subterrâneas

Brasília: ANA, 2012

1. Recursos Hídricos
2. Aquífero Barreiras
  - I. Agência Nacional de Águas - ANA
  - II. SERVMAR Serviços Técnicos Ambientais Ltda.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	1
2	ATIVIDADES RELATIVAS AO USO E A OCUPAÇÃO DO SOLO.....	3
3	ATIVIDADES RELATIVAS AO SUPRIMENTO E DEMANDA DE ÁGUA.....	13
3.1	Suprimento de água na Região Metropolitana de Natal.....	13
3.2	Demanda de água na Região Metropolitana de Natal .....	27
4	ATIVIDADES RELATIVAS AO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA.....	46
5	ATIVIDADES RELATIVAS AO ESGOTAMENTO SANITÁRIO.....	75
6	CADASTRO DAS FONTES POTENCIAIS DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS .....	96
6.1	Fontes pontuais de contaminação .....	100
6.2	Fontes difusas de contaminação .....	116
7	VULNERABILIDADE E RISCOS POTENCIAIS DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS .....	121
8	AVALIAÇÃO HIDROQUÍMICA.....	139
8.1	Métodos de coleta.....	144
8.2	Métodos de análise .....	146
8.3	Avaliação dos resultados hidroquímicos .....	147
8.4	Síntese dos resultados.....	150
8.5	Análise hidrogeoquímica.....	164
8.5.1	Correlação entre parâmetros hidroquímicos do aquífero Barreiras .	164
8.5.2	Variações hidrogeoquímicas e suas condicionantes .....	167
8.5.3	Observações acerca de razões iônicas.....	179
8.5.4	Avaliação da qualidade das águas com diagramas de Stiff .....	181
8.5.5	Avaliação da qualidade das águas com diagramas de Piper .....	183
8.6	Qualidade das águas para o consumo humano.....	189
8.7	Parâmetros específicos.....	194
8.7.1	Análise de Metais Pesados .....	194
8.7.2	Compostos Organoclorados e Organofosforados .....	197
8.7.3	Compostos Derivados de Petróleo .....	197
8.8	Caracterização das ocorrências de nitrato nas águas .....	200
8.9	Avaliações Isotópicas.....	211
9	RECARGA URBANA NA RMN E SEUS IMPACTOS NOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS.....	221
10	BALANÇO HIDROGEOLÓGICO DA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL .....	238



## FIGURAS

Figura 2.1. Uso e ocupação do solo na Região Metropolitana de Natal .....	5
Figura 2.2. Gráfico das áreas totais cultivadas (ha) por município da RMN .....	11
Figura 2.3. Gráfico das áreas de cultivo (ha) dos principais produtos agrícolas ...	12
Figura 3.1. Poços do cadastro nos municípios do RMN .....	22
Figura 3.2. Captação de água subterrânea nos municípios da RMN.....	22
Figura 3.3. Natureza dos poços do cadastro na Região Metropolitana de Natal ..	24
Figura 3.4. Divisão de regiões para o município de Natal.....	31
Figura 3.5. Porcentagem da demanda de água de Natal por região.....	32
Figura 3.6. Porcentagem de hotéis por região no município de Natal.....	43
Figura 4.1. Recarga natural no aquífero Barreiras .....	50
Figura 4.2. Bacias de drenagem pluvial do município de Natal .....	55
Figura 4.3. Lagoas do sistema de drenagem urbana de Natal .....	56
Figura 4.4. Imagem da área da lagoa de São Conrado .....	60
Figura 4.5. Imagens aéreas das lagoas Soledade e José Sarney .....	62
Figura 4.6. Imagem aérea da lagoa do Capim Macio RD2 .....	63
Figura 4.7. Lagoas do sistema de drenagem urbana de Parnamirim.....	67
Figura 4.8. Imagem aérea da lagoa Madre Tereza de Calcutá .....	69
Figura 4.9. Imagem aérea da localização da futura lagoa Moita Verde .....	71
Figura 4.10. Localização das lagoas do sistema de drenagem de Ceará-Mirim ...	72
Figura 4.11. Imagem aérea de Extremoz e da lagoa no C.H. Jardim de Extremoz .....	73
Figura 5.1. Imagem aérea com a localização das ETEs em Ceará-Mirim .....	81
Figura 5.2. Imagem aérea da ETE CIA Macaíba .....	82
Figura 5.3. Rede de coleta de esgotos sanitários de Natal .....	84
Figura 5.4. Localização das ETEs na Zona Norte de Natal .....	85
Figura 5.5. Localização das ETEs da Zona Leste e Oeste de Natal.....	87
Figura 5.6. Localização da ETE Liberdade em Parnamirim .....	88
Figura 5.7. Localização das ETEs em São Gonçalo do Amarante.....	90
Figura 5.8. Localização da ETE em São José de Mipibu.....	91
Figura 6.1. Fontes de contaminação pontuais nos municípios da RMN .....	99
Figura 6.2. Classificação POSH das fontes pontuais de contaminação.....	102
Figura 6.3. Fontes pontuais de contaminação (classificação POSH).....	103
Figura 6.4. Classificação POSH - indústrias .....	104

Figura 6.5. Áreas contaminadas por postos de combustíveis no município de Natal .....	109
Figura 6.6. Fontes pontuais de contaminação de elevado potencial de carga contaminante em Natal e Parnamirim .....	113
Figura 6.7. Fontes pontuais de contaminação de moderado potencial de carga contaminante em Natal e Parnamirim .....	114
Figura 6.8. Fontes pontuais de contaminação de reduzido potencial de carga contaminante em Natal e Parnamirim .....	115
Figura 6.9. Fontes difusas de contaminação (classificação POSH).....	117
Figura 7.1. Metodologia GOD para avaliação da vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação.....	122
Figura 7.2. Espessura da zona não saturada do SAB na RMN .....	124
Figura 7.3. Estratos da zona não saturada do Sistema Aquífero Barreiras na RMN .....	126
Figura 7.4. Vulnerabilidade natural à contaminação do Sistema Aquífero Barreiras na Região Metropolitana de Natal.....	128
Figura 7.5. Riscos potenciais de contaminação (fontes pontuais) do SAB na RMN .....	131
Figura 7.6. Riscos potenciais de contaminação (fontes difusas) do SAB na RMN .....	132
Figura 7.7. Localização dos poços de abastecimento público no mapa de riscos potenciais de contaminação do SAB na RMN (fontes pontuais) .....	137
Figura 7.8. Fontes pontuais de contaminação com potenciais elevado e moderado localizadas próximas aos poços de abastecimento público no município de Natal .....	138
Figura 8.1. Distribuição global das amostras na Região Metropolitana de Natal	142
Figura 8.2. Distribuição global das amostras específicas na Região Metropolitana de Natal.....	143
Figura 8.3. Gráficos de correlação dos principais íons e STD para 1ª e 2ª campanha .....	148
Figura 8.4. Histogramas 1ª campanha – SAB.....	152
Figura 8.5. Ocorrência de sólidos totais dissolvidos (STD) na Região Metropolitana de Natal .....	157
Figura 8.6. Ocorrência de cloreto (Cl-) na Região Metropolitana de Natal.....	158
Figura 8.7. Ocorrência de sódio (Na+) na Região Metropolitana de Natal.....	159
Figura 8.8. Correlação de STD X íons .....	166
Figura 8.9. Isotermos de sólidos totais dissolvidos (mg/L) na Região Metropolitana de Natal – 1ª Campanha.....	168
Figura 8.10. Isovalores de condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) na Região Metropolitana de Natal – 1ª Campanha.....	169



Figura 8.11. Isotores de cloreto – Cl <sup>-</sup> (mg/L) na Região Metropolitana de Natal – 1ª Campanha .....	171
Figura 8.12. Isotores de sódio – Na <sup>+</sup> (mg/L) na Região Metropolitana de Natal – 1ª Campanha .....	172
Figura 8.13. Isotores de potássio – K <sup>+</sup> (mg/L) na Região Metropolitana de Natal – 1ª Campanha .....	173
Figura 8.14. Isotores de cálcio – Ca <sup>+</sup> (mg/L) na Região Metropolitana de Natal – 1ª Campanha .....	174
Figura 8.15. Isotores de magnésio – Mg <sup>2+</sup> (mg/L) na Região Metropolitana de Natal – 1ª Campanha.....	175
Figura 8.16. Isotores de sulfato – SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L) na Região Metropolitana de Natal – 1ª Campanha.....	176
Figura 8.17. Isotores de bicarbonato – HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L) na Região Metropolitana de Natal – 1ª Campanha.....	177
Figura 8.18. Razões iônicas- Na/Na+Cl (meq/L) na Região Metropolitana de Natal .....	180
Figura 8.19. Localização dos diagramas de Stiff na Região Metropolitana de Natal .....	182
Figura 8.20. Diagrama de Piper com diferentes quantidades de N-NO <sub>3</sub> – aquífero Barreiras .....	184
Figura 8.21. Diagrama de Piper representativo de águas naturais – Aquífero Barreiras .....	185
Figura 8.22. Diagrama de Piper dos pontos de amostragem.....	186
Figura 8.23. Diagrama de Piper – Aquíferos Mistos, Rochas Carbonáticas, Açú e Cristalino .....	187
Figura 8.24. Zoneamento qualitativo da RMN.....	188
Figura 8.25. Distribuição das amostras de metais pesados na RMN.....	196
Figura 8.26. Distribuição das amostras de compostos organoclorados e organofosforados na RMN .....	198
Figura 8.27. Distribuição das amostras de derivados de petróleo na RMN .....	199
Figura 8.28. Ocorrência de nitrogênio nitrato (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) na Região Metropolitana de Natal.....	201
Figura 8.29. Ocorrência de nitrogênio nitrato na Região Metropolitana de Natal (1ª e 2ª Campanha) .....	203
Figura 8.30. Ocorrência de nitrogênio nitrato (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) no município de Natal...204	
Figura 8.31. Isoconcentrações de nitrogênio nitrato (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) no município de Natal – FUNCERN, 2006 .....	205
Figura 8.32. Isoconcentrações de nitrogênio nitrato (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) no município de Natal – SERVMAR 1ª Campanha, 2011 .....	206

Figura 8.33. Isoconcentrações de nitrogênio nitrato (N-NO <sub>3</sub> -) no município de Natal – SERVIMAR 2ª Campanha, 2012 .....	207
Figura 8.34. Correlação de CE x N-NO <sub>3</sub> .....	209
Figura 8.35. Gráficos de correlação de Scatter.....	210
Figura 8.36. Distribuição global das amostras de isótopos na RMN.....	213
Figura 8.37. Gráfico dos resultados de δ <sup>18</sup> O vs δ <sup>2</sup> H VSMOW.....	216
Figura 8.38. Modelo de fracionamento isotópico e do fluxo subterrâneo do SAB .....	218
Figura 9.1. Fluxograma dos cálculos da recarga urbana na RMN .....	224
Figura 9.2. Contribuições da recarga urbana no município de Natal .....	226
Figura 9.3. Contribuição da recarga urbana em Parnamirim e Macaíba.....	227
Figura 9.4. Taxas de recarga aplicadas no modelo numérico de fluxo .....	229
Figura 9.5. Mapa potenciométrico do modelo numérico de fluxo na RMN – Cenário Atual.....	230
Figura 9.6. Mapa potenciométrico do modelo numérico de fluxo na RMN – Cenário 1 .....	232
Figura 9.7. Mapa potenciométrico do modelo numérico de fluxo na RMN – Cenário 2a .....	233
Figura 9.8. Mapa potenciométrico do modelo numérico de fluxo na RMN – Cenário 2b.....	234
Figura 9.9. Mapa potenciométrico do modelo numérico de fluxo na RMN – Cenário 3a.....	235
Figura. 9.10. Mapa potenciométrico do modelo numérico de fluxo na RMN – Cenário 3b.....	236
Figura 9.11. Mapa potenciométrico do modelo numérico de fluxo na RMN – Cenário 4 .....	237
Figura 10.1. Simulação de redução da recarga urbana e ampliação da recarga pela drenagem urbana (lagoas de infiltração) em Natal e Parnamirim .....	247
Figura 10.2. Simulação de redução da recarga urbana em Natal e Parnamirim.	248
Figura 10.3. Modelo numérico das condições atuais de fluxo do SAB na RMN .	249



## TABELAS

Tabela 2.1. Perfil populacional dos municípios da Região Metropolitana de Natal em 2010 .....	6
Tabela 2.2. Crescimento populacional dos municípios da Região Metropolitana de Natal.....	6
Tabela 2.3. Perfil populacional do município de Natal .....	10
Tabela 3.1. Características dos sistemas de abastecimento público de água da RMN.....	21
Tabela 3.2. Características dos poços públicos visitados .....	26
Tabela 3.3. Avaliação dos dados de outorgas válidas - água superficial e subterrânea.....	27
Tabela 3.4. Avaliação de demanda para consumo humano em zona urbana e zona rural entre os municípios da RMN .....	29
Tabela 3.5. Avaliação de demanda para consumo humano nos municípios da RMN.....	30
Tabela 3.6. Avaliação de demanda para consumo humano nas regiões do município de Natal .....	32
Tabela 3.7. Avaliação de demanda para consumo humano nas regiões do município de Parnamirim .....	33
Tabela 3.8. Projeção de demandas futuras de água determinadas em estudos para a implantação de empreendimentos imobiliários e turísticos .....	34
Tabela 3.9. Produção pecuária municipal e demanda anual de água.....	36
Tabela 3.10. Cálculo teórico da demanda de água na irrigação da RMN .....	38
Tabela 3.11. Demanda hídrica para agricultura - cadastro de usuários.....	38
Tabela 3.12. Demanda hídrica para indústria (cadastro de usuários).....	40
Tabela 3.13. Avaliação de demanda industrial nas regiões do município de Natal .....	40
Tabela 3.14. Demanda hídrica para carcinicultura – cadastro de usuários (m <sup>3</sup> /ano) .....	41
Tabela 3.15. Demanda de água para a capacidade de hospedagem na RMN.....	42
Tabela 3.16. Demanda de água total atual e futura da RMN (m <sup>3</sup> /ano) .....	44
Tabela 3.17. Demanda de água por região de Natal (m <sup>3</sup> /ano).....	45
Tabela 4.1. Rede de drenagem urbana e taxa de permeabilidade nos municípios da RMN.....	47
Tabela 4.2. Cálculo da recarga natural nas sedes municipais da RMN .....	48
Tabela 4.3. Bacias de drenagem do Plano Diretor de Drenagem de Natal.....	54
Tabela 4.4. Lagoas dos sistemas de drenagem urbana de Natal .....	58
Tabela 4.5. Cálculo da recarga proveniente do sistema de drenagem de Natal...	65

Tabela 4.6. Lagoas do sistema de drenagem urbana de Parnamirim .....	68
Tabela 4.7. Cálculo da recarga pela drenagem urbana de Parnamirim .....	71
Tabela 4.8. Lagoas de retenção do sistema de drenagem de Ceará-Mirim.....	72
Tabela 4.9. Cálculo da recarga pela drenagem urbana de Ceará-Mirim.....	73
Tabela 4.10. Cálculo da recarga pela drenagem urbana de Extremoz .....	74
Tabela 5.1. Dados do atendimento de esgotamento sanitário na RMN .....	76
Tabela 5.2. Dados sobre a disposição de esgotos sanitários na RMN .....	77
Tabela 5.3. Dados sobre a disposição de esgotos sanitários em Natal .....	78
Tabela 5.4. Infraestrutura dos sistemas de esgotamento sanitário na RMN .....	80
Tabela 5.5. Cálculo do esgoto produzido na RMN (m <sup>3</sup> /ano) .....	92
Tabela 5.6. Cálculo da recarga urbana relativa ao esgotamento sanitário (m <sup>3</sup> /ano) .....	94
Tabela 6.1. Fontes pontuais de contaminação e classificação POSH .....	101
Tabela 6.2. Fontes de contaminação pontuais e classificação POSH adaptada	101
Tabela 6.3. Características das lagoas de efluentes (CAERN).....	105
Tabela 6.4. Características dos depósitos de resíduos sólidos cadastrados .....	107
Tabela 6.5. Fontes de contaminação difusas e classificação POSH .....	116
Tabela 6.6. Densidade populacional nas sedes municipais .....	119
Tabela 7.1. Índices adotados para a espessura da zona não saturada (D) .....	124
Tabela 7.2. Índices adotados para os estratos da zona não saturada (O).....	125
Tabela 7.3. Vulnerabilidade natural à contaminação do Sistema Aquífero Barreiras pelo método GOD na RMN .....	127
Tabela 7.4. Definição prática das classes de vulnerabilidade do aquífero .....	129
Tabela 7.5. Áreas com altos riscos de contaminação na RMN .....	135
Tabela 8.1. Distribuição global das amostras coletadas por município e por aquífero para parâmetros hidroquímicos - executado em outubro e novembro/2011 .....	140
Tabela 8.2. Distribuição global das amostras coletadas por município, por aquífero e por tipo de análise - fevereiro e março / 2012 .....	141
Tabela 8.3. Dados referentes ao parâmetro, frascaria e preservação .....	144
Tabela 8.4. Métodos de análise (mg/L) .....	146
Tabela 8.5. Variação de resultados N- NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .....	147
Tabela 8.6. Variação de resultados K <sup>+</sup> .....	147
Tabela 8.7. Estatísticas do parâmetros hidroquímicos nas amostras de água do aquífero Barreiras - 1ª Campanha .....	151
Tabela 8.8. Classificação das águas quanto à salinidade de acordo com o STD .....	153

Tabela 8.9. Classificação das águas quanto à dureza.....	153
Tabela 8.10. Estatísticas do parâmetros físico-químicos nas amostras de água do aquífero Barreiras - 2ª Campanha .....	156
Tabela 8.11. Estatísticas dos parâmetros hidroquímicos nas amostras de águas superficiais - 1ª Campanha .....	160
Tabela 8.12. Estatísticas dos parâmetros hidroquímicos nas amostras de águas superficiais - 2ª Campanha .....	162
Tabela 8.13. Resultados dos principais parâmetros em aquíferos Mistos, Rochas Carbonáticas, Açú e Cristalino - 1ª Campanha .....	163
Tabela 8.14. Coeficiente correlação.....	165
Tabela 8.15. Coeficiente de variação (r) e os respectivos graus de correlação ..	165
Tabela 8.16. Qualidade de água para consumo humano – Portaria MS nº2914/2011 .....	190
Tabela 8.17. Resultados químicos para metais pesados.....	195
Tabela 8.18. Compostos agroquímicos analisados.....	197
Tabela 8.19. Resultados das análises isotópicas.....	215
Tabela 9.1. Memória de cálculo da Recarga Urbana na RMN.....	225
Tabela 10.1. Suprimento de água e as demandas atual e futura na RMN.....	241
Tabela 10.2. Dados do balanço hidrogeológico do SAB na Região Metropolitana de Natal.....	242
Tabela 10.3. Avaliação do comprometimento da potencialidade do SAB a RMN* .....	244

## **FOTOS**

Foto 01. Poço sem laje de proteção e sem cerca .....	26
Foto 02. Poço cercado e sem laje de proteção .....	26
Foto 03. Poço com tampa e com laje de proteção .....	26
Foto 04. Poço com laje de proteção, cercado e sem tampa .....	26
Foto 05. Vista da Lagoa de São Conrado .....	61
Foto 06. Vista Lateral da lagoa do Capim Macio RD2 .....	63
Foto 07. Vista da lagoa Madre Tereza de Calcutá .....	69
Foto 08. Vista da lagoa de Emaus .....	70
Foto 09. Vista do interior da futura lagoa Moita Verde em obras .....	70
Foto 10. Vista lateral da lagoa de aeração – ETE CIA Macaíba .....	81
Foto 11 e 12. Vistas da ETE Novo Horizonte.....	82
Foto 13. Vista parcial da ETE Quintas I/CIAT na Zona Oeste de Natal .....	85
Foto 14. Vista parcial da ETE Quintas II na Zona Oeste de Natal .....	86
Foto 15. Vista parcial da ETE Aerada km 6 na Zona Oeste de Natal .....	86
Foto 16. Vista geral da ETE do Baldo na Zona Leste de Natal.....	87
Foto 17. Vista do tanque de tratamento da ETE Liberdade .....	89
Foto 18. Vista parcial das instalações da ETE Liberdade em Parnamirim.....	89
Foto 19. Vista parcial da ETE em São José de Mipibu .....	91
Fotos 20 e 21. Instalações de torneiras e monitoramento de parâmetros físico-químicos.....	145
Fotos 22 e 23. Frascos PET e preservação <i>in situ</i> com HNO <sub>3</sub> .....	145

## **VOLUMES**

Volume 1 – Avaliação Hidrogeológica

Volume 2 – Avaliação da Urbanização e de Outras Atividades Antrópicas Impactantes nas Águas Subterrâneas

Volume 3 – Estratégias de Manejo Sustentável das Águas Subterrâneas

Volume 4 – Apêndices

Volume 5 – Mapas na escala 1:100.000

## 1 INTRODUÇÃO

O presente relatório, elaborado pela Servmar Serviços Técnicos Ambientais Ltda., corresponde ao Relatório Final dos Estudos Hidrogeológicos para a Orientação do Manejo das Águas Subterrâneas da Região Metropolitana de Natal (RMN), contratado pela Agência Nacional de Águas – ANA (Contrato N° 002/2011).

As atividades relativas aos estudos hidrogeológicos foram desenvolvidas no período de 21 de fevereiro de 2011 a 21 de maio de 2012, portanto durante 15 meses, e os resultados obtidos e aprovados foram compilados neste relatório final, em cinco volumes.

Este Volume 2, “Avaliação da Urbanização e de Outras Atividades Antrópicas Impactantes nas Águas Subterrâneas da RMN”, apresenta as atividades executadas, os dados obtidos, as discussões, as interpretações e os resultados alcançados sobre os seguintes temas:

*Atividades Relativas ao Uso e à Ocupação do Solo na RMN:* apresenta e discute as informações sobre o assunto, obtidas através do levantamento nos órgãos gestores, nos planos diretores municipais e nas atividades de campo, incluindo a representação cartográfica do uso e ocupação do solo.

*Atividades Relativas ao Suprimento e Demanda de Água:* efetua a descrição das infraestruturas hídricas que constituem os sistemas de abastecimento de água da RMN, calcula os volumes de suprimento, discute a eficiência e as perdas de água dos sistemas e apresenta a estimativa da demanda de água atual e as projeções das demandas futuras.

*Atividades Relativas ao Sistema de Drenagem Urbana:* apresenta o cadastramento e a descrição das infraestruturas que constituem os sistemas de drenagem urbana das sedes municipais da RMN, debate os efeitos da impermeabilização dos terrenos e efetua uma análise crítica da eficiência, abrangência e da influência desses sistemas nas águas subterrâneas do SAB.

*Atividades Relativas ao Esgotamento Sanitário:* efetua a caracterização do modelo de afastamento e destinação de esgotos nas sedes municipais da RMN, estima o volume de esgoto produzido na RMN, apresenta o cadastramento das infraestruturas dos sistemas de esgotamento sanitário e realiza uma análise crítica da eficiência e da abrangência desses sistemas.

*Cadastro das Fontes Potenciais de Contaminação das Águas Subterrâneas:* apresenta o cadastramento das fontes potenciais de contaminação, realizado a partir de levantamentos em diversos bancos de dados e de atividades de campo;

promove a classificação do potencial contaminador das fontes cadastradas e elabora a representação cartográfica desse tema.

*Vulnerabilidade e Riscos Potenciais de Contaminação das Águas Subterrâneas da RMN:* elabora a representação cartográfica do tema, discutindo os conceitos, premissas e metodologias utilizadas na determinação da vulnerabilidade à contaminação do SAB e, com a sobreposição dos dados de fontes potenciais de contaminação, apresenta e discute os riscos de contaminação das águas subterrâneas.

*Coleta e Análise de Amostras de Água:* apresenta as metodologias, os materiais e os equipamentos de amostragem das águas, bem como os métodos analíticos, os parâmetros analisados e as especificações sobre preservação, validade e limites de detecção das análises químicas, além de uma avaliação e a consistência dos resultados analíticos.

*Interpretação dos Resultados das Análises, Contaminação das Águas Subterrâneas e Elaboração de Mapas de Zoneamento Hidrogeoquímico:* desenvolve a interpretação sobre a qualidade natural das águas, as ocorrências de nitrato, as eventuais ocorrências de outras contaminações e a caracterização isotópica no sentido de criar dados que auxiliam o entendimento do modelo conceitual dos aquíferos e geram indicadores de qualidade voltados à gestão do uso e proteção das águas subterrâneas.

*Recarga Urbana na RMN e Seus Impactos nos Recursos Hídricos Subterrâneos:* apresenta as definições, conceitos e premissas aplicados no desenvolvimento dos cálculos da recarga urbana, bem como as avaliações dos efeitos nas águas subterrâneas frente à variação do volume da recarga urbana, simulados a partir de modelo numérico bidimensional do SAB.

*Balanço Hidrogeológico na RMN:* apresenta uma avaliação quantitativa do SAB na RMN, baseado no modelo hidrogeológico conceitual, no dimensionamento das reservas, recargas e volumes explorados, em comparação com as demandas de água atual e futuras, considerando também os possíveis efeitos nas potencialidades do SAB, mediante a eliminação da recarga urbana.

## **2 ATIVIDADES RELATIVAS AO USO E A OCUPAÇÃO DO SOLO**

O uso e ocupação do solo deve ser regulado por uma política de desenvolvimento urbano sustentável, prerrogativa constitucional do município, que cria, através de um plano diretor, um instrumento básico para desempenhar o papel de orientação do desempenho dos agentes públicos e privados para gestão do espaço urbano. Este plano objetiva o pleno desenvolvimento das funções sociais e ambientais da cidade e da propriedade, garantindo o uso socialmente justo e ecologicamente equilibrado do seu território.

Os municípios que compõem a Região Metropolitana de Natal - RMN possuem seus planos diretores visando preservar, proteger e recuperar o meio-ambiente e a paisagem urbana, para garantir o equilíbrio dos recursos naturais e a qualidade de vida para os seus habitantes. Isto sem deixar de compatibilizar o fomento à atividade econômica sustentável em harmonia com a proteção ao patrimônio histórico e cultural das cidades. No caso da RMN, devido à disponibilidade e importância da água subterrânea, seu manejo e proteção possui uma relação sensível e diretamente influenciada pelo modelo de uso e ocupação do solo. No caso do município de Natal a taxa de impermeabilização que é o índice que se obtém dividindo-se a área que não permite a infiltração de água pluvial pela área total do lote é de 80% segundo a Lei Complementar 82/07 – Plano Diretor de Natal. Este tipo de legislação influencia diretamente a recarga urbana do aquífero. Além disso, as atividades que são desenvolvidas em superfície podem produzir, manipular e concentrar compostos químicos que podem, em condições específicas, atingir os aquíferos e contaminar as águas subterrâneas. Por essa razão, esse estudo objetivou o levantamento e a compilação de informações acerca do uso e ocupação do solo na Região Metropolitana de Natal.

O desenvolvimento desta atividade considerou como fonte de informações o mapa de uso e ocupação do solo disponibilizado pelo IDEMA – Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte, com base nos dados do ano de 1996. O refinamento e atualização das informações foram conduzidos por diversos métodos, destacando-se a aerofotointerpretação, levantamento de dados em instituições dos setores produtivos e órgãos públicos, além de mapeamento em campo.

A aerofotointerpretação foi realizada pela correlação de padrões de textura do terreno, baseada no conhecimento prévio da ocupação, sendo importante, sobretudo, para a identificação de áreas cultivadas, matas e delineamento das zonas de expansão urbana.



Os trabalhos de campo objetivaram a confirmação das interpretações realizadas nas imagens e aerofotografias, bem como a identificação e localização das áreas de interesse. Nesta etapa, as áreas de interesse foram cadastradas, fotografadas e georreferenciadas.

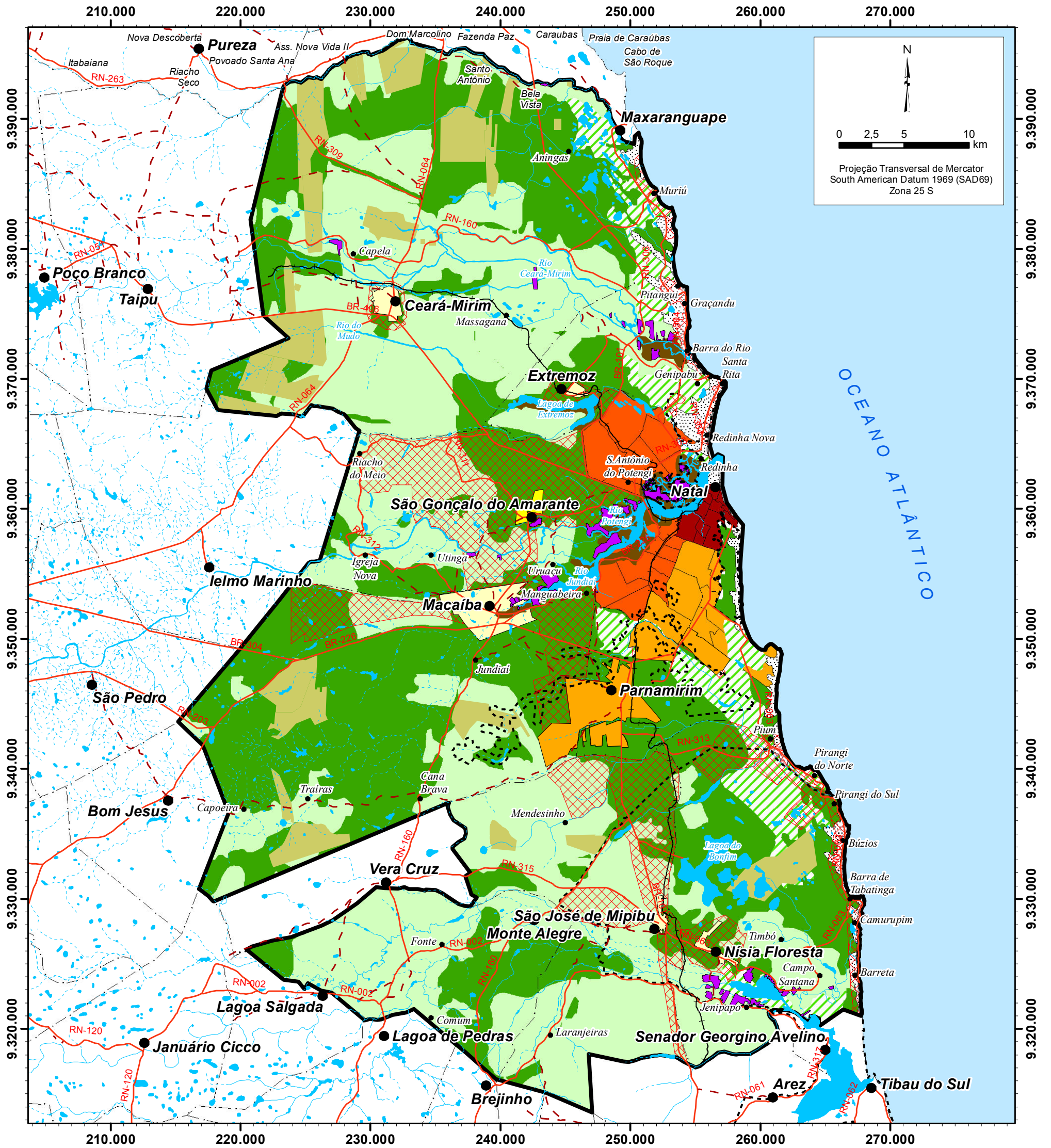
O mapa de uso e ocupação produzido a partir desse levantamento está apresentado na **Figura 2.1** delineando as áreas de interesse de acordo com as seguintes identificações:

- Zonas de expansão urbana - áreas previstas e definidas nos Planos Diretores municipais;
- Área desapropriada para assentamentos - definidas pelo INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária);
- Carcinicultura - viveiros de criação de camarão dispostos próximos e um ao lado do outro;
- Vegetação - conjunto de espécies de plantas nativas de um determinado local e caracterizado pelo clima;
- Mata - quaisquer ocorrências de vegetação nativa ou cultivada em geral de grande porte e densamente vegetada;
- Mangue - área de ocorrência de manguezais;
- Dunas - cordões dunares não ocupados;
- Agricultura (diversos) - áreas agrícolas com plantações de culturas diversificadas, e;
- Áreas protegidas - corresponde às APAs e Parques da RMN.

Para uma melhor caracterização dos municípios estudados, foram determinados intervalos de densidades demográficas em hab/km<sup>2</sup> para classificar as áreas urbanas e, especificamente no município de Natal, as regiões norte, sul, leste e oeste também foram classificadas separadamente em cores gradacionais (**Figura 2.1**).

A importância em avaliar o modelo de ocupação urbana leva em conta, principalmente, a potencial contaminação das águas subterrâneas por nitrato proveniente dos esgotos sanitários. Desse modo, a quantidade de habitantes, a densidade demográfica e o desenvolvimento de aglomerados urbanos possuem elevada relevância neste estudo.

A análise da ocupação da área de estudo considerou dados populacionais, bem como, através do perfil de ocupação, utiliza os dados de densidades demográficas e taxas de população nas sedes municipais e na zona rural. A seguir serão discutidos esses aspectos, que permitem caracterizar o nível de desenvolvimento urbano da região.



Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM

Localização da área de estudo



**Uso e Ocupação do Solo**

- Zona de Expansão Urbana
- Área desapropriada para assentamentos
- Carcinicultura
- Vegetação
- Mata
- Mangue
- Dunas
- Agricultura (diversos)
- Áreas protegidas

**Densidade Populacional (km<sup>2</sup>/hab)**

- < 300
- 301 - 1500
- 1501 - 4000
- 4001 - 6000
- > 6000

**Convenção Cartográfica**

- Sedes municipais
- Povoados e assentamentos
- Ferrovia
- Estradas pavimentadas
- Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Limites municipais
- Área de estudo

**Figura 2.1. Uso e ocupação do solo da Região Metropolitana de Natal**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL



A **Tabela 2.1** apresenta os dados populacionais dos municípios da RMN, com base no censo do IBGE (2010).

<b>Tabela 2.1. Perfil populacional dos municípios da Região Metropolitana de Natal em 2010</b>					
<b>Município</b>	<b>População Total</b>	<b>População Urbana (sede)</b>	<b>Taxa população urbana (%)</b>	<b>População Rural</b>	<b>Taxa população rural (%)</b>
Natal	803.739	803.739	100	0	0
Parnamirim	202.456	202.456	100	0	0
S. Gonçalo do Amarante	87.668	74.099	84,5	13.569	15,5
Macaíba	69.467	42.631	61,4	26.836	38,6
Ceará-Mirim	68.141	35.494	52,1	32.647	47,9
S. José de Mipibu	39.776	18.232	45,8	21.544	54,2
Extremoz	24.569	15.769	64,2	8.800	35,8
Nísia Floresta	23.784	9.380	39,4	14.404	60,6
Monte Alegre	20.685	9.002	43,5	11.683	56,5
<b>Total</b>	<b>1.340.285</b>	<b>1.210.802</b>	<b>89,3</b>	<b>129.483</b>	<b>10,7</b>

Fonte: IBGE, 2010

A **Tabela 2.2** apresenta uma comparação dos dados censitários do IBGE (2000 e 2010), na qual é possível observar as taxas de crescimento populacional, a área e a densidade demográfica no período para os municípios da RMN.

<b>Tabela 2.2. Crescimento populacional dos municípios da Região Metropolitana de Natal</b>					
<b>Município</b>	<b>População em 2000</b>	<b>População em 2010</b>	<b>Taxa de Crescimento (%)</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Densidade Demográfica (hab/km<sup>2</sup>)</b>
Natal	712.317	803.739	12,83	167,160	4.808,20
Parnamirim	124.690	202.456	62,36	123,589	1.638,14
S. Gonçalo do Amarante	69.435	87.668	26,25	249,122	351,91
Macaíba	54.883	69.467	26,57	510,753	136,01
Ceará-Mirim	62.424	68.424	9,61	724,377	94,07
S. José de Mipibu	34.912	39.776	12,18	290,329	137,00
Extremoz	19.572	24.569	25,53	139,569	176,03
Nísia Floresta	19.040	23.784	24,91	307,839	77,26
Monte Alegre	18.874	20.685	9,56	211,341	97,87

Fonte: IBGE, 2000 e 2010

Apesar de cada município possuir suas peculiaridades no modelo de ocupação territorial, pode-se agrupar dois conjuntos de municípios estudados com base no nível de desenvolvimento urbano, sendo um grupo que inclui Natal e Parnamirim e, no outro grupo, os demais municípios da RMN. A seguir serão debatidas algumas características da ocupação dos municípios relevantes nas avaliações sobre a influência da urbanização no uso e proteção das águas subterrâneas, discutida em fases específicas desse estudo.

Em Natal não existe zona rural, toda a extensão do município é dada como zona urbana (**Tabela 2.1**), sendo que existe algum tipo de ocupação em cerca de 70%. Os quase 50 km<sup>2</sup> não ocupados correspondem a algumas áreas protegidas como a unidade de conservação do Parque das Dunas, algumas zonas de proteção como o Morro do Careca e a Área de Preservação Permanente (APP) dos manguezais às margens do rio Potengi, além da ocupação dos hortigranjeiros na zona norte e de poucas regiões ainda não urbanizadas da cidade. O nível de urbanização em Natal é bastante elevado, apresentando a maior densidade populacional de toda a região (**Tabela 2.2**) e com modelo diversificado e adensado de ocupação.

No município de Parnamirim a situação se assemelha a Natal, sendo toda a extensão considerada urbana (**Tabela 2.1**), porém com níveis inferiores de desenvolvimento urbano. Esse também possui como áreas não ocupadas, extensas faixas territoriais de unidades de conservação que, neste caso, representam quase 60% da área do município e adensamento populacional na sede com a segunda maior densidade populacional da região. No entanto, em Parnamirim, existe também outro adensamento populacional na região litorânea, formando um aglomerado urbano distante da sede.

Esses dois são os municípios mais populosos da região estudada, sendo que a capital do estado representa 60% da população total da área estudada e ambos detêm 83% da população total atual (**Tabela 2.1**).

São Gonçalo do Amarante possui a terceira maior população, assim como a densidade demográfica (**Tabela 2.1** e **Tabela 2.2**). No entanto, possui uma ocupação dispersa no território do município, propiciando um baixo desenvolvimento da sede com frentes de ocupação e de adensamento urbano em direção aos limites com o município de Natal. Essa característica da ocupação de São Gonçalo do Amarante dificulta as avaliações que dependem de segregar aspectos específicos à zona urbana, pois a sede do município não representa um aglomerado urbano representativo de toda a população urbana. A população rural corresponde a 15,5% do total de habitantes e sua ocupação é observada em uma porção significativa da área deste município, principalmente na direção sul e oeste da sede.

O município de Macaíba possui um nível de desenvolvimento urbano moderado, relativamente à RMN, sobretudo, devido ao importante polo industrial instalado na cidade. Esse município possui a quarta maior população da região e tem uma sede representativa da população urbana que corresponde a mais de 60% dos habitantes do município (**Tabela 2.1** e **Tabela 2.2**), sendo que a ocupação da população rural é observada principalmente a oeste e sul da sede.



Os demais municípios da RMN, Ceará Mirim, Extremoz, Monte Alegre, Nísia Floresta e São José de Mipibu, possuem características de ocupação semelhantes, com baixo nível de desenvolvimento urbano, sedes urbanas com pequenas extensões territoriais e, em geral, com elevado índice de população rural, provocando um espalhamento de pequenos aglomerados populacionais, dispersos na área do município.

As características de infraestrutura sanitária desses municípios também influenciam no potencial de contaminação das águas subterrâneas e ainda serão abordadas em capítulos específicos deste relatório (Capítulos 3 a 5), onde também estarão demonstradas as estações de tratamento e destino de efluentes.

Nos municípios onde há uma concentração maior de pessoas, os problemas que envolvem contaminação pela ausência de saneamento básico se agravam, uma vez que a carga urbana de contaminação por nitrato é mais elevada. A **Figura 2.1** mostra as diferentes densidades demográficas diferenciadas por cores de acordo com intervalos pré-determinados. Esta figura permite observar que a população de Natal, município mais populoso e com maior densidade urbana, está concentrada na região litorânea e ao longo do rio Potengi.

Apesar de as outras oito sedes da RMN situarem-se no interior do estado, a região litorânea possui importante ocupação antrópica, pois é onde se localizam os empreendimentos turísticos e pequenos povoados, devido à beleza natural das praias da região e sua vocação turística.

Desse modo, a ocupação litorânea é intensa entre os municípios estudados e ocorre, em geral, sobre os depósitos de dunas que, por suas características físicas, facilitam a contaminação das águas subterrâneas, em relação a outros tipos de terrenos, conforme é debatido no capítulo sobre vulnerabilidade dos terrenos à contaminação.

O interior da área estudada caracteriza-se pela presença das sedes, de alguns distritos municipais e propriedades rurais que possuem pequenos aglomerados urbanos, povoados e assentamentos. Esse modelo de ocupação alterou significativamente a cobertura vegetal nativa da região que foi substituída pela ocupação antrópica ou pelas áreas de cultivo (**Figura 2.1**).

As atividades econômicas que se intensificam na região estudada são principalmente a ocupação urbana para fins turísticos e a agricultura irrigada, conflitando com a disponibilidade hídrica superficial e subterrânea, além de deficiências na infraestrutura. Na região litorânea, o processo de ocupação urbana vem ocorrendo de forma intensa, o que traz uma pressão antrópica muito

forte sobre a paisagem, principalmente nos ecossistemas de Dunas Costeiras (SERHID, 1998a).

Conforme mostra a **Tabela 2.2**, Natal, apesar de ser o maior município da RMN, não foi o que mais cresceu nos últimos 10 anos, apresentando apenas a quinta maior taxa de crescimento entre os nove municípios estudados, dado que mostra como Natal praticamente não possui zona de expansão urbana, tendo a verticalização como única opção para o aumento do número de habitantes na cidade. Parnamirim foi o município onde houve o maior crescimento demográfico, com uma taxa de 62,36% em 10 anos, devido, principalmente, à expansão imobiliária local, além do aumento do turismo em suas praias.

São Gonçalo do Amarante, Macaíba, Extremoz e Nísia Floresta obtiveram crescimento semelhante, em torno de 25%, e o município que menos cresceu de 2000 para 2010 foi Monte Alegre (**Tabela 2.2**). Este último inclusive é o que possui o menor número de habitantes entre todos os municípios estudados.

As taxas de crescimento identificadas nos últimos 10 anos podem não refletir a realidade de incremento da população dessa região para as próximas décadas. Levantamentos realizados em relatórios sobre estudos para a implantação de empreendimentos turísticos e imobiliários preveem expansões urbanas muito superiores às existentes na atualidade. Destacam-se os dados obtidos no RIMA do empreendimento Polo Turismo Ecológico e Aventura de Pitangui Jacumã, a ser instalado em Extremoz e Ceará-Mirim, que aponta um crescimento populacional que supera o dobro da soma dos habitantes destes municípios para os próximos 10 anos. Esses dados serão apresentados no capítulo relacionado ao suprimento e demanda de água deste relatório.

No município de Natal as densidades também foram calculadas por região com o intuito de demonstrar as diferentes concentrações de habitantes na capital do Rio Grande do Norte, conforme mostra a **Tabela 2.3**.

A **Tabela 2.3** mostra que as regiões norte e oeste concentram 65% da população total do município. A região norte, onde está a maior população da cidade, não apresenta a maior densidade demográfica, pois possui área mais extensa. Assim, a região leste, mesmo com a menor população do município é a região que apresenta maior densidade demográfica, pois esta também é a região que possui a menor área.

Tabela 2.3. Perfil populacional do município de Natal			
Regiões	População total em 2010	Área (km <sup>2</sup> )	Densidade demográfica (hab/km <sup>2</sup> )
Norte	319.679	58,89	5.428,87
Oeste	204.844	35,76	5.728,48
Sul	166.491	45,7	3.643,04
Leste	112.725	16,15	6.981,17
Parque das Dunas	0	10,67	0
Total	803.739	167,16	4.808,20

Fonte: NATAL, 2010

A expansão urbana também está prevista e as áreas são definidas nos Planos Diretores municipais. Esse cenário ocorre em todos os municípios estudados que definem zonas de expansão urbana (ZEU) de suas sedes municipais, as quais estão apresentadas na **Figura 2.1**, com exceção de Natal.

A **Figura 2.1** apresenta também a indicação de áreas vegetadas e as matas, a ocupação com carcinicultura, as dunas, mangues e outras ocupações ou tipificação de terreno com interesse a esse estudo.

As regiões onde ocorrem as maiores áreas de vegetação nativa são a sudoeste da sede de Macaíba, ao redor da sede de Parnamirim e a norte de Ceará-Mirim, no limite da área estudada, onde aparecem, em geral, alteradas em algum nível pela ação antrópica (**Figura 2.1**).

Nesta figura ainda foram listadas as áreas protegidas da Região Metropolitana de Natal, são elas:

- APA Bonfim-Guarairas, localizada a sul da área estudada, envolvendo parte de Nísia Floresta e São José do Mipibu;
- Faixa de Proteção Ambiental do Rio Pitimbu, no município de Parnamirim;
- Parque das Dunas, na região litorânea de Natal;
- Parque da Cidade, na região centro oeste de Natal;
- Parque dos Mangues, no entorno do Rio Potengi, e;
- APA de Genipabu, na região litorânea de Extremoz e a norte de Natal.

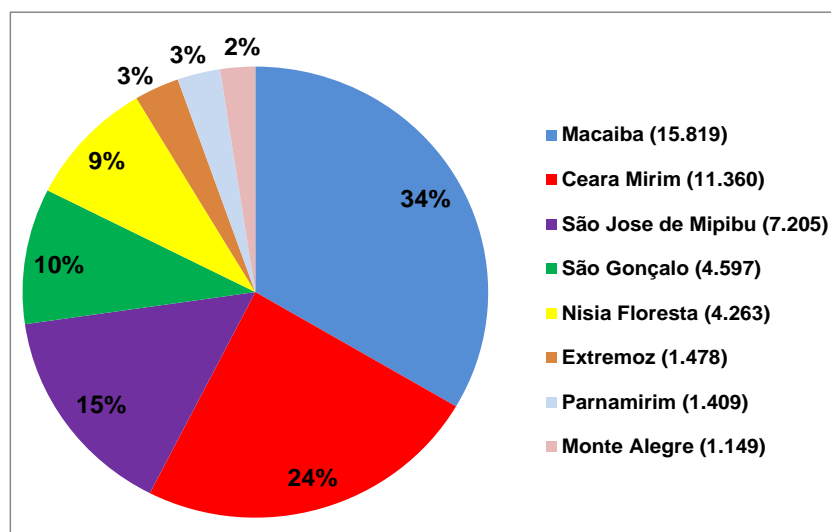
A Área de Proteção Ambiental (APA) é um tipo de unidade de conservação classificada na categoria de uso sustentável dos recursos naturais, que caracteriza áreas onde são permitidas a ocupação e exploração dos recursos naturais, porém com normas específicas que assegurem a proteção da unidade. Assim, se destacam por serem unidades de gestão integradas que buscam o desenvolvimento sustentável, procurando ligar a conservação e a recuperação ambiental com as necessidades humanas.



Os parques constituem unidades de conservação destinadas à proteção integral de áreas representativas de ecossistemas, cuja finalidade é resguardar os atributos da natureza com a proteção integral da flora, fauna e belezas naturais. Portanto, são áreas destinadas para fins de conservação, pesquisa e turismo que podem ser criadas no âmbito nacional, estadual ou municipal em terras de seu domínio ou que devem ser desapropriadas para este fim. Esta categoria de manejo é a mais apropriada para a proteção da biodiversidade.

Além dos dados relativos à ocupação urbana e os respectivos efeitos à qualidade das águas subterrâneas, a agricultura também é uma atividade de interesse ao estudo, devido à mudança de uso do solo e ao uso de fertilizantes e pesticidas que são fontes de contaminação ao solo e às águas subterrâneas. A extensão das áreas agrícolas e os métodos de utilização dos produtos químicos no processo de cultivo conferem a característica de potenciais fontes dispersas de contaminação a toda área cultivada.

A partir dos dados de Produção Agrícola Municipal de 2008 do IBGE, foi elaborada a **Figura 2.2** apresentando a extensão territorial destinada à agricultura em cada município da RMN, onde podemos observar que não há área cultivada em Natal.



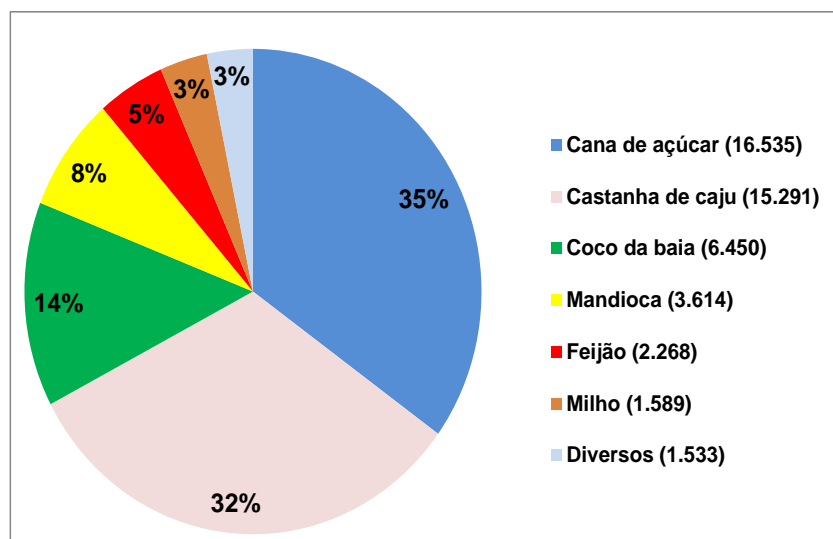
**Figura 2.2. Gráfico das áreas totais cultivadas (ha) por município da RMN**

Os dados do IBGE (2008) também permitiram identificar o perfil das culturas existentes na área de estudo. Desse modo, a **Figura 2.3** apresenta os principais produtos agrícolas da Região Metropolitana de Natal e as respectivas áreas cultivadas.

A região estudada caracteriza-se por apresentar culturas diversificadas, tendo como principais plantios, em extensão de área cultivada, a cana de açúcar e a castanha de caju, responsáveis por aproximadamente 70% de toda a área

agrícola da RMN. Destacam-se ainda as plantações de coco da baía, que ocupa 14% da área cultivada na região estudada, seguida de mandioca, com 8%, feijão, com 5% e milho, com 3%.

Pode-se observar que o cultivo de frutas não é muito significativo na região, pois está contemplado no cultivo de diversos, que abrange 3% da área colhida total e engloba plantações de banana, mamão, manga, abacaxi, laranja, abacate, goiaba, tangerina, maracujá e limão (IBGE, 2008). Nos diversos também se destacam a produção de verduras, leguminosas e batata-doce.



**Figura 2.3. Gráfico das áreas de cultivo (ha) dos principais produtos agrícolas**

Segundo os dados do IBGE, 2008, o cultivo de cana de açúcar destaca-se nos municípios de Ceará-Mirim e São José do Mipibu, que representam 48% e 27% da área colhida desta atividade, respectivamente. O cultivo de castanha de caju na RMN é observado principalmente em Macaíba.

Este estudo buscou a identificação do uso de agroquímicos e pesticidas relacionados aos principais produtos agrícolas cultivados na RMN. Em consulta à página da Embrapa (2012) na internet foi possível verificar a indicação de uso de agroquímico para controle de pragas nas culturas de milho, feijão e mandioca, porém não há menção do grupo químico dos produtos, sendo apenas debatida a forma de aplicação e os cuidados na manipulação.

O mapeamento das culturas agrícolas permitirá o direcionamento de estudos relativos à avaliação de eventuais influências dessas atividades na qualidade das águas subterrâneas. Desse modo, serão contemplados pontos de amostragens das águas subterrâneas, posicionados próximos às áreas de cultivos, visando à coleta de amostras de água subterrânea.

### **3 ATIVIDADES RELATIVAS AO SUPRIMENTO E DEMANDA DE ÁGUA**

Para facilitar a elaboração deste item, o mesmo foi subdividido em dois subitens, um que descreve o abastecimento de água nos municípios da Região Metropolitana de Natal e outro em que é analisada a demanda de água para os diversos usos na área estudada.

#### **3.1 Suprimento de água na Região Metropolitana de Natal**

As atividades relativas ao suprimento de água iniciam-se pela captação da água bruta para sua distribuição até os consumidores, em quantidade suficiente para suas necessidades. O sistema de abastecimento de água pode ser dimensionado para pequenas populações ou grandes metrópoles, dependendo das necessidades locais.

Entre os municípios da Região Metropolitana de Natal, o suprimento de água é realizado por diversificada rede de abastecimento, dotadas de poços públicos, privados e captações superficiais. Este item tem o objetivo de avaliar a eficiência dos sistemas de captação em termos de produção, distribuição, proteção e qualidade das águas na RMN.

O abastecimento de água à população, de um modo geral, ocorre a partir de sistemas públicos de distribuição de água. Nas sedes municipais, distritos e comunidades o fornecimento de água é realizado pela CAERN (Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte) ou respectivo SAAE municipal (Sistema Autônomo de Água e Esgoto).

Neste item será descrito como é efetuado o abastecimento público de água em cada município estudado e os volumes de água produzidos pelas companhias, onde levamos em consideração tanto os poços que fazem parte do sistema de abastecimento, gerenciados pela CAERN ou SAAEs, bem como os poços que são públicos e não contemplam o sistema de abastecimento, neste caso os poços localizados em órgãos e instituições públicas, bases do exército, poços para irrigação de canteiros e jardins públicos e poços compartilhados em comunidades ou assentamentos, ou seja, construídos pelo estado nestes povoados e gerenciados pela própria comunidade.

Os dados relativos ao suprimento e quantidades de água produzida para suprir as demandas de abastecimento público, efetuado pela CAERN e SAAEs, e a produção dos poços particulares foram obtidos conforme método utilizado para elaboração do capítulo relacionado à potencialidade e recursos explorados de água subterrânea.

Neste método, a estimativa do volume de água subterrânea explorado nos municípios foi obtida com base no regime de operação dos poços e da avaliação do cadastro compilado, utilizando os dados disponíveis sobre os tipos de uso, os perfis de consumo da água subterrânea e as vazões de exploração dos poços.

Assim, o desenvolvimento deste item traz dois números muito importantes para este estudo. A discussão das atividades relativas ao suprimento de água para a população permite calcular o volume de água explorada do manancial subterrâneo e as perdas dos sistemas públicos de distribuição de água representam um volume de água que é recarregado diretamente para o aquífero.

Conforme abordado no capítulo relacionado à potencialidade e recursos explorados de água subterrânea, para a execução do cálculo de recarga urbana as disponibilidades correspondem aos recursos de águas subterrâneas explorados ou o volume de água disponibilizado pela infra-estrutura hídrica instalada. Portanto, neste capítulo, o volume de água explorado por poços privados nos municípios e o volume de água disponibilizado pelos serviços públicos de abastecimento, que inclui água subterrânea e superficial, foram abordados como disponibilidade.

O prestador de serviços responsável pelo abastecimento de água em Ceará-Mirim é o SAAE (Sistema Autônomo de Água e Esgoto), utilizando somente água subterrânea, através de 42 poços tubulares ativos atualmente com profundidade média de 53 m, sendo seis localizados na sede, oito no entorno da Lagoa de Extremoz e 28 localizados em comunidades e distritos da zona rural do município, que juntos produzem 5.540.700 m<sup>3</sup>/ano. Entre os poços que apresentam perfil litológico e construtivo, um poço explora água do Arenito Calcífero, dois do Aquífero Barreiras junto com Carbonato Cretáceo e 26 exploram água exclusivamente do Aquífero Barreiras.

Os outros poços públicos produzem 2.297.675 m<sup>3</sup>/ano e os poços privados 9.072.805 m<sup>3</sup>/ano, totalizando 16.911.180 m<sup>3</sup>/ano de água para suprir as demandas de Ceará-Mirim. Cabe ressaltar, que a alta produção dos poços particulares se justifica pela demanda para irrigação das plantações de cana-de-açúcar devido às usinas e indústrias de destilados instaladas neste município.

Em São Gonçalo do Amarante, o SAAE é o principal responsável pela distribuição de água para população e atua em 23 localidades da área municipal, somente com a exploração de água subterrânea através de 70 poços operando atualmente, com 12 localizados na sede, que abastecem cinco reservatórios, e o restante em comunidades e distritos. Conforme mostra o cadastro, os poços possuem profundidade média de 44 m e todos exploram água do Aquífero Barreiras, exceto um poço cujo filtro está instalado no Arenito Calcífero (poço

SGA0462), e produzem um total de 4.020.840 m<sup>3</sup>/ano de água para abastecer a população.

Nas comunidades de Jardim Lola e Conjunto Novo Amarante essa prestação de serviços é de responsabilidade da Companhia de Água e Esgoto do Rio Grande do Norte (CAERN) através de dois poços. Ainda existem zonas rurais que, por não estarem interligadas aos sistemas operados pela CAERN ou SAAE, são abastecidas por poços tubulares próprios, construídos com recursos do Estado ou da Prefeitura Municipal, sendo que estes outros poços públicos exploram 443.110 m<sup>3</sup>/ano de água. Este modelo faz com que o sistema de abastecimento deste município seja constituído por vários sistemas parciais isolados, não havendo centrais de distribuição ou interligação completa e integrada pra toda área urbana. O suprimento de água pelos poços privados é de 4.285.465 m<sup>3</sup>/ano, totalizando uma produção de 8.931.415 m<sup>3</sup>/ano de água em São Gonçalo do Amarante.

No município de Monte Alegre, a CAERN realiza a distribuição de água e utiliza a adutora Monsenhor Expedito (atualmente em fase de expansão), que retira água da Lagoa do Bonfim para abastecer 15 comunidades, e ainda conta com quatro poços operando que abastecem a sede e exploram água do Aquífero Barreiras, todos localizados na Baixa da Galinha, em São José do Mipibu, com profundidade média de 59 m. Este conjunto de quatro poços produz 589.475 m<sup>3</sup>/ano, os outros poços públicos captam 70.080 m<sup>3</sup>/ano e os poços privados 1.026.745 m<sup>3</sup>/ano.

Para calcular o volume de água superficial utilizada para abastecer a população de Monte Alegre, foi subtraído o volume de água proveniente da captação subterrânea da CAERN do total de água produzido informado no site do SNIS (Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento). Assim, calcula-se um volume de 60.925 m<sup>3</sup>/ano captados da Lagoa do Bonfim para abastecer a população, totalizando 1.747.225 m<sup>3</sup>/ano de água utilizada para atender a demanda deste município.

A CAERN é responsável pelo abastecimento de água para a população de Macaíba, onde estão operando nove poços, todos explorando água do Aquífero Barreiras e com profundidade média de 54 m, sendo que três são localizados na margem da BR-304, na Reta Tabajara, cinco poços no CIA (Centro Industrial Avançado de Macaíba), que abastecem a área urbana e mais nove comunidades, e um poço em Guarapes, que abastece essa comunidade. A água proveniente da adutora Monsenhor Expedito, a partir da Lagoa do Bonfim, também é utilizada para abastecer algumas comunidades.

O conjunto de poços da CAERN produz um total de 1.937.785 m<sup>3</sup>/ano e ainda é utilizado 1.180.215 m<sup>3</sup>/ano de água proveniente de manancial superficial. Os outros poços públicos e os poços privados produzem 1.027.475 e 1.813.685

m<sup>3</sup>/ano, respectivamente, totalizando um volume de 5.959.160 m<sup>3</sup>/ano para suprir a demanda da população de Macaíba.

O prestador de serviços ligados ao abastecimento de água em Nísia Floresta é a CAERN, que usa exclusivamente água subterrânea, através de 17 poços em operação, três localizados na sede e os outros em distritos e comunidades locais, sendo produzido um total de 1.624.980 m<sup>3</sup>/ano. Estes poços possuem uma profundidade média de 58 m e todos exploram água do Aquífero Barreiras, sendo que em três poços o filtro também está instalado no Arenito Calcífero (poços NZF0113, NZF0115 e NZF0091). Os outros poços públicos e os poços privados produzem 1.803.465 e 1.201.080 m<sup>3</sup>/ano, respectivamente, totalizando 4.629.525 m<sup>3</sup>/ano de água produzida neste município.

Em São José do Mipibu, a CAERN realiza a distribuição de água para a população e conta com oito poços ativos atualmente, todos na sede, quatro localizados em Bica, um em Caique, um no loteamento Bela Vista e dois no Bairro Novo, sendo que os poços de Caique, Bela Vista e Bairro Novo abastecem o único reservatório do município. O tratamento de água é realizado diretamente na captação dos poços com a utilização de cloro. A média de profundidade dos poços é de 48 m e todos exploram o Aquífero Barreiras, com uma produção de 1.999.835 m<sup>3</sup>/ano, sendo que os outros poços públicos captam 897.535 m<sup>3</sup>/ano e os poços privados 1.809.670 m<sup>3</sup>/ano, totalizando um volume de 4.707.040 m<sup>3</sup>/ano de água para suprir a demanda deste município.

O SAAE é o responsável pela distribuição de água em Extremoz, contando exclusivamente com a exploração de água subterrânea através de 44 poços operando atualmente, que exploram água do Aquífero Barreiras e apresentam profundidade média de 41,1 m. A CAERN também atua neste município, através do fornecimento de água para a população de Redinha Nova. Este conjunto de poços produz um total de 3.723.365 m<sup>3</sup>/ano de água e localizam-se na sede e 20 na zona rural municipal. Estes poços das comunidades não se interligam a uma rede de distribuição de água e foram construídos para atender a demanda das populações locais. Os outros poços públicos captam 455.520 m<sup>3</sup>/ano de água e os privados 2.949.200 m<sup>3</sup>/ano, totalizando uma produção de 7.128.085 m<sup>3</sup>/ano em Extremoz.

Em Parnamirim, a CAERN realiza o suprimento de água para a população através da exploração somente de água subterrânea por 71 poços ativos atualmente, sendo cinco deles localizados em Macaíba, muito próximos dos limites intermunicipais, 14 em Nova Parnamirim e o restante na sede e em alguns distritos. De acordo com o cadastro, estes poços possuem média de profundidade de 63 m e todos exploram água do Aquífero Barreiras, produzindo juntos 19.157.025 m<sup>3</sup>/ano de água.

Neste sistema, a maioria dos poços injeta a água captada diretamente na rede de distribuição, exceto os que estão interligados aos reservatórios, cujo sistema está dividido em três subsistemas: um primeiro sistema, que conta com três poços que abastecem dois reservatórios, localizados no bairro Coabinal; um segundo sistema, que possui dois poços que captam água para os dois reservatórios do bairro Coabinal; e um terceiro sistema, que conta com dois poços para abastecer um reservatório, localizado no centro da cidade. O tratamento da água captada nos poços que não estão interligados à rede de abastecimento é realizado mediante cloração, com cloro gasoso ou hipoclorito de cálcio, dependendo do poço.

Os poços privados de Parnamirim captam um volume de 2.522.515 m<sup>3</sup>/ano de água e os outros poços públicos 1.485.550 m<sup>3</sup>/ano, totalizando uma produção de 23.165.090 m<sup>3</sup>/ano para suprir a demanda deste município.

O fornecimento de água para a população de Natal é de responsabilidade da CAERN, que depende tanto de mananciais superficiais como subterrâneos. Para o entendimento da complexa distribuição de água neste município foram obtidas informações junto à CAERN, que considera Natal dividido em duas macrorregiões fisicamente separadas pelo Rio Potengi: Sistema Zona Norte e Sistema Zona Sul.

A captação de água do Sistema Zona Norte, que com uma produção de 4.032 m<sup>3</sup>/h abastece os bairros dessa região, é composta pela Lagoa de Extremoz, que fornece 58% da água produzida nesse sistema, e por 36 poços tubulares ativos, que juntos completam os 42% da água distribuída na zona norte de Natal, dados disponibilizados pela CAERN – Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte, com base no ano de 2010.

O Sistema Extremoz, que produz 2.340 m<sup>3</sup>/h, compõe-se das seguintes estruturas que captam, tratam e distribuem as águas da Lagoa de Extremoz:

- estação elevatória de água bruta;
- adutora de água bruta;
- estação de tratamento de água (ETA);
- estação elevatória de água tratada para os centros de reservatórios;
- adutoras de água tratada;
- 2 centros de reservatórios.

Os 34 poços tubulares que compõe a captação de água subterrânea do Sistema Zona Norte, que produzem 1.692 m<sup>3</sup>/h de água, se distribuem nas principais captações, que são:



- Captação Gramoré/Pajuçara, que possui um reservatório e 12 poços ativos, dos quais nove abastecem o reservatório e três injetam água diretamente na rede de abastecimento de água.
- Captação Jardim Progresso, que contempla seis poços tubulares que jogam água diretamente na rede.
- Captação Rio Doce, com três poços que abastecem diretamente a rede de água.
- Captação Brasil Novo e Captação Santa Catarina, com três poços cada uma que injetam água diretamente na rede de abastecimento de água.
- Captação Redinha, que possui dois poços injetando água diretamente na rede.
- Captação Lagoa Azul, Panatis, Amarante, Alvorada e Potengi, que possuem um poço cada uma abastecendo essas localidades.

A produção e distribuição de água do Sistema Zona Sul conta com a Lagoa do Jiqui e com 76 poços tubulares ativos atualmente. Esse sistema produz em torno de 8.000 m<sup>3</sup>/h de água para abastecer os bairros dessa região, dados disponibilizados pela CAERN, com base no ano de 2010.

O sistema Jiqui compõe-se das seguintes estruturas que captam, tratam e distribuem a água da Lagoa do Jiqui:

- estação elevatória de água bruta;
- adutora de água bruta;
- estação de tratamento de água;
- estação elevatória de água tratada para os centros de reservatórios;
- adutoras de água tratada;
- 4 centros de reservatórios;
- 1 poço tubular.

A captação é realizada na margem esquerda da lagoa e no período de chuvas a vazão captada pode ser reduzida para metade, devido à limitação da capacidade de tratamento. A água do poço tubular existente neste sistema é utilizada apenas para envasamento de água servida em eventos da CAERN.

A água de uma das adutoras de água tratada deste sistema também abastece os reservatórios de captação localizado no Parque das Dunas, além dos reservatórios das captações Pirangi, Candelária e Lagoa Nova I, todas localizadas na Zona Sul de Natal.

As outras estruturas que compõe o sistema Zona Sul com captações de água subterrâneas são:

- Sistema de Captação Dunas, que possui atualmente oito poços ativos, tem suas águas levadas até o reservatório de reunião situado no Parque das Dunas onde recebem desinfecção por cloro gasoso e, a partir deste, são aduzidas para o centro de reservação localizado na área da sede central da CAERN.
- Captação Candelária, que conta com a captação de água subterrânea através de cinco poços ativos atualmente, dos quais quatro abastecem o reservatório e um injeta água diretamente na tubulação de saída do mesmo. Juntos os poços dessa captação produzem 690 m<sup>3</sup>/h de água.
- Captação San Valle, constituída por sete poços operando atualmente, sendo que seis abastecem o reservatório e um alimenta diretamente a rede. A capacidade conjunta desta captação é de cerca de 1.300 m<sup>3</sup>/h de água.
- Captação Lagoa Nova I, que totaliza sete poços ativos atualmente, dois que abastecem o reservatório de Candelária e cinco que abastecem outros dois reservatórios. A produção desta captação é de aproximadamente 1.110 m<sup>3</sup>/h de água.
- Captação Lagoa Nova II, que conta com cinco poços operando atualmente para abastecer um reservatório de reunião onde suas águas recebem desinfecção por cloro gasoso. A capacidade de produção de água deste conjunto de poços é de 614 m<sup>3</sup>/h.
- Sistemas isolados, que são os conjuntos de captações de águas constituídos por baterias de poços profundos que descarregam suas águas em câmaras de reunião, onde recebem desinfecção por cloro gasoso e posteriormente são levadas a reservatórios de distribuição ou injetadas diretamente na rede. São eles:
  - ✓ Sistema Pirangi/Jiqui, que conta com dois e um poço, respectivamente, que recalcam suas águas para um reservatório situado no bairro de Neópolis.
  - ✓ Captação Nova Cidade, constituída por dois poços ativos que abastecem diretamente a rede de distribuição de água e produzem juntos 230 m<sup>3</sup>/h.
  - ✓ Captação Novo Campo, composta por sete poços operando atualmente que juntos produzem cerca de 760 m<sup>3</sup>/h e injetam suas águas diretamente na rede de abastecimento.
  - ✓ Sistema Ponta Negra, com nove poços, sendo que seis jogam água para os dois reservatórios desse sistema.

- ✓ Sistema Satélite/Planalto, que possui 16 poços e um reservatório.
- ✓ Sistema Felipe Camarão, que conta com quatro poços e um reservatório.
- ✓ Sistema Guarapes, que possui dois poços e um reservatório.
- ✓ Sistema Dix-Sept Rosado, que conta com um poço que injeta água direto na rede.

Atualmente, existe um total de 153 poços da CAERN operando em Natal que captam juntos 65.296.675 m<sup>3</sup>/ano de água. Neste número estão contemplados os 110 poços que fazem parte do sistema de captação e abastecimento de água da CAERN, sendo que os 43 poços restantes contemplam os poços construídos por condomínios residenciais sob aprovação e exigência da CAERN.

Em relação à captação de água superficial de Natal, de acordo com informações da CAERN, com base nos dados do ano de 2010, a Lagoa do Jiqui produz 21.000.000 m<sup>3</sup>/ano de água, que conta com a contribuição de cinco poços tubulares, apesar de não ser possível distinguir o volume produzido por cada uma dessas duas fontes de água. A produção de água da Lagoa de Extremoz é de 16.500.000 m<sup>3</sup>/ano. Assim, em Natal a rede de abastecimento de água produz um total de 102.796.675 m<sup>3</sup>/ano. Os outros poços públicos, que não estão sob gestão da CAERN, captam um total de 5.417.695 m<sup>3</sup>/ano e os poços privados 14.140.100 m<sup>3</sup>/ano, totalizando um volume de 122.354.470 m<sup>3</sup>/ano de água produzida para suprir as demandas deste município.

Vale ressaltar, que a CAERN com a implantação modular propiciada pelo uso de água subterrânea enfrenta dificuldades na manutenção do modelo de abastecimento de água em Natal, tais como a falta de setorização definida e centros de reservatórios abastecendo extensas áreas que sofrem variações de demanda de acordo com as necessidades locais. Além disso, muitos poços são ligados diretamente nas redes de distribuição, sem um controle rigoroso de pressão e tratamento, sendo que em muitos casos os poços operam 24 horas por dia contribuindo para elevar o índice de perdas em caso de vazamentos. O problema mais grave detectado é a manutenção da qualidade da água, pois muitos poços tiveram que ser desativados por contaminação de nitrato.

A **Tabela 3.1** apresenta um resumo das características do abastecimento de água nos municípios da RMN. O índice da população atendida foi calculado com o total da população de cada município, disponibilizados pelo IBGE, 2010, e a população que usufrui da rede geral de distribuição de água segundo o SNIS, 2008.

**Tabela 3.1. Características dos sistemas de abastecimento público de água da RMN**

Municípios	Órgão responsável	Fonte Hídrica	Índice da população atendida (%)
Natal	CAERN	Lagoa do Jiqui, Lagoa de Extremoz e 153 poços tubulares	98
Parnamirim	CAERN	71 poços tubulares	97
S. Gonçalo do Amarante	SAAE/CAERN	70 poços tubulares	92
Monte Alegre	CAERN	Adutora Monsenhor Expedito e 4 poços tubulares	84
Macaíba	CAERN	Adutora Monsenhor Expedito e 9 poços tubulares	80
Extremoz	SAAE/CAERN	44 poços tubulares	78
Ceará-Mirim	SAAE	42 poços tubulares	76
S. José de Mipibu	CAERN	8 poços tubulares	65
Nísia Floresta	CAERN	17 poços tubulares	63

Fontes: IBGE, 2010 e CAERN, 2010

Conforme mostra a **Tabela 3.1**, Natal e Parnamirim, que possuem quase 100% da população atendida pelo abastecimento de água, e São Gonçalo do Amarante, com uma distribuição de água que atinge 92% da população, são os municípios que possuem um abastecimento de água mais eficiente, seguidos de Monte Alegre e Macaíba, com 84 e 80% respectivamente.

Neste cálculo foram consideradas as populações totais dos municípios, incluindo a zona rural, justificando o baixo índice de população atendida pela rede de distribuição de água nos municípios de São José do Mipibu e Nísia Floresta. Muitas comunidades e assentamentos locais possuem poços construídos por entidades governamentais ou privadas, com gestão participativa dos próprios moradores. Portanto os números para Extremoz, Ceará-Mirim, São José de Mipibu e Nísia Floresta seriam melhores caso incluídos estes poços compartilhados.

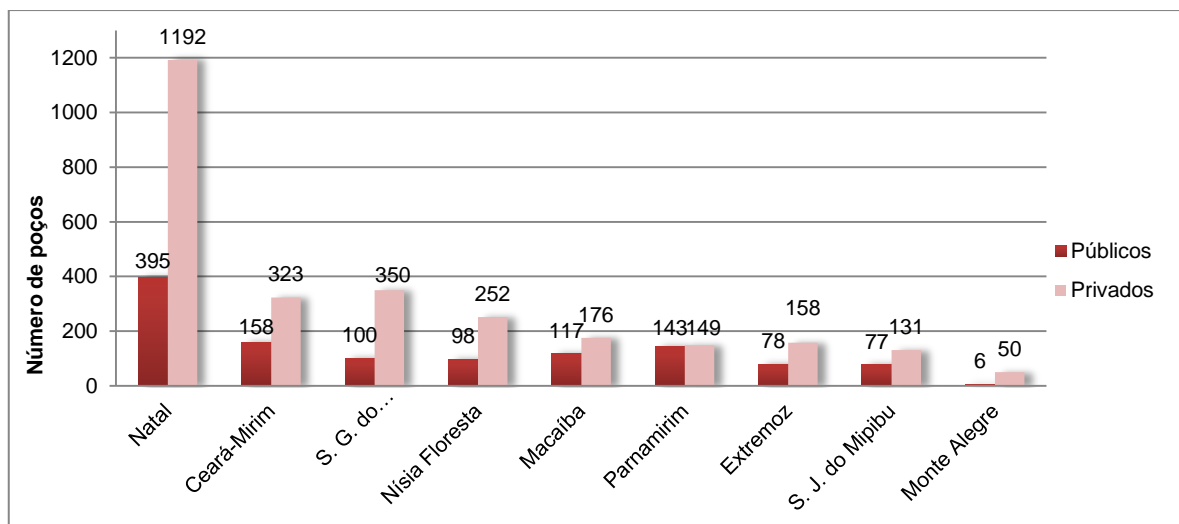
A estimativa de perdas no sistema de abastecimento em cada sede municipal com rede de distribuição de água para a população representa um volume de água que é recarregada diretamente no aquífero.

No município de Natal, a estimativa de perdas é calculada pela CAERN utilizando a modelagem de balanços hídricos, chegando a um volume de água não faturado (perdas de faturamento) de 48% para o Sistema Zona Sul e 75% para o Sistema Zona Norte englobando perdas físicas e não físicas (descargas para lavagem de adutoras e limpeza de rede e ramais, furtos, etc.). Como neste cálculo são

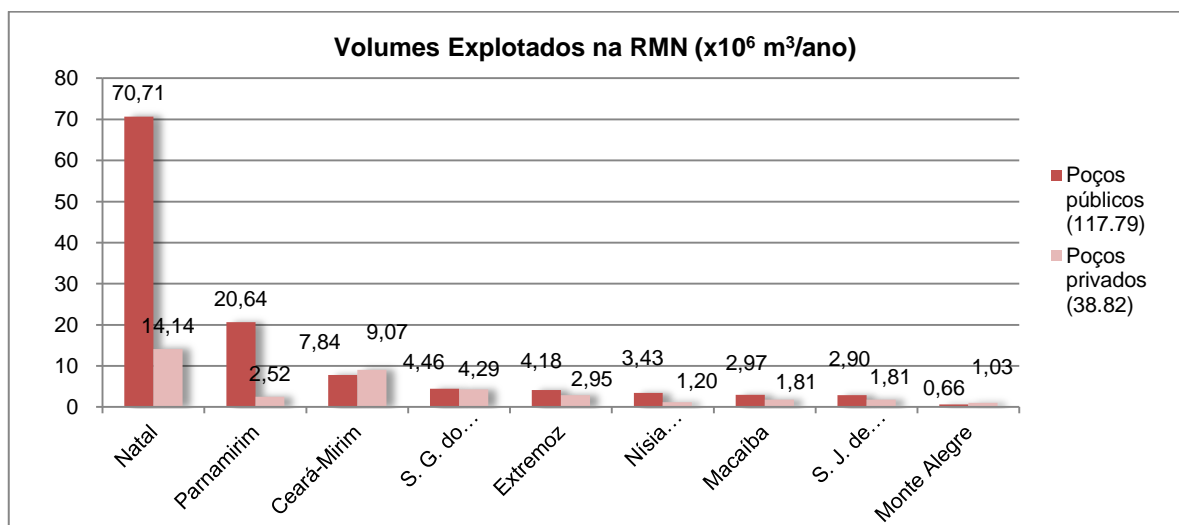
levados em consideração fatores financeiros e administrativos, é validado, para este estudo, uma perda de água de 40% para todos os municípios da RMN, conforme já apresentado no capítulo de potencialidade e recursos explorados de água subterrânea.

Diante dos problemas enfrentados pela CAERN e SAAEs na captação, tratamento e distribuição de água de qualidade para suprir a demanda da população para consumo humano e outros usos, é importante destacar a existência e utilização de poços privados para complementar o suprimento de água nos municípios da RMN.

Com o intuito de analisar a exploração das águas subterrâneas realizada pelo sistema de abastecimento público nos municípios da RMN, bem como comparar com a exploração a partir de poços privados, foram elaboradas as **Figuras 3.1 e 3.2**.



**Figura 3.1. Poços do cadastro nos municípios do RMN**



**Figura 3.2. Captação de água subterrânea nos municípios da RMN**

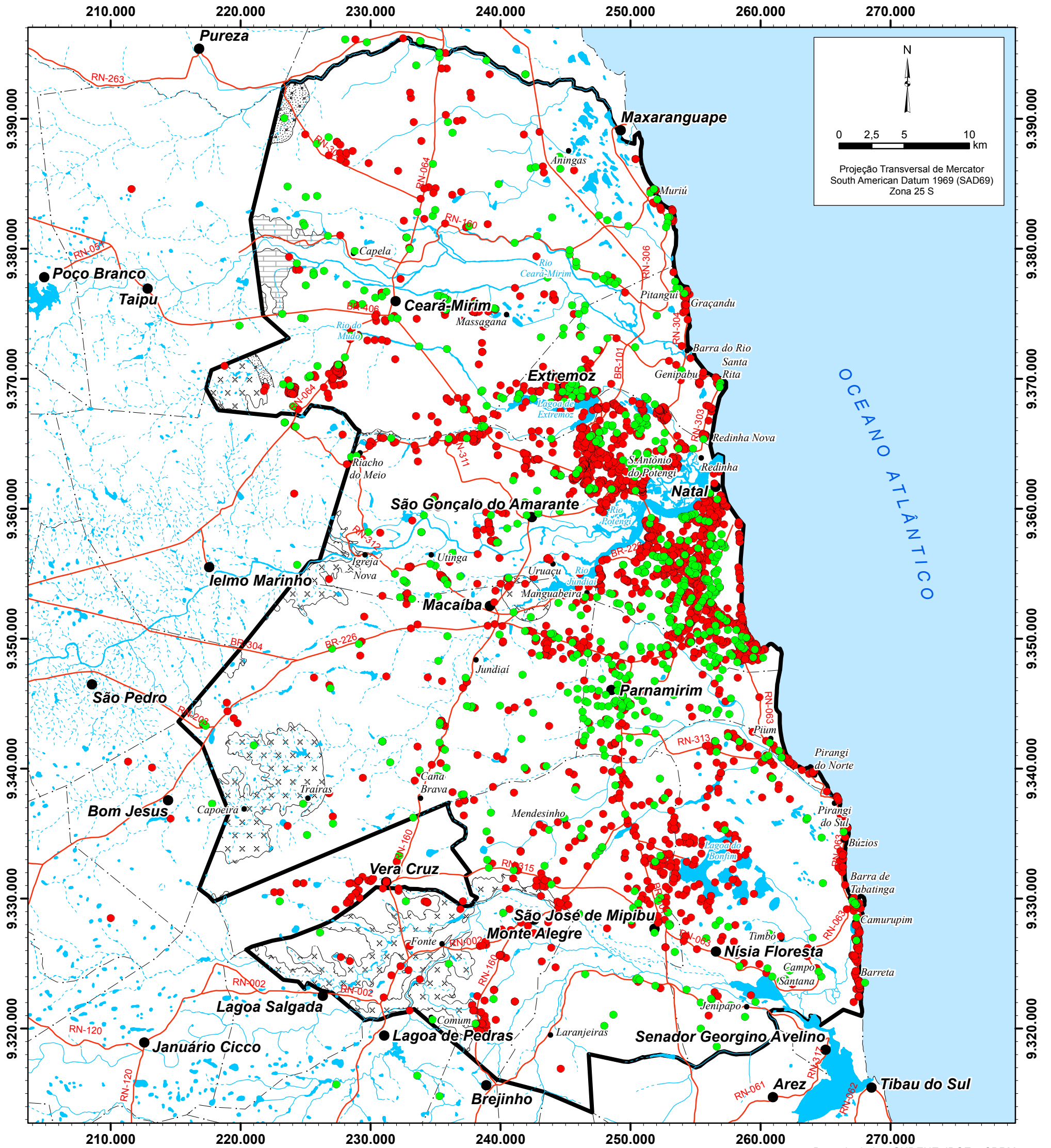
A **Figura 3.1** apresenta a quantidade de poços públicos e privados em operação nos municípios da RMN, constantes no cadastro de poços deste estudo. Vale ressaltar que nesse gráfico estão inclusos no elenco de poços públicos, além dos pertencentes à CAERN e aos SAAEs, também os poços das comunidades e outros órgãos públicos. Na **Figura 3.2** estão demonstrados os volumes de água subterrânea captados pelos poços especificados na **Figura 3.1**.

Na **Figura 3.1** fica evidente o uso de água subterrânea pelos poços privados como alternativa para complementar a demanda da população da RMN, pois em todos os municípios existem essa iniciativa particular de fornecimento de água e, com exceção à Parnamirim, em todos os demais municípios existem mais poços privados que públicos.

No município de São Gonçalo do Amarante, onde o número de poços privados é três vezes maior que a quantidade de poços públicos, destaca-se o uso industrial da água, além da utilização desses poços para o suprimento doméstico. Em Monte Alegre, onde apenas 41% da população usufruem da rede de abastecimento de água, a quantidade de poços privados é quase 10 vezes o total de poços públicos. Ainda cabe destacar a necessidade de poços particulares para suprir a demanda de água para as indústrias, localizadas principalmente em Macaíba, Natal, Parnamirim, além de São Gonçalo do Amarante.

Em Natal, a quantidade de poços privados do cadastro corresponde a quase o triplo do total de poços públicos, números que podem ser explicados pela quantidade de poços particulares para uso doméstico, que pertencem a condomínios e prédios residenciais e, principalmente, para uso comercial, referente a poços localizados em hotéis e pousadas. Entretanto, ao compararmos a **Figura 3.1** com a **Figura 3.2**, pode ser observado que, em Natal e Parnamirim, apesar dos poços particulares estarem em maior número, o volume de água produzido pelos poços públicos é muito superior ao volume captado pelos poços privados. Esses municípios são os mais populosos da RMN, exigindo uma produção maior de água pela CAERN para abastecer seus habitantes.

A **Figura 3.3** mostra a distribuição dos poços georreferenciados do cadastro na área estudada de acordo com a natureza (público ou privado).



N

0 2,5 5 10 km

Projeção Transversal de Mercator  
South American Datum 1969 (SAD69)  
Zona 25 S

Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM

Localização da área de estudo



- Poços do cadastro**
- Poços públicos (958)
  - Poços particulares (2505)
- Aquíferos**
- Sistema Aquífero Barreiras
  - ▨ Jandaíra
  - ▩ Açú
  - × × Embasamento cristalino

- Convenção Cartográfica**
- Sedes municipais
  - Povoados ou assentamentos
  - Estradas pavimentadas
  - Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
  - Rios intermitentes
  - Rios perenes
  - Limites municipais
  - Área de estudo

**Figura 3.3. Natureza dos poços do cadastro na Região Metropolitana de Natal**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL



Para avaliar as condições de proteção de poços públicos foi elaborada a **Tabela 3.2** apresentando as características dos poços que fazem parte do sistema público de abastecimento de cada município que já foram visitados durante os trabalhos de campo. O trabalho de vistoria avaliou um total de 106 poços de abastecimento público, distribuídos nos municípios da região metropolitana de Natal, conforme apresentado na **Tabela 3.2**. Os critérios para avaliação da adequação dos quesitos apresentados acima serão descritos a seguir:

Laje de proteção – corresponde à pavimentação de concreto aplicada na superfície do terreno, ao redor da tubulação de revestimento do poço com finalidade de realizar a proteção sanitária da parte superior do poço contra a infiltração de líquidos ou particulados provenientes da superfície. A vistoria avaliou como atendidos os poços que continham a laje de concreto em boas condições de conservação e com dimensão suficiente para circundar toda a tubulação de revestimento.

Tampa – corresponde ao item de acabamento da parte superior da tubulação de revestimento do poço, podendo ser de material metálico ou de PVC que possui a finalidade de cobrir todo o tubo e garantir que o acesso ao interior do poço seja restrito. A vistoria avaliou como atendidos os poços que continham a tampa íntegra, em boas condições de conservação e que permitia a completa restrição de acesso ao interior da tubulação do poço.

Isolamento – corresponde à estrutura física de controle do acesso às imediações do poço. Esse item pode ser de diferentes materiais e tipos, tais como, cercas, grades, muros ou edificações. Deve possuir acesso restrito à pessoas autorizadas e, desse modo, contemplar algum tipo de travamento no portão de acesso (trincos, chaves, cadeados, etc.). A vistoria avaliou como atendidos os poços que continham o isolamento íntegro e que restringisse o acesso às imediações do poço, significando não poder tocar nos equipamentos.

A **Tabela 3.2** mostra que nem todos os poços que compõe as redes de abastecimento dos municípios da RMN atendem a todos os critérios, pois entre o total de poços visitados, apenas 52% possuem laje de proteção, 65% possuem isolamento e o critério mais atendido foi a presença de tampa, observada em 82% dos poços público. Parnamirim, Nísia Floresta e Extremoz são os municípios que apresentam os poços mais completos, enquanto em Macaíba foram observados menos poços atendendo os critérios supracitados.



**Tabela 3.2. Características dos poços públicos visitados**

Município	Nº de poços da rede de abastecimento público visitados	Laje de proteção	Tampa	Isolamento
Ceará-Mirim	11	6	9	8
Extremoz	8	5	8	4
Macaíba	5	0	3	1
Natal	35	20	22	23
Nísia Floresta	9	4	9	7
Parnamirim	24	16	23	18
S. Gonçalo do Amarante	8	2	8	5
S. José do Mipibu	6	2	5	3
Total	106	55	87	69

As **Fotos 01, 02, 03 e 04** a seguir são de alguns poços públicos visitados durante os trabalhos de campo, cujas coordenadas são UTM 252154E/9363060S, UTM 254130E/9376580S, UTM 235900E/9376110S, UTM 249262E/9345020S, respectivamente. As condições são descritas como exemplo das irregularidades presentes nos poços em operação.



**Foto 01. Poço sem laje de proteção e sem cerca**



**Foto 02. Poço cercado e sem laje de proteção**



**Foto 03. Poço com tampa e com laje de proteção**



**Foto 04. Poço com laje de proteção, cercado e sem tampa**

### 3.2 Demanda de água na Região Metropolitana de Natal

A demanda de água pode ser definida como volume de água requisitado para suprir as necessidades de uma dada região. Na Região Metropolitana de Natal, considerando suas características de ocupação, há um padrão de consumo diversificado nos municípios estudados, uma vez que, mesmo o abastecimento humano sendo a principal demanda de água, destaca-se também a demanda de água para o consumo industrial em Natal, Macaíba e Parnamirim, para o uso agrícola em Ceará-Mirim e para a carcinicultura em Nísia Floresta.

O objetivo da avaliação de demanda de água é buscar o dimensionamento das necessidades atuais e efetuar projeções de demandas futuras, visando os estudos da relação “disponibilidade hídrica x demanda”.

O levantamento de informações relativas às demandas de água na região de interesse é uma tarefa de difícil execução, visto que não há registros consistentes desses dados. Nesse estudo, as demandas atuais de água serão calculadas a partir de estimativas baseadas em padrões médios de consumo por finalidade de uso e as projeções futuras, baseadas em alguns estudos de futuros empreendimentos e em alguns planos diretores municipais, quando disponíveis.

Nesse estudo, foram avaliados os cadastros de outorga dos usuários dos recursos hídricos, fornecido pela SEMARH (apresentado no **Apêndice A** do Volume 4 deste relatório), sendo que a **Tabela 3.3** apresenta os resultados obtidos e organizados de acordo com o tipo de uso somente das outorgas válidas.

Tabela 3.3. Avaliação dos dados de outorgas válidas - água superficial e subterrânea													
Município	Total de outorgas	Uso da água											
		Irrigação		Carcinicultura		Industrial		C. humano		Animal		Outros	
		N	Q média (m <sup>3</sup> /dia)	N	Q média (m <sup>3</sup> /dia)	N	Q média (m <sup>3</sup> /dia)	N	Q média (m <sup>3</sup> /dia)	N	Q média (m <sup>3</sup> /dia)	N	Q média (m <sup>3</sup> /dia)
Ceará-Mirim	9	1	6856,5	1	3414,0	3	2023,9	2	92,5	-	-	2	7,5
Extremoz	1	-	-	-	-	-	-	1	296,0	-	-	-	-
Macaíba	10	1	136,8	8	41,6	-	-	1	1260,0	-	-	-	-
Natal	11	-	-	-	-	2	2545,0	8	31,9	-	-	1	81,0
Nísia Floresta	2	-	-	-	-	-	-	2	411,0	-	-	-	-
Parnamirim	9	1	98,30	-	-	4	43,2	2	8,7	1	18,0	1	5,0
S. Gonçalo do Amarante	4	-	-	-	-	1	4400,0	2	24936,8	1	10,0	-	-
S. José de Mipibu	3	-	-	-	-	2	27,8	1	9,7	-	-	-	-

N – quantidade de outorgas expedidas

Q média – média aritmética das “N” vazões outorgadas

Para identificar os demais usuários foi utilizado o cadastro geral de poços elaborado pela Servmar e os poços apresentados no cadastro de outorgas foram

correlacionados com este cadastro geral. Considerando a lista de outorgas da SEMARH e o cadastro de poços realizados neste estudo, verifica-se que na RMN os usos preponderantes são: consumo humano, com 72%, seguido pelo uso industrial, com 10%, e uso agrícola, com 7%.

Em complemento há um cadastro adicional de usuários de água, realizado pelo consórcio PROJETEC/THECNE/BRL no Estudo de Atualização do Plano Estadual de Recursos Hídricos, o qual foi disponibilizado pela SEMARH. Neste estão cadastrados quatro usuários localizados na área de estudo, dos quais dois em Natal que utilizam a água para manutenção de grama, e dois em Ceará-Mirim, um que utiliza a água para plantio de cana de açúcar e o outro para manutenção de grama.

Os cálculos das demandas de água serão setorizados em: consumo humano, irrigação, criação de animais (pecuária e avicultura), industrial, carcinicultura e turismo, visando facilitar o dimensionamento das demandas, de acordo com as principais economias existentes na área de estudo.

#### Consumo humano

Os municípios inseridos na RMN são dependentes das águas subterrâneas para o consumo humano. Nos levantamentos realizados foram identificadas apenas quatro fontes de água para o abastecimento humano provenientes de captações superficiais: Lagoa de Extremoz, Lagoa do Bonfim, Lagoa do Jiqui e Rio Maxaranguape. Portanto, dentro deste contexto, o aquífero Barreiras configura-se como o principal manancial subterrâneo local, responsável pela quase totalidade do suprimento de água para a população dos municípios estudados.

As demandas atuais e projeções futuras são calculadas a partir dos critérios adotados pela Companhia de Abastecimento de Água e Esgoto do Rio Grande do Norte - CAERN, responsável pelo abastecimento público do estado, que estabelece um consumo diário de 250 L/hab/dia para as áreas urbanas de Natal, Parnamirim e Macaíba, 150 L/hab/dia para a área urbana dos outros seis municípios da RMN e 100 L/hab/dia em zona rural.

Para calcular a demanda atual e futura de água destinada ao consumo humano, adotaram-se os dados demográficos, fornecidos pelo IBGE, e foi necessário estimar a taxa de crescimento populacional através de progressão aritmética, considerando crescimento linear da população para os próximos 5, 10 e 20 anos.

Os cálculos de demanda para este uso estão detalhados na **Tabela 3.4** e a **Tabela 3.5** mostra os totais das demandas de água para consumo humano por município.

**Tabela 3.4. Avaliação de demanda para consumo humano em zona urbana e zona rural entre os municípios da RMN**

População urbana										
Município	População em 2010	Taxa de crescimento (2000-2010)	População em 2015	População em 2020	População em 2030	Cons. diário (L/hab) <sup>1</sup>	Demanda atual (m <sup>3</sup> /ano)	Demanda em 2015 (m <sup>3</sup> /ano)	Demanda em 2020 (m <sup>3</sup> /ano)	Demanda em 2030 (m <sup>3</sup> /ano)
Natal	803.739	14,78	862.894	922.532	1.058.882	250	73.341.184	78.739.095	84.181.011	96.622.964
Parnamirim	202.456	62,36	265.582	348.390	565.646		18.474.110	24.234.337	31.790.604	51.615.225
Macaíba	42.631	26,57	48.295	53.958	68.295		3.890.079	4.406.876	4.923.673	6.231.893
Ceará-Mirim	35.494	9,61	37.199	38.905	42.644	150	1.943.297	2.036.672	2.130.047	2.334.745
Extremoz	15.769	25,53	17.782	19.795	24.848		863.353	973.560	1.083.767	1.360.452
Monte Alegre	9.002	9,56	9.432	9.863	10.805		492.860	516.418	539.977	591.599
Nísia Floresta	9.380	24,91	10.548	11.717	14.635		513.555	577.518	641.482	801.275
S. G. Amarante	74.099	26,25	83.824	93.550	118.107		4.056.920	4.589.391	5.121.862	6.466.351
S. J. Mipibu	18.232	12,18	19.342	20.453	22.944		998.202	1.058.993	1.119.783	1.256.173
<b>Total urbana</b>	<b>1.210.802</b>	<b>-</b>	<b>1.354.899</b>	<b>1.519.161</b>	<b>1.926.806</b>	<b>-</b>	<b>104.573.559</b>	<b>117.132.860</b>	<b>131.532.205</b>	<b>167.280.675</b>
População rural										
Ceará-Mirim	34.216	9,61	35.860	37.504	41.108	100	1.248.873	1.308.881	1.368.889	1.500.440
Extremoz	9.923	25,53	11.190	12.457	15.637		362.201	408.436	454.671	570.749
Macaíba	30.401	26,57	34.440	38.479	48.703		1.109.642	1.257.058	1.404.474	1.777.643
Monte Alegre	12.241	9,56	12.827	13.412	14.694		446.813	468.170	489.528	536.327
Nísia Floresta	16.198	24,91	18.215	20.233	25.273		591.228	664.865	738.502	922.463
S. G. Amarante	15.350	26,25	17.365	19.379	24.466		560.272	633.808	707.344	893.022
S. J. Mipibu	22.856	12,18	24.248	25.640	28.763		834.245	885.051	935.856	1.049.843
<b>Total rural</b>	<b>141.186</b>	<b>-</b>	<b>154.144</b>	<b>167.103</b>	<b>198.643</b>	<b>-</b>	<b>5.153.274</b>	<b>5.626.270</b>	<b>6.099.266</b>	<b>7.250.487</b>
Total da população RMN										
-	1.351.988	-	1.501.448	1.670.592	2.089.777	-	109.726.833	122.759.130	137.631.470	174.531.162

Fonte: IBGE, 2010

1 - Informações cedidas pela CAERN.

**Tabela 3.5. Avaliação de demanda para consumo humano nos municípios da RMN**

Município	Demanda atual (m <sup>3</sup> /ano)	Demanda em 2015 (m <sup>3</sup> /ano)	Demanda em 2020 (m <sup>3</sup> /ano)	Demanda em 2030 (m <sup>3</sup> /ano)
Natal	73.341.184	78.739.095	84.181.011	96.622.964
Parnamirim	18.474.110	24.234.337	31.790.604	51.615.225
S. Gonçalo do	4.617.193	5.223.199	5.829.206	7.359.372
Macaíba	4.999.721	5.663.934	6.328.147	8.009.536
Ceará-Mirim	3.192.169	3.345.553	3.498.937	3.835.184
S. José de Mipibu	1.832.447	1.944.043	2.055.639	2.306.016
Extremoz	1.225.554	1.381.996	1.538.438	1.931.201
Nísia Floresta	1.104.783	1.242.383	1.379.984	1.723.738
Monte Alegre	939.672	984.589	1.029.505	1.127.926

Fonte: IBGE, 2010 e CAERN

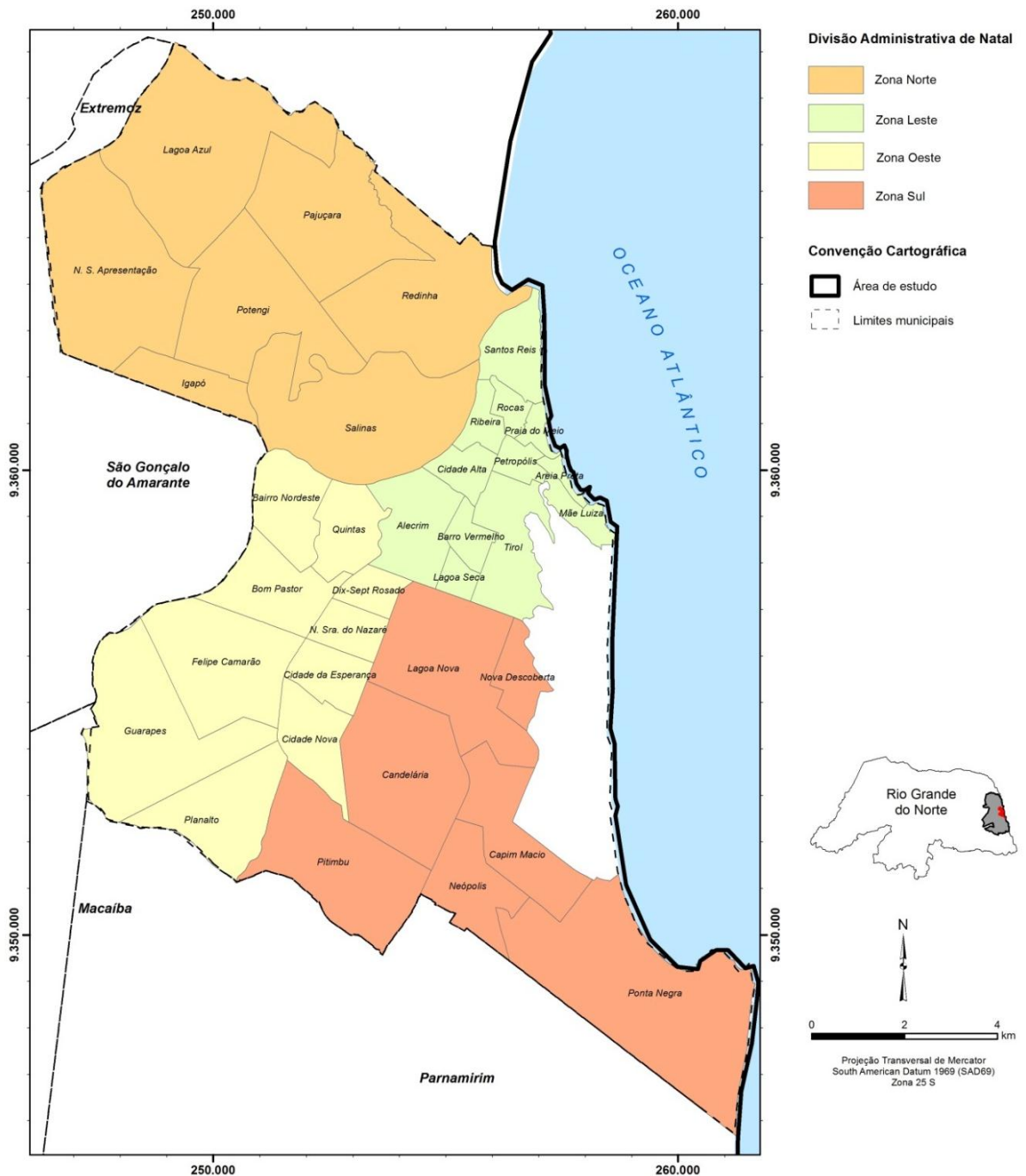
Conforme mostra a **Tabela 3.4**, para o consumo humano na RMN calcula-se uma demanda atual de 109.726.833 m<sup>3</sup>/ano e as demandas futuras de 122.759.130 m<sup>3</sup>/ano para cinco anos, 137.631.470 m<sup>3</sup>/ano para 10 anos e 174.531.162 m<sup>3</sup>/ano para 20 anos.

Atualmente, Natal é o município com a maior demanda de água para consumo humano, onde é utilizado aproximadamente 62% da demanda total da RMN para este uso, fato já esperado, pois a capital do RN possui a maior população do estado. Parnamirim é o segundo município, com aproximadamente 16% da demanda total da população da área de estudo, sendo que os outros sete municípios juntos representam 22% (**Tabela 3.5**).

Na projeção da **Tabela 3.5** percebe-se que em 2020 Parnamirim passa a representar 21% da demanda da RMN e Natal cai para 57%; em 2030, enquanto Natal necessitará de 51% do total de demanda de água para consumo humano na RMN, a porcentagem de Parnamirim irá aumentar para 27% demonstrando um crescimento vegetativo regionalmente diferenciado. Isso mostra que o crescimento demográfico previsto para Parnamirim terá como consequência um incremento significativo do consumo de água neste município, sendo, portanto, uma área que merece atenção ao se tornar uma região que apresenta maior pressão de demanda futura.

Para o município de Natal, foi adotada a mesma divisão de regiões apresentada no Anuário de 2010, que separa o município em zonas norte, sul, leste e oeste (**Figura 3.4**).





**Figura 3.4. Divisão de regiões para o município de Natal**

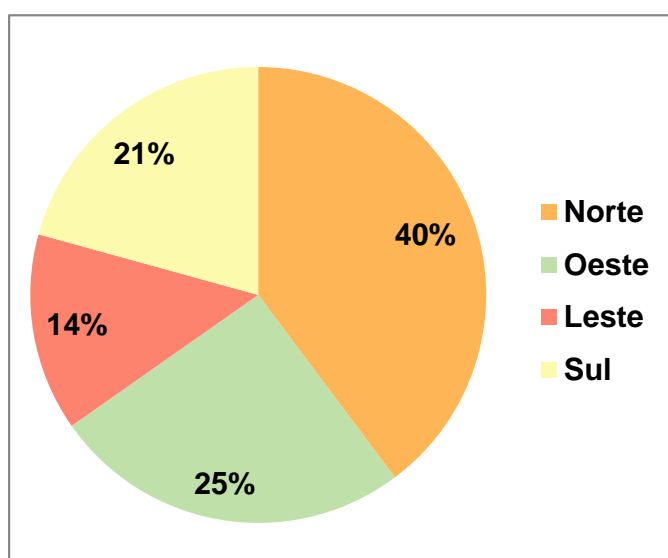
Os municípios de Natal e Parnamirim foram divididos em regiões para calcular as diferentes demandas, com o intuito de demonstrar detalhadamente as áreas mais críticas e que precisam de mais água atualmente. Com o crescimento demográfico desses municípios, pode ser demonstrada a necessidade do aumento de água para abastecer as diferentes regiões (**Tabelas 3.6 e 3.7**, respectivamente). As populações dos bairros destes municípios foram fornecidas pelo IBGE, 2010.

Na **Tabela 3.6** as taxas de crescimento em cada região de Natal foram calculadas a partir da população por região nos anos de 2000 e 2010, apresentadas no Anuário de Natal, 2010. Entretanto, neste período a população da zona leste diminuiu em uma taxa de 3%. Neste caso específico será considerado um crescimento congelado, de 0%, porque nesta região alterou-se a vocação da ocupação urbana, pois são bairros que passaram a ser menos residenciais e mais comerciais, tomando como exemplo a Ribeira, o Alecrim, Rocas e Praia do Meio, que pertencem a essa região.

Tabela 3.6. Avaliação de demanda para consumo humano nas regiões do município de Natal										
Região	Pop. 2010	Taxa de cresc.	Pop. 2015	Pop. 2020	Pop. 2030	Cons. diário (L/dia)	Demanda atual (m³/ano)	Demanda em 2015 (m³/ano)	Demanda em 2020 (m³/ano)	Demanda em 2030 (m³/ano)
Norte	319.679	30,61	368.590	417.536	545.348	250	29.170.709	33.633.827	38.100.154	49.762.993
Oeste	204.844	6,80	211.809	218.773	233.650		18.692.015	19.327.544	19.963.072	21.320.561
Sul	166.491	0	166.491	166.491	166.491		15.192.304	15.192.304	15.192.304	15.192.304
Leste	112.725	4,73	115.385	118.057	123.641		10.286.156	10.528.910	10.772.691	11.282.240
Total	803.739	-	862.275	920.857	1.069.130	-	73.341.184	78.682.584	84.028.222	97.558.097

Fonte: Natal, 2010.

A **Figura 3.5** mostra a distribuição do volume de água necessário para atender a demanda atual do município de Natal nas diferentes regiões. Em Natal, a região Norte possui a maior população e conseqüentemente a maior demanda de água para consumo humano do município, tanto atual como futura (**Tabela 3.6** e **Figura 3.5**).



**Figura 3.5. Porcentagem da demanda de água de Natal por região**

Vale ressaltar que, mais adiante neste capítulo será discutida a demanda regionalizada em Natal para os outros dois principais usos de água no município: industrial e turismo.

Em Parnamirim, para uma melhor interpretação dos dados, a regionalização será feita em zona oeste (contempla os bairros Cajupiranga, Liberdade, Nova Esperança, Jardim Planalto, Boa Esperança, Parque de Exposições, Vale do Sol, Santa Tereza, Santos Reis, Rosa dos Ventos, Monte Castelo, Passagem de Areia e Vida Nova e tem como limite os municípios de Macaíba e São José do Mipibu) e zona leste (tem como limites Nísia Floresta, Natal e o litoral do estado e corresponde à Emaús, Nova Parnamirim, Parque do Jiqui, Barreira do Inferno, Pium, Cotovelo e Pirangi do Norte). Esta última pode ainda ser subdividida em litoral e central para auxiliar na interpretação dos resultados.

Tabela 3.7. Avaliação de demanda para consumo humano nas regiões do município de Parnamirim									
Região	Pop. 2010	Pop. 2015	Pop. 2020	Pop. 2030	Cons. diário (L/dia)	Demanda atual (m <sup>3</sup> /ano)	Demanda em 2015 (m <sup>3</sup> /ano)	Demanda em 2020 (m <sup>3</sup> /ano)	Demanda em 2030 (m <sup>3</sup> /ano)
Oeste	110.385	144.803	179.221	290.983	250	10.072.631	13.213.278	16.353.924	26.552.231
Leste	92.071	120.779	149.486	242.706		8.401.479	11.021.060	13.640.641	22.146.945
Total	202.456	265.582	328.708	533.690	-	18.474.110	24.234.337	29.994.565	48.699.176

Fonte: Natal, 2010.

Conforme observado na **Tabela 3.7**, a região oeste é a que possui a maior população em Parnamirim, portanto a maior demanda de água para esse uso atualmente. Entretanto, o Plano Diretor Municipal aponta como possíveis zonas de expansão urbana (ZEU) áreas que delimitam fronteira com a região leste, próximas ao litoral e a sudoeste deste município, sendo esta a região mais importante em relação a demandas futuras para consumo humano devido à possibilidade de crescimento nestas áreas. Além de serem consideradas as ZEU, é na região litorânea que se encontra a possibilidade de aumento do turismo, colaborando também para o crescimento demográfico nesta área.

Para a projeção da demanda futura de água na RMN também serão utilizadas as demandas totais previstas em cenários específicos, a partir de documentos técnicos (EIA/RIMA) que avaliam a implantação de empreendimentos imobiliários e turísticos, almejados para serem instalados na região. Assim, serão considerados os empreendimentos a serem instalados até 2030. Os cálculos estão detalhados na **Tabela 3.8** apresentando uma demanda futura de 180.700.400 m<sup>3</sup>/ano em 20 anos envolvendo consumo humano.



**Tabela 3.8. Projeção de demandas futuras de água determinadas em estudos para a implantação de empreendimentos imobiliários e turísticos**

Item	Local	Ocupação Máxima (hab.) <sup>(11)</sup>	Demanda Máxima <sup>(12)</sup> (m <sup>3</sup> /dia)	Demanda Projetada para 2030 (m <sup>3</sup> /ano) <sup>(13)</sup>
(1)	Ceará-Mirim e Extremoz	166.813	43.978	8.025.985
(2)	Nísia Floresta	10.436	2.685	490.013
(3)	Parnamirim	200	29	5.293
(4)	Nísia Floresta	5.000	750	136.875
(5)	Extremoz	4.500	1.620	295.650
(6)	Parnamirim	1.840	280	51.100
(7)	São José de Mipibu	11.520	1.728	315.360
(8)	Parnamirim	1.125	225	41.063
(9)	Parnamirim	1.440	288	52.560
(10)	Parnamirim	288	58	10.512
Demandas Projetadas Totais				9.424.410

(1) Polo Turístico Ecológico e Aventura de Pitangui e Jacumã - Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) elaborado pela empresa Ecoplam Consultoria Ambiental Ltda.

(2) Natal Golf & Sports Club - Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) elaborado pela empresa Geoconsult, Geologia e Meio Ambiente Ltda.

(3) Loteamento Bosque das Colinas II e III - Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) elaborado pela empresa Gaia Consultoria Ambiental

(4) Condomínio Terranova Bonfim - Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) elaborado pela empresa Geoconsult, Geologia e Meio Ambiente Ltda.

(5) Santa Rita Village - Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) elaborado pela empresa Start Pesquisa e Consultoria Técnica Ltda.

(6) Condomínio Residencial Sun Park - Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) elaborado pela empresa Gaia Consultoria Ambiental Ltda.

(7) Condomínio Residencial Santa Sofia - Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) elaborado por equipe multidisciplinar.

(8) Condomínio Residencial Águas de Março - Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) elaborado pela empresa Florecer projeto e Consultoria Ltda.

(9) Condomínio Residencial Multifamiliar - Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) elaborado pela empresa CENPRO - Consultoria, Engenharia e Projetos Ltda.

(10) Condomínio Residencial Canoas - Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) elaborado pela empresa Virtual Consultoria e Projetos Ltda.

(11) Ocupação total da fase final do empreendimento ou da projeção de 20 anos. As ocupações descritas nos relatórios dos empreendimentos somam as ocupações residenciais, comerciais (trabalhadores) e flutuantes (clientes dos empreendimentos turísticos)

(12) Demanda total máxima diária indicada no documento para a fase final do empreendimento ou da projeção de 20 anos.

(13) Projeção da demanda anual de água correspondente a 50% do valor das projeções finais dos empreendimentos.

Alguns dos empreendimentos almejados para a região chamam a atenção pelo aumento demográfico que será proporcionado desde as fases de implantação e sobretudo, pelas expectativas de ocupação. A expansão demográfica, projetada para esses empreendimentos, supera as taxas de crescimento populacional ocorridas nas últimas décadas.

O levantamento das informações contidas nos relatórios técnicos de implantação dos empreendimentos não objetivou avaliar se os dados e projeções de consumo de água são condizentes com os modelos de desenvolvimento imobiliário e turísticos atualmente em curso. Esse levantamento considerou que as empresas responsáveis pela emissão desses documentos se incumbiram de avaliar a consistência e a validade dos dados que estão sendo projetados na implantação dos empreendimentos.

Provavelmente, existem outros estudos que não foram incluídos nessa análise, no entanto buscou-se retratar os mais significativos ao desenvolvimento da ocupação da região de interesse.

Deve-se ressaltar que a região da Região Metropolitana de Natal aparece com um enorme potencial de desenvolvimento de polo turístico, em algumas localidades da faixa litorânea. O desenvolvimento desse modelo de ocupação provoca demandas de água flutuantes, concentradas nos períodos de alta estação, no caso, nos meses de dezembro a fevereiro. As projeções de demandas futuras não consideraram esse regime do uso de água, devido à falta de informações precisas sobre esse modelo econômico em desenvolvimento.

### Pecuária

A demanda hídrica para dessedentação animal foi estimada a partir do efetivo de rebanho animal extraído da Produção da Pecuária Municipal de 2009, do IBGE, e o consumo médio diário por cabeça.

A metodologia aplicada se inicia pela obtenção de uma unidade hipotética proposta pelo PLIRHINE (SUDENE, 1980) e denominada BEDA (Bovinos Equivalentes para Demanda de Água), que corresponde aos animais de médio e grande porte, tendo o objetivo de agregar os efetivos de vários tipos de rebanho, ponderando o consumo médio de cada espécie relativamente ao consumo de um rebanho de bovinos.

Assim, tem-se a seguinte fórmula:

$$\Sigma \text{BEDA} = \Sigma \text{Bovinos} + \Sigma \text{Equinos} + \Sigma \text{Asininos} + \Sigma \text{Muares} + \Sigma \text{Suínos}/4 + (\Sigma \text{Ovinos} + \Sigma \text{Caprinos})/5$$

Depois de calculado o BEDA para cada município, foi considerado um índice de consumo médio por unidade BEDA de 50 l/dia, valor utilizado no PLIRHINE (SUDENE, 1980) e nos estudos existentes para a região nordeste. Os resultados são apresentados na **Tabela 3.9**.

Para calcular o consumo de água por galináceos nos municípios da RMN, o total de cabeças de frango por município foi extraído Produção da Pecuária Municipal de 2009, do IBGE, e multiplicado por 0,286 l/dia (PENZ JUNIOR, 2003). Os resultados também são apresentados na **Tabela 3.9**.

<b>Tabela 3.9. Produção pecuária municipal e demanda anual de água</b>									
<b>Produção pecuária por município<sup>1</sup></b>	<b>CRM</b>	<b>EXT</b>	<b>MAC</b>	<b>MTA</b>	<b>NAT</b>	<b>NSF</b>	<b>PAR</b>	<b>SGA</b>	<b>SJM</b>
Bovinos	13.147	6.825	23.970	18.328	2.257	6.034	7.580	12.344	18.880
Equinos	560	120	530	382	0	138	160	190	515
Asininos	139	45	70	54	0	18	22	28	31
Muare	454	27	69	12	0	26	55	18	40
Suínos	1.252	2.105	3.750	4.023	416	914	1.590	2.321	2.835
Caprinos	740	370	555	656	0	120	680	532	1.012
Ovinos	852	1.100	6.715	3.830	0	676	1.510	1.860	2.130
BEDA <sup>2</sup>	15.870	9.416	29.843	23.696	2.673	7.289	9.845	15.379	22.929
Consumo de água diário (l) <sup>3</sup>	793.520	470.800	1.492.150	1.184.810	133.650	364.460	492.250	768.970	1.146.470
Consumo de água anual para pecuária (m <sup>3</sup> )	289.635	171.842	544.635	432.456	48.782	133.028	179.671	280.674	418.462
Consumo de água total para pecuária na RMN (m <sup>3</sup> /ano)	2.499.184								
Avicultura	375.025	80.540	266.615	41.552	29.200	309.519	414.955	145.953	139.575
Consumo de água diário (l) <sup>3</sup>	107.257	23.034	76.252	11.884	8.351	88.522	118.677	41.743	39.918
Consumo de água anual para avicultura (m <sup>3</sup> )	39.149	8.408	27.832	4.338	3.048	32.311	43.317	15.236	14.570
Consumo de água total para avicultura na RMN (m <sup>3</sup> /ano)	188.208								
Consumo de água total pecuária + avicultura na RMN (m <sup>3</sup> /ano)	2.687.392								

1 - IBGE, Produção da Pecuária Municipal, 2009

2 - Bovinos Equivalentes para Demanda de Água: unidade hipotética correspondente aos animais de médio e grande porte, proposta pelo PLIRHINE (SUDENE, 1980)

3 - BEDA x 50 l/dia e cabeças de frango x 0,286 l/dia

CRM – Ceará-Mirim; EXT – Extremoz; MAC – Macaíba; MTA – Monte Alegre; NAT – Natal; NSF – Nísia Floresta; PAR – Parnamirim; SGA – São Gonçalo do Amarante; SJM – São José do Mipibu

O consumo de água para dessedentação animal totalizou 2.687.392 m<sup>3</sup>/ano e, conforme observado na **Tabela 3.9**, Macaíba é o município que possui a maior necessidade de água para este uso, seguido de Monte Alegre e São José do Mipibu, sendo que esses três municípios juntos representam 52% do uso da água para este fim. Natal, único município com taxa de urbanização de 100%, conforme discutido no capítulo de uso e ocupação do solo, não apresenta consumo significativo de água para este uso, significando aproximadamente 2% do total de água utilizada por ano para dessedentação animal.

Assim, atualmente o consumo de água para dessedentação animal é de 2.687.392 m<sup>3</sup>/ano, se considerada a projeção de crescimento entre os anos 2004

e 2009, a partir dos dados de produção municipal do IBGE. Estima-se uma taxa de crescimento médio de 12% em 5 anos para a criação de animais nos municípios da RMN. Nessa estimativa de crescimento, calcula-se um valor de demanda futura de 3.009.880 m<sup>3</sup>/ano em cinco anos, 3.371.065 m<sup>3</sup>/ano em 10 anos e 4.228.664 m<sup>3</sup>/ano para 20 anos.

### Agricultura

Os cálculos de demanda para a irrigação, nesse relatório, foram baseados em dois levantamentos distintos, visando alcançar uma aproximação ao valor de demanda para essa finalidade. Os cálculos com dois diferentes métodos foi necessário devido às imprecisões dos dados disponíveis sobre as reais demandas de água para a irrigação.

Nas literaturas disponíveis sobre recursos hídricos, a demanda na irrigação configura como o uso mais significativo em volume de água. Entre os municípios da RMN, a agricultura é mais significativa em Macaíba e Ceará-Mirim, que representam 57% desta atividade na região estudada. Nestes municípios, essas características reforçam a necessidade de uso da água para a irrigação, sendo que representa o maior volume de água demandado, dentre todas as finalidades consideradas nesse estudo.

O primeiro método para o cálculo de demanda hídrica para irrigação é apresentado na **Tabela 3.10** e foi baseado nos dados do IBGE (2008), que apresenta a área colhida das principais culturas da RMN. A partir das áreas colhidas e os tipos de culturas foi calculada a demanda teórica de água, utilizando dados de consumo de água por tipo de cultura, definidos em estudos realizados pelo Laboratório de Hidráulica e Irrigação da Universidade Federal do Ceará.

Entretanto, cabe ressaltar, que a demanda calculada pelo método acima não é real, visto que assume irrigação na totalidade de áreas cultivadas na região metropolitana de Natal e, desse modo, representa uma demanda extremamente superestimada. A maior incerteza no método adotado está em estabelecer a dimensão de áreas irrigadas e para quais culturas. Nos dados disponíveis na literatura e nos órgãos públicos não é possível identificar as informações que permitiriam um cálculo mais preciso da demanda na irrigação dessa região.

Diante da necessidade de alcançar uma estimativa mais adequada para a demanda de água para a irrigação na RMN, optou-se por calcular os dados de vazões do cadastro de outorgas e do cadastro de poços realizados nesse estudo com a finalidade de irrigação. A **Tabela 3.11** apresenta os resultados, com uma demanda total para irrigação de 56.655.329 m<sup>3</sup>/ano na RMN.

**Tabela 3.10. Cálculo teórico da demanda de água na irrigação da RMN**

Culturas	Áreas colhidas por município (ha) <sup>1</sup>								Área colhida total <sup>1</sup> (ha)	Consumo específico por cultura <sup>2</sup> (m <sup>3</sup> /ano/ha)	Demanda total (m <sup>3</sup> /ano)
	MAC	NSF	PAR	CRM	EXT	MTA	SGA	SJM			
Cana-de-açúcar	60	713	242	8.000	415	50	2.530	4.525	16.535	15.590	257.780.650
Castanha-de-caju	14.000	300	90	330	245	131	100	95	15.291	4.003*	61.209.873
Coco da baía	600	1.830	370	2.600	125	25	300	600	6.450	5.973*	38.525.850
Milho	240	250	144	50	130	248	324	203	1.589	16.880	26.822.320
Feijão	450	300	225	70	100	278	530	315	2.268	8.000	18.144.000
Mandioca	400	700	250	220	220	349	650	825	3.614	4.003*	14.466.842
Mamão	25	10	20	10	95	0	20	80	260	8.396	2.182.960
Batata doce	3	70	0	7	0	48	0	220	348	4.003*	1.393.044
Banana	15	28	40	50	145	10	70	56	414	11.762	4.869.468
Manga	11	25	4	10	3	9	4	115	181	4.003	724.543
Abacate	0	22	5	0	0	0	0	50	77	5.578	429.506
Abacaxi	15	0	0	7	0	1	60	10	93	4.003	372.279
Goiaba	0	4	3	2	0	0	0	25	34	4.613	156.842
Laranja	0	8	8	0	0	0	5	64	85	4.613*	392.105
Maracujá	0	3	3	4	0	0	1	2	13	5.973	77.649
Limão	0	0	5	0	0	0	3	0	8	4.613	36.904
Tangerina	0	0	0	0	0	0	0	20	20	4.613*	92.260
<b>Total</b>	<b>15.819</b>	<b>4.263</b>	<b>1.409</b>	<b>11.360</b>	<b>1.478</b>	<b>1.149</b>	<b>4.597</b>	<b>7.205</b>	<b>47.280</b>	-	<b>427.677.095</b>

\* Valor determinado pela similaridade com outro tipo de cultura

1 - Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária, Produção Agrícola Municipal - 2008

2 - Fonte: Laboratório de Hidráulica e Irrigação da Universidade Federal do Ceará - 1999

MAC – Macaíba; NSF – Nísia Floresta; PAR – Parnamirim; CRM– Ceará-Mirim; EXT – Extremoz; MTA – Monte Alegre; SGA – São Gonçalo do Amarante; SJM – São José do Mipibu

**Tabela 3.11. Demanda hídrica para agricultura - cadastro de usuários**

Fonte de informação	Cadastro de outorga superficial			Cadastro de outorga subterrânea			Cadastro de poços			Demanda Total (m <sup>3</sup> /ano)
	Município	N	Q média (m <sup>3</sup> /dia)	Demanda anual (m <sup>3</sup> /ano)	N	Q média (m <sup>3</sup> /dia)	Demanda anual (m <sup>3</sup> /ano)	N	Q média (m <sup>3</sup> /dia)	
Ceará-Mirim	20	2146,54	15.669.742	9	1.248,67	4.101.881	46	1.295,76	21.755.810	41.527.433
Parnamirim	1	96,00	35.040	4	3643,71	5.319.817	2	1.500,00	1.095.000	6.449.857
Macaíba	6	563,18	1.233.364	5	260,99	476.307	12	217,68	953.438	2.663.109
Nísia Floresta	7	606,40	1.549.352	1	132,28	48.282	5	17,28	31.536	1.629.170
S. Jose de Mipibu	3	482,60	528.447	2	316,01	230.687	4	540,00	788.400	1.547.534
S. Gonçalo do Amarante	4	748,57	1.092.912	1	137,84	50.312	2	55,20	40.296	1.183.520
Monte Alegre	6	337,81	739.804	2	308,91	225.504	0	0	0	965.308
Extremoz	2	441,38	322.207	1	430,00	156.950	2	288,00	210.240	689.397
<b>Total</b>	<b>49</b>	<b>5.422,48</b>	<b>21.170.869</b>	<b>25</b>	<b>6.478,41</b>	<b>10.609.739</b>	<b>73</b>	<b>3.913,92</b>	<b>24.874.721</b>	<b>56.655.329</b>

Para elaboração da **Tabela 3.11** foram suprimidos do cadastro de poços os que já constavam no cadastro de outorgas.

O volume total outorgado para a irrigação também não representa a demanda total do RMN para essa finalidade. Em geral, as outorgas não abrangem todos os usuários, como evidenciado pelo cadastro de poços, discutido no capítulo específico deste relatório. Portanto, o volume outorgado representa uma estimativa subestimada da demanda efetiva para a irrigação.

Conclui-se então, que a demanda para irrigação na RMN é um número que está situado entre os dois valores discutidos neste estudo, 56.655.329 e 427.677.095 m<sup>3</sup>/ano. De qualquer modo, como o intervalo entre os dois valores é muito distante, a indicação da demanda de irrigação será arbitrada em uma quantidade mais próxima do volume outorgado, visto que representa uma condição real do uso de água para essa finalidade. Assim, atribui-se que o valor de demanda para irrigação é o dobro das outorgas concedidas para essa finalidade, ou seja, 113.310.658 m<sup>3</sup>/ano.

Entretanto, recomenda-se que em um estudo específico, considerando o cadastramento de usuários de água para irrigação, seja realizado um detalhamento dessa informação para permitir uma melhor gestão dos recursos hídricos aplicados na produção agrícola da região.

As projeções futuras da demanda para a irrigação serão efetuadas utilizando o critério adotado no Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Maxaranguape (SEMARH, 2010), no qual estatísticas do Rio Grande do Norte indicam uma evolução da área irrigada no estado a uma taxa de crescimento de 3,33% entre 1996 para 2003 (CHRISTOFIDIS, 2008). Neste estudo, esta taxa será utilizada para o cálculo da projeção de demanda de água para irrigação de 5 em 5 anos. Assim poderemos estimar a demanda para o ano de 2015 de 117.083.902, para 2020 de 120.982.797 m<sup>3</sup>/ano e para 2030 de 125.011.524 m<sup>3</sup>/ano.

### Industrial

O consumo de água para uso industrial é relevante na área estudada, pois é na Região Metropolitana de Natal que se encontram a maioria das indústrias do estado, tendo grande parte desses empreendimentos localizados principalmente em Macaíba, seguido de Natal, Parnamirim e São Gonçalo do Amarante (**Tabela 3.12**).

<b>Tabela 3.12. Demanda hídrica para indústria (cadastro de usuários)</b>			
<b>Município</b>	<b>Total de empreendimentos</b>	<b>Total de demanda atual (m<sup>3</sup>/ano)</b>	<b>Total de demanda atual para RMN (m<sup>3</sup>/ano)</b>
Ceará Mirim	18	7.082.807	<b>31.483.322</b>
S. Gonçalo do Amarante	29	6.829.515	
Natal	34	6.524.302	
Macaíba	67	6.448.154	
Extremoz	20	2.294.445	
Parnamirim	30	1.986.611	
S. José do Mipibu	11	316.393	
Nísia Floresta	2	1.095	
<b>Total</b>	<b>211</b>	<b>-</b>	

Entretanto, a **Tabela 3.12** mostra que a maior demanda de água para este uso ocorre em Ceará-Mirim, apesar de ser apenas o sexto município em quantidade de indústrias. Isto ocorre porque a maioria das indústrias localizadas neste município é do ramo das usinas sucroalcooleiras. As demandas de água para este tipo de uso não é significativo em São José do Mipibu e Nísia Floresta.

Conforme observado na **Tabela 3.12** a demanda total de água para uso industrial atual na RMN é de 31.483.322 m<sup>3</sup>/ano.

Para estimar a demanda futura foi utilizado o percentual de 15% em 10 anos, definido pela DIEESE (Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos). Assim, calcula-se que futuramente a RMN necessitará de 33.844.571 m<sup>3</sup>/ano para suprir a demanda industrial de água em cinco anos, 36.382.914 m<sup>3</sup>/ano em 10 anos e 41.840.351 m<sup>3</sup>/ano em 20 anos. Em estudos específicos deve ser considerada a economia mundial em relação à indústria têxtil e informática (China) que poderá influenciar o crescimento industrial local.

A **Tabela 3.13** mostra a demanda de água para uso industrial no município de Natal, dividido por regiões, sendo que em Natal, 47% das indústrias cadastradas localizam-se na região norte, 38% na região oeste e 15% no sul.

Assim, a região norte é responsável por grande parte da água necessária para suprir a demanda industrial de água em Natal, pois esta região utiliza 67% do total de água consumido para este uso no município.

<b>Tabela 3.13. Avaliação de demanda industrial nas regiões do município de Natal</b>		
<b>Região</b>	<b>Total de empreendimentos</b>	<b>Demanda em 2010 (m<sup>3</sup>/ano)</b>
Norte	16	4.355.180
Oeste	13	1.179.242
Sul	5	989.880
<b>Total</b>	<b>34</b>	<b>6.524.302</b>

## Carcinicultura

A carcinicultura é uma atividade que representa 61 empreendimentos localizados na RMN cadastrados na lista de outorgas da SEMARH, todos com captação de água superficial, sendo o maior número de empreendimentos em Nísia Floresta e Ceará-Mirim, que representam 51% dos usuários de água para carcinicultura cadastrados e ambos são responsáveis por 60% do total de demanda de água para este uso na RMN.

Cabe ressaltar, que para este uso específico não há poços no cadastro deste estudo com informação de demanda hídrica, constando apenas no cadastro de outorgas de água superficial da SEMARH.

<b>Tabela 3.14. Demanda hídrica para carcinicultura – cadastro de usuários (m<sup>3</sup>/ano)</b>			
<b>Município</b>	<b>Total de empreendimentos</b>	<b>Total de demanda de água (m<sup>3</sup>/ano)</b>	<b>Total de demanda de água no RMN (m<sup>3</sup>/ano)</b>
Ceará-Mirim	12	79.083	207.145
Nísia Floresta	19	44.551	
S. José do Mipibu	8	27.430	
Extremoz	7	21.773	
S. Gonçalo do Amarante	7	16.818	
Macaíba	7	13.665	
Natal	1	3.826	

Assim, conforme mostra a **Tabela 3.14**, a RMN tem um consumo de água total de 207.145 m<sup>3</sup>/ano para esta atividade. Para calcular a demanda futura nas atividades de carcinicultura, utilizou-se o mesmo percentual de crescimento das atividades industriais, de 15% em 10 anos, estimando uma demanda para esta atividade de 222.681 m<sup>3</sup>/ano em cinco anos, 239.382 m<sup>3</sup>/ano em 10 anos e 275.289 m<sup>3</sup>/ano para 20 anos.

## Turismo

O turismo é uma atividade que pode ser um potencial de desenvolvimento econômico na região estudada. Portanto, com os dados de número de leitos de hotel da Secretaria do Turismo do Rio Grande do Norte foi elaborada a **Tabela 3.15** que apresenta a demanda de água atual e futura para suprir a necessidade de água para essa atividade.

Cabe ressaltar, que as atividades turísticas necessitam de demanda de água elevada em período sazonal, principalmente entre novembro e fevereiro, sendo que o cálculo é feito como se o total de leitos estivesse ocupado durante 3 meses por ano e o consumo é de 120 l/dia/leito.



**Tabela 3.15. Demanda de água para a capacidade de hospedagem na RMN**

Município	Total de leitos <sup>1</sup>	Consumo de água estimado <sup>2</sup> (L/dia/leito)	Período de população flutuante (dias)	Consumo de água atual (m <sup>3</sup> /ano)	Consumo de água total atual para RMN (m <sup>3</sup> /ano)
Natal	26.106	120	90	281.945	315.133
Ceará-Mirim	270			2.916	
Extremoz	1.510			16.308	
Nísia Floresta	462			4.990	
Parnamirim	831			8.975	

1 - SETUR-RN

2 - Fonte: UNESP

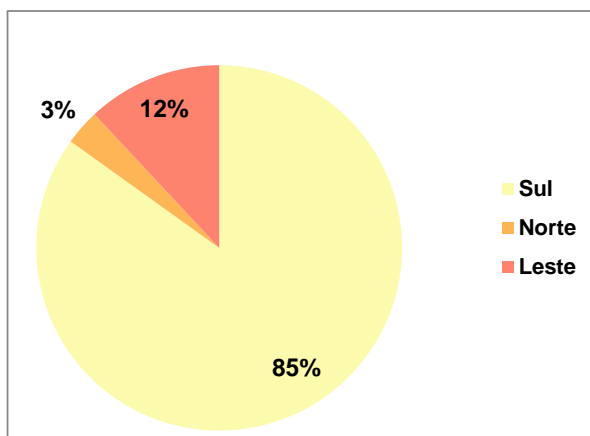
Conforme mostra a **Tabela 3.15**, a demanda de água total para o turismo na RMN é de 315.133 m<sup>3</sup>/ano, tendo Natal como o município que apresenta a maior demanda para este uso, com participação de aproximadamente 90% na demanda total da área estudada.

Para cálculo da demanda futura, também será utilizada uma taxa de crescimento de 15% em dez anos para essa atividade. Assim, em cinco anos a demanda para o turismo na RMN será de 338.768 m<sup>3</sup>/ano, em dez anos será de 364.176 m<sup>3</sup>/ano e em vinte anos será de 418.802 m<sup>3</sup>/ano.

Ressalta-se que nesse estudo da demanda de água para o turismo, não foram considerados os dados dos empreendimentos citados no cálculo da demanda para o consumo humano, evitando-se, assim, a duplicidade nos valores de demanda de água para essa finalidade. Desse modo, o crescimento projetado nesse cálculo acima, representa um crescimento vegetativo da capacidade instalada atualmente.

Para o município de Natal, a partir de dados do número de hotéis por região registrados em 2010, fornecidos pela Secretaria Municipal de Turismo e Desenvolvimento Econômico, foi possível elaborar a **Figura 3.6** que mostra a distribuição dos hotéis por região municipal. Este gráfico nos mostra confirma a tendência do crescimento do turismo na região sul de Natal, onde se localiza a praia de Ponta Negra e a Via Costeira.

A partir dos dados da porcentagem de hotéis por região em Natal e com o total da demanda de água para este uso no município (281.945 m<sup>3</sup>/ano), foi calculado o volume de água requerido por região. Assim, atualmente, a região sul de Natal representa maior demanda para este uso no município, com 239.653 m<sup>3</sup>/ano, seguido da região leste, com 33.833 m<sup>3</sup>/ano e norte com 8.458 m<sup>3</sup>/ano.



**Figura 3.6. Porcentagem de hotéis por região no município de Natal**

A partir de todos os cálculos realizados no desenvolvimento deste item, a **Tabela 3.16** apresenta a demanda total atual e as projeções futuras estimadas para todos os usos da água dos municípios da RMN.

Os valores de demanda de água totalizados para a RMN demonstram um crescimento de 6,5% nos próximos cinco anos, 13% nos próximos 10 anos e 27% nos próximos 20 anos, sendo que as estimativas atuais são de 257.730.486 m<sup>3</sup>/ano, aumentando para 276.564.860 m<sup>3</sup>/ano em 2015, 297.541.651 m<sup>3</sup>/ano em 2020 e 352.475.030 m<sup>3</sup>/ano em 2030.

Natal destaca-se como o município que possui a maior demanda de água da área estudada, seguido de Parnamirim e, em ambos, os números são alavancados principalmente devido ao uso da água para consumo humano e turismo. Monte Alegre e Nísia Floresta são os municípios com o menor volume de água para demandas gerais da RMN, sendo que neste último destaca-se o uso da água para carcinicultura. A demanda de água para uso agrícola, tanto pecuária como irrigação, destaca-se no município de Ceará-Mirim, assim como o uso industrial devido à quantidade de usinas localizadas neste município.

As etapas subsequentes desse estudo utilizarão essas estimativas de demandas de água para o cálculo do balanço hídrico regional, buscando setorizar as localidades deficitárias ou críticas e os locais com disponibilidade hídrica para suprir demandas adicionais e, de posse desse conhecimento, suprir informações necessárias à gestão dos recursos hídricos.

**Tabela 3.16. Demanda de água total atual e futura da RMN (m<sup>3</sup>/ano)**

Atual							
Uso	Consumo humano	Irrigação	Pecuária	Industrial	Carcinicultura	Turismo	Total
Natal	73.341.184	0	51.830	6.524.302	3.826	281.945	80.203.087
Panamirim	18.474.110	3.174.521	222.988	1.986.611	-	8.975	23.867.205
S. G. Amarante	4.617.193	14.629.456	295.910	6.829.515	16.818	-	26.388.892
Macaíba	4.999.721	18.930.550	572.467	6.448.154	13.665	-	30.964.557
Ceará-Mirim	3.192.169	38.913.397	328.784	7.082.807	79.083	2.916	49.599.156
S. J. de Mipibu	1.832.447	22.825.185	433.032	316.393	27.430	-	25.434.487
Extremoz	1.225.554	3.479.319	180.250	2.294.445	21.773	16.308	7.217.649
Nísia Floresta	1.104.783	8.854.693	165.339	1.095	44.551	4.990	10.175.451
Monte Alegre	939.672	2.503.537	436.793	-	-	-	3.880.002
<b>Total RMN</b>	<b>109.726.833</b>	<b>113.310.658</b>	<b>2.687.393</b>	<b>31.483.322</b>	<b>207.146</b>	<b>315.134</b>	<b>257.730.486</b>
Futura (5 anos)							
Uso	Consumo humano	Irrigação	Pecuária	Industrial	Carcinicultura	Turismo	Total
Natal	78.046.021	0	58.050	7.013.625	4.113	303.091	85.424.900
Panamirim	24.234.337	3.280.233	249.747	2.135.607	-	9.648	29.909.572
S. G. Amarante	5.223.199	15.116.617	331.419	7.341.729	18.079	-	28.031.043
Macaíba	5.663.934	19.560.937	641.163	6.931.766	14.690	-	32.812.490
Ceará-Mirim	3.345.553	40.209.213	368.238	7.614.017	85.014	3.135	51.625.170
S. J. de Mipibu	1.944.043	23.585.264	484.996	340.122	29.487	0	26.383.912
Extremoz	1.381.996	3.595.180	201.880	2.466.529	23.406	17.531	7.686.522
Nísia Floresta	1.242.383	9.149.554	185.179	1.177	47.892	5.364	10.631.549
Monte Alegre	984.589	2.586.905	489.208	-	-	-	4.060.702
<b>Total RMN</b>	<b>122.066.055</b>	<b>117.083.903</b>	<b>3.009.880</b>	<b>33.844.572</b>	<b>222.681</b>	<b>338.769</b>	<b>276.565.860</b>
Futura (10 anos)							
Uso	Consumo humano	Irrigação	Pecuária	Industrial	Carcinicultura	Turismo	Total
Natal	82.750.858	0	65.016	7.539.646	4.421	325.822	90.685.763
Panamirim	31.790.604	3.389.464	279.717	2.295.777	-	10.372	37.765.934
S. G. Amarante	5.829.206	15.620.000	371.190	7.892.358	19.435	-	29.732.189
Macaíba	6.328.147	20.212.317	718.102	7.451.648	15.791	-	34.726.005
Ceará-Mirim	3.498.937	41.548.180	412.426	8.185.068	91.390	3.370	53.739.371
S. J. de Mipibu	2.055.639	24.370.653	543.195	365.632	31.699	-	27.366.818
Extremoz	1.538.438	3.714.900	226.105	2.651.519	25.162	18.846	8.174.970
Nísia Floresta	1.379.984	9.454.234	207.401	1.265	51.484	5.766	11.100.134
Monte Alegre	1.029.505	2.673.049	547.913	-	-	-	4.250.467
<b>Total RMN</b>	<b>136.201.318</b>	<b>120.982.797</b>	<b>3.371.065</b>	<b>36.382.913</b>	<b>239.382</b>	<b>364.176</b>	<b>297.541.651</b>
Futura (20 anos)							
Uso	Consumo humano	Irrigação	Pecuária	Industrial	Carcinicultura	Turismo	Total
Natal	93.367.793	0	81.556	8.670.593	5.084	374.696	102.499.722
Panamirim	51.615.225	3.502.333	350.877	2.640.144	-	11.927	58.120.506
S. G. Amarante	7.359.372	16.140.146	465.620	9.076.212	22.350	-	33.063.700
Macaíba	8.009.536	20.885.387	900.787	8.569.395	18.160	-	38.383.265
Ceará-Mirim	3.835.184	42.931.734	517.347	9.412.829	105.099	3.875	56.806.068
S. J. de Mipibu	2.306.016	25.182.196	681.384	420.476	36.454	-	28.626.526
Extremoz	1.931.201	3.838.606	283.626	3.049.246	28.936	21.673	9.153.288
Nísia Floresta	1.723.738	9.769.060	260.163	1.455	59.207	6.631	11.820.254
Monte Alegre	1.127.926	2.762.061	687.303	-	-	-	4.577.290
Emp. (EIA-RIMA)	9.424.410	-	-	-	-	-	9.424.410
<b>Total RMN</b>	<b>180.700.401</b>	<b>125.011.524</b>	<b>4.228.663</b>	<b>41.840.350</b>	<b>275.290</b>	<b>418.802</b>	<b>352.475.030</b>

Durante o desenvolvimento deste item foram feitos os cálculos da demanda de Natal dividida por regiões para os principais usos de água neste município, que são: consumo humano, industrial e turismo, apresentados na **Tabela 3.17**.

<b>Tabela 3.17. Demanda de água por região de Natal (m<sup>3</sup>/ano)</b>				
<b>Região</b>	<b>Consumo humano</b>			
	<b>Atual</b>	<b>Futura (5 anos)</b>	<b>Futura (10 anos)</b>	<b>Futura (20 anos)</b>
Norte	29.170.709	31.042.010	32.913.311	37.136.088
Oeste	18.692.015	19.891.108	21.090.201	23.796.073
Sul	15.192.304	16.166.890	17.141.476	19.340.728
Leste	10.286.156	10.946.013	11.605.870	13.094.903
<b>Industrial</b>				
Norte	4.355.180	4.681.819	5.032.955	5.787.898
Oeste	1.179.242	1.267.685	1.362.762	1.567.176
Sul	989.880	1.064.121	1.143.930	1.315.520
Leste	-	-	-	-
<b>Turismo</b>				
Norte	8.458	9.092	9.774	11.240
Oeste	-	-	-	-
Sul	239.653	257.627	276.949	318.491
Leste	33.833	36.370	39.098	44.963
<b>Demanda total em Natal</b>				
Norte	33.534.347	35.732.921	37.956.040	42.935.227
Oeste	19.871.257	21.158.793	22.452.963	25.363.249
Sul	16.421.837	17.488.638	18.562.355	20.974.739
Leste	10.319.989	10.982.383	11.644.968	13.139.866

Em Natal, é a zona norte que possui a maior demanda do município porque apresenta o maior número de habitantes, assim como as indústrias também estão localizadas principalmente nesta área.

Entretanto para demandas futuras devemos considerar a zona sul como importante em relação ao aumento do consumo de água, pois, apesar desta região não possuir a maior taxa de crescimento populacional, é na zona sul que ocorre a expansão do turismo em Natal, conforme apresentado anteriormente neste item durante a discussão da demanda de água para o turismo, onde pudemos observar que a zona sul concentra 85% dos hotéis deste município.

#### **4 ATIVIDADES RELATIVAS AO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA**

O modelo de ocupação e uso do solo nas áreas urbanas provoca alterações significativas no regime de fluxo das águas, sobretudo nas taxas de escoamento e de infiltração, influenciadas pela infraestrutura urbana e pelos índices de impermeabilização dos terrenos.

As áreas permeáveis, além de permitirem um dado escoamento superficial, também possibilitam a infiltração que contribui com os fluxos subterrâneos e com a recarga natural do aquífero.

As áreas impermeáveis praticamente tornam nula a infiltração e, conseqüentemente, provocam aumentos nas taxas de escoamento superficial. Esse cenário acarreta a diminuição da recarga natural do aquífero e provoca aumento na vazão do fluxo de escoamento das águas pluviais que chegarão em maior volume e velocidade aos baixos topográficos e aos corpos d'água receptores, muitas vezes ocasionando inundações e provocando transtornos e prejuízos aos municípios e municípios.

A Constituição Federal de 1988, no inciso V do art. 30 determina aos municípios a competência de “organizar e prestar, diretamente ou sob regime de concessão ou permissão, os serviços públicos de interesse local...”. A Lei Federal 10.257/2001, mais conhecida como Estatuto das Cidades, estabelece parâmetros e diretrizes da política e gestão urbana no Brasil, orientando os poderes executivos e legislativos municipais para o desenvolvimento do arcabouço legal que visa organizar o crescimento, o funcionamento e o planejamento territorial da cidade, bem como estabelecer as prioridades de investimentos, contando com o envolvimento dos atores públicos e da sociedade civil na elaboração dessas diretrizes.

A drenagem e o manejo das águas pluviais urbanas são considerados na Lei 11.445, de 05 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, como o conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas.

Este estudo objetivou a identificação e o cadastramento dos sistemas de drenagem urbana bem como a caracterização das taxas de impermeabilização dos municípios, visando permitir a avaliação da influência dessas infraestruturas urbanas na recarga do aquífero e na diluição dos teores de nitrato na água subterrânea.

A recarga urbana através do sistema de drenagem, nesse estudo, corresponde à somatória das taxas de recarga natural nas áreas permeáveis das sedes urbanas e das infiltrações provenientes dos sistemas de drenagens existentes nos municípios da RMN.

### Recarga Natural nas Áreas Permeáveis das Sedes Municipais

O nível de desenvolvimento e a extensão da infraestrutura de drenagem urbana variam significativamente de um município para outro na Região Metropolitana de Natal (RMN), conforme pode ser observado na **Tabela 4.1** que também apresenta as taxas de permeabilidade dos terrenos nos municípios da RMN com as respectivas legislações que definem as regras de parcelamento do solo e consolidam os respectivos planos diretores.

<b>Tabela 4.1. Rede de drenagem urbana e taxa de permeabilidade nos municípios da RMN</b>			
<b>Município</b>	<b>Rede de Drenagem <sup>1</sup></b>	<b>Taxa de Permeabilidade <sup>2</sup></b>	<b>Legislação <sup>3</sup></b>
Ceará-Mirim	50%	20%	Lei 006 - 19/12/2006
Extremoz	20%	20%	Lei Compl. 493 - 06/10/2006
Macaíba	0%	30%	Lei Compl. 01 - 19/12/2008
Monte Alegre	0%	20%	Lei 428 - 10/10/2006
Natal	100%	20%	Lei Compl. 082 - 21/06/2007
Nísia Floresta	0%	50%	Lei Compl. 001 - 05/11/2007
Parnamirim	20%	20%	Lei 1058 - 30/08/2000
São Gonçalo do Amarante	0%	20%	Lei Compl. 049 - 17/07/2009
São José de Mipibu	0%	30%	Lei 006 - 28/06/2007

1 - Percentuais dos territórios das sedes municipais com cobertura de drenagem urbana, estimados com base nas informações disponíveis.

2 - Taxa de permeabilidade predominante no município, pois em alguns casos podem ser estabelecidas diferentes taxas, de acordo com o zoneamento urbano.

3 - Legislação que define as taxas mínimas de permeabilidade nos terrenos e, em geral, estabelecem as regras de parcelamento do solo nos municípios e regulamentam as diretrizes definidas no Plano Diretor.

As taxas de permeabilidade definidas nos planos diretores dos municípios influenciam diretamente no planejamento dos sistemas de drenagem, pois o aumento na impermeabilização da superfície dos terrenos provocará aumento nos volumes de escoamento das chuvas e, conseqüentemente demandam sistemas mais robustos para retenção e disposição das chuvas intensas que periodicamente ocorrem nas cidades.

É comum os municípios definirem mais de uma taxa de permeabilidade, de acordo com o padrão de zoneamento urbano que, em geral, são influenciados pela finalidade da ocupação, padrões das edificações, estágio de desenvolvimento, entre outros. Entretanto, na RMN, a maioria dos municípios possui uma única taxa de permeabilidade (**Tabela 4.1**) com exceção dos municípios de Extremoz, São Gonçalo do Amarante e São José de Mipibu.

Em Extremoz, as taxas de permeabilidade de áreas industriais devem ser de 50% e também há destaque para as áreas de interesse turístico, porém com a mesma taxa estabelecida para as demais finalidades de uso (20%).

Em São Gonçalo do Amarante, as áreas de expansão urbana devem manter um mínimo de 30% de permeabilidade nas ocupações, melhorando as condições de infiltração para as futuras áreas urbanas desse município, já que nas áreas já urbanizadas a permeabilidade mínima é de 20%.

São José de Mipibu estabeleceu uma permeabilidade mínima de 50% para as áreas rurais, sendo esse, o único município da RMN que estabelece permeabilidade específica para as áreas rurais.

A partir das taxas de permeabilidade estabelecidas pelos municípios foram calculadas recargas potenciais dos aquíferos. Essa componente da recarga, proveniente da infiltração das chuvas nas superfícies não-pavimentadas e não-edificadas, existentes nas zonas urbanas, pode ser definida como a fração da recarga natural do aquífero na região urbana do município. Conforme será discutido no capítulo específico adiante, juntamente com outros volumes de recargas induzidas, será calculada a recarga total ao aquífero existente nas sedes urbanas dos municípios.

A **Tabela 4.2** abaixo demonstra os volumes de recarga natural do aquífero calculadas para as sedes municipais na RMN. O cálculo abaixo representa uma condição teórica de recarga, na qual se considera que as áreas permeáveis das sedes municipais correspondem exatamente às taxas definidas na legislação.

Tabela 4.2. Cálculo da recarga natural nas sedes municipais da RMN				
Município	Área da Sede <sup>1</sup> (km <sup>2</sup> )	Permeabilidade <sup>2</sup> (km <sup>2</sup> )	Taxa de recarga <sup>3</sup> (mm)	Rec. Natural (m <sup>3</sup> /ano)
Ceará-Mirim	4,5	0,9	50	45.000
Extremoz	1,3	0,3	220	57.200
Macaíba	22,1	6,6	100	663.000
Monte Alegre	1,2	0,2	50	12.000
Natal	108,6	21,7	220	4.778.400
Nísia Floresta	1,3	0,7	220	143.000
Parnamirim	34	6,8	220	1.496.000
São Gonçalo do Amarante	3	0,6	220	132.000
São José de Mipibu	1,9	0,6	220	125.400

1 - Área urbana da sede calculada no Sistema de Informações Georreferenciada, considerando a mancha de ocupação na imagem de satélite de 2010.

2 - Cálculo do produto da área da sede pela taxa de permeabilidade definida na legislação do município.

3 - Taxa de recarga natural baseada na ponderação dos cálculos de recarga pelos métodos climatológicos e de hidrologia de superfície.

As áreas urbanas descritas na **Tabela 4.2** não consideram as grandes áreas não ocupadas, como por exemplo, o Parque das Dunas e o Morro do Careca que inclui também a área da Barreira do Inferno, nos municípios de Natal e Parnamirim. Assim, as taxas de permeabilidade são aplicadas sobre as áreas ocupadas das sedes municipais.

As recargas naturais nessas extensas áreas desocupadas e permeáveis serão calculadas integralmente no balanço hídrico a ser elaborado para toda a RMN. Nesse capítulo, pretende-se abordar isoladamente as recargas sob influência da urbanização.

As taxas de recargas naturais são influenciadas por diversos fatores, tais como o clima (pluviosidade, temperatura, intensidade da insolação e dos ventos), do tipo de terreno, morfologia, composição, inclinação, umidade, etc. Por essa razão, e considerando a escala desse estudo, as recargas naturais na RMN foram definidas em faixas, considerando as abordagens dos estudos de recargas discutidos no Volume 1 deste Relatório Final.

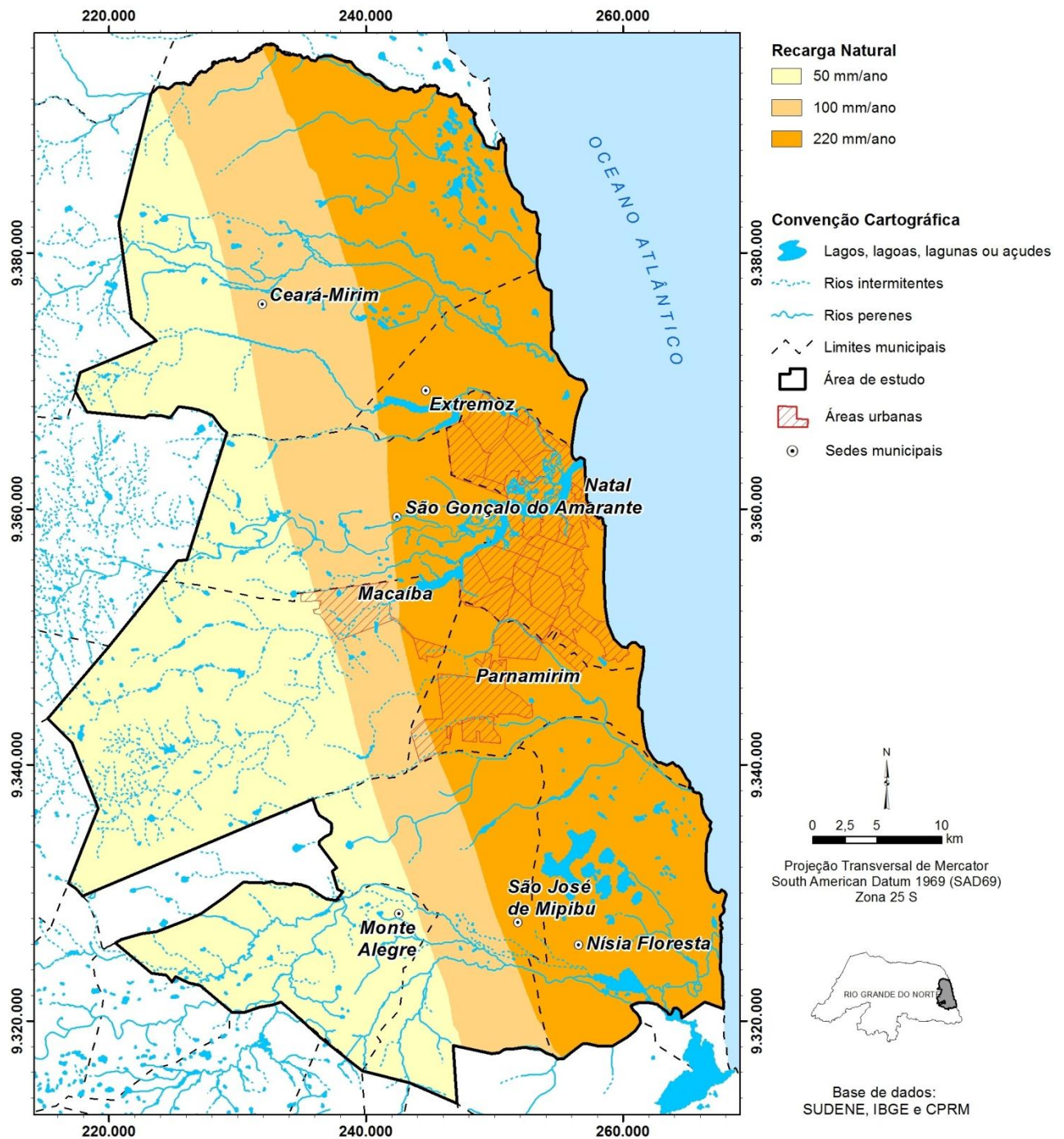
As taxas de recarga natural utilizadas foram definidas para toda a área de estudo, conforme demonstrado na **Figura 4.1** abaixo, sendo resultantes da ponderação dos resultados das recargas calculadas pelos métodos climatológico e de hidrologia de superfície.

Essas mesmas taxas de recarga natural foram utilizadas para a elaboração de um modelo numérico de fluxo do aquífero Barreiras que simula o balanço hídrico na RMN, considerando as influências antrópicas na dinâmica do aquífero. Cabe ressaltar, que o mapa apresentado na **Figura 4.1** tem a finalidade de aplicação no modelo numérico e foi apresentado um mapa de recarga detalhado no capítulo específico deste relatório.

Apesar do estabelecimento das taxas de permeabilidade pelos planos diretores dos municípios, as reais condições de impermeabilização dos terrenos dependem do nível de desenvolvimento urbano de cada cidade. Em relação à Região Metropolitana de Natal, os municípios possuem diferentes modelos de ocupação territorial, sendo que tais características influenciam as condições de contorno para o dimensionamento das recargas nas sedes municipais.

Estudos de detalhe poderão ser efetuados nas sedes municipais da RMN, visando definir taxas de permeabilidade reais da ocupação, permitindo o refinamento dos estudos de recargas em trabalhos futuros.





**Figura 4.1. Recarga natural no aquífero Barreiras**

Além da parcela de recarga natural na zona urbana, para as sedes municipais que possuem sistema de drenagem, será calculada outra taxa de contribuição para a recarga que corresponde à parcela de recarga urbana proveniente da drenagem urbana. Essa parcela de recarga, as contribuições de esgoto e as perdas da rede de distribuição de água compõem a recarga urbana total, conforme será abordado adiante nesse relatório.

## Recarga Urbana pelos Sistemas de Drenagem de Águas Pluviais

Os sistemas de drenagem urbana são projetados, em teoria, para escoar e destinar as vazões de água provocadas pelas chuvas precipitadas nas áreas impermeáveis da cidade. Desse modo, o dimensionamento dos sistemas de drenagem, em geral, consideram as ocorrências de chuvas intensas, calculadas em diversas taxas de tempo de retorno, visando possibilitar o escoamento das vazões máximas, evitando-se as inundações e os consequentes prejuízos.

Em tese, as áreas impermeáveis e os sistemas de drenagem com deflúvios em corpos hídricos superficiais não permitem a infiltração e, por consequência, impedem a recarga do aquífero. Na prática, os sistemas de drenagem não são totalmente impermeáveis, às vezes, por projetarem equipamentos de retardação de fluxo permeáveis, como, por exemplo, bacias de infiltração, mas também pelas escassas manutenções das infraestruturas subterrâneas e, desse modo, permitem alguma parcela de infiltração e de recarga do aquífero.

Os sistemas de drenagem podem ser classificados, de acordo com suas dimensões em microdrenagem e macrodrenagem.

A microdrenagem é situada nas áreas geradoras dos fluxos, ou seja, próximos aos terrenos, nas ruas, nas praças, nos parques, etc. e possuem a finalidade de coletar e direcionar os fluxos, ainda em pequenas vazões, ao sistema de macrodrenagem. Os componentes da microdrenagem são os bueiros, sarjetas, meio-fio, poços de visitas, canaletas e a rede de galerias associadas aos bueiros.

A macrodrenagem é responsável por agregar os fluxos dos sistemas de microdrenagem, retardar e controlar os fluxos e direcioná-los à disposição final nos corpos receptores superficiais ou subterrâneos. A infraestrutura da macrodrenagem é composta de canais, reservatórios, estações elevatórias, túneis e bacias de contenção, retardação ou infiltração.

O cadastramento dos sistemas de drenagens urbanas dos municípios da RMN foi realizado visando obter informações que permitissem calcular as possíveis taxas de recarga propiciadas por essas infraestruturas urbanas. O trabalho de levantamento de informações contou com pesquisa nos planos diretores, consultas às Secretarias Municipais competentes ao tema, visitas de campo para cadastramento e georreferenciamento das principais infraestruturas e interpretação de imagens no sistema de informações georreferenciadas. Todas essas atividades permitiram compilar o elenco de informações que serão descritas a seguir visando à caracterização dos sistemas de drenagem urbana na RMN.

Os levantamentos de informações identificaram a existência de sistemas de drenagem urbana nos municípios de Natal, Parnamirim, Ceará-Mirim e Extremoz com cobertura total ou parcial às suas sedes municipais e, desse modo, foram utilizados os dados disponíveis para estimar as recargas provenientes das drenagens urbanas desses municípios.

As Secretarias Municipais de Macaíba, Monte Alegre, Nísia Floresta, São Gonçalo do Amarante e São José de Mipibu informaram a inexistência de sistemas de drenagem urbana nas suas sedes municipais.

### Natal

O município de Natal promulgou a Lei Complementar 124, de 30 de junho de 2011 que dispõe sobre o Plano Diretor de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais. Esse é o único município da RMN que possui um plano de drenagem elaborado. A Secretaria Municipal de Obras e Infraestrutura (SEMOPI) forneceu o relatório técnico do Plano Diretor de Drenagem de Natal (PDDN), elaborado pela empresa L.R. Engenharia e Consultoria Ltda., do qual foram extraídas as principais informações acerca do sistema de drenagem de Natal que permitiram caracterizar a abrangência do sistema, bem como viabilizar os cálculos sobre as projeções de recarga proveniente da drenagem urbana nesse município.

A ocupação da cidade de Natal, em grande parte, situada sobre dunas, possui feições morfológicas originais dos depósitos dunares, sendo uma delas a ocorrência de depressões interdunares que são regiões da cidade que possuem desníveis topográficos a serem transpostos em direção aos exutórios (bacias dos rios Potengi e Pitumbu e o mar). Essa geomorfologia, associada às características arenosas da superfície, propiciou o desenvolvimento de sistemas de drenagens urbanas com disposição em lagoas (ou bacias) de infiltração. Desse modo, distribuídas em todas as regiões das cidades existem bacias de retenção ou retenção que coletam os sistemas de drenagem e que destinam as águas pluviais através de infiltração no solo. Esse modelo de disposição das águas pluviais propicia recarga ao Sistema Aquífero Barreiras.

O PDDN define que as lagoas são equipamentos de infraestrutura que acumulam temporariamente as águas pluviais com a função de amortecer as vazões de cheias e reduzir os riscos de inundações a jusante. As lagoas de retenção mantêm-se secas na estiagem e as lagoas de retenção possuem constantemente um dado volume de água. De um modo geral, todas as lagoas existentes no sistema de drenagem de Natal são de infiltração, pois não possuem impermeabilização basal ou lateral. Em alguns casos, todo o volume aportado para a lagoa é infiltrado, conforme será discutido adiante.

O PDDN divide o território municipal em dois grandes setores distintos, separados pelo estuário do Rio Potengi. O setor I compreende a Zona Norte e Setor II abrange as Zonas Leste, Oeste e Sul e utiliza como unidade de avaliação e gestão, as bacias de drenagem. O PDDN identificou 20 bacias de drenagem, sendo 06 (seis) na Zona Norte e 14 (quatorze) nas Zonas Leste, Oeste e Sul, apresentadas na **Figura 4.2**, cujas delimitações ocorreram pelas condições de escoamento drenadas para um mesmo exutório ou configuradas em sistemas fechados para lagoas de infiltração.

O Setor I, que corresponde a Zona Norte de Natal, situa-se à margem esquerda do estuário do Rio Potengi e constitui-se de um platô com altitude média superior a 30 m, com depressões interiores típicas dos depósitos de dunas, com topografia ondulada. Os exutórios de águas pluviais desse setor são rio Potengi, a lagoa Azul, o rio Golandim e a lagoa de Extremoz. O Setor I possui baixa a média densidade de ocupação, sendo previstas restrições à verticalização pelo Plano Diretor de Natal.

O Sistema de Drenagem do Setor I, originalmente, constituía-se de um complexo de lagoas de retenção com sistemas de bombeamento que operavam com precariedade e baixa eficiência, resultando diversos episódios de inundações em pontos da região. Em melhoria a essas condições, foi idealizado o Sistema Integrado de Drenagem da Zona Norte. O novo sistema, implantado na Bacia II, é constituído de quatro lagoas (Jardim Primavera, Aliança, Soledade e José Sarney), interligadas em série por galerias e túneis, funcionando como extravasores, reduzindo, dessa forma, o risco de inundação a níveis aceitáveis. O modelo atual de operação propiciou à Bacia II um regime aberto de funcionamento.

O setor II, situado entre a margem direita do estuário do Rio Potengi e as praias urbanas, abrange a região de ocupação mais antiga da cidade e com as maiores taxas de densidade demográfica, sobretudo nas regiões Leste e Oeste. A densidade da ocupação diminui na região Sul podendo alcançar patamares baixos em alguns locais. A região interior, com drenagem natural deficiente, é drenada pelos riachos do Baldo e das Lavadeiras, nas Zonas leste e Oeste, e o rio Pitimbu, ao Sul.

A **Tabela 4.3** apresenta a lista de bacias de drenagem do PDDN com as respectivas áreas de abrangência, a indicação dos corpos d'água receptores (exutórios) e o coeficiente de deflúvio médio que posteriormente será discutido seu significado e aplicação nos cálculo da recarga do aquífero.

**Tabela 4.3. Bacias de drenagem do Plano Diretor de Drenagem de Natal**

Bacias de drenagem		Receptor <sup>1</sup>	C <sub>médio</sub> <sup>2</sup>	Área (km <sup>2</sup> )		
				Aberta	Fechada	
Setor I	I	Rio Doce	Rio Doce	0,22	6,18	
	II	Lagoa Azul	Lagoa Azul	0,48	24,17	
	III	Lagoa de Extremoz	Lagoa de Extremoz	0,21	1,00	
	IV	Rio Golandim	Rio Golandim	0,40	1,82	
	V	Redinha	Praia Redinha	0,39	8,85	
	VI	Rio Potengi/Salinas	Rio Potengi	0,36	1,08	
<b>Total Setor I</b>			<b>0,41</b>	<b>43,10</b>		
Setor II	VII	Potengi/Rocas-Ribeira	Rio Potengi	0,64	3,76	
	VIII	Praias Urbanas	Praias Urbanas	0,43	2,18	
	IX	Riacho do Baldo	Rio Potengi	0,63	7,15	
	X	Potengi/Quintas Base Naval	Rio Potengi	0,70	3,04	
	XI	Parque das Dunas	5 Lagoas	0,16		11,94
	XII	Rio das Lavadeiras	Rio Potengi	0,51	12,65	
	XIII	Via Costeira	Praias da Via Costeira	0,10	1,16	
	XIV	Rio Potengi/Felipe Camarão	Rio Potengi	0,54	7,13	
	XV	Lagoa da Jaguarari	Lagoas da Jaguarari	0,53		4,32
	XVI	Rio Pitimbú	Rio Pitimbu	0,27	10,49	
	XVII	San Vale/Cidade Satélite	Lagoas de San Vale	0,29		11,45
	XVIII	Guárapes	Rio Jundiáí	0,32	3,98	
	XIX	Lagoinha	Lagoinha	0,49		10,16
	XX	Praia de Ponta Negra	Praia de Ponta Negra	0,23	9,49	
<b>Total Setor II</b>			<b>0,44</b>	<b>61,03</b>	<b>37,87</b>	
<b>Total Natal</b>			<b>0,42</b>	<b>104,13</b>	<b>37,87</b>	
				<b>142,00</b>		

1 - Corpo d'água receptor predominante da bacia de drenagem.

2 - Coeficiente de deflúvio médio, obtido a partir da média ponderada dos valores apresentados nas Tabelas IV.12 e IV.13 do PDDN (pág. 93–95).

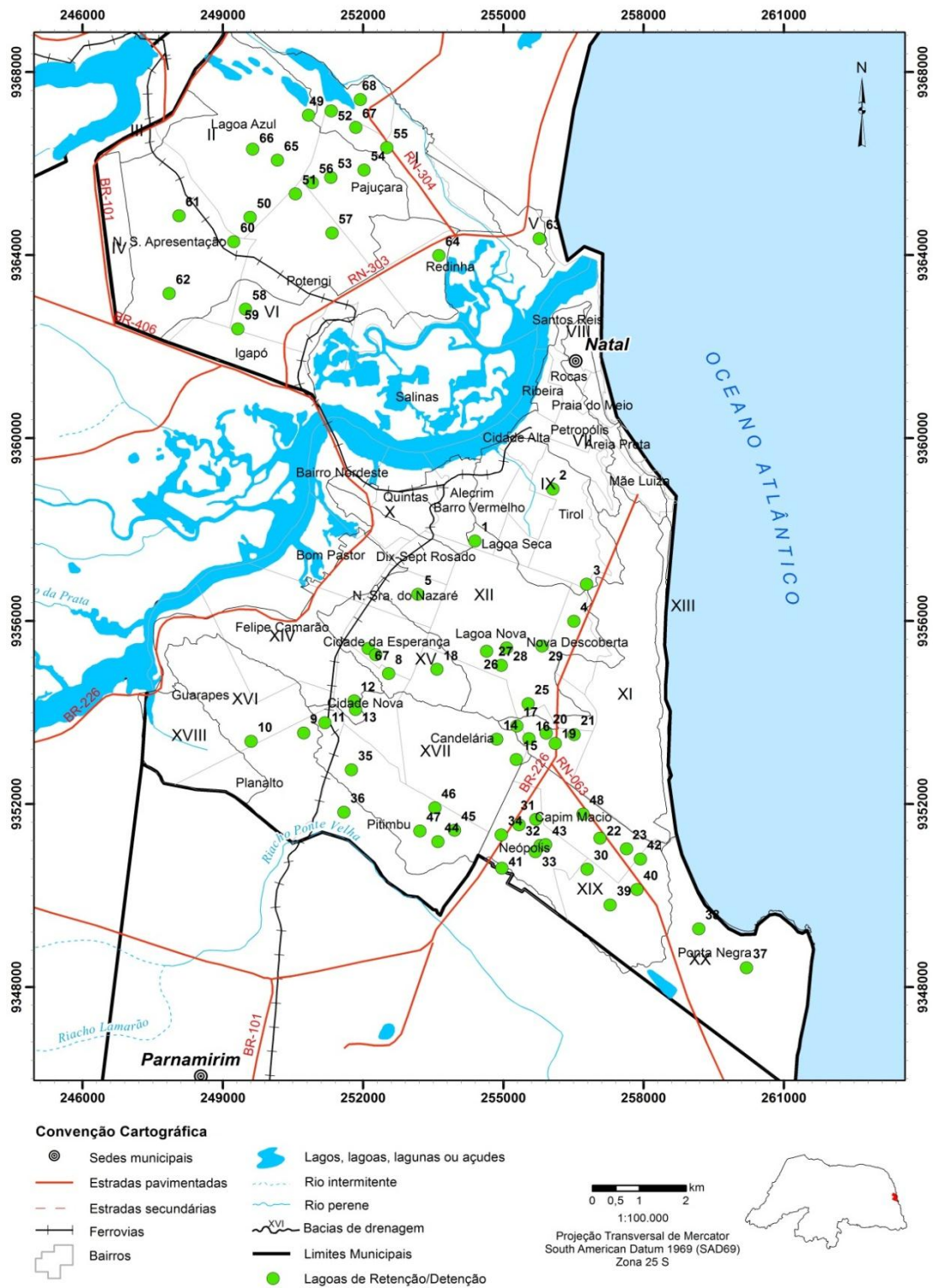
Os números romanos (I a XX) apresentados nas **Figuras 4.2 e 4.3** correspondem às bacias de drenagem indicadas na **Tabela 4.3**.



Fonte: PPDN (Lei Complementar 124, de 30/06/2011)

**Figura 4.2. Bacias de drenagem pluvial do município de Natal**





Base cartográfica: PDDN (Lei Complementar 124, de 30/06/2011)

**Figura 4.3. Lagoas do sistema de drenagem urbana de Natal**

A abrangência das bacias de drenagens representa toda a área urbanizada do município, incluindo locais de baixa ocupação, como é o caso do Parque das Dunas.

As bacias de drenagem denominadas de abertas correspondem às bacias cujos escoamentos são direcionados aos corpos hídricos superficiais (rio Potengi e seus afluentes, rio Pitimbu e seus afluentes e o oceânico Atlântico) e as bacias fechadas possuem os sistemas de drenagens direcionados às lagoas de infiltração e, desse modo, dispõem seus efluentes como recarga ao manancial subterrâneo, neste caso, ao Sistema Aquífero Barreiras.

Deve-se ressaltar, no entanto que em diversas bacias abertas existem lagoas de detenção ou retenção que também promovem infiltração, formando pequenas sub-bacias fechadas ou parcialmente fechadas, internamente a algumas bacias de drenagem.

As bacias fechadas (XI, XV, XVII e XIX) estão localizadas nas zonas leste e sul, nas quais as águas tem destino para um total de 31 lagoas com predominância às lagoas Jaguarari, San Vale e Lagoinha, segundo o PDDN.

A infraestrutura do sistema de drenagem de maior relevância aos estudos hidrogeológicos são as bacias de infiltração, pois apresentam importante papel na recarga do aquífero, possivelmente com forte influência na quantidade e qualidade das águas subterrâneas nas zonas urbanas. A **Tabela 4.4** apresenta a listagem das 68 lagoas do PDDN, bem como as coordenadas geográficas que permitiram o georreferenciamento e a elaboração da **Figura 4.3**.

Segundo informações obtidas na SEMOPI, existem 3 lagoas no bairro do Capim Macio que ainda não entraram em operação, sendo executadas as fases finais de implantação e que estão em curso projetos para 6 lagoas, a serem construídas em San Valle, Ponta Negra e Lagoa Azul.

O PDDN efetuou avaliação em 30 lagoas abordando aspectos de manutenção, limpeza, urbanização e acessibilidade operacional. Vale ressaltar que dados sobre a área de contribuição das lagoas, bem como capacidades de reservação e infiltração não foram identificados ou demonstrados no referido plano.

Alguns aspectos importantes aos estudos hidrogeológicos serão debatidos a seguir, utilizando alguns exemplos para ilustrar a discussão dos temas.



**Tabela 4.4. Lagoas dos sistemas de drenagem urbana de Natal**

Lagoa		Bairro	Coordenadas	
			Leste	Sul
<b>ZONA LESTE</b>				
1	Lagoa Bum Bum	Alecrim	254396	9357749
2	Lagoa Manoel Felipe	Tirol	256063	9358887
3	Lagoa das Dunas	Tirol	256784	9356805
4	Lagoa dos Potiguares ou Jacaré	Morro Branco	256510	9355996
<b>ZONA OESTE</b>				
5	Lagoa São Conrado	N. Sra. De Nazaré	253173	9356586
6	Lagoa da Esperança I e II	Cidade da Esperança	252114	9355403
7	Lagoa do Horto	Cidade da Esperança	252274	9355264
8	Lagoa Nova Cidade	Cidade da Esperança	252547	9354853
9	Lagoa do Planalto I	Planalto	250731	9353555
10	Lagoa do Planalto II	Planalto	249608	9353374
11	Lagoa do Planalto III	Planalto	251186	9353778
12	Lagoa Cidade Nova	Planalto	251811	9354256
13	Lagoa Cidade Nova	Planalto	251840	9354067
<b>ZONA SUL</b>				
14	Lagoa Bairro Latino	Candelária	254860	9353419
15	Lagoa da Salinas/Integração	Candelária	255280	9352975
16	Lagoa de Mirassol/Potilândia	Candelária	255549	9353433
17	Lagoa do Natal Shopping	Candelária	255290	9353708
18	Lagoa Petrobrás	Candelária	253583	9354950
19	Lagoa Cidade Jardim I	Capim Macio	256111	9353326
20	Lagoa Cidade Jardim II	Capim Macio	255919	9353550
21	Lagoa Cidade Jardim III	Capim Macio	256517	9353522
22	Lagoa de Capim Macio RD 02	Capim Macio	257072	9351258
23	Lagoa do Marinas RD 03	Capim Macio	257636	9351025
24	Lagoa do Marinas RD 04	Capim Macio	255793	9351099
25	Lagoa do CEI	Lagoa Nova	255532	9354196
26	Lagoa do Centro Administrativo	Lagoa Nova	254646	9355343
27	Lagoa do Centro Administrativo	Lagoa Nova	254959	9355031
28	Lagoa do Centro Administrativo	Lagoa Nova	255071	9355415
29	Lagoa do Préa	Lagoa Nova	255828	9355456
30	Lagoa da COHAB	Neópolis	256796	9350577
31	Lagoa do Jiquí	Neópolis	255699	9351669
32	Lagoa do Makro	Neópolis	255338	9351550
33	Lg. do Pirangi/S.Miguel dos Caribes	Neópolis	255687	9350962
34	Lagoa do Socyte	Neópolis	254959	9351327
35	Lagoa do Xavantes- Satélite I	Ponta Negra	251753	9352751

**Tabela 4.4. Lagoas dos sistemas de drenagem urbana de Natal - continuação**

	Lagoa	Bairro	Coordenadas	
			Leste	Sul
36	Lagoa dos Caiapós- satélite IV	Ponta Negra	251591	9351823
37	Lagoa da Aeronáutica	Ponta Negra	260202	9348424
38	Lagoa do Alagamar	Ponta Negra	259181	9349274
39	Lagoa de Lagoinha	Ponta Negra	257286	9349794
40	Lagoa CTG	Ponta Negra	257860	9350136
41	Lagoa do Ouro Preto	Pitimbú	254970	9350599
42	Lagoa da Av. Praia de Genipabu	Ponta Negra	257935	9350799
43	Lagoa Ayrton Senna/ Pirangi II	Neópolis	255907	9351118
44	Lagoa do San Vale RD 06	San Valle	253603	9351178
45	Lagoa do San Vale RD 05	San Valle	253959	9351431
46	Lagoa do San Vale RD 02	San Valle	253538	9351922
47	Lagoa Natural	San Valle	253216	9351414
48	Lagoa de Capim Macio R.D 01	Capim Macio	256705	9351783
<b>ZONA NORTE</b>				
49	Lagoa do Sapo ou gramorezinho	Lagoa Azul	250832	9367057
50	Lagoa do Soledade	Lagoa Azul	249586	9364824
51	Lagoa José Sarney	Lagoa Azul	250556	9365339
52	Lagoa Visconde de Ouro Preto / Pajuçara II	Pajuçara	251320	9367147
53	Lagoa Dr. Carneiro Ribeiro	Pajuçara	251314	9365695
54	Lagoa Parque das Dunas I	Pajuçara	252025	9365858
55	Lagoa Parque das Dunas II	Pajuçara	252509	9366347
56	Lagoa D. Pedro I	Pajuçara	250916	9365582
57	Lagoa do Santarezinho	Potengi	251336	9364483
58	Lagoas Panatis	Potengi	249488	9362819
59	Lagoa Acaraú	Potengi	249324	9362388
60	Lagoa Aliança	N. S. da Apresentação	249234	9364292
61	Lagoa Jardim Primavera	N. S. da Apresentação	248064	9364860
62	Lagoa Parque dos Coqueiros	N. S. da Apresentação	247855	9363162
63	Lagoa da Redinha	Redinha	255771	9364361
64	Lagoa Jardim das Flores	Redinha	253623	9363992
65	Lagoa dos Idosos	Lagoa Azul	250170	9366072
66	Lagoa Nova Natal	Lagoa Azul	249641	9366316
67	Lagoa do Potengi	Pajuçara	251845	9366790
68	Lagoa Santa Cecília	Pajuçara	251943	9367399

O PDDN debate que, no passado, diversas obras de infraestrutura foram construídas sem considerar critérios técnicos de dimensionamento e de eficiência operacional. Além desse aspecto, foram relatadas também, em alguns casos, condições precárias de manutenção, conservação e limpeza. Esses cenários estão visivelmente refletidos nas lagoas de infiltração existentes na cidade. A avaliação das lagoas de infiltração apontou também a forte contribuição de esgotos, dispostos clandestinamente nos sistemas de drenagem que, por consequência, destinam-se às lagoas de infiltração.

A lagoa de São Conrado, situada no Bairro de Nossa Senhora de Nazaré, é um exemplo para diversos problemas relacionados às lagoas de infiltração, tais como ausência de taludes bem definidos e de recuo da ocupação vizinha, assoreamento, presença de vegetação, entre outros. Segundo informações obtidas com técnicos do setor, a lagoa foi construída com o conceito de lagoa de detenção, visando uma elevada capacidade de infiltração. No entanto, o lançamento de esgotos por longo período, ocasionou a colmatação da base da lagoa e da perda da capacidade de infiltração. Atualmente, o local sofre com inundações durante as chuvas de maior intensidade e com a contínua presença de água residuária no interior da lagoa. Na **Figura 4.4** é possível notar a vista aérea da lagoa e a densidade da ocupação do entorno e a **Foto 05** mostra uma visão lateral pela Av. Lima e Silva, na qual pode-se notar o excesso de vegetação no interior da lagoa e, ao fundo, residências fazendo limite com a lagoa.



Google Earth, 2010

**Figura 4.4.** Imagem da área da lagoa de São Conrado



**Foto 05. Vista da Lagoa de São Conrado**

As imagens aéreas apresentadas na **Figura 4.5** abaixo ilustram as diferenças estruturais e de urbanização de algumas lagoas em Natal. A lagoa da Soledade, situada na Zona Norte, no Bairro Lagoa Azul, não possui qualquer estruturação construtiva ou limites bem definidos. As residências, nesse caso, de uma ocupação desordenada e muito adensada, situam-se às margens da lagoa, sem qualquer restrição de acesso. O controle à contribuição de esgoto e mesmo resíduos sólidos é muito difícil, já que poderá ocorrer pelos fluxos superficiais da microdrenagem circunvizinha. Em contrapartida, a lagoa José Sarney, também situada no Bairro Lagoa Azul, possui estruturação construtiva, podendo-se observar inclusive os taludes laterais, o recuo em relação à ocupação vizinha e interior livre de vegetação.

Os contrastes relatados acima podem ser observados em todas as regiões da cidade e, em geral, refletem a evolução nas obras das infraestruturas dos sistemas de drenagem em Natal.

Os dados sobre as lagoas mais relevantes para esse estudo seriam as áreas de captura dos sistemas de drenagem de cada lagoa, bem como a capacidade nominal de aporte e as taxas de infiltração. Esses dados, no entanto, não são conhecidos em mais de 90% das lagoas existentes. Dados desse tipo foram identificados, por exemplo, nos processos de outorga, disponíveis na SEMARH, sobre as lagoas do Bairro Capim Macio. Essas lagoas, entretanto, ainda não entraram em operação, segundo a SEMOPI, e também não são representativas dos aspectos construtivos da grande maioria das lagoas.





Google Earth, 2010



Google Earth, 2010

**Figura 4.5. Imagens aéreas das lagoas Soledade e José Sarney**



A **Figura 4.6** e a **Foto 06** mostram, respectivamente, a imagem aérea e a visão lateral da Lagoa do Capim Macio RD2, nas quais podem ser observadas as características construtivas e a adequada estruturação. Lagoas como essas foram projetadas visando a máxima eficiência operacional, com materiais drenantes nas bases e taludes para melhorar a capacidade de infiltração, não sendo representativas de um grande número de lagoas existentes em Natal.



Google Earth, 2010

**Figura 4.6. Imagem aérea da lagoa do Capim Macio RD2**



**Foto 06. Vista Lateral da lagoa do Capim Macio RD2**

Em decorrência das limitações discutidas acima, esse estudo avaliou a recarga ao aquífero gerada pelas lagoas através de uma aproximação, baseada nos volumes teóricos do sistema de drenagem, calculados pelo método da fórmula Racional, conforme será demonstrado adiante.

A fórmula Racional é amplamente aplicada para calcular as vazões de projeto de sistemas de drenagem urbana, através da equação:

$$Q = C.i.A \quad (1)$$

Onde:

Q é a vazão de escoamento do sistema de drenagem (volume/ tempo -  $L^3/T$ );

C é o coeficiente de deflúvio que é uma função das características da ocupação da área (adimensional);

i é a intensidade da chuva, no caso desse estudo representa o volume anual de chuvas (volume, normalmente em mm); e

A é a área de contribuição da bacia de interesse ( $L^2$ ).

O coeficiente de deflúvio representa a capacidade dos terrenos da área de interesse em escoar a precipitação. São valores adimensionais variando de 0 (zero) a 1 (um), nos quais zero seria um terreno livre de quaisquer pavimentação, constituído de solo com elevada capacidade de absorção da água, com alta condutividade hidráulica e baixa umidade. As dunas móveis, livres de coberturas vegetais seria um exemplo de coeficiente de deflúvio muito próximo a zero. Os valores próximos a um, desse modo, seriam terrenos com pavimentação de concreto ou asfalto.

Os valores dos coeficientes de deflúvio para cada bacia de drenagem, bem como o valor calculado em média ponderada para toda a área do sistema de drenagem de Natal, estão apresentados na **Tabela 4.5** e foram extraídos do PDDN.

O PDDN utilizou a mesma abordagem ora adotada para calcular a recarga induzida pelo sistema de drenagem de Natal. No referido estudo foram utilizados os dados de área das bacias fechadas (XV, XVII e XIX) para calcular o volume de recarga aportado ao aquífero. A partir da determinação do volume de escoamento total das três bacias de drenagem, foi adotado que a infiltração seria de 80% do volume total, considerando a taxa de eficiência de infiltração das lagoas. No PDDN não foi considerado qualquer outro volume de recarga proveniente da drenagem urbana de Natal.

No atual estudo, além de considerar a mesma metodologia aplicada no PDDN para as bacias fechadas, foi calculado também um volume de infiltração proveniente das outras lagoas instaladas nas bacias abertas. Conforme já

discutido, em alguma taxa de eficiência, todas as lagoas de detenção ou retenção existentes em Natal possuem a capacidade de infiltrar as águas e, desse modo, todas contribuem com alguma parcela de recarga ao aquífero. Por essa razão foi considerado que 10% do volume de escoamento total das bacias de drenagens abertas são aportados ao aquífero, através das 37 lagoas instaladas nessas bacias.

A **Tabela 4.5** apresenta os dados utilizados na aplicação da fórmula Racional, bem como os resultados dos cálculos que permitiram estimar a recarga ao Sistema Aquífero Barreiras proveniente do sistema de drenagem urbana de Natal.

<b>Tabela 4.5. Cálculo da recarga proveniente do sistema de drenagem de Natal</b>				
<b>Drenagem</b>	<b>Pluviosidade (mm/ano)</b>	<b>C<sub>médio</sub><sup>1</sup></b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>/ano)</b>
Bacias Abertas	1550	0,33	37,87	19.370.505
Eficiência de infiltração			80%	15.496.404
<b>Drenagem</b>	<b>Pluviosidade (mm/ano)</b>	<b>C<sub>médio</sub></b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>/ano)</b>
Bacias Fechadas	1550	0,42	104,13	67.788.630
Eficiência de infiltração			10%	6.778.863
<b>Sistema de Drenagem de Natal – Recarga</b>				<b>22.275.267</b>

1 - Coeficiente de deflúvio médio, obtido a partir da média ponderada dos valores apresentados nas Tabelas IV.12 e IV.13 do PDDN (p. 93–95).

O volume de recarga proveniente do sistema de drenagem de Natal calculada nesse estudo, apesar de possuir as limitações discutidas acima, permite concluir que essa infraestrutura urbana possibilita um importante aporte ao Sistema Aquífero Barreiras. Nesse aspecto, o sistema de drenagem deve manter e, até mesmo, ampliar essa dinâmica de dissipação do escoamento urbano, porém com ações mais efetivas no controle de aporte de esgotos nos sistemas de drenagem e na eficiência de infiltração das lagoas.

Deve-se também prever estudos de detalhe nos sistemas de drenagens associados às lagoas existentes, visando determinar as áreas de contribuições das lagoas e as reais taxas de infiltração que permitirão refinar os valores alcançados neste estudo.

Na RMN, os municípios que possuem sistemas de drenagem urbana utilizam infraestruturas semelhantes à Natal. Desse modo, este estudo replicou a mesma metodologia para estimar as recargas provenientes do sistemas de drenagem desses municípios.

Parnamirim



A sede municipal de Parnamirim possui 34 km<sup>2</sup>, considerando as áreas efetivamente ocupadas. Esse município elaborou um plano de saneamento, cujos relatórios técnicos foram cedidos pela Secretaria Municipal de Obras Públicas (SEMOP). O referido plano aborda, entre outros temas, os objetivos e metas para o Plano Diretor de Drenagem Urbana e Manejo das Águas Pluviais, no entanto não realiza uma avaliação do atual sistema nem apresenta um cadastramento das infraestruturas existentes.

O relatório da Etapa III do Plano de Saneamento de Parnamirim, elaborado pela empresa Start Pesquisa e Consultoria Técnica Ltda. indica que a taxa de cobertura da rede de drenagem urbana de Parnamirim é de cerca de 20% e define metas projetadas para cobertura de 100% para o ano de 2030.

A partir de informações obtidas na SEMOP pode-se verificar que o sistema de drenagem existente em Parnamirim possui características semelhantes ao de Natal, sendo baseado, principalmente, em bacias de drenagem fechadas, associadas a 14 (quatorze) lagoas de infiltração administradas pelo município. A **Figura 4.7** apresenta a localização das lagoas do sistema de drenagem de Parnamirim.

A Servmar efetuou cadastramento em campo de todas as lagoas existentes em Parnamirim, realizando acervo fotográfico e o georreferenciamento dessas infraestruturas da macrodrenagem. No entanto, não foi possível obter dados mais consistentes sobre o contorno das bacias de drenagens, área de contribuição, dados sobre a existência de bacias abertas, entre outras informações que permitiriam refinar os cálculos de recarga.

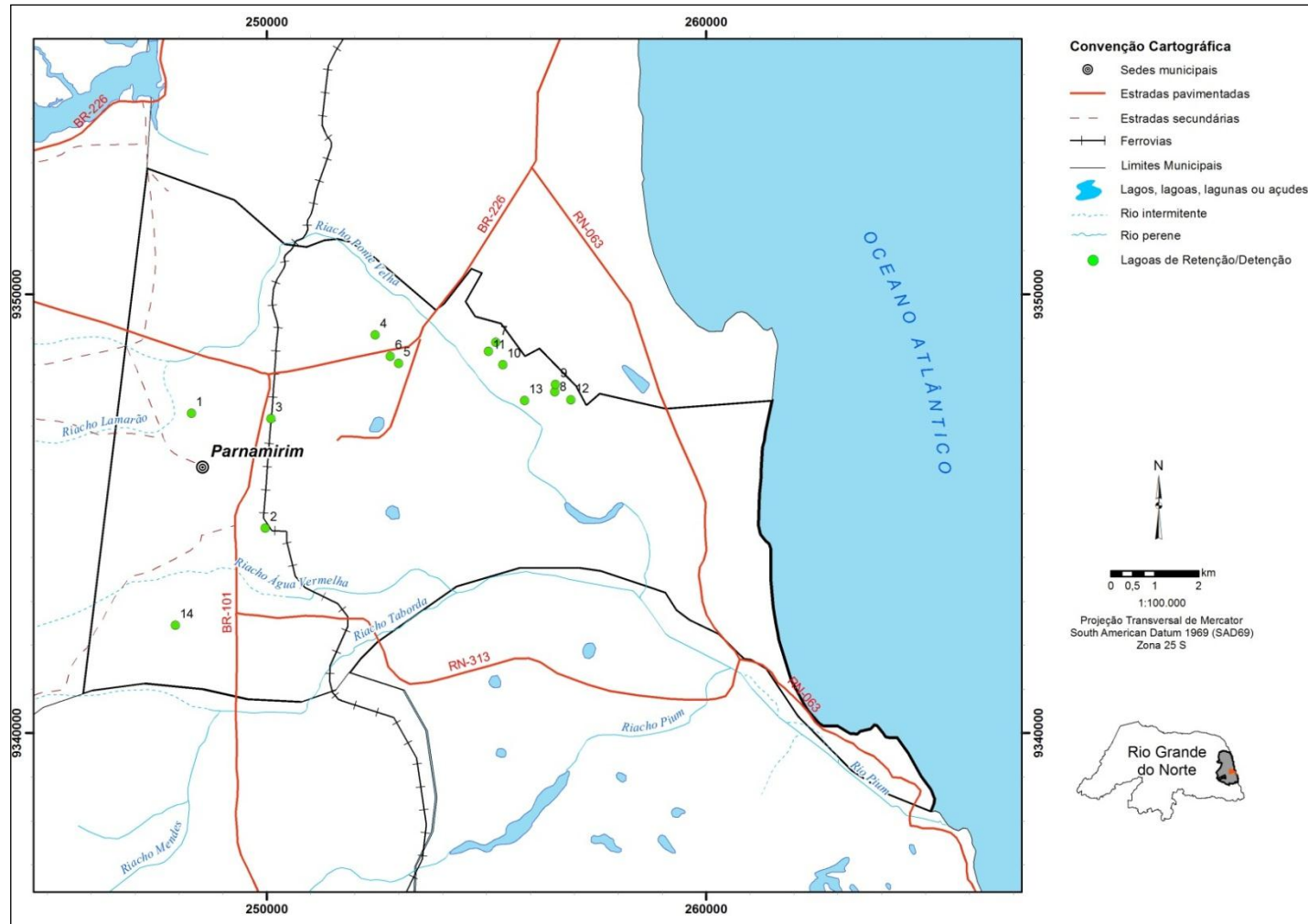


Figura 4.7. Lagoas do sistema de drenagem urbana de Parnamirim

A **Tabela 4.6** apresenta a listagem das lagoas de detenção ou retenção do sistema de drenagem urbana de Parnamirim, bem como a localização e as coordenadas geográficas.

Tabela 4.6. Lagoas do sistema de drenagem urbana de Parnamirim				
Lagoa		Localização	Coordenadas	
			Leste	Sul
1	Moita Verde	R. Mar da Galiléia - Monte Castelo	248286	9347282
2	Centro	Av. Dr. Luiz Antonio – Centro	249970	9344668
3	Antonio Pontes	Parque de Exposição	250095	9347160
4	Parque Industrial	Marajoara – Emaús	252470	9349068
5	Emaús I	Emaús (Prox ao Residencial Primavera)	253008	9348418
6	Emaús II	Av. Dom Bosco – Emaús	252817	9348580
7	Nezinho Alves	Av. Abel Cabral - Nova Parnamirim	255853	9349510
8	Araguaia I	Av. Angicos - Nova Parnamirim	257006	9348586
9	Araguaia II	Av. Odair Pamplona - Nova Parnamirim	257021	9348670
10	Petra Kelly	Av. Petra Kelly - Nova Parnamirim	255842	9348802
11	Madre Tereza de Calcutá	Rua Carmino Quadros	255487	9349144
12	Cidade Verde	Rua Severino Tavares - Cidade Verde	257479	9348172
13	Mahatma Gandhi	Av Mahatama Gandhi - Nova Parnamirim	255875	9347575
14	Pirangi de Dentro	Bairro Pirangi de Dentro	247924	9342454

As lagoas de Parnamirim passam por problemas semelhantes aos discutidos para o município de Natal, tais como aportes de esgoto, deficiências na capacidade de infiltração, dificuldades operacionais e precariedade na manutenção e limpeza. Mas também, nas lagoas projetadas e construídas mais recentemente, podem ser observados perfis construtivos mais adequados, recuo e isolamento em relação à vizinhança, taludes bem definidos e rampas de acesso para limpeza.

A lagoa Madre Tereza de Calcutá, situada no Bairro Parque do Pitimbu, é um dos exemplos de lagoas com canalização clandestina de esgotos sanitários, precárias manutenção e limpeza, proximidade com a ocupação circunvizinha. A **Figura 4.8** mostra uma imagem aérea do posicionamento da lagoa em relação à ocupação do entorno e a **Foto 07** registra o acúmulo de dejetos e o assoreamento da lagoa, bem como a proximidade com as residências do entorno.



Google Earth, 2010

**Figura 4.8. Imagem aérea da lagoa Madre Tereza de Calcutá**



**Foto 07. Vista da lagoa Madre Tereza de Calcutá**

Na lagoa de Emaus, apesar de alguns aspectos construtivos adequados como, por exemplo, os taludes com revestimento de gabiões, conforme registra a **Foto 08**, pode-se observar a ocupação irregular às margens da lagoa e a disposição de resíduos sólidos que, inevitavelmente, serão arrastados e depositados no interior da lagoa.





**Foto 08. Vista da lagoa de Emaus**

A lagoa de Moita Verde, listada na **Tabela 4.5**, ainda não está em operação, mas tem a previsão de, após a conclusão das obras, operar como uma lagoa de detenção, com exutório para a bacia do rio Pitimbu. A **Foto 09** mostra o estágio ainda incipiente da obra, com registro do que será o interior da lagoa e, ao fundo, o canteiro de obras e a **Figura 4.9** ilustra a localização da lagoa com proximidade ao corpo hídrico receptor.



**Foto 09. Vista do interior da futura lagoa Moita Verde em obras**



Google Earth, 2010

**Figura 4.9. Imagem aérea da localização da futura lagoa Moita Verde**

Em decorrência das características de ocupação de infraestrutura dos sistemas de drenagem de Parnamirim e Natal, para o cálculo do escoamento da drenagem foi utilizado o mesmo coeficiente de deflúvio (0,42). No entanto, em Parnamirim foi considerado que 50% do volume de escoamento do sistema de drenagem são infiltrados ao aquífero através das 13 lagoas em operação na rede de drenagem urbana desse município. A **Tabela 4.7** demonstra os valores do cálculo da recarga pela drenagem urbana de Parnamirim.

<b>Tabela 4.7. Cálculo da recarga pela drenagem urbana de Parnamirim</b>				
<b>Área Urbana (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Drenagem Urbana (km<sup>2</sup>)<sup>1</sup></b>	<b>C<sub>médio</sub><sup>2</sup></b>	<b>Pluviosidade (mm/ano)</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>/ano)</b>
34	6,8	0,42	1.539	4.395.384
Eficiência de infiltração			50%	2.197.692
<b>Sistema de Drenagem de Parnamirim – Recarga</b>				<b>2.197.692</b>

1 - Área com cobertura da rede de drenagem urbana, calculado a partir da indicação apresentada no plano de saneamento.

2 - Coeficiente de deflúvio médio.

### Ceará - Mirim

O município de Ceará-Mirim possui cobertura parcial da rede de drenagem urbana em sua sede. Os levantamentos realizados nas Secretarias Municipais permitiram apenas identificar a existência de lagoas de retenção que foram cadastradas e georreferenciadas em campo pela Servmar.

O município não possui cadastramento do seu sistema de drenagem e por essa razão não é possível conhecer com precisão os demais elementos de infraestrutura, taxa de cobertura da rede de drenagem, tampouco as áreas de contribuição e eficiência de infiltração das lagoas.

A **Tabela 4.8** abaixo identifica e localiza as lagoas de retenção existentes em Ceará-Mirim e a **Figura 4.10** permite observar o posicionamento das mesmas na sede municipal pela vista aérea da cidade.

Tabela 4.8. Lagoas de retenção do sistema de drenagem de Ceará-Mirim			
Lagoa	Localização	Coordenadas	
		Leste	Sul
Lagoa 1	Rua Três	230263	9375155
Lagoa 2	Rua Prof. João Castro Filho	230545	9375555
Lagoa 3	Rua São Joaquim	230462	9375817



Google Earth, 2010

**Figura 4.10. Localização das lagoas do sistema de drenagem de Ceará-Mirim**

As estimativas do cálculo de recarga através da drenagem urbana de Ceará-Mirim foram realizadas considerando uma taxa de cobertura da rede de drenagem em 50% da sede municipal, baseada em observações sobre o nível de urbanização da sede, sendo que, este mesmo critério, foi utilizado para definir o coeficiente de deflúvio para essa área de abrangência em 0,3. As lagoas de retenção foram consideradas como responsáveis pela infiltração de 30% do volume total do escoamento da drenagem urbana. A **Tabela 4.9** abaixo resume os dados utilizados nos cálculos e apresenta o volume estimado da recarga pela drenagem urbana na sede de Ceará-Mirim.



**Tabela 4.9. Cálculo da recarga pela drenagem urbana de Ceará-Mirim**

Área Urbana (km <sup>2</sup> )	Área Drenagem Urbana (km <sup>2</sup> ) <sup>1</sup>	C <sub>médio</sub> <sup>2</sup>	Pluviosidade (mm/ano)	Volume (m <sup>3</sup> /ano)
4,5	2,3	0,3	1.118	754.650
Eficiência de infiltração			30%	226.395
<b>Sistema de Drenagem de Ceará-Mirim - Recarga</b>				<b>226.395</b>

1 - Área estimada da cobertura da rede de drenagem urbana.

2 - Coeficiente de deflúvio médio.

### Extremoz

A área urbana da sede de Extremoz possui 1,3 km<sup>2</sup>, sendo que não existe sistema de drenagem urbana, a exceção do conjunto habitacional Jardim de Extremoz, situado na região nordeste da sede municipal. Em imagem de satélite foi calculada a área desse loteamento, correspondendo a cerca de 20% de toda a extensão da área urbana desse município e esse valor foi atribuído como sendo a parcela de cobertura de drenagem.

O sistema de drenagem do conjunto habitacional Jardim de Extremoz possui uma lagoa de retenção para a destinação das águas pluviais coletadas pelo sistema. A localização do conjunto habitacional e da lagoa pode ser observada na **Figura 4.11** abaixo, sendo que as coordenadas geográficas da lagoa são 246992E e 9369642S. Segundo informações da Prefeitura de Extremoz existe nessa mesma região o projeto de construção de uma segunda lagoa para atendimento de um sistema de drenagem a ser instalado no conjunto habitacional Minha Vida.



Google Earth, 2010

**Figura 4.11. Imagem aérea de Extremoz e da lagoa no C.H. Jardim de Extremoz**



Os cálculos da recarga a partir do sistema de drenagem urbana de Extremoz foram realizados com as premissas de cobertura do sistema discutidas acima e considerando que todo o volume captado pelo sistema é direcionado para a lagoa de retenção existente. A **Tabela 4.10** abaixo resume os dados utilizados nos cálculos e apresenta o volume estimado da recarga pela drenagem urbana de Extremoz.

<b>Tabela 4.10. Cálculo da recarga pela drenagem urbana de Extremoz</b>				
<b>Área Urbana (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Drenagem Urbana (km<sup>2</sup>)<sup>1</sup></b>	<b>C<sub>médio</sub><sup>2</sup></b>	<b>Pluviosidade (mm/ano)</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>/ano)</b>
1,3	0,26	0,3	1.385	108.030
Eficiência de infiltração			80%	86.424
<b>Sistema de Drenagem de Extremoz - Recarga</b>				<b>86.424</b>

1 - Área estimada da cobertura da rede de drenagem urbana.

2 - Coeficiente de deflúvio médio.

As recargas naturais propiciadas pela infiltração das precipitações sobre as áreas permeáveis nas áreas urbanas, somadas as taxas de recarga provenientes dos sistemas de drenagens existentes nas sedes municipais compõem a parcela da recarga urbana que será denominada de “Recarga da Drenagem Urbana”. A somatória desses volumes de recarga e a discussão de sua influência no aquífero serão realizadas no capítulo sobre recarga urbana, neste relatório.

## **5 ATIVIDADES RELATIVAS AO ESGOTAMENTO SANITÁRIO**

A política pública do estado do Rio Grande do Norte para o abastecimento de água e esgotamento sanitário define como princípio, a universalização da prestação dos serviços. Entre os objetivos da política está o de ampliar os serviços de esgotamento sanitário aos mesmos percentuais do abastecimento de água e que nunca seja inferior a 90% da população do estado. Como principais instrumentos da política estadual mencionam-se o plano e o fundo estaduais de saneamento básico (Rio Grande do Norte, 2004). De acordo com o disposto no plano estadual, a meta é atender com esgotamento sanitário 40% do universo da população urbana dos municípios concedentes, em até cinco anos; no mínimo 70% em até 10 anos; e 100% em até 15 anos.

O esgotamento sanitário caracteriza-se pelo conjunto de obras e instalações destinadas à coleta, transporte, afastamento, tratamento e disposição final das águas residuárias da comunidade, de uma forma adequada do ponto de vista sanitário (IBGE, 2008). Entre os setores de infraestrutura, juntamente com o abastecimento de água são os que mais têm apresentado dificuldades econômicas e institucionais, em relação aos índices de atendimento e qualidade dos serviços.

A cobertura de serviços de esgotamento sanitário não acompanhou a expansão do rápido e recente processo de urbanização. Os principais problemas do setor são a baixa eficiência operacional, a insuficiência de investimentos, a ausência de regulação e de controle social e a presença de déficit de atendimento, especialmente no tocante à coleta e tratamento de esgotos sanitários.

As ausências de esgotamento sanitário, de tratamento e de disposição adequada dos efluentes assim como as perdas através das redes representam um grande potencial de contaminação das águas subterrâneas. Diversos estudos conduzidos principalmente na Região Metropolitana de Natal apontam que as infiltrações dos efluentes domésticos através de fossas rudimentares são importantes fontes de contaminação do aquífero Barreiras (FIGUERÊDO, 1990; MELO, 1995; VASCONCELOS, 2010).

O adensamento populacional nos centros urbanos propicia a geração, concentrada em uma localizada extensão territorial, de efluentes domésticos e industriais. O manejo e o modelo de disposição desses efluentes exercem forte influência na qualidade das águas subterrâneas. O processo de degradação natural dos esgotos provoca a geração de nitrato que, pelas características de persistência e mobilidade e o contínuo processo de infiltração representa atualmente o maior contaminante das águas subterrâneas, em volume de água contaminada.

A ausência de coleta de esgoto nos domicílios propicia alternativas de disposição dos efluentes em sistemas rudimentares de fossas. Essa prática realizada durante anos, por vezes, muitas décadas, através de diversas fontes, concentradas em uma mesma região, representa um contínuo aporte ao aquífero de significativos volumes de carga contaminante. Esse cenário ocorrendo em uma região, na qual a superfície e o principal aquífero são constituídos de terrenos arenosos amplamente conectados, torna-se mais fácil o processo de contaminação do aquífero.

As características descritas acima sobre a contaminação de aquífero estiveram e estão presentes na RMN. Mesmo alcançado níveis de desenvolvimento urbano elevado em alguns municípios, ainda são muito baixas na região as taxas de atendimento da coleta e do tratamento de efluentes sanitários. A **Tabela 5.1** apresenta os dados oficiais fornecidos pelos próprios municípios ao Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), na qual pode-se observar que, na RMN, apenas 22% da população é atendida com coleta e tratamento de esgoto.

Tabela 5.1. Dados do atendimento de esgotamento sanitário na RMN					
Município	População <sup>1</sup> (hab.)	População Atendida		Vol. Coletado <sup>3</sup> (m <sup>3</sup> /ano)	Vol. Tratado <sup>4</sup> (m <sup>3</sup> /ano)
		(hab.) <sup>2</sup>	%		
Ceará-Mirim	68.424	15.013	21,90%	615.000	608.000
Extremoz	24.569	0	0,00%	0	0
Macaíba	69.467	741	1,10%	21.000	21.000
Monte Alegre	20.685	247	1,20%	27.000	27.000
Natal	803.739	250.218	31,10%	10.740.000	10.740.000
Nísia Floresta	23.784	0	0,00%	0	0
Parnamirim	202.456	161	0,10%	5.000	5.000
S. Gonçalo do Amarante	87.668	27.775	31,70%	1.799.000	1.799.000
S. José de Mipibu	39.776	270	0,70%	7.000	7.000

1 - IBGE, 2010.

2 - SNIS, 2008, População total atendida com esgotamento sanitário.

3 - SNIS, 2008, Volume de esgoto coletado.

4 - SNIS, 2008, Volume de esgoto tratado.

Os municípios de Natal e São Gonçalo do Amarante apresentam as maiores populações atendidas e também as maiores taxas de atendimento, porém, representando cerca de 30% da população. Ceará-Mirim possui 22% da população atendida. Os demais seis municípios atendem menos de 1,5% de suas respectivas populações, sendo que Extremoz e Nísia Floresta não possuem qualquer atendimento de esgotamento sanitário.

A pauta de saneamento tem feito parte da agenda das políticas públicas dos municípios da RMN, mas ainda de maneira incipiente. Dos nove municípios, apenas Parnamirim e São Gonçalo possuem uma plano de saneamento elaborado e São José de Mipibu está em fase de elaboração.

Esse estudo objetivou a identificação dos níveis de atendimento e o cadastramento das infraestruturas do esgotamento sanitário nos municípios da RMN, visando à avaliação do potencial de recarga do aquífero por essas fontes de contaminação.

Os domicílios que não têm acesso ao esgotamento sanitário, em geral, canalizam os dejetos para fossas (séptica ou rudimentar) ou ainda para outras formas como, diretamente para uma vala, nas ruas, nos sistemas de drenagem pluviais, rios, lagos, mar ou mesmo em sumidouros, como é o caso dos banheiros secos que são escavações no solo (poço seco) nos quais os dejetos são lançados diretamente sem o uso de água.

A **Tabela 5.2** demonstra o perfil de disposição do esgotamento sanitário dos municípios da RMN, bem como a comparação evolutiva da última década.

Tabela 5.2. Dados sobre a disposição de esgotos sanitários na RMN								
Município	Rede <sup>1</sup>	Fossa Séptica	Fossa Rudimentar	Outros <sup>2</sup>	Rede <sup>1</sup>	Fossa Séptica	Fossa Rudimentar	Outros <sup>2</sup>
	2000 <sup>3</sup>				2010 <sup>4</sup>			
Ceará-Mirim	20,00%	6,50%	63,50%	10,00%	26,60%	28,50%	40,20%	4,70%
Extremoz	0,20%	53,30%	36,20%	10,20%	2,10%	35,70%	59,10%	3,10%
Macaíba	3,50%	8,90%	80,10%	7,50%	6,70%	12,80%	75,70%	4,80%
Monte Alegre	5,70%	1,40%	82,10%	10,80%	6,80%	16,70%	72,70%	3,70%
Natal <sup>5</sup>	22,80%	49,00%	25,70%	2,50%	31,80%	31,00%	35,50%	1,70%
Nísia Floresta	0,40%	14,70%	78,40%	6,60%	0,90%	20,60%	76,00%	2,50%
Parnamirim	0,90%	71,10%	26,20%	1,80%	4,40%	53,20%	41,70%	0,70%
S. G. do Amarante	24,70%	23,70%	47,00%	4,60%	41,20%	24,50%	32,50%	1,90%
S. J. de Mipibu	0,80%	2,10%	88,60%	8,60%	1,80%	17,50%	77,40%	3,30%
Total	19,00%	42,00%	36,20%	2,80%	24,40%	32,30%	41,30%	2,00%

1 - Atendimento com rede de coleta de esgoto. Em alguns casos esses dados incluem a presença de rede de águas pluviais (p. ex. Extremoz e Nísia Floresta).

2 - Lançamento em corpo hídrico superficial (rio, lagoa, mar, etc.), valas, banheiros secos, etc.

3 - Dados do Senso do IBGE (2000), exceto para o município de Natal.

4 - Dados do Senso do IBGE (2010).

5 - Dados fornecidos pela Prefeitura Municipal de Natal (SEMURB).

No parâmetro rede, a classificação do IBGE (2010) inclui o termo “redes pluviais”. Porém, deve ser feita a ressalva de que esses números são mais condizentes com cobertura da rede de esgotamento sanitário, já que Natal teria uma abrangência de cobertura de quase 100%, se considerada a existência de rede de drenagem de águas pluviais. Por outro lado, os municípios de Extremoz e Nísia Floresta aparecem com 2,1% e 0,9%, respectivamente, de domicílios atendidos com a rede, mas não possui nenhuma infraestrutura de rede de esgotamento sanitário.

A análise da comparação demonstrada acima permite identificar o aumento na disponibilidade de redes coletoras de esgoto na última década, porém ainda representando menores percentuais que a disposição dos esgotos através de fossas.

A comparação também permite analisar uma possível fragilidade nesses dados, ao demonstrar que o uso de fossas rudimentares aumentou percentualmente, em relação aos dados de 2000. Essa situação é verificada nos municípios de Extremoz, Natal e Parnamirim, porém não deveria corresponder ao modelo de expansão e desenvolvimento urbano que tem ocorrido nesses municípios. A **Tabela 5.3** abaixo ilustra o caso de Natal para discutir esses levantamentos acerca das infraestruturas de esgotamento sanitário.

Tabela 5.3. Dados sobre a disposição de esgotos sanitários em Natal								
Ano	Rede1		Fossa Séptica2		Fossa Rudimentar3		Outros4	
	Domicílios	%	Domicílios	%	Domicílios	%	Domicílios	%
2000	36.770	22,8%	79.156	49,0%	41.571	25,7%	4.014	2,5%
2010	74.795	31,8%	73.039	31,0%	83.570	35,5%	4.078	1,7%

Nota-se que em 2000 aproximadamente 79.000 domicílios contavam com disposição a partir de fossa séptica e que, pelos dados disponíveis, esse número teria sido reduzido para cerca de 73.000. A única explicação para essa tendência seria que esse universo de cerca de 6.000 domicílios passaram a ser atendidos por rede de abastecimento. De qualquer maneira, o aumento de mais de 100% na utilização de fossas rudimentares não é compatível com o modelo de ocupação que ocorreu em Natal na última década, uma vez que as construções regulamentadas somente alcançam esse estágio através de construção de fossas sépticas, já que os requerimentos legais proíbem a utilização de fossas rudimentares.

As fossas sépticas caracterizam-se por dispositivo tipo câmara impermeabilizada, instalada no subsolo, destinada a receber o esgoto para separação e sedimentação do material sólido, transformando-o em material inerte. A parte líquida do esgoto pode ser encaminhada a sumidouros, valas de infiltração ou filtros biológicos (IBGE, 2008). No caso de fossas sépticas sem a presença de filtros com o uso de plantas, a maior parte da carga de nitrogênio permanecerá no efluente que, na maioria das vezes são destinados a sumidouros. Desse modo, apesar da parte sólida do esgoto ter sido recolhida, tratada e promovida a eliminação de contaminantes patogênicos, a contaminação por nitrato através das fossas sépticas ainda pode ocorrer, pois a fração líquida carrega a maior parcela desse contaminante e, em geral, é infiltrada no solo.

As fossas rudimentares são caracterizadas como sumidouros, revestidos ou não, nos quais, a disposição dos esgotos ocorre diretamente no solo, sem prévia separação da fração sólida. Por vezes, as fossas rudimentares possui franca conectividade com as águas subterrâneas, sobretudo em locais com nível freático raso ou em locais que poços cacimbas foram transformados em fossas. Esse tipo de fossa, além de propiciar a contaminação da água subterrânea também por patogênicos, possui um potencial de infiltração maior que os das fossas sépticas.

Apesar das possíveis divergências encontradas nos dados estatísticos sobre a destinação por fossas sépticas e rudimentares, este estudo não abrange o escopo de recenseamento dessas infraestruturas sanitárias e tão pouco poderá validar o nível de precisão dos dados disponibilizados pelas instituições competentes. Para efeito dos objetivos deste trabalho e, considerando a relevância à contaminação das águas subterrâneas por nitrato proveniente da infiltração de quaisquer tipos de fossas (sépticas ou rudimentares), os cálculos da recarga urbana por esgotamento sanitário serão efetuados considerando o total de fossas, conforme será discutido adiante. De qualquer modo, deve-se alertar aos municípios da RMN sobre a necessidade em conhecer a real abrangência de utilização de fossas rudimentares, devido à relevância negativa aos aspectos ambiental e de saúde pública dessa prática.

Nos nove municípios objeto do estudo, há dois tipos de concessionárias responsáveis pela prestação de serviços referente ao esgotamento sanitário. Os municípios de Macaíba, Monte Alegre, Natal, Nísia Floresta e São José de Mipibú são operados pela sociedade de economia mista com administração pública, Companhia de Água e Esgoto do Rio Grande do Norte (CAERN); Ceará-Mirim e Extremoz através de autarquia municipal, os Serviços Autônomos de Água e Esgoto (SAAE); e em São Gonçalo do Amarante uma atuação mista entre o SAAE e a CAERN.

A **Tabela 5.4** resume os principais dados da infraestrutura dos sistemas de esgotamento sanitário da RMN que serão descritos em maior detalhe a seguir.

A rede de cobertura do saneamento básico dos municípios é muito restrita. Conforme já discutido, Natal e São Gonçalo do Amarante possuem os maiores níveis de atendimento, contando com 460 e 180 km de rede coletora, respectivamente. Nesses municípios também se encontram as maiores instalações de tratamento de esgotos.

Tabela 5.4. Infraestrutura dos sistemas de esgotamento sanitário na RMN				
Município	Concessionária	Ligações <sup>1</sup>	Extensão da rede <sup>2</sup>	ETE <sup>3</sup>
Ceará – Mirim	SAAE	3.883	43	1
Extremoz	SAAE	0	0	0
Macaíba	CAERN	201	7	1
Monte Alegre	CAERN	261	3	1
Natal	CAERN	53.489	460	8
Nísia Floresta	CAERN	0	0	0
Parnamirim	CAERN	47	1	1
S. Gonçalo do Amarante	SAAE/CAERN	3.755	180	4
S. José de Mipibu	CAERN	71	N.D.	1

1 - SNIS, 2008 - Número de economias ligadas à rede de esgotamento sanitário.

2 - SNIS, 2008 - Extensão da rede de esgoto.

3 - Cadastramento Servmar - quantidade de Estações de Tratamento de Efluentes instaladas.

N.D. - Dado não disponível.

As principais infraestruturas identificadas nos sistemas de esgotamento sanitário da RMN são as redes coletoras e as estações de tratamento de efluentes (ETE). As ETE's constituem-se de um conjunto de instalações e equipamentos destinados a realizar o tratamento dos esgotos produzidos e coletados pela rede.

A tecnologia aplicada nas ETE's da RMN é a de tratamento biológico que correspondem a processo simples e de baixo custo operacional, compostos de retentores de sólidos (grade e caixa de areia), decantador primário, bacias de lodo ativado, por vezes dotadas de aeradores, decantador secundário e bacias de secagem de lodo.

### Ceará-Mirim

No município de Ceará-Mirim a extensão da rede coletora de esgoto, cobre parcialmente a área urbana, com 43 km, destinando os efluentes para duas ETE com coordenadas em UTM 232945E / 9375560S e 233090E / 9376010S e cinco Estações Elevatórias de Esgotos (EEE), situadas na zona urbana. Informações disponíveis no SNIS indicam que em 2008 o número de habitantes atendidos em Ceará-Mirim pela rede de esgotos era de 15.013, o que representava 21,9% da população do município. O volume anual de esgoto tratado, no mesmo ano, foi de 608 m<sup>3</sup>, que representava 99% do total coletado pela concessionária (615 m<sup>3</sup>). A **Figura 5.1** apresenta a localização das ETEs no município.





Figura 5.1. Imagem aérea com a localização das ETEs em Ceará-Mirim

### Macaíba

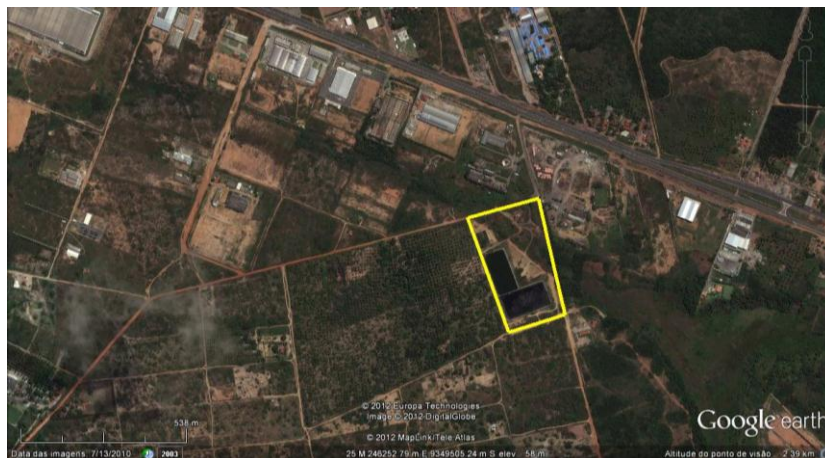
O município de Macaíba possui rede de esgotamento sanitário parcial e, segundo dados do SNIS, o município possui 7 km de rede de esgotamento sanitário, que faz a coleta e tratamento dos efluentes do Distrito Industrial Avançado de Macaíba-CIA com destinação final dos efluentes para a ETE-CIA Macaíba, localizada nas coordenadas UTM 246940E / 9348680S. Os dados disponibilizados pela CAERN indicam o atendimento a 751 economias ligadas a rede de esgotamento sanitário, sendo 426 economias industriais, 07 comerciais, 06 públicas e 312 residenciais. O volume de esgoto faturado pela concessionária foi de 3.568 m<sup>3</sup> no mês de março de 2011. A **Foto 10** e a **Figura 5.2** ilustram a ETE CIA Macaíba e sua localização.



Fonte: CAERN

**Foto 10. Vista lateral da lagoa de aerção – ETE CIA Macaíba**





Google Earth, 2010

**Figura 5.2. Imagem aérea da ETE CIA Macaíba**

### Monte Alegre

O município de Monte Alegre possui 03 km de rede de esgotamento sanitário, atendendo a setores do centro da sede municipal. A Estação de Tratamento de Efluentes Novo Horizonte – ETE Novo Horizonte localiza-se ao norte da zona urbana do município de Monte Alegre, com acesso pela Rodovia Estadual RN002, nas coordenadas UTM 241210E / 9328783S. O sistema foi projetado para atender a uma vazão média de 539,6 m<sup>3</sup>/dia e tem como corpo d'água receptor o Rio Trairí.

O volume anual de esgoto tratado foi de 27 m<sup>3</sup>, representando 100% do total coletado pela concessionária. Segundo dados disponibilizados pela CAERN, no município de Monte Alegre o número de economias ativas ligadas a rede de esgotamento sanitário é de 373, sendo 03 economias industriais, 09 comerciais, 15 públicas e 346 residenciais. O volume de esgoto faturado pela concessionária foi de 2.565 m<sup>3</sup> no mês de março de 2011. As **Fotos 11 e 12** ilustram duas vistas da ETE Novo Horizonte.



Fonte: CAERN



Fonte: CAERN

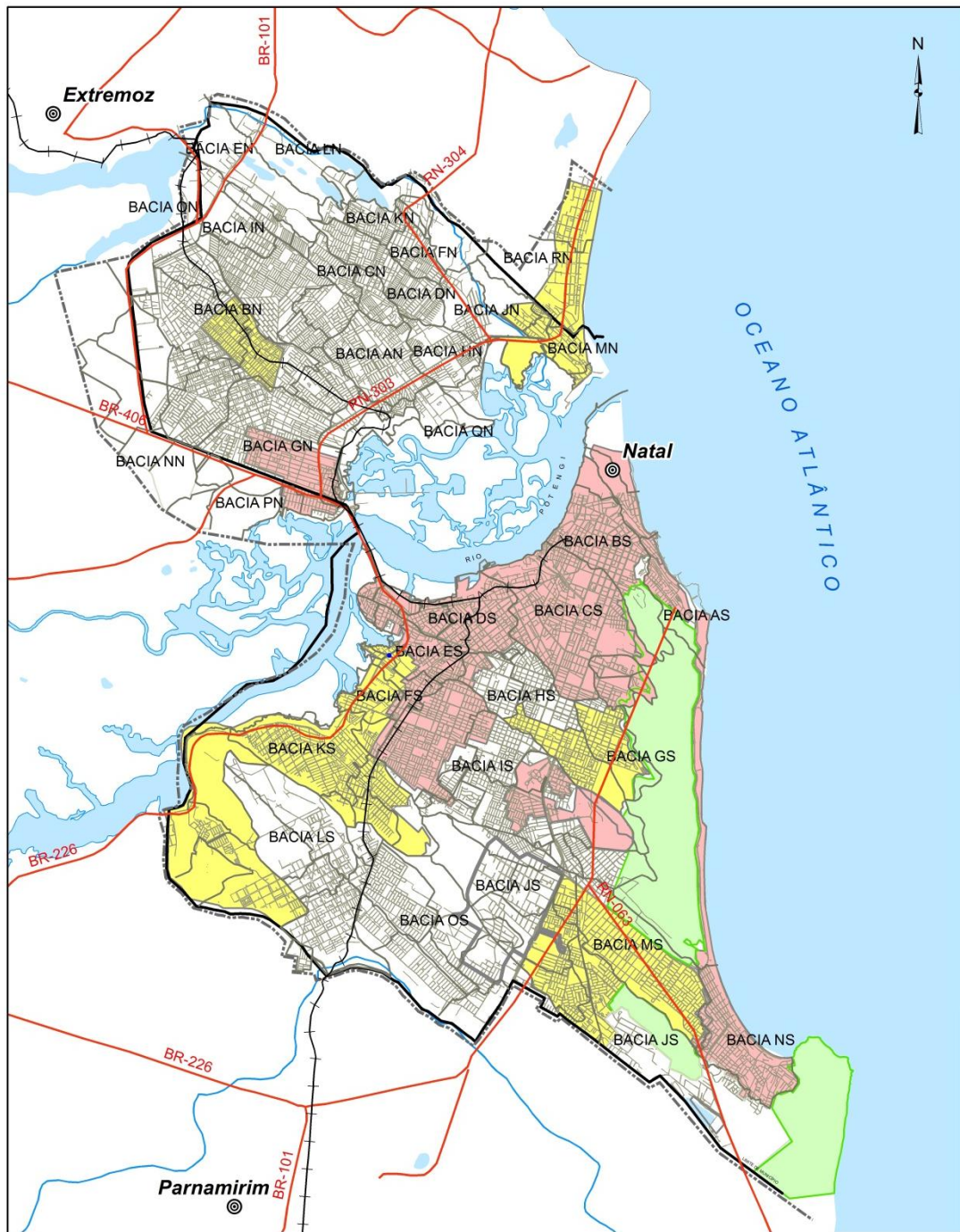
**Foto 11 e 12. Vistas da ETE Novo Horizonte**

## Natal

Esse município possui rede de esgotamento sanitário com atendimento parcial a todas as regiões administrativas da cidade. De acordo com os dados disponibilizados pela CAERN (2011), a Zona Norte possui os seguintes números de economias ativas ligadas a rede de esgotamento sanitário: 4.207 residenciais, 128 comerciais, 122 industriais e 36 públicas, totalizando um volume faturado de 56.865m<sup>3</sup>. As Zonas Leste, Oeste e Sul, somadas possuem 74.583 economias residenciais, 15.573 comerciais, 435 industriais, 3.428 públicas e um volume faturado de 1.110,194m<sup>3</sup>. Todo o volume de esgoto coletado é tratado através de 8 ETEs. A **Figura 5.3**, obtida com a CAERN apresenta o projeto das redes de esgotamento sanitário de Natal, indicando o estágio atual de operação e implantação dos sistemas coletores.

Na Zona Norte localizam-se as ETEs Igapó - Beira Rio, da Redinha e a do DIN, conforme ilustra a **Figura 5.4**. A ETE Igapó/Beira Rio com coordenadas UTM 251213E / 9361103S trata os efluentes sanitários coletados no bairro Igapó com capacidade projetada para atender a uma população final de 26.780 habitantes, a uma vazão média de 3.427,84 m<sup>3</sup>/dia, efetuando o lançamento dos efluentes tratados no rio Potengi. A ETE Redinha localiza-se nas coordenadas UTM 253844E / 9363885S, tratando os esgotos dos bairros Redinha e Redinha Nova e lançando os efluentes tratados no estuário Gamboas, no rio Potengi.

A ETE do Distrito Industrial de Natal, também conhecida como a ETE do DIN ocupa uma área de 60 ha, inserida no contexto das bacias hidrográficas Potengi e Extremoz, posicionada nas coordenadas UTM 246910E / 9364632S, instalada para atender ao tratamento dos efluentes sanitários e industriais do Distrito. Essa ETE tem três lagoas em série, sendo uma de tratamento aeróbio por mistura completa, uma lagoa aerada facultativa e uma lagoa de polimento com processo de decantação. Todos os efluentes coletados no DIN são encaminhados para a Estação Elevatória de Esgoto Bruto - EEEB, situada nas proximidades das lagoas, chegando por recalque até a lagoa aerada aeróbia que possui volume projetado útil de 38.736 m<sup>3</sup> e profundidade útil de 3 m. Após o tratamento, o efluente segue por gravidade até a Estação Elevatória de Esgoto Tratado - EEET de onde é recalcado até o exutório no rio Potengi (CAERN, 2012).



Adaptado de CAERN (2012)

- |                                    |   |
|------------------------------------|---|
| <b>Convenção Cartográfica</b>      | <b>Rede de Esgotos de Natal</b>                 |
| ● Sedes municipais                 | <b>Bacias de Esgotamento Sanitário da CAERN</b> |
| — Estradas pavimentadas            | ■ Bacias com rede operando                      |
| — Ferrovias                        | ■ Bacias com projeto em implantação             |
| □ Bairros                          | □ Bacias não saneadas                           |
| — Lagos, lagoas, lagunas ou açudes | ■ Áreas protegidas                              |
| — Rio perene                       |   |
| --- Limites externos das Bacias    |   |
| — Rede de esgotamento sanitário    |   |
| — Limites interbacias              |   |
| — Limites municipais               |   |

0 0,5 1 2 km

1:110.930

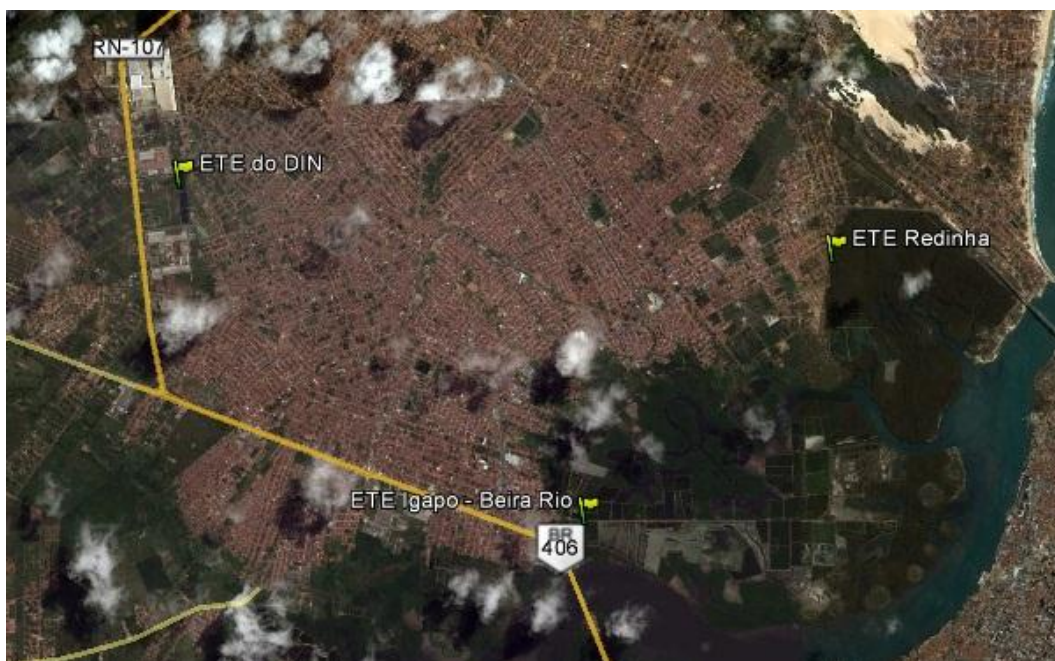
Projeção Transversal de Mercator  
South American Datum 1969 (SAD69)  
Zona 25 S



Fonte: CAERN, 2012

**Figura 5.3. Rede de coleta de esgotos sanitários de Natal**





Google Earth, 2011

**Figura 5.4. Localização das ETEs na Zona Norte de Natal**

Nas Zonas Leste e Oeste localizam-se as ETEs Quintas I/CIAT, Quintas II, Aerada km 6 e do Baldo. A ETE Quintas I/CIAT, operando desde 1998, possui com coordenadas UTM 253170E / 9359012S e tem acesso pela Av. Dr. Mário Negócio, no bairro de Bom Pastor. Esse sistema foi projetado para atender a uma população final de 2.200 habitantes e a uma vazão média de 549,5 m<sup>3</sup>/dia com lançamento dos efluentes tratados para o Rio Potengi. A **Foto 13** ilustra uma vista parcial da bacia de tratamento da ETE Quintas I.



Fonte: CAERN

**Foto 13. Vista parcial da ETE Quintas I/CIAT na Zona Oeste de Natal**

A ETE Quintas II iniciou suas operações em 1999 para atender ao bairro Quintas com capacidade instalada para o tratamento de 549,5 m<sup>3</sup>/dia, sendo equivalente ao esgoto gerado por uma população de 2.200 habitantes. Está situada nas coordenadas UTM 252674E / 9358911S, às margens do rio Potengi que também é o exutório de seus efluentes tratados. A **Foto 14** ilustra uma vista parcial da ETE Quintas II.



Fonte: CAERN

**Foto 14. Vista parcial da ETE Quintas II na Zona Oeste de Natal**

A ETE Aerada km 06 localiza-se nas coordenadas UTM 251497E / 935756S, com acesso dado pela Rodovia Federal BR-226, à altura do km 6 e atende ao bairro Bom Pastor com uma vazão de projeto de 635,94 m<sup>3</sup>/dia, equivalente à geração de esgoto de uma população de 2.100 habitantes. O lançamento dos efluentes tratados ocorre no Rio Potengi. A **Foto 15** mostra parcialmente a lagoa de tratamento com vista das plataformas operacionais.



Fonte: CAERN

**Foto 15. Vista parcial da ETE Aerada km 6 na Zona Oeste de Natal**



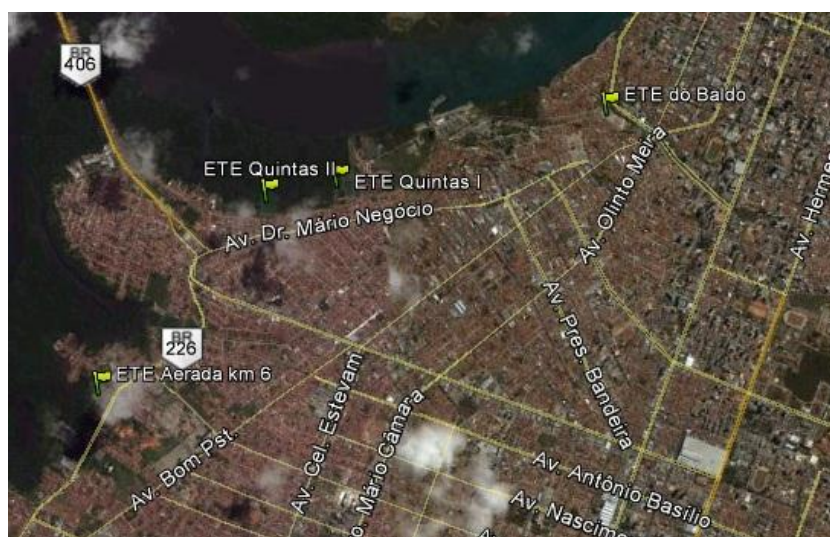
A ETE Central, também conhecida como ETE do Baldo, situada nas coordenadas UTM 255061E / 9359529S e entrou em operação em 2011 com capacidade para dobrar o volume de esgoto tratado em Natal, de 30% para 60% de cobertura da população atendida. Essa capacidade instalada, no entanto, ainda não está em funcionamento. A capacidade projetada é para atender 230 mil habitantes dos bairros Alecrim, Areia Preta, Barro Vermelho, Candelária, Cidade Alta, Cidade da Esperança, Dix-Sept Rosado (parcial), Lagoa Nova, Lagoa Seca, Mãe Luiza, Morro Branco, Nazaré, Nova Descoberta, Petrópolis, Praia do Meio, Ribeira, Rocas, Santos Reis, Tirol, Quintas (parcial) e Bairro Nordeste (parcial). O corpo d'água receptor é o riacho do Baldo, afluente do rio Potengi. A **Foto 16** ilustra uma vista geral da ETE do Baldo.



Fonte: CAERN

**Foto 16. Vista geral da ETE do Baldo na Zona Leste de Natal**

A **Figura 5.5** ilustra a localização, em imagem aérea, das ETEs do Baldo, Aerada km 6 e Quintas I e II, descritas acima.



Google Earth, 2011

**Figura 5.5. Localização das ETEs da Zona Leste e Oeste de Natal**

Na Zona Sul de Natal está instalada a ETE Ponta Negra, posicionada nas coordenadas UTM 258117E / 9348388S e localizada às margens da Av. Rota do Sol, na confluência com a avenida que dá acesso ao bairro Cidade Verde. Esta ETE recebe os esgotos gerados nos bairros de Ponta Negra, Vila de Ponta Negra, Conjunto de Ponta Negra, rede hoteleira da Via Costeira, Praia Shopping e áreas adjacentes. Atualmente a vazão que aflui para a ETE é da ordem de 69,45 l/s ou 250 m<sup>3</sup>/h. A previsão para a contribuição média de esgotos é de uma população equivalente a 33.514 habitantes. O efluente tratado é infiltrado através de valões em terrenos adjacente à última lagoa de maturação.

### Parnamirim

A rede de esgotamento sanitário em Parnamirim abrange apenas o bairro Liberdade, com extensão de rede de 1 km, com deflúvio para a ETE situada nessas imediações, nas coordenadas UTM 252219E / 9343428S. A **Figura 5.6** mostra a localização da ETE e do bairro Liberdade, em Parnamirim.



Google Earth, 2011

**Figura 5.6. Localização da ETE Liberdade em Parnamirim**

As informações disponíveis no SNIS indicam que o número de habitantes atendidos em Parnamirim pela rede de esgotos é de 161, representando 0,1% da população do município. Segundo dados da Prefeitura Municipal há um projeto aprovado para construção de mais uma ETE, com 21 Estações Elevatórias de Esgotos - EEE, que elevaria gradativamente o índice de atendimento do serviço para 100%, no ano de 2027. Essa ETE terá como corpo d'água receptor o Estuário do Rio Jundiá. As **Fotos 17** e **18** ilustram as instalações da ETE Liberdade em Parnamirim.



**Foto 17. Vista do tanque de tratamento da ETE Liberdade**



**Foto 18. Vista parcial das instalações da ETE Liberdade em Parnamirim**

### São Gonçalo do Amarante

O município de São Gonçalo do Amarante está inserido nos domínios da bacia hidrográfica do Rio Potengi e da bacia do Rio Doce. A rede de esgotamento sanitário possui 180 km, atendendo a setores do centro da sede municipal, e os bairros de Golandim, Rego Moleiro e Santo Antônio. Segundo o Plano de Saneamento Municipal (SÃO GONÇALO DO AMARANTE, 2010) observa-se que o esgotamento atinge apenas 50,77% das edificações situadas na Sede, 1,38% em Golandim, 41,02% em Rego Moleiro e 31,34% em Santo Antônio. O volume anual de esgoto tratado é de 1,8 milhão de m<sup>3</sup>, correspondendo a totalidade dos esgotos coletados em São Gonçalo do Amarante, dados disponibilizados pelo SAAE – Serviço Autônomo de Água e Esgoto, com base nos dados do ano de 2011.



A sede do município possui uma ETE, posicionada nas coordenadas UTM 240986E / 9358836S, constituída por lagoa de estabilização e três estações elevatórias - EE, com o efluente tratado e lançado em córrego situado a cerca de 300 m, afluente da margem esquerda do rio Potengi. O bairro Santo Antônio tem uma ETE, nas coordenadas UTM 242453E / 9358789S e uma Estação Elevatória, sendo que o efluente tratado é lançado em córrego situado a cerca de 200 metros, também afluente do rio Potengi.

Na região Regomoleiro encontram-se duas ETEs, responsáveis pelo tratamento de maior parcela dos esgotos produzidos e coletados em São Gonçalo do Amarante. A maior Estação de Tratamento de Esgotos é a ETE Regomoleiro I, posicionada nas coordenadas UTM 244221E / 9358983S e uma estação elevatória. Essa ETE atende aos conjuntos habitacionais Jardim Lola, Pró-Lar, Novo Amarante e parte do Golandin com lançamento dos efluentes tratados em um córrego a cerca de 200 m, afluente do rio Potengi. A ETE Regomoleiro II está localizada nas coordenadas UTM 246640E / 9358760S, também com exutório final no rio Potengi.

A **Figura 5.7** ilustra a localização das ETEs existentes em São Gonçalo do Amarante, descritas acima.



Google Earth, 2011

**Figura 5.7. Localização das ETEs em São Gonçalo do Amarante**

### São José de Mipibu

O município de São José de Mipibú possui rede de esgotamento sanitário, que atende aproximadamente 70 domicílios do bairro Cohab, não há dados precisos sobre a extensão da rede. A ETE do município localiza-se coordenadas UTM 252491E / 9327084S, com acesso dado pela BR 101. O sistema operacional é

composto por uma lagoa facultativa e uma de maturação, alcançando índices de tratamento secundário e lançando os efluentes tratados por infiltração no solo. O sistema foi projetado para atender a uma vazão média de 154,6 m<sup>3</sup>/dia. O volume anual de esgoto tratado é de 7.000 m<sup>3</sup>, correspondendo a 100% do volume total coletado pela rede instalada. A **Foto 19** mostra uma visão parcial da lagoa de tratamento e a **Figura 5.8** apresenta a localização da ETE no município.



Fonte: CAERN

**Foto 19. Vista parcial da ETE em São José de Mipibu**



Google Earth, 2011

**Figura 5.8. Localização da ETE em São José de Mipibu**

O levantamento acerca das infraestruturas dos sistemas de esgotamento sanitário permitiu conhecer dados sobre a abrangência de cobertura das redes, amplitude do tratamento e alguns elementos de infraestrutura. No entanto, as concessionárias e as secretarias municipais não possuem registros sobre a geração de esgoto. Normalmente, essa estimativa é baseada em uma taxa média de geração por habitante.

Apoiado na tese que a geração de esgoto representa uma parcela da água consumida pelas economias atendidas, esse estudo utilizou os dados do suprimento de água, abordado no Capítulo 3 deste relatório, para estimar um volume de geração de esgoto. A **Tabela 5.5** apresenta o resumo dos dados utilizados no desenvolvimento dos cálculos e a estimativa de geração de esgoto.

<b>Tabela 5.5. Cálculo do esgoto produzido na RMN (m<sup>3</sup>/ano)</b>				
<b>Município</b>	<b>Suprimento <sup>1</sup></b>	<b>Perdas <sup>2</sup></b>	<b>Consumo <sup>3</sup></b>	<b>Esgoto <sup>4</sup></b>
Ceará–Mirim	11.525.240	2.216.280	9.308.960	7.447.168
Extremoz	7.128.085	1.489.346	5.638.739	4.510.991
Macaíba	5.959.160	1.247.200	4.711.960	3.769.568
Monte Alegre	1.747.225	260.160	1.487.065	1.189.652
Natal	122.354.470	41.118.670	81.235.800	64.988.640
Nísia Floresta	4.629.525	649.992	3.979.533	3.183.626
Parnamirim	23.165.090	7.662.810	15.502.280	12.401.824
São Gonçalo do Amarante	8.749.415	1.608.336	7.141.079	5.712.863
São José de Mipibu	4.707.040	799.934	3.907.106	3.125.685
<b>Total</b>	<b>189.965.250</b>	<b>57.052.728</b>	<b>132.912.522</b>	<b>106.330.018</b>

A seguir será definido cada componente da **Tabela 5.5**:

- 1) Volume de suprimento total, produzido a partir dos poços e das captações superficiais do abastecimento público, dos poços privados e dos poços públicos não incluídos na rede de distribuição de água. Desse volume de suprimento estão excluídos os volumes para uso na irrigação.
- 2) Volume de perdas dos sistemas de captação e distribuição do abastecimento público efetuado pelas Concessionárias.
- 3) Volume resultante da diferença entre o suprimento e as perdas e que representa a água que será consumida pelo usuário final.
- 4) Volume de geração de esgoto considerando um coeficiente de retorno de 0,8 do volume da água consumida, conforme sugerido pela norma técnica da

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (NBR 9649 – Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário).

Desse modo, aplicando-se a metodologia representada na **Tabela 5.4**, calculou-se um volume total de esgoto produzido na RMN da ordem de 106 milhões de m<sup>3</sup>/ano. Esse volume de esgoto é destinado de diversas maneiras diferentes, conforme discutido anteriormente. O cadastramento e a caracterização dos sistemas de esgotamento sanitário dos municípios da RMN foram utilizados para estabelecer os critérios que embasaram os cálculos das estimativas de recarga do aquífero por esgoto.

A **Tabela 5.6** resume o cálculo aplicado para estimar o volume de esgoto produzido que é aportado ao subsolo e que representa a parcela da recarga urbana relativa ao esgotamento sanitário. No entanto, algumas considerações devem ser apresentadas, em esclarecimento à metodologia de cálculo utilizada.

- Esgoto Coletado – representa os volumes dos esgotos coletados pelos sistemas de esgotamento sanitários, informados pelos municípios e disponibilizados pelo SNIS (2008).
- Infiltração Sistemas – corresponde à parcela de esgoto infiltrada no subsolo pelas infraestruturas dos sistemas de esgotamento sanitário, através de vazamentos da rede coletora e das lagoas de tratamento com impermeabilização ineficiente, estimada em 10% do volume total coletado pelos sistemas.
- Esgoto Não Coletado – resultado da diferença entre o esgoto produzido (**Tabela 5.5.**) e o coletado que representa o volume de esgoto que será destinado por alternativas individuais pelos próprios geradores, ou seja, pela parcela da população sem ligação às redes de esgotamento sanitário.
- Fossas – percentual dos domicílios que não estão ligados às redes de esgotamento sanitário e que utiliza fossas (sépticas e rudimentares) para a disposição final de seus dejetos. Esses percentuais foram extraídos dos dados do IBGE (2010), apresentados na **Tabela 5.2**.
- Volume Fossas – parcela do volume do esgoto não coletado que será destinado às fossas sépticas e rudimentares.
- Infiltração Fossas – volume infiltrado no subsolo a partir das fossas, definindo-se uma eficiência de infiltração média de 80% do volume total de esgoto destinado as mesmas.

- Recarga Esgotamento – volume representativo da recarga urbana proveniente do esgotamento sanitário, correspondendo ao volume das infiltrações dos sistemas de coleta e tratamento de esgotos somado às infiltrações das fossas.

<b>Tabela 5.6. Cálculo da recarga urbana relativa ao esgotamento sanitário (m<sup>3</sup>/ano)</b>							
<b>Município</b>	<b>Esgoto Coletado</b>	<b>Infiltração Sistemas</b>	<b>Esgoto Não Coletado</b>	<b>Fossas</b>	<b>Volume Fossas</b>	<b>Infiltração Fossas</b>	<b>Recarga Esgotamento</b>
Ceará - Mirim	615.000	61.500	6.832.168	93,56%	6.392.269	5.113.815	5.175.315
Extremoz	0	0	4.510.991	96,81%	4.367.054	3.493.643	3.493.643
Macaíba	21.000	2.100	3.748.568	94,88%	3.556.731	2.845.385	2.847.485
Monte Alegre	27.000	2.700	1.162.652	96,00%	1.116.102	892.882	895.582
Natal	10.740.000	1.074.000	54.248.640	97,44%	52.858.731	42.286.985	43.360.985
Nísia Floresta	0	0	3.183.626	97,52%	3.104.539	2.483.632	2.483.632
Parnamirim	5.000	500	12.396.824	99,23%	12.300.969	9.840.776	9.841.276
S. G. do Amarante	1.799.000	179.900	3.913.863	96,82%	3.789.242	3.031.394	3.211.294
S. J. de Mipibu	7.000	700	3.118.685	96,65%	3.014.288	2.411.430	2.412.130
<b>Total</b>	<b>13.214.000</b>	<b>1.321.400</b>	<b>93.116.018</b>	<b>97,37%</b>	<b>90.499.925</b>	<b>72.399.940</b>	<b>73.721.340</b>

\*Todos os dados estão expressos em m<sup>3</sup>/ano.

O método considerou que a eficiência média de infiltração das fossas sépticas e rudimentares é de 80%. Esse volume infiltrado corresponde a uma parte do volume total da recarga urbana por esgotamento sanitário que possui também a componente de infiltração a partir dos sistemas de coleta e tratamento de esgotos, conforme indicado na **Tabela 5.6**. A parte não infiltrada, correspondente a 20% do volume de esgoto que chegam às fossas, não recarrega o aquífero por diversos fatores, entre os quais: eliminação pelo tempo de residência; retenção de parte do volume total em fossas sépticas; limpeza através de caminhões a vácuo (limpa fossa); evapotranspiração; aspectos litológicos locais que impeçam a migração até o aquífero; diminuição da permeabilidade pela colmatação de fossas rudimentares, etc.

Apesar das diferenças, construtivas, operacionais e do modo de disposição do efluente sanitário, este estudo considerou a mesma taxa de eficiência de infiltração para as fossas sépticas e rudimentares, pois, ambos os tipos, na maioria dos casos, permitem a contaminação do aquífero por nitrato.



As infraestruturas dos sistemas de coleta e tratamento de esgoto podem ser consideradas como fontes de recarga de esgoto para o aquífero, devido a vazamentos nas redes coletoras ou mesmos por lagoas de tratamento com precária impermeabilização. No entanto, o controle sobre a existência de vazamentos das redes ou mesmo das possíveis taxas de infiltração de uma dada lagoa são dados pouco conhecidos. Desse modo, foi adotado um valor estimado de 10% do volume total movimentado pelos sistemas de coleta e tratamento de esgotos para as infiltrações provenientes dessas infraestruturas.

Todo volume de água recarregado ao aquífero é importante para a manutenção dos níveis e da potencialidade. No entanto, a parcela da recarga urbana proveniente do esgotamento sanitário é altamente indesejável para o aquífero por ser tratar de um volume de água contaminado e que representa uma forte ameaça à qualidade das águas subterrâneas nas zonas urbanas. Nesse estudo estimou-se que anualmente o aquífero Barreiras receba uma recarga de 74 milhões m<sup>3</sup> de esgoto proveniente, sobretudo da baixa abrangência dos sistemas de esgotamento sanitário.

Seguindo o mesmo critério utilizado para calcular o volume de recarga e considerando que a parcela da população que contribui com essa recarga é de 73,6% de toda a população da RMN, existe um potencial de aporte de nitrato ao aquífero de 3.945 toneladas de por ano, considerando as estimativas de 4 kg/hab/ano, definidas por Foster e Hirata (1998). Esse potencial de contaminação seria capaz de alterar, acima dos padrões de potabilidade, mais de 400 milhões m<sup>3</sup> nesse período, considerando uma abordagem conservativa do aporte das cargas contaminantes.

A recarga urbana por esgotamento sanitário ocorre em um ambiente extremamente dinâmico, no qual estão presentes as retiradas do aquífero através de poços em bombeamento, o fluxo subterrâneo natural e as recargas provenientes das perdas de rede de abastecimento de água e da rede de drenagem urbana. Todas essas interações serão abordadas neste relatório no capítulo sobre a recarga urbana, bem como a simulação de cenários hipotéticos, sendo um deles a diminuição dessa recarga do esgotamento sanitário.



## **6 CADASTRO DAS FONTES POTENCIAIS DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

A identificação de atividades ou ocupações que possam caracterizar fontes de contaminação é muito importante nas ações de controle da qualidade das águas subterrâneas, uma vez que essas atividades podem gerar a emissão de contaminantes no subsolo. Essa fase do trabalho objetivou o cadastramento de fontes potenciais de contaminação, consistindo uma relação compilada a partir de levantamento em diferentes instituições.

Algumas atividades humanas, geralmente associadas a tipos específicos de contaminantes, representam ameaças aos aquíferos. Assim, a classificação e o cadastro de fontes potenciais de contaminação é um passo fundamental nos programas de proteção da qualidade da água subterrânea (FOSTER *et al.* 2006).

A identificação de potenciais fontes de contaminação permitirá direcionar a caracterização de eventuais impactos à qualidade das águas subterrâneas, conforme previsto no escopo desse estudo. Na segunda fase de amostragem das águas subterrâneas, serão selecionados alguns pontos de coleta voltados à avaliação de possíveis impactos provocados por determinadas fontes de contaminação.

O primeiro estágio para a elaboração deste item contemplou o levantamento de atividades ou modelos de uso e ocupação dos terrenos que configuram ameaças à qualidade das águas subterrâneas, devido à manipulação, produção, armazenamento ou geração de substâncias que, em determinadas quantidades e condições possuem a capacidade de contaminarem as águas subterrâneas. Em seguida, as atividades cadastradas foram classificadas, visando obter uma diferenciação dos respectivos potenciais de gerar contaminação às águas subterrâneas.

O ponto de partida do levantamento foi por meio do cadastro de processos de licenciamento ambiental do Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte – IDEMA. Essa instituição disponibilizou inicialmente cerca de 2.000 registros relacionados a informações cadastrais dos processos de licenciamento ambiental (número, objeto, interessado e município). Após triagem preliminar elaborada pela equipe da Servmar, visando eliminar duplicidade de empreendimentos e selecionar as atividades de interesse, foram solicitadas ao IDEMA as informações sobre endereço e/ou coordenadas de uma lista de aproximadamente 1.200 registros. O IDEMA retornou com as informações cadastrais solicitadas para cerca de 500 registros que, após nova triagem, resultou em um cadastro de 585 empreendimentos, sendo que destes, apenas 308 possuíam dados de localização que permitiram o georreferenciamento.

O levantamento pelas informações ainda contemplou consultas a outras instituições, tais como órgãos estaduais (CAERN, EMPARN, EMATER e SEMARH), órgãos federais como o IBGE, INCRA e Agência Nacional do Petróleo (ANP), prefeituras municipais, entidades representativas de alguns setores econômicos como a Federação das Indústrias do Estado do Rio Grande do Norte (FIERN), associações comerciais e empresas privadas relacionadas à destinação de resíduos sólidos urbanos e resíduos hospitalares. Nessas consultas, foram obtidas informações cedidas por 13 instituições, ampliando o cadastro em mais de 100% do número de empreendimentos provenientes do IDEMA. No entanto, nenhuma das listagens fornecidas contava com dados georreferenciados e uma pequena parcela contava com dados cadastrais de endereços.

Diante de uma lista com mais de 1.000 empreendimentos sem posição geográfica definida, a Servmar iniciou uma campanha de georreferenciamento desses empreendimentos, contando, sobretudo, com visitas em campo, mas também com ligações telefônicas aos empreendimentos, aerofotointerpretação e geoprocessamento. Nesses trabalhos de campo a Servmar ainda cadastrou 5 fontes pontuais de contaminação que não estavam incluídas em nenhum dos cadastrados levantados nas diversas instituições.

Os empreendimentos constantes no cadastro sem coordenadas geográficas foram situações que, com todos os esforços empregados, não puderam ser localizados.

As fontes potenciais de contaminação cadastradas foram: atividades industriais; disposição de resíduos urbanos; disposição de resíduos industriais e hospitalares; lagoas de estabilização e estações de tratamento de efluentes domésticos e/ou industriais; unidades de saúde, cemitérios, postos de combustíveis, oficinas mecânicas; carcinoculturas; atividades agrícolas e sistemas de saneamento.

O mapeamento das fontes pontuais de contaminação e o levantamento das informações específicas sobre as atividades considerou a escala de 1:100.000 para toda a área de estudo e detalhamento de 1:50.000 para os municípios de Natal e Parnamirim.

O desenvolvimento desse trabalho considerou a classificação das fontes potenciais de contaminação cadastradas, baseada no modelo sugerido no guia do Banco Mundial (FOSTER *et al.* 2006), elaborado pelo grupo de consultores do GW•MATE (*Groundwater Management Advisory Team*).

As atividades potencialmente contaminadoras foram divididas em dois grandes grupos, considerando a distribuição espacial e a maneira como podem provocar

as contaminações às águas subterrâneas, sendo definidos de acordo com Foster *et al.* (2006), conforme abaixo:

- fontes pontuais de contaminação - que geralmente produzem plumas definidas e mais concentradas, afetando uma área menor do aquífero. Neste caso estão contempladas as indústrias, postos de combustíveis, lagoas de efluentes, despejo de resíduos sólidos, mineradoras, entre outros, e;
- fontes difusas de contaminação - que não geram plumas definidas e normalmente afetam uma área muito maior do aquífero, caracterizada pelas áreas urbanas sem rede de esgoto e cultivo agrícola do solo.

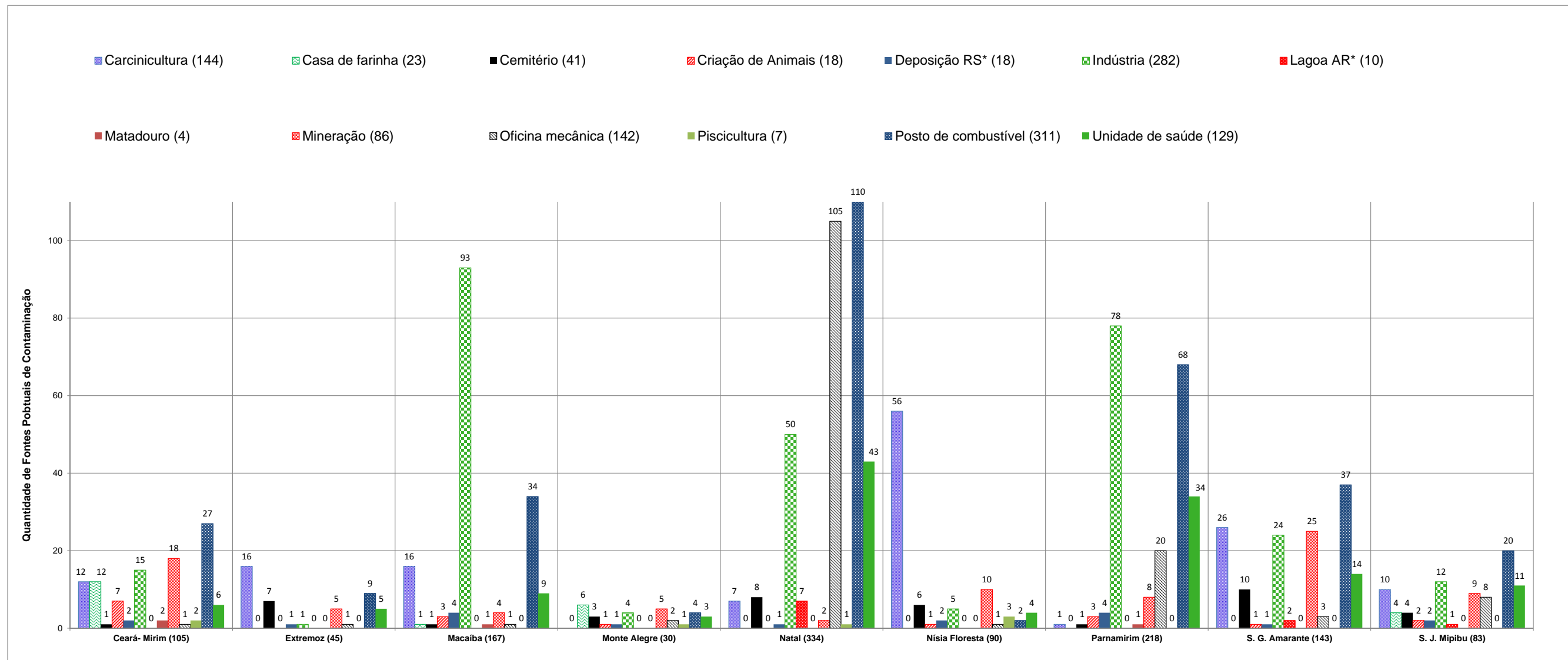
O **Apêndice F** deste trabalho apresenta duas tabelas com todas as fontes de contaminação cadastradas nos municípios da RMN. A **Tabela 1** lista as fontes pontuais de contaminação, totalizando 1.215 empreendimentos cadastrados e a **Tabela 2** apresenta 101 fontes difusas de contaminação, relacionando atividades agrícolas, comunidades e pequenos aglomerados urbanos com sistema de saneamento *in situ* e as sedes municipais.

A **Figura 6.1** apresenta um gráfico com todas as fontes de contaminação pontuais cadastradas distribuídas entre os municípios da RMN.

Este gráfico permite observar a distribuição das fontes de contaminação nos municípios, bem como identificar as atividades de maior ocorrência. Natal é o município com a maior ocorrência de fontes pontuais de contaminação, seguido dos vizinhos Parnamirim, Macaíba e São Gonçalo do Amarante. Esse padrão de ocorrência é compatível com nível de desenvolvimento urbano e econômico desses municípios.

O incipiente nível de desenvolvimento dos municípios de Extremoz, Monte Alegre, São José de Mipibú e Nísia Floresta reflete na baixa concentração de atividades potencialmente contaminadoras. No entanto, merece destaque a carcinicultura em Nísia Floresta que representa mais de 30% das ocorrências dessa atividade na RMN e corresponde a mais de 50% de todas as fontes pontuais de contaminação daquele município.

Os termos fontes pontuais e fontes difusas de contaminação estão sendo aplicados nesse trabalho para caracterizar as atividades que possuem o potencial de contaminar os solos e as águas subterrâneas. Visando definir a intensidade do potencial de contaminação das atividades cadastradas, foi adotada uma metodologia classificatória.



RS\* - Resíduos sólidos; AR\* - Águas Residuais

**Figura 6.1. Fontes de contaminação pontuais nos municípios da Região Metropolitana de Natal**

Entre as diversas formas de caracterização das fontes potenciais de contaminação, neste estudo será aplicada a versão simplificada do método *POSH*. O método *POSH* (sigla em inglês para *pollutant origin, surcharge hydraulically*) baseia-se na origem do contaminante e na capacidade de gerar transporte de contaminante à água subterrânea, denominado de sobrecarga hidráulica. A simplificação do *POSH*, conforme sugerido por Foster *et al.* (2006) adaptado da versão completa do método definido por Foster e Hirata (1988) determina a classificação das fontes de contaminação, em três níveis qualitativos de “potencial para gerar uma carga contaminante no subsolo”: reduzido, moderado e elevado.

O método *POSH* conforme apresentado por Foster *et al.* (2006) traz indicações de atividades com potencial de gerar carga contaminante no subsolo, bem como sua classificação, baseada na capacidade de gerar carga contaminante em função dos grupos contaminantes de interesse em cada atividade e na sua capacidade de produzir sobrecarga hidráulica, em função do mecanismo de interação com o meio subterrâneo.

Depois de consistido o cadastro das fontes de contaminação pontuais e difusas, as mesmas foram caracterizadas de acordo com suas atividades e classificadas conforme indicado na citada publicação.

## 6.1 Fontes pontuais de contaminação

A **Tabela 6.1** apresenta a classificação das fontes pontuais de contaminação conforme o método *POSH*.

O levantamento das fontes potenciais de contaminação identificou atividades não elencadas na tabela elaborada por Foster *et al.* (2006). Nesses casos foram adotados critérios para classificação dessas fontes potenciais de contaminação, buscando-se correlações aos critérios estabelecidos pelos citados autores. A **Tabela 6.2** apresenta a classificação adotada nesse trabalho para algumas fontes pontuais de contaminação e os critérios que embasaram a classificação.

A partir do cadastro consistido das fontes pontuais de contaminação, foi elaborada a **Tabela 1** do **Apêndice F** apresentado as informações sobre a atividade e ramo de atuação; localização, quando possível contendo as coordenadas geográficas; nome do proprietário, razão social ou identificação do interessado pelo empreendimento; e informações sobre o processo de licenciamento ambiental no IDEMA, se fonte da informação teve essa procedência. Em cada empreendimento foi atribuída a classificação *POSH* pelos critérios discutidos acima. Visando facilitar a identificação de cada

empreendimento foi adotado um código de identificação alfanumérico que sequencia a quantidade de empreendimento de cada atividade.

Tabela 6.1. Fontes pontuais de contaminação e classificação POSH					
potencial de gerar carga contaminante no subsolo	fontes pontuais de contaminação				
	deposição de resíduos sólidos	indústrias	lagoas de águas residuais	mineração	outras (urbanas)
<b>elevado</b>	resíduo industrial tipo 3 ou de origem desconhecida	tipo 3	resíduos industriais tipo 3 ou qualquer efluente (exceto residencial) se área maior que 5 ha	operações em campos de petróleo e mineração de metais	
<b>moderado</b>	resíduos industriais tipo 1, agroindustriais ou residenciais com pluviometria maior que 500 mm/ano	tipo 2	esgoto residencial se área maior que 5 ha, demais casos não relacionados acima ou abaixo	algumas atividades de mineração e extração de materiais inertes	postos de gasolina
<b>reduzido</b>	resíduos industriais tipo 1, agroindustriais ou residenciais e pluviometria menor que 500 mm/ano	tipo 1	águas residuais residenciais mistas, urbanas, agroindustriais e de mineração não metálicos		cemitérios

**Indústrias tipo 1:** madeireiras, manufaturas de alimentos e bebidas, destilarias de álcool e açúcar, processamento de materiais não metálicos

**Indústrias tipo 2:** fábricas de borracha, papel e celulose, fertilizantes, detergentes e sabão, tecidos e usinas elétricas

**Indústrias tipo 3:** oficinas de engenharia, refinarias de gás ou petróleo, fábricas de produtos químicos, farmacêuticos, plásticos, pesticidas, curtumes, indústrias eletrônicas e processamento de metal

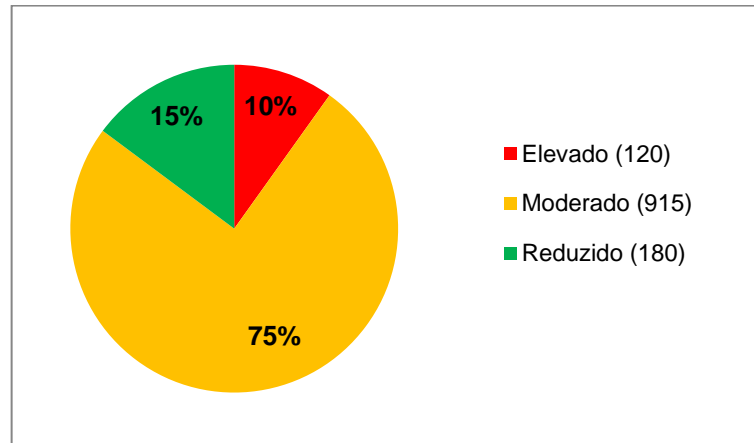
Fonte: Foster *et al.* (2006)

Tabela 6.2. Fontes de contaminação pontuais e classificação POSH adaptada		
Atividade	Classificação POSH	Crítérios de classificação
carcinicultura	moderada	dimensão dos tanques, ocorrência frequente e localização (normalmente próximas à cursos d'água)
casa de farinha	reduzida	indústria alimentícia (tipo 1)
criação de animais	reduzida	mesma classificação de matadouros
matadouro	reduzida	mesma classificação de cemitérios devido à possibilidade de deposição de restos de animais
oficina mecânica	moderada	compatibilidade com a atividade e tipo de contaminação dos postos de combustíveis
piscicultura	reduzida	dimensão dos tanques e localização (normalmente próximas à cursos d'água)
unidade de saúde <sup>1</sup>	reduzida	coberturas da rede de esgoto superior a 75% e densidade populacional inferior a 50 pessoas/ha
	moderada	intermediário entre elevado e reduzido
	elevada	coberturas da rede de esgoto inferior a 25% e densidade populacional superior a 100 pessoas/ha

1 - Mesma classificação das fontes de contaminação difusas de saneamento *in situ*



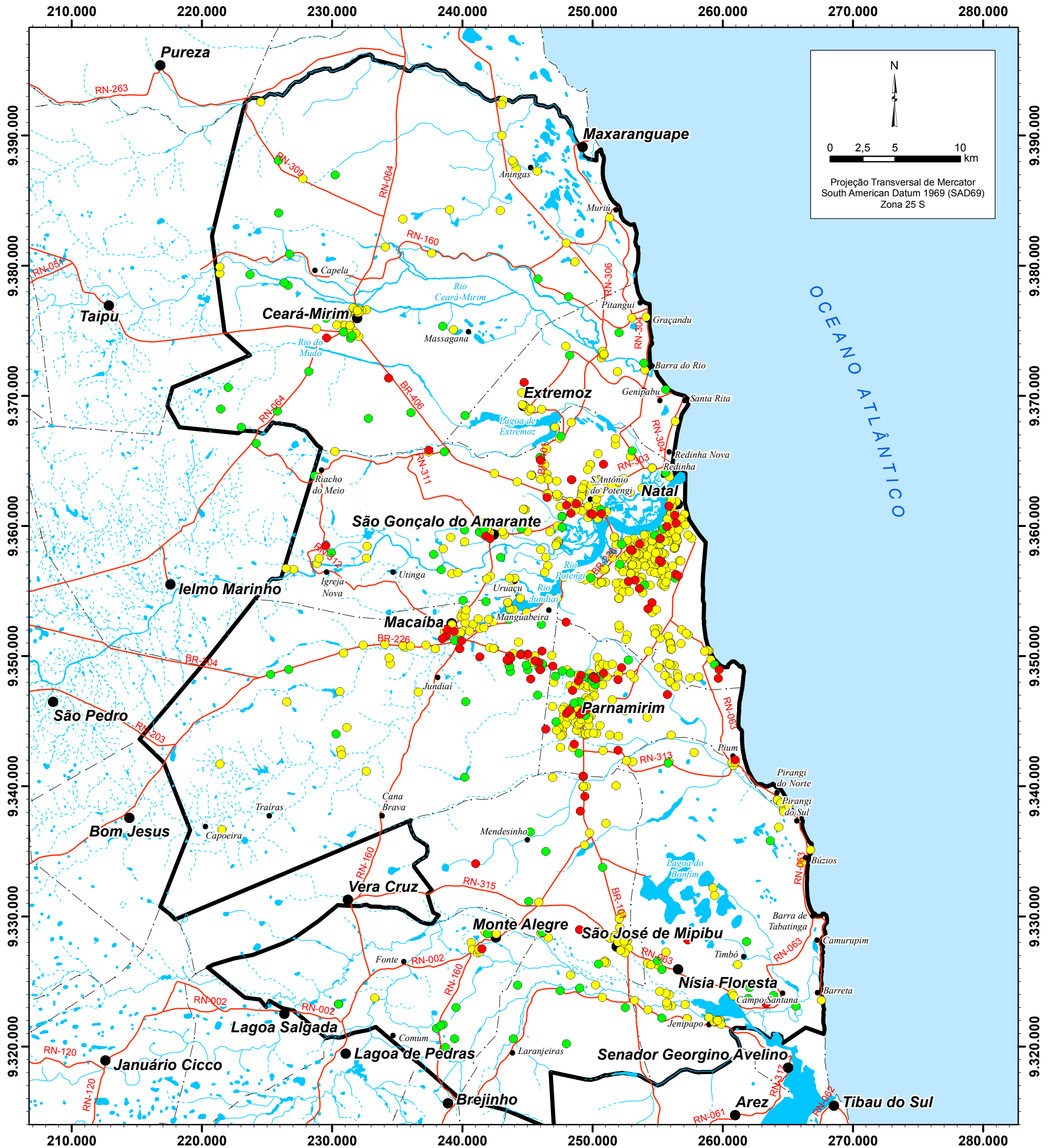
A **Figura 6.2** a seguir apresenta a distribuição das fontes pontuais de contaminação de acordo com a classificação *POSH*. As atividades com moderado potencial de gerar carga contaminante são as mais abundantes, representando 75% de todas as cadastradas.



**Figura 6.2. Classificação *POSH* das fontes pontuais de contaminação**

A distribuição espacial das fontes pontuais de contaminação pode ser observada na **Figura 6.3** que apresenta o mapeamento das atividades com dados de coordenadas geográficas, classificadas pelo método *POSH*.

As fontes pontuais de contaminação estão concentradas na região central e portuária de Natal, às margens do rio Pirangi e nos arredores dos principais corredores viários que ligam aos municípios vizinhos, sobretudo Macaíba e Parnamirim que possuem concentrações nas franjas urbanas de suas sedes municipais. Nesses locais são encontradas as atividades com elevado potencial de gerar carga contaminante além de grande concentração das atividades de moderado potencial.



N

0 2,5 5 10 km

Projeção Transversal de Mercator  
South American Datum 1969 (SAD69)  
Zona 25 S

Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM

**Potencial de Gerar Carga Contaminante no Subsolo**

- Elevado (Indústria Tipo 3/ Deposição de resíduos sólidos/ Unidade de saúde) - 120
- Moderado (Carcinicultura/ Indústria Tipo 2/ Lagoa de águas residuais/ Mineração/ Oficina mecânica/ Posto de combustível/ Unidade de saúde) - 915
- Reduzido (Casa de farinha/ Cemitério/ Criação de animais/ Indústria Tipo 1/ Matadouro/ Mineração/ Psicultura) - 180

**Convenção Cartográfica**

- Sedes municipais
- Povoados ou assentamentos
- Estradas pavimentadas
- Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Limites municipais
- ▭ Área de estudo

Localização da área de estudo



**Figura 6.3. Fontes pontuais de contaminação (Classificação POSH)**

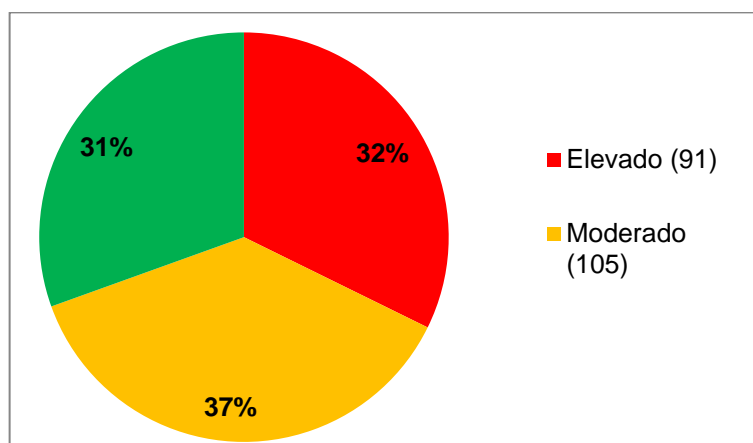
ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL



## Atividades industriais

Devido ao volume, concentração e à variedade de produtos químicos utilizados, as indústrias são consideradas um dos principais geradores de contaminantes no subsolo e conseqüentemente no aquífero, destacando-se os compostos organoclorados, metais pesados e hidrocarbonetos de petróleo, por serem as ocorrências mais frequentes.

A classificação *POSH* para as atividades industriais baseia-se no tipo de indústria e está detalhada na **Tabela 6.1**. O resultado desta classificação é observado na **Figura 6.4** abaixo e detalhadamente descrito na **Tabela 1** do **Apêndice F**, onde estão apresentadas todas as 282 indústrias cadastradas neste estudo juntamente com seu potencial de gerar carga contaminante no subsolo segundo o método *POSH*.



**Figura 6.4. Classificação *POSH* - indústrias**

Para levantamento das indústrias localizadas nos municípios da Região Metropolitana de Natal, além do cadastro de processos do IDEMA, foi feita uma pesquisa de todas as indústrias localizadas na RMN presentes no *site* da Federação das Indústrias do Estado do Rio Grande do Norte – FIERN e em visitas de campo. Cabe ressaltar, que foram checadas as possíveis duplicidades que eventualmente poderiam ocorrer durante a pesquisa nessas três fontes de informação.

A Região Metropolitana de Natal caracteriza-se por apresentar vários tipos de fábricas, sendo observadas principalmente as indústrias têxteis, de bebidas, produção de alimentos e cerâmicas (**Tabela 1** do **Apêndice F**). Conforme mostra a **Figura 6.2**, a ocupação industrial é mais presente nos municípios de Macaíba, Parnamirim, Natal e São Gonçalo do Amarante, respectivamente.

## Lagoas de efluentes

As lagoas de efluentes são utilizadas para o armazenamento, tratamento e sedimentação dos efluentes líquidos provenientes de águas residuais urbanas, indústrias ou mineração. Para classificação do método *POSH*, deve ser levado em consideração o tipo de atividade que gera a água residual e a área ocupada pela lagoa (**Tabela 6.1**).

Neste estudo, esta atividade foi levantada através de informações coletadas na CAERN e observações realizadas em campo. A **Tabela 6.3** mostra as lagoas de estabilização em que foi possível listar algumas características.

De acordo com informações coletadas nas empresas que realizam a limpeza de fossas da cidade de Natal, foram cadastradas as duas lagoas que recebem o efluente proveniente dessa atividade (**Tabela 6.3**).

Tabela 6.3. Características das lagoas de efluentes (CAERN)									
Lagoa de efluente	Município	Bairro	Tempo de operação (anos)	Origem do efluente	População final atendida (hab)	Destino do efluente	Volume do efluente (m <sup>3</sup> )	coordenadas	
								x	y
ETE Igapó/Beira Rio	Natal	Igapó	-	esgotos domésticos urbanos	26.780	Rio Potengi	53.267	251044	9361132
ETE Jardim Lola I	S. Gonçalo do Amarante	Conjunto Jardim Lola	-	esgotos domésticos urbanos	5.364	Rio Potengi	9.833	250385	9360570
ETE Jardim Lola II	S. Gonçalo do Amarante	Conjunto Jardim Lola	-	esgotos domésticos urbanos	6.710	Rio Potengi	11.642	249626	9360653
ETE Aerada km6	Natal	Bom Pastor	-	esgotos domésticos urbanos	2.100	Rio Potengi	1.800	251497	9357562
ETE Ponta Negra	Natal	Ponta Negra	10	esgotos domésticos urbanos	33.514	infiltração no solo	107.498	258132	9348410
ETE Quintas I - CIAT	Natal	Quintas	13	esgotos domésticos urbanos	2.200	Rio Potengi	22.500	253163	9359020
ETE Quintas II	Natal	Quintas	12	esgotos domésticos urbanos	2.200	Rio Potengi	22.500	252674	9358911
ETE São José do Mipibu	S. José de Mipibu	-	-	esgotos domésticos urbanos	-	-	3.249	252486	9327202
Lagoa Riograndense	Natal	-	-	empresas desentupidoras de fossas	-	-	-	247265	9354434
Lagoa Potiguar	Natal	-	-	empresas desentupidoras de fossas	-	-	-	247780	9356075

A **Tabela 1** do **Apêndice F** apresenta as lagoas de efluentes cadastradas neste estudo, onde se observa que todas foram consideradas fonte moderada de carga contaminante no subsolo, uma vez que recebem esgotos domésticos urbanos ou de desentupidoras de fossas e possuem área inferior a 5 ha.

## Deposição de resíduos sólidos

O despejo inadequado de resíduos sólidos é a causa de muitos casos de poluição da água subterrânea, existindo a possibilidade de encontrar contaminantes diversos, com destaque para nitrato, patogênicos, metais pesados e fases oleosas leves. Portanto, é importante conhecer a procedência do material despejado nesses terrenos para possível caracterização. Deve-se levar em conta também a geração de uma sobrecarga hidráulica, geralmente associada às chuvas, suficiente para lixiviar tais contaminantes.

Assim, de acordo com o método *POSH*, a classificação do potencial relativo de se gerar uma carga contaminante no subsolo pelos lixões e aterros sanitários depende da origem do resíduo, que indica a provável presença do contaminante, e a incidência pluviométrica local, **Tabela 6.1**.

O cadastro dos lixões e do aterro sanitário contemplados neste estudo foi realizado através de visitas de campo e com informações coletadas na SEMARH. A ausência de informações seguras sobre a origem dos resíduos despejados nos lixões cadastrados levou à classificação de elevado potencial de gerar carga contaminante.

O baixo controle sobre a disposição dos resíduos e a baixa disponibilidade de opções para a destinação de resíduos perigosos configuram um cenário propício para que resíduos de elevado potencial contaminador sejam dispostos nos lixões.

Os dados relativos aos aspectos construtivos dos lixões são inexistentes, no entanto, é possível inferir que não possuem qualquer tipo de controle contra vazamentos ou sistemas de coletas de chorume e águas residuárias, além de, provavelmente, não receberem a devida compactação de cobertura, controle de vetores ou de acesso.

As informações levantadas em relação aos lixões e ao aterro sanitário cadastrados neste estudo estão apresentados na **Tabela 6.4**.

Em toda a região de estudo foi cadastrado um único empreendimento de aterro sanitário para a disposição de resíduos sólidos, situado na localidade de Massaranduba, em Ceará-Mirim. Esse empreendimento representa um complexo para a disposição final de resíduos, em uma área operacional de aproximadamente 40 ha. O local possui 2 células para a disposição de resíduos perigosos (Classe 1) e 6 células para a disposição de resíduos urbanos ou, segundo a classificação ABNT/NBR 10.004: 2004, resíduos não-perigosos não-inertes (Classe 2A). Esse empreendimento recebe os resíduos domésticos de Ceará-Mirim, Natal, Macaíba, Parnamirim e São Gonçalo do Amarante. Devido à

disposição final de resíduos perigosos, esse aterro sanitário foi classificado, segundo *POSH* como de elevado potencial de gerar carga contaminante.

Tabela 6.4. Características dos depósitos de resíduos sólidos cadastrados						
Tipo de Unidade	Nome da Área	Município	Ano de início da operação	Coordenadas		Área (ha)
				x	y	
Aterro Sanitário	Maçaranduba	Ceará-Mirim	2004	234319	9371370	90
Lixão	Área Rural	Ceará-Mirim	2004	229565	9374454	6
Lixão	Lot. Bela Vista	Extremoz	-	244726	9371043	3
Lixão	Distrito do Racho	Monte Alegre	-	241491	9327514	2
Lixão	Campo Santana	Nísia Floresta	2004	263317	9323302	4
Lixão	Cidade Alta	Nísia Floresta	2004	257299	9328195	6
Lixão	Pau Brasil	S. José de Mipibu	-	248991	9328990	2
Lixão	Laranjeiras Abdias	S. José de Mipibu	1998	241001	9334058	2
Lixão	Zona Norte	Natal	-	247985	9366302	-

Deve-se ressaltar que as células de disposição de resíduos possuem lagoas de tratamento de efluente associadas. Essas lagoas não estão listadas no cadastro das fontes pontuais de contaminação, já que são associadas ao empreendimento do aterro sanitário.

#### Postos de combustíveis e oficinas mecânicas

Os postos de combustíveis são responsáveis por muitos casos de contaminação do subsolo por manipularem volumes consideráveis de hidrocarbonetos de petróleo e estes estarem armazenados em tanques subterrâneos, onde não é visível a ocorrência de vazamentos. Assim, a presença de postos de combustíveis ou locais de armazenamento com tanques subterrâneos deve ser considerada como fonte moderada de carga contaminante do solo (FOSTER *et al.* 2006).

A relevância dos postos de combustíveis como fonte de contaminação é devido à amplitude da sua ocorrência. Essa atividade é a mais numerosa em quantidade de empreendimentos, tendo sido cadastrados 311 postos na área de estudo.

O cadastramento de postos de combustíveis foi realizado na lista de processos do IDEMA, do banco de dados da Agência Nacional do Petróleo – ANP, nos processos de licenciamento ambiental da Secretaria de Meio Ambiente e Urbanismo da Prefeitura de Natal – SEMURB, além de levantamento em campo.



As atividades de postos de combustíveis têm passado por um importante processo de adequação, deflagrado pela Resolução CONAMA nº 273, de 29 de novembro de 2000 que prevê, entre outras exigências, o licenciamento ambiental pelos órgãos ambientais competentes. Nos municípios da RMN o licenciamento é efetuado pela Prefeitura em Extremoz, Natal, Parnamirim e São Gonçalo do Amarante e pelo IDEMA nos demais municípios. Apesar de consulta a todos as Prefeituras, apenas a SEMURB de Natal disponibilizou dados sobre os processos de licenciamento dos postos.

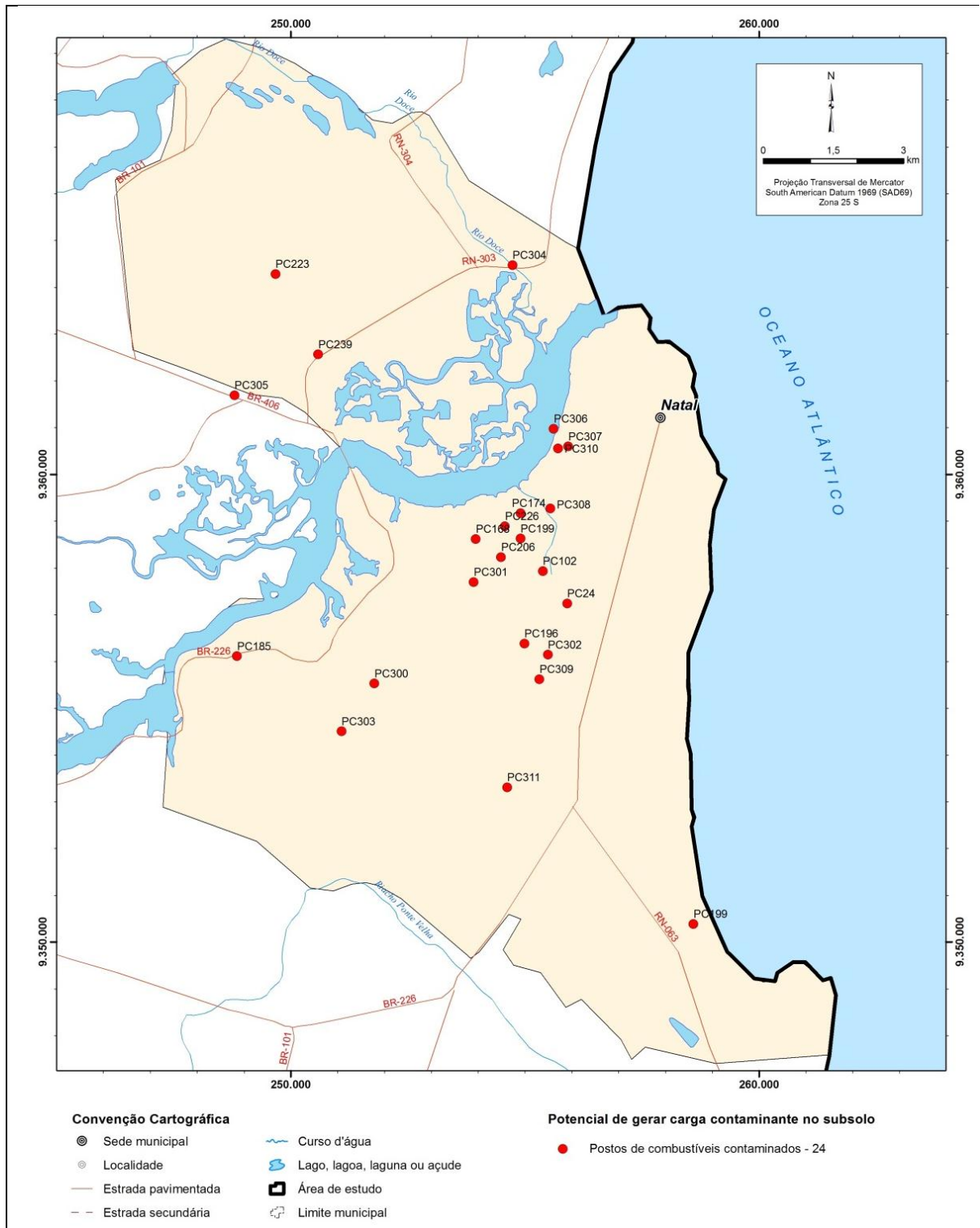
A SEMURB (PMN) disponibilizou uma lista dos postos de Natal que estão em processo de licenciamento e que, conseqüentemente, foram investigados em relação à contaminação do solo e água subterrânea. A partir desses dados, foram identificados postos que, por apresentarem fase livre de combustível sobrenadante ao aquífero ou pela fase da investigação em que se encontravam foram considerados contaminados. A **Figura 6.5** apresenta os postos de combustíveis com contaminação ao solo e/ou água subterrânea no município de Natal.

É importante destacar que outros postos de combustíveis existentes no cadastro de fontes pontuais de contaminação podem estar contaminados, porém essa informação não estava disponível ou não era conhecida das instituições consultadas no levantamento.

As oficinas mecânicas possuem características similares aos postos de combustíveis, tais como o elevado número de empreendimentos e a manipulação de hidrocarbonetos de petróleo, solventes, tintas e outros produtos químicos. Por essa razão foram classificadas pelo método *POSH* no mesmo critério dos postos de combustíveis (moderado).

As oficinas mecânicas foram identificadas através da Listel, contato telefônico com as prefeituras, levantamento nas juntas comerciais e através de visitas de campo. Em geral, foram obtidos os nomes e os endereços e, posteriormente realizadas as buscas pelas coordenadas através do *Google Map*.

O resultado do cadastramento de postos de combustíveis e oficinas mecânicas é apresentado na **Tabela 1 (Apêndice F)** e na **Figura 6.3**.



**Figura 6.5. Áreas contaminadas por postos de combustíveis no município de Natal**

## Mineração

Conforme observado na **Tabela 6.1**, segundo o método *POSH*, o potencial das atividades mineradoras de gerar carga contaminante no subsolo depende do tipo do material explorado.

As mineradoras localizadas na RMN foram cadastradas partindo da lista de processos do IDEMA e da lista presente no *site* do Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM.

Em relação à área estudada neste trabalho, todas as mineradoras cadastradas estão ligadas à extração de argila, areia, cascalho, mármore e calcário. Portanto, as atividades ligadas à mineração na RMN são de potencial moderado, podendo causar impacto na qualidade da água subterrânea devido às alterações hidráulicas que provocam, uma vez que nenhum tipo de material contaminante é extraído na região (**Tabela 1 do Apêndice F**).

## Cemitérios e matadouros

Em geral, a prática de enterrar cadáveres humanos ou de animais gera uma carga contaminante microbiológica relativamente pequena e restrita, podendo ser reduzida com a utilização de túmulos impermeáveis, sendo classificados com potencial reduzido de gerar carga contaminante no solo (FOSTER *et al.* 2006).

Neste trabalho também foram cadastrados os matadouros como potenciais fontes de contaminação pontuais do subsolo e, para classificação do sistema *POSH*, também são considerados de potencial reduzido, pois nesta atividade também ocorre deposição de carcaças de animais mortos. No caso dessas duas fontes de contaminação pontuais, os contaminantes que podem ser encontrados são principalmente nitrato e patogênicos.

O cadastro de cemitérios presentes nos municípios da RMN foi realizado através de contato telefônico com cada Secretaria Municipal de Infraestrutura e Urbanismo. Para levantamento dos matadouros localizados na RMN também foi utilizada a lista de processos do IDEMA, associações comerciais e visitas de campo. A **Tabela 1 do Apêndice F** mostra todos os cemitérios e matadouros cadastrados.

### Carcinicultura e piscicultura

A presença de viveiros de camarão e tanques para criação de peixes foi observada com frequência na região estudada, assim, estas atividades também foram aqui listadas como potenciais fontes de contaminação pontuais, uma vez que a contaminação pode ser gerada no sistema de lavagem dos tanques onde são criados os animais, sendo os maiores problemas a salinização do aquífero e a presença de nitrato.

Para classificação do método *POSH*, essas atividades são consideradas com potencial moderado de gerar carga contaminante no subsolo devido à dimensão dos tanques, a frequente ocorrência e a localização, pois normalmente se encontram próximas a cursos d'água.

O cadastro dos empreendimentos de carcinicultura e piscicultura na RMN foi feito com observações em campo e depois comparado com a lista do IDEMA, eliminando-se as duplicidades, já que o levantamento em campo foi bastante abrangente e, em geral, estavam presentes na lista de processos do IDEMA. Essa atividade é mais comum nos municípios de Nísia Floresta e São José do Mipibu (**Tabela 1 do Apêndice F**).

### Outras atividades contaminantes pontuais

Ainda foram cadastradas outras atividades que podem gerar contaminação no subsolo e conseqüentemente na água subterrânea, como criação de animais, principalmente frangos e bovinos, casas de farinha e unidades de saúde, que contemplam os hospitais e pronto socorro.

As casas de farinha fazem parte da cultura e sobrevivência de algumas famílias nas comunidades da RMN e devem ser consideradas potenciais fontes de contaminação pontuais, uma vez que, o despejo da manipueira (efluente que sai da mandioca depois de prensada) nos rios, açudes ou dispostos no solo contaminam as águas causando intoxicação nos animais ou em quem as consomem, devido ao ácido cianídrico. Por se tratarem de indústria alimentícia (tipo 1), esta atividade é considerada de potencial reduzido na classificação adaptada de *POSH* (**Tabela 1 do Apêndice F**).

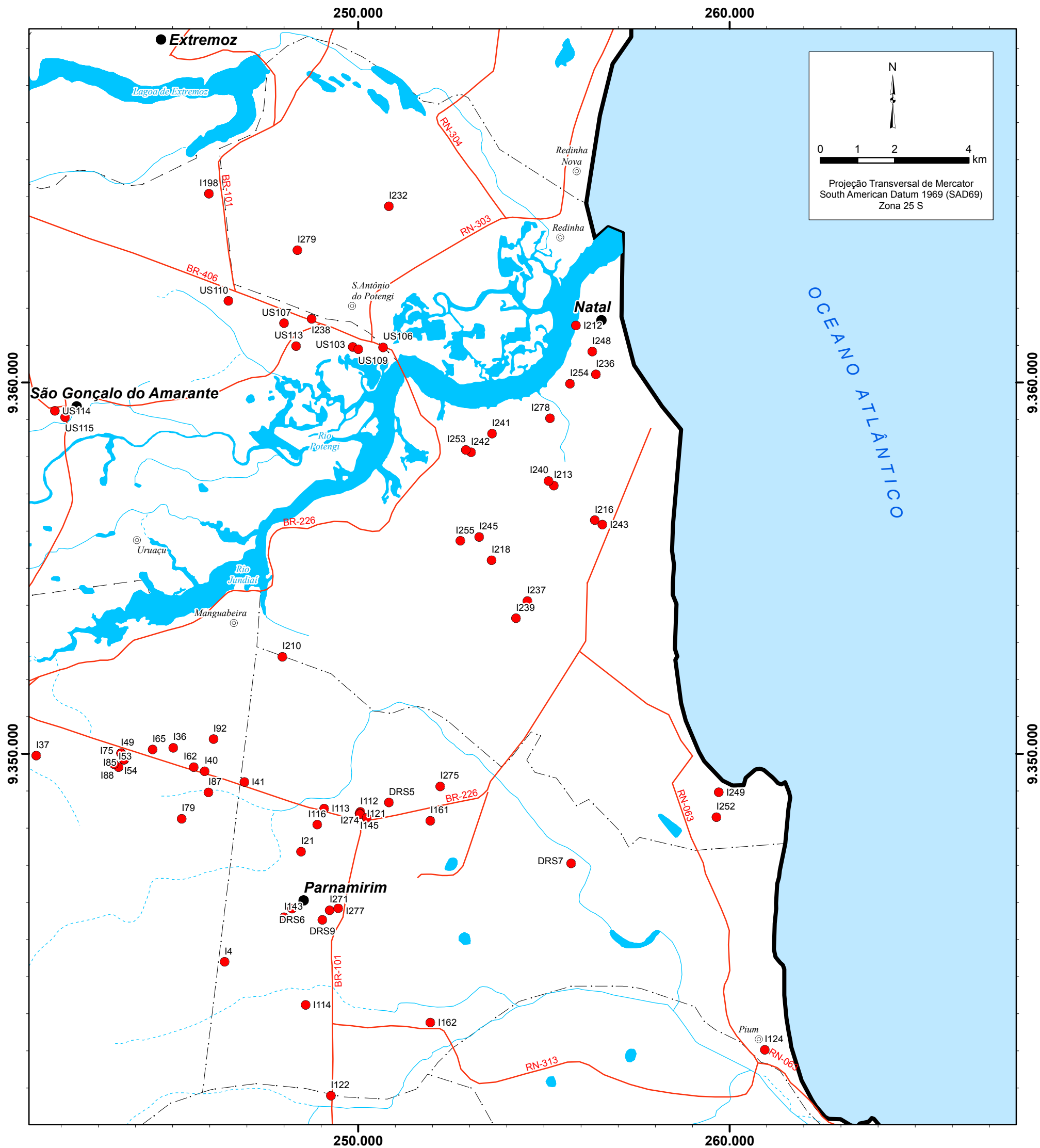
Para o cadastro das casas de farinha, foi feito um levantamento com escritórios locais e no Instituto de Assistência Técnica e Extensão Rural do Rio Grande do Norte – EMATER. Todas estão listadas na **Tabela 1 do Apêndice F**, onde podemos observar que se localizam principalmente em Ceará-Mirim, Monte Alegre e São José de Mipibu.

As áreas que possuem criação de gado e frango podem apresentar contaminação por nitrato, assim como os cemitérios e matadouros, neste trabalho as atividades ligadas à criação de animais são classificadas com potencial reduzido de gerar carga contaminante, assim como matadouros.

Para levantamento desta atividade neste estudo foram feitas observações em campo e então os empreendimentos cadastrados foram comparados com a lista de processos do IDEMA (**Tabela 1 do Apêndice F**).

Em relação às unidades de saúde, as mesmas apresentam potencial de gerar carga contaminante devido ao lixo hospitalar. De maneira restritiva, para o método *POSH*, estes locais são considerados com potencial moderado de gerar carga contaminante (**Tabela 1 do Apêndice F**), pois conforme discutido posteriormente neste item, os locais que possuem saneamento com cobertura inferior a 25% do município e com densidade populacional abaixo de 100 pessoas/ha devem receber esta classificação.

A ocorrência concentrada das fontes pontuais de contaminação nos municípios de Natal, Parnamirim e Macaíba dificulta a visualização da real quantidade de empreendimentos mapeados nessas localidades. As **Figuras 6.6 a 6.8** apresentam separadamente as fontes pontuais de contaminação para cada índice da classificação *POSH*, trazendo também a identificação de cada empreendimento, permitindo facilitar a pesquisa no cadastro do **Apêndice F**.



N

0 1 2 4 km

Projeção Transversal de Mercator  
South American Datum 1969 (SAD69)  
Zona 25 S

**Potencial de Gerar Carga Contaminante no Subsolo (Classificação POSH)**

- Elevado (Indústria Tipo 3/ Deposição de resíduos sólidos/ Unidade de saúde)

**Tipos de Atividades**

- DRS - Deposição de Resíduos Sólidos
- I - Indústria
- US - Unidade de Saúde

**Convenção Cartográfica**

- Sedes municipais
- ⊙ Povoados ou assentamentos
- Estradas pavimentadas
- Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Limites municipais
- ▭ Área de estudo

Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM  
Localização da área de estudo

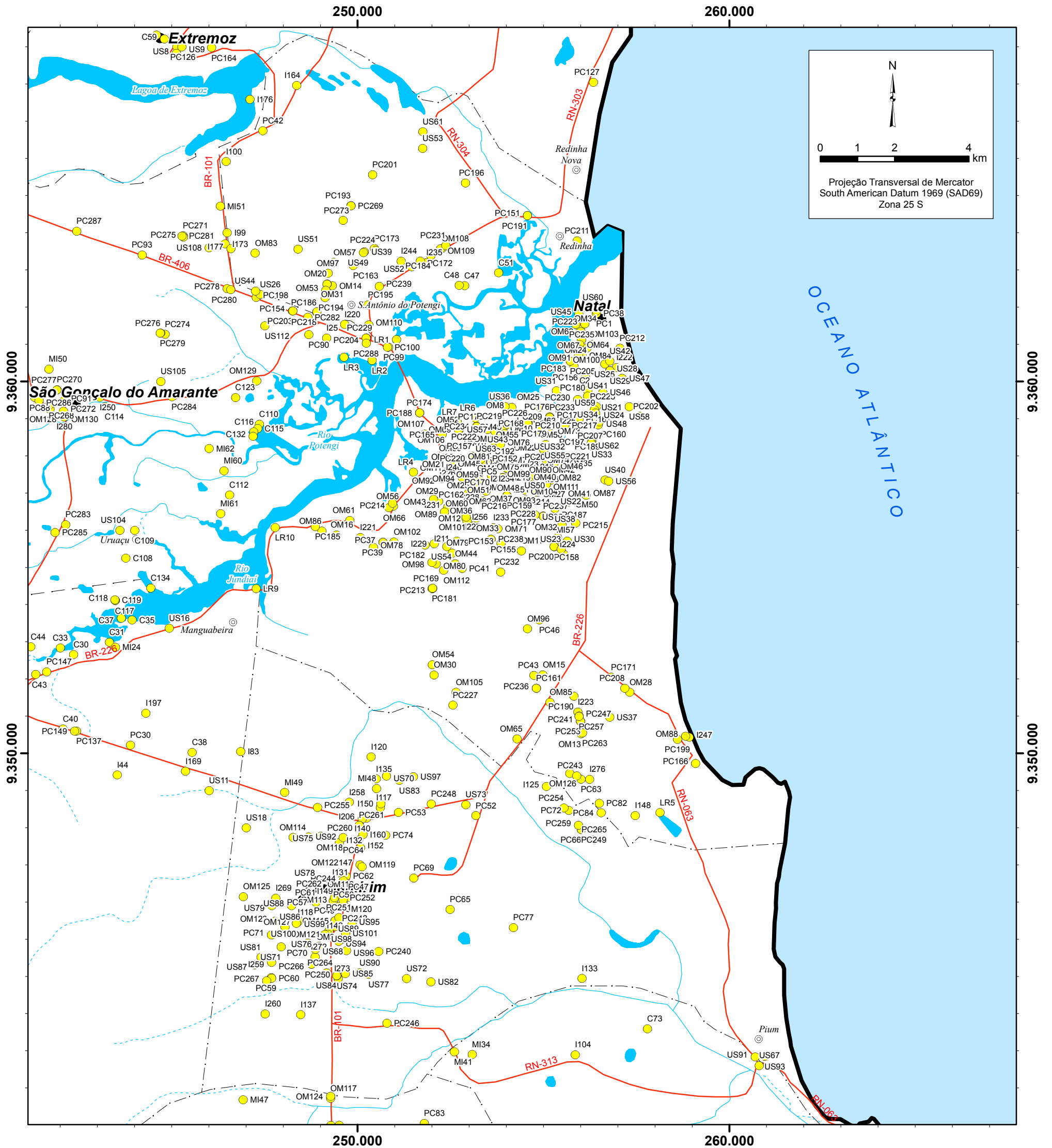


**Figura 6.6. Fontes pontuais de contaminação de elevado potencial de carga contaminante em Natal e Parnamirim**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL







Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM

**Potencial de Gerar Carga Contaminante no Subsolo (Classificação POSH)**

- Moderado (Carcinicultura/ Indústria Tipo 2/ Lagoa de águas residuais/ Mineração/ Oficina mecânica/ Posto de combustível/ Unidade de saúde)

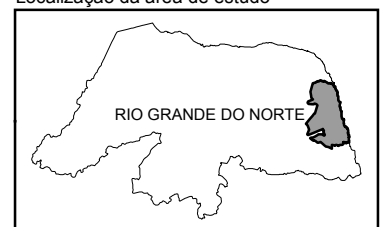
**Tipos de Atividades**

- C - Carcinicultura
- I - Indústria
- LR - Lagoa de Águas Residuais
- MI - Mineração
- OM - Oficina Mecânica
- PC - Posto de Combustível
- US - Unidade de Saúde

**Convenção Cartográfica**

- Sedes municipais
- ⊙ Povoados ou assentamentos
- Estradas pavimentadas
- Lagos, lagoas, lagoas ou açudes
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Limites municipais
- ▭ Área de estudo

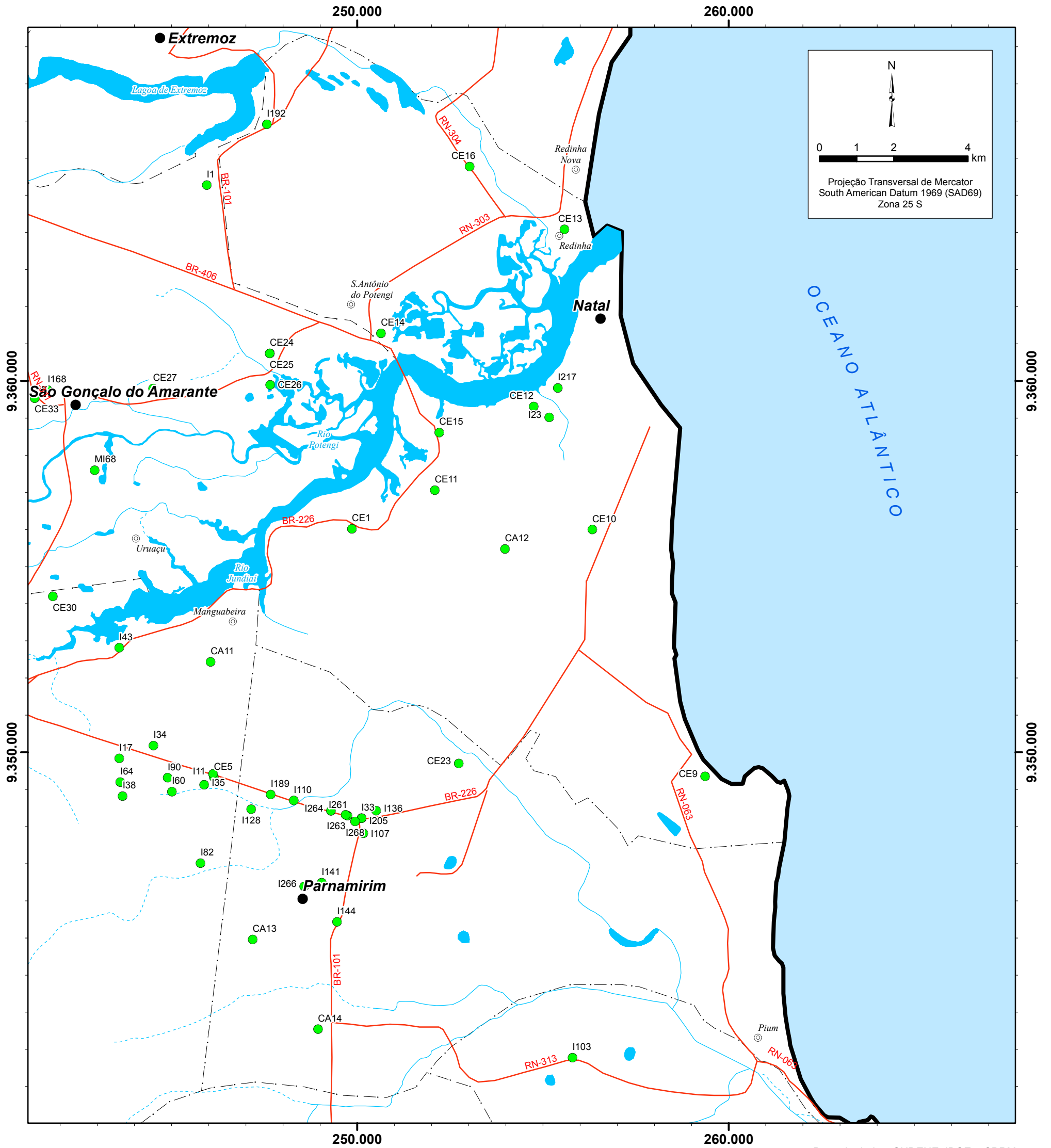
Localização da área de estudo



**Figura 6.7. Fontes pontuais de contaminação de moderado potencial de carga contaminante em Natal e Parnamirim**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL





Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM

Localização da área de estudo



**Potencial de Gerar Carga Contaminante no Subsolo (Classificação POSH)**

● Reduzido (Casa de farinha/ Cemitério/ Criação de animais/ Indústria Tipo 1/ Matadouro/ Mineração/ Piscicultura)

**Tipos de Atividades**

- CF - Casa de Farinha
- CE - Cemitério
- CA - Criação de Animais
- I - Indústria
- MA - Matadouro
- MI - Mineração
- P - Piscicultura

**Convenção Cartográfica**

- Sedes municipais
- ⊙ Povoados ou assentamentos
- Estradas pavimentadas
- Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Limites municipais
- ▭ Área de estudo

**Figura 6.8. Fontes pontuais de contaminação de reduzido potencial de carga contaminante em Natal e Parnamirim**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL



## 6.2 Fontes difusas de contaminação

A **Tabela 6.5** apresenta a classificação das fontes de contaminação difusas segundo do método *POSH*.

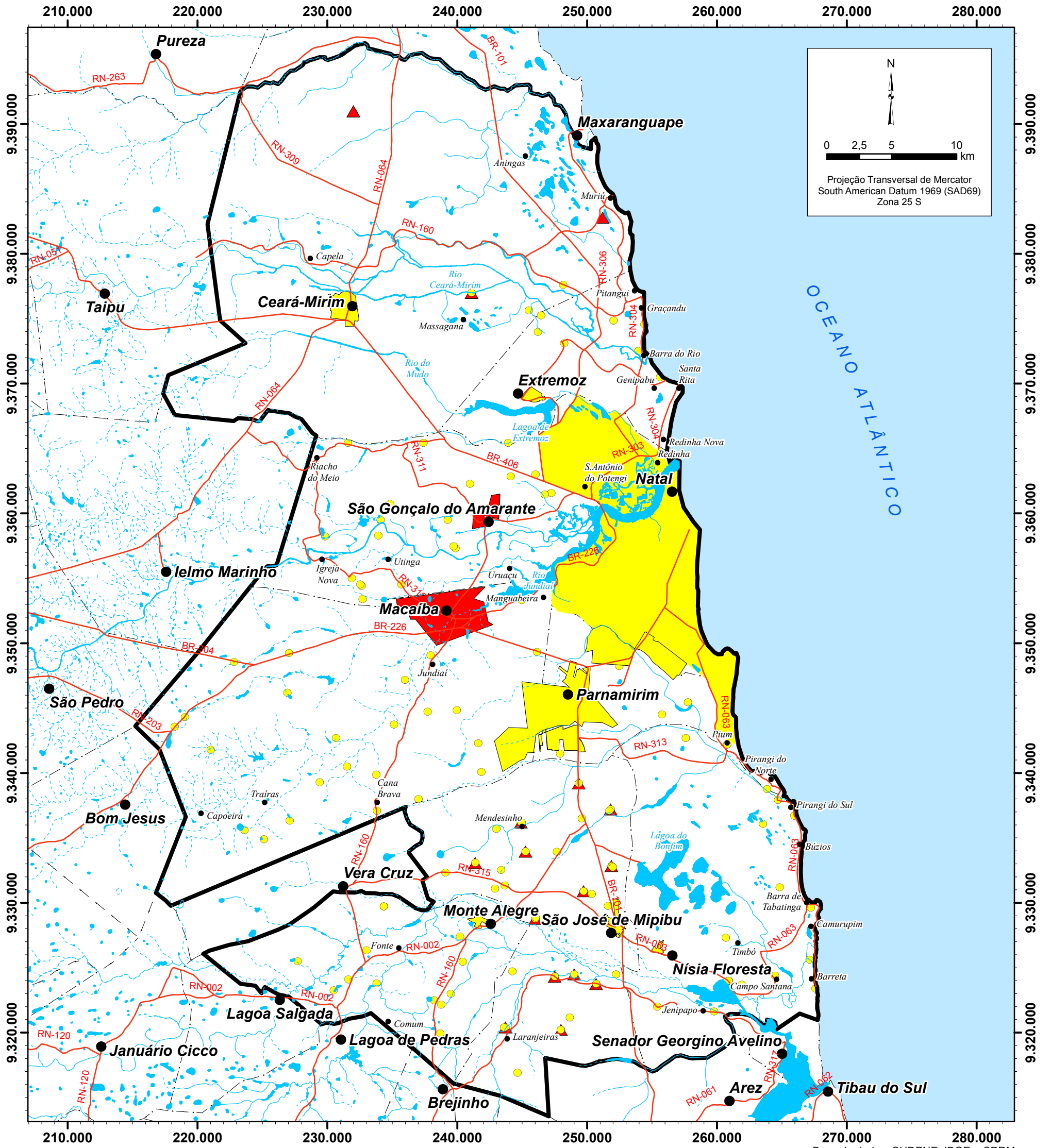
Tabela 6.5. Fontes de contaminação difusas e classificação POSH		
potencial de gerar carga contaminante no subsolo	fontes de contaminação	
	saneamento <i>in situ</i>	práticas agrícolas
<b>elevado</b>	coberturas da rede de esgoto inferior a 25% e densidade populacional superior a 100 pessoas/ha	culturas comerciais intensivas, geralmente monoculturas em solos bem drenados, em climas úmidos ou com baixa eficiência de irrigação, pasto intensivo em campos intensamente fertilizados
<b>moderado</b>	intermediário entre elevado e reduzido	
<b>reduzido</b>	coberturas da rede de esgoto superior a 75% e densidade populacional inferior a 50 pessoas/ha	rotação das culturas, terra para pasto extensivo, sistemas de cultivo ecológico, plantações com alta eficiência de irrigação em regiões áridas e semi-áridas

A **Tabela 2** do **Apêndice F** apresenta o cadastro consistido das fontes difusas de contaminação, contendo as características de cada fonte de contaminação levantada (atividade e ramo, município, a fonte de informação e, se existir, a coordenada geográfica e o número do processo no IDEMA) juntamente com a classificação *POSH*. Esta tabela ainda apresenta uma identificação com numeração em ordem dos dois tipos de contaminações difusas da RMN.

A **Figura 6.9** apresenta todas as fontes de contaminação difusas, áreas residenciais urbanas sem rede de esgoto e áreas de cultivo agrícola, da RMN classificadas de acordo com potencial de gerar carga contaminante no subsolo (reduzido, moderado ou elevado).

Cabe ressaltar que, conforme discutido anteriormente, as fontes de contaminação difusas são áreas, entretanto neste mapa as atividades agrícolas e algumas comunidades e distritos estão apresentadas como pontos em coerência com a escala do mapeamento realizado.





Projeção Transversal de Mercator  
South American Datum 1969 (SAD69)  
Zona 25 S

0 2,5 5 10 km

OCEANO ATLÂNTICO

Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM

**Potencial de Gerar Carga Contaminante no Subsolo**

**Práticas Agrícolas**

- ▲ Elevado - 26
- ▲ Moderado - 2

**Saneamento *in situ***

- Moderado (Comunidades/Distritos/Assentamentos) - 153
- Elevado (Sedes Municipais) - 2
- Moderado (Sedes Municipais) - 7

**Convenção Cartográfica**

- Sedes municipais
- Povoados ou assentamentos
- Estradas pavimentadas
- Lagos, lagoas, lagoas ou açudes
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Limites municipais
- Área de estudo

**Localização da área de estudo**



**Figura 6.9. Fontes difusas de contaminação (Classificação POSH)**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL



## Áreas residenciais urbanas sem rede de esgoto

O rápido crescimento populacional nas cidades dos países em desenvolvimento resultou em grandes áreas urbanas e rurais que dependem de sistemas de saneamento *in situ*, como fossas sépticas. Estas funcionam por percolação do líquido efluente no solo, podendo resultar em recarga do aquífero em perfis de solo permeáveis. Nestas condições, essas áreas se mostram vulneráveis à presença de contaminação por nitrato e microbiológicos patogênicos (FOSTER *et al.* 2006).

Portanto, para classificação do potencial de gerar carga contaminante no subsolo por áreas residenciais urbanas sem rede de esgoto pelo método *POSH*, são necessários os dados de densidade populacional, devido ao volume de contaminante produzido, bem como a parcela da área urbana coberta pela rede de esgoto (**Tabela 6.5**).

Todas as fontes de contaminação por saneamento *in situ* cadastradas neste estudo, correspondente às comunidades, distritos e sedes dos municípios da RMN, estão listadas na **Tabela 2** do **Apêndice F** e apresentados na **Figura 6.9**.

Esta tabela apresenta o nome da comunidade, o município e a coordenada do local, juntamente com o potencial de gerar carga contaminante no subsolo. A **Figura 6.9** permite observar a distribuição das fontes de contaminação difusas relacionadas a saneamento *in situ* entre os municípios da RMN e sua classificação *POSH*.

De acordo com as informações coletadas nas prefeituras locais e no *site* do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, todos os municípios que contemplam este estudo apresentam cobertura de esgoto inferior a 75%, incluindo Natal, que possui apenas 31% das residências ligadas à rede de esgoto (SNIS, 2010).

O levantamento das densidades demográficas nas sedes urbanas foi feito dividindo a população de cada sede (IBGE, 2010) pela sua respectiva área. Os resultados são apresentados na **Tabela 6.6**, onde podemos observar que as maiores densidades encontram-se nas sedes dos municípios de Macaíba e São Gonçalo do Amarante, ambas com taxas acima de 100 pessoas/ha.

Assim, as sedes de Macaíba e São Gonçalo do Amarante são considerados de potencial elevado de gerar carga contaminante no solo, devido à taxa demográfica superior a 100 pessoas/ha. As outras sete sedes municipais que contemplam este estudo possuem potencial moderado, uma vez que possuem densidade demográfica inferior a 100 pessoas/ha.

Nenhumas das comunidades ou distritos da RMN possuem sistema de coleta de esgoto, sendo que, durante os trabalhos de campo, o saneamento *in situ* foi a forma mais observada de despejo de seus efluentes.

Tabela 6.6. Densidade populacional nas sedes municipais				
Município	População total <sup>1</sup>	População na sede <sup>1</sup>	Área da sede (ha)	Densidade populacional na sede (pessoas/ha)
Ceará-Mirim	68.141	35.494	456	77,84
Extremoz	24.569	9.403	150	62,69
Macaíba	69.467	42.631	253	168,5
Monte Alegre	20.685	9.002	123	73,19
Natal	803.739	803.739	10.858	74,02
Nísia Floresta	23.784	5.757	128	44,98
Parnamirim	202.456	202.456	2.219	91,24
S. Gonçalo do Amarante	87.668	74.099	313	236,74
S. José de Mipibú	39.776	18.232	198	92,08

1 - Fonte: IBGE, 2010

Em relação à densidade demográfica, não é possível realizar este cálculo nas comunidades e distritos, pois não há um senso preciso da quantidade de pessoas que moram nessas agrovilas ou o tamanho da área ocupada pelas mesmas.

Entretanto, sabe-se que o volume e a concentração de efluentes gerados por essa população rural é inferior se comparado com a população urbana, devido à baixa densidade populacional e, em alguns casos, por não possuírem sistema de abastecimento de água. Portanto, pelo método *POSH*, neste estudo as comunidades e distritos serão considerados com potencial moderado de contaminação do solo.

### Cultivo agrícola do solo

Algumas práticas de cultivo do solo provocam grave contaminação difusa, principalmente por nutrientes (sobretudo nitrato) e agrotóxicos, especialmente em áreas com solos relativamente pouco espessos e drenagem rápida (FOSTER *et al.* 2006).



As atividades agrícolas relacionadas com áreas extensas de monocultura são os principais responsáveis por histórico de contaminação relacionada a cultivo agrícola do solo. Já os cultivos rotativos e o sistema de agricultura ecológica representam menos problemas para qualidade da água subterrânea (**Tabela 6.5**).

A classificação do solo agrícola em termos de seu potencial de gerar carga contaminante no subsolo deve começar com o mapeamento dos cultivos mais importantes e então caracterizar a área de solo cultivado com base na probabilidade de que a atividade agrícola possa gerar no subsolo uma carga contaminante reduzida, moderada ou elevada (**Tabela 6.5**).

O levantamento das atividades agrícolas realizadas na RMN foi feito com base na lista de processos do IDEMA, contatos com a EMATER e visitas de campo. Todas as atividades agrícolas cadastradas estão listadas na **Tabela 2** do **Apêndice F** e podem ser observadas na **Figura 6.9**.

As práticas agrícolas não são muito relevantes nos municípios da RMN, sendo o cultivo de cana-de-açúcar, coco-da-baía, mandioca, algumas frutas e leguminosas as práticas observadas com mais frequência, principalmente em Ceará-Mirim e São José do Mipibu.

## 7 VULNERABILIDADE E RISCOS POTENCIAIS DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A vulnerabilidade natural à contaminação das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Barreiras (SAB) na Região Metropolitana de Natal foi determinada através da metodologia proposta por Foster e Hirata (1988), modificada por Foster *et al.* (2006), que tem como principal característica avaliar a vulnerabilidade natural do aquífero à carga poluidora proveniente de atividades antrópicas na superfície, constituindo-se assim em uma importante ferramenta para o planejamento territorial.

Essa metodologia envolve a interação de três diferentes parâmetros facilmente determinados (**Figura 7.1**):

**G** (Grau de confinamento da água subterrânea) - a identificação do tipo de confinamento da água subterrânea, com a posterior indexação desse parâmetro na escala de 0,0 a 1,0;

**O** (Ocorrência de estratos de cobertura) - a especificação dos estratos de cobertura da zona saturada do aquífero, em termos de grau de consolidação e tipo de litologia, em uma escala de 0,4 a 1,0; e

**D** (Distância até o lençol freático ou o teto do aquífero confinado) - a estimativa da profundidade até o lençol freático (de aquíferos não confinados) ou da profundidade do primeiro nível principal da água subterrânea (para aquíferos confinados), com indexação na escala de 0,6 a 1,0.

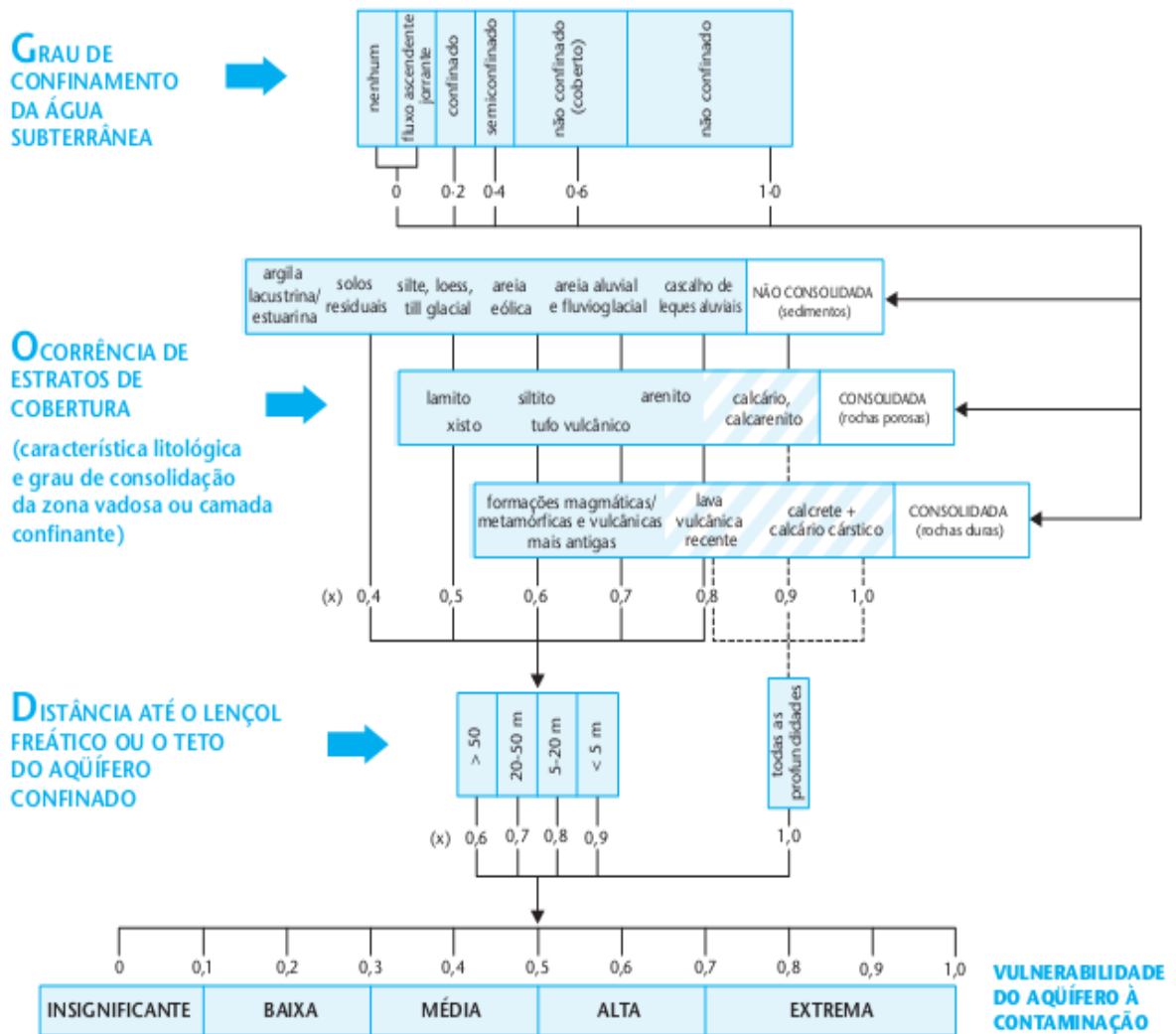
O índice final de vulnerabilidade do aquífero é o produto dos três índices acima ( $G \times O \times D$ ).

O SAB abrange praticamente toda a Região Metropolitana de Natal e se constitui no principal manancial de água subterrânea para o abastecimento dos municípios. Em uma estreita faixa na porção oeste da área, afloram sedimentos cretáceos (Jandaíra e Açú) ou o embasamento cristalino, que constituem aquíferos que são localmente explorados, porém sem grande relevância, quando comparado ao volume extraído do SAB.

Devido ao caráter regional da escala de trabalho na qual foi produzido o mapa de vulnerabilidade do SAB foi necessário adotar-se algumas premissas para sua elaboração, conforme discutido a seguir.

Os dados para definição dos parâmetros G, O e D foram retirados dos perfis dos poços instalados no âmbito deste projeto e dos perfis dos poços levantados durante a etapa de cadastramento e consistidos em um cadastro único.

Esses dados não estão distribuídos homogeneamente por toda a área e, por isso, foram necessárias algumas extrapolações, principalmente nas áreas com baixa densidade de informações disponíveis. As extrapolações realizadas durante a elaboração do mapa de vulnerabilidade natural do SAB foram sempre direcionadas para se manter uma análise conservadora, adotando-se os critérios mais restritivos quando necessário.



Fonte: Foster et al. 2006

**Figura 7.1. Metodologia GOD para avaliação da vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação**

A determinação da espessura da zona não saturada foi realizada pela interpretação de 388 perfis de poços construídos a partir do ano 2000. Esses pontos foram lançados em uma base digital da área, com base na configuração da rede hidrográfica, considerando-se que as drenagens perenes são efluentes, ou seja, são pontos de descarga do aquífero. Do modelo digital de terreno, foram definidos os intervalos de espessura da zona não saturada (**Figura 7.2**), conforme determinado pela metodologia utilizada (< 5 m; 5 a 20 m; 21 a 50 m). Para elaboração dos mapas de espessura foram utilizadas informações do cadastro de poços.

Verifica-se que a espessura da zona não saturada diminui dos altos topográficos (tabuleiros) em direção aos vales das principais drenagens da área, principalmente nos cursos baixo e médio, constituindo-se em locais de descarga do SAB (em conformidade com o modelo hidrogeológico conceitual apresentado no Volume 1 deste relatório). Esse comportamento é típico de sistemas aquíferos livres. Há uma diminuição da espessura da zona não saturada também próxima ao limite oeste da área de estudo, que coincide com o limite da própria bacia e onde afloram os sedimentos cretáceos ou o embasamento cristalino.

No geral, a espessura da zona não saturada é menor que 20 m nos vales dos principais rios e próximo à costa. A oeste, principalmente na região central e sul da área de estudo, onde a espessura da Formação Barreiras é reduzida, a espessura da zona não saturada também é inferior a 20 m. Nos altos topográficos (tabuleiros), a espessura da zona não saturada aumenta, ultrapassando 20 m, conforme verificado principalmente na porção norte da área de estudo (entre São Gonçalo do Amarante e Ceará-Mirim e ao norte da localidade de Capela). Localmente, os campos de dunas e paleodunas também podem elevar a espessura da zona não saturada para valores acima de 20 metros, como verificado na zona sul de Natal e no litoral do município de Parnamirim.

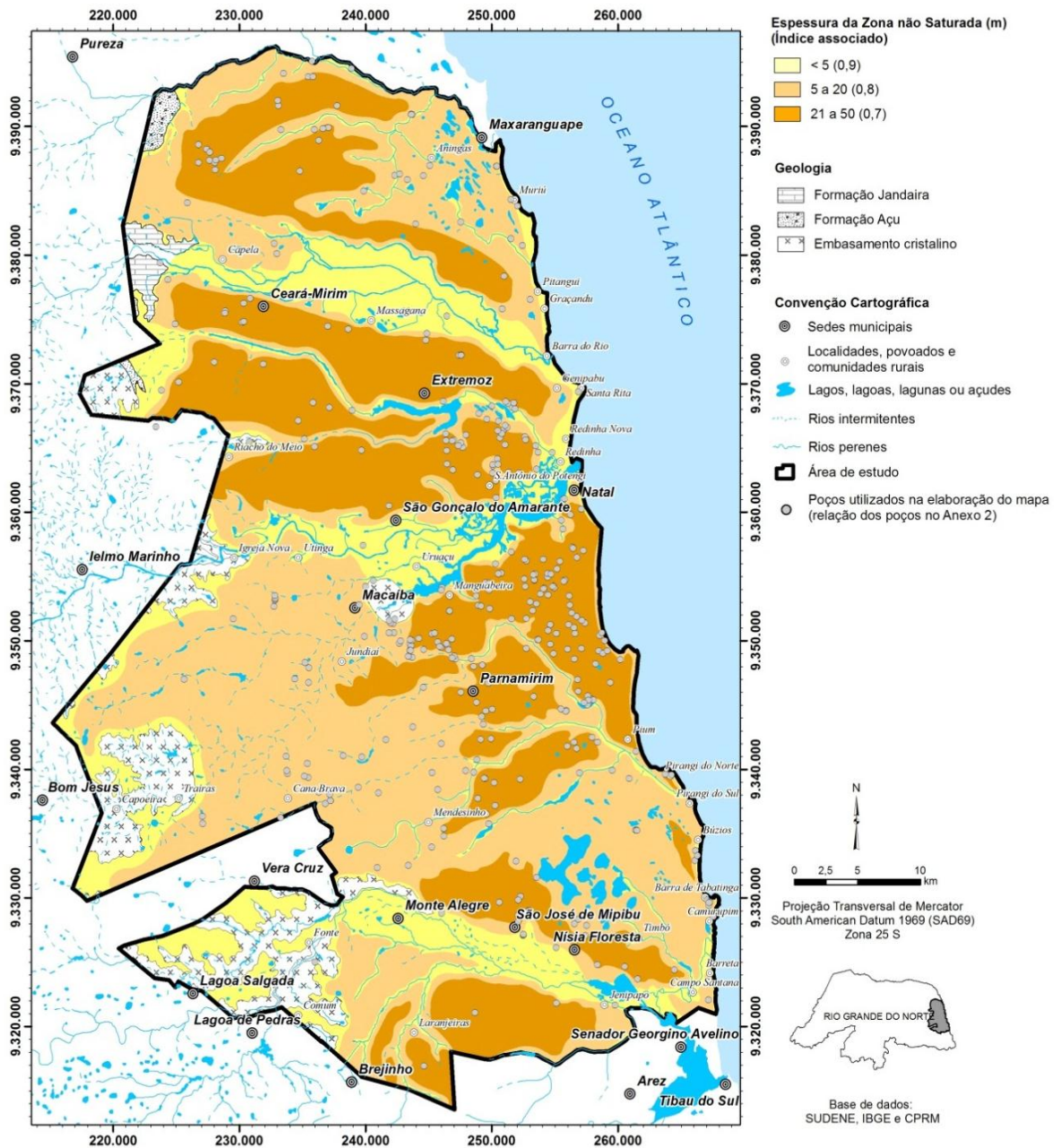


Figura 7.2. Espessura da zona não saturada do SAB na RMN

Para cada uma dessas zonas foi atribuído um índice (Tabela 7.1) conforme estabelecido na metodologia proposta por Foster *et al.* (2006).

Tabela 7.1. Índices adotados para a espessura da zona não saturada (D)	
Espessura da zona não saturada (m)	Índice
< 5	0,9
5 a 20	0,8
21 a 50	0,7

Fonte: Foster *et al.* 2006

A identificação dos estratos da zona não saturada (O) foi realizada através da avaliação dos mesmos 388 perfis de poços utilizados para a espessura da zona não saturada.

A parte superior do SAB é muito heterogênea, tanto vertical quanto horizontalmente, variando desde argilas até areias, devido à variação de fácies por mudança do ambiente deposicional e/ou por ocorrência de falhamentos. Entretanto, devido à escala de trabalho, foram determinadas as tendências regionais de ocorrência dos diferentes estratos.

Com base nos perfis dos poços, os estratos da zona não saturada (O) do SAB foram divididos em quatro tipos distintos: arenito/arenito argiloso, areia eólica não consolidada, argila arenosa e argila (**Tabela 7.2**). Esses dados foram inseridos em uma base digital e interpolados pelo método de *krigagem*, através do *ArcGis* vs. 10, obtendo-se uma distribuição espacial das áreas com predominância de estratos mais e menos arenosos. Tal procedimento inova na interpretação e permite identificar nuances da característica do parâmetro “O” na área estudada.

<b>Tabela 7.2. Índices adotados para os estratos da zona não saturada (O)</b>	
<b>Litologia</b>	<b>Índice</b>
Arenito/arenito argiloso	0,7
Areia eólica não consolidada (dunas/paleodunas)	0,6
Argilito arenoso	0,5
Argilito	0,4

Fonte: Foster *et al.* 2006

O resultado obtido pela interpolação foi comparado e ajustado com base no modelo conceitual hidrogeológico apresentado no Volume 1 deste relatório. Com isso, na porção oeste da área de estudo, onde predominam os tabuleiros, foi admitida a ocorrência de estratos compostos por argilitos ou argilitos arenosos na zona não saturada (**Figura 7.3**). Na porção leste da área foram determinados três estratos distintos na zona não saturada: 1) estratos compostos por arenitos ou arenitos argilosos, cobertos ou não por sedimentos arenosos eólicos de dunas ou paleodunas, cujo índice atribuído foi de 0,7; 2) estratos compostos por areias eólicas não consolidadas (dunas ou paleodunas), quando estas ocorrem sobrepostas aos argilitos arenosos da porção superior da Formação Barreiras, com índice de 0,6; 3) argilitos-arenosos não cobertos por sedimentos arenosos eólicos, com valor atribuído de 0,5.



Essa classificação mais conservadora dos estratos da zona não saturada na área de ocorrência das dunas e paleodunas foi adotada devido às características hidrodinâmicas desses depósitos (como alta condutividade hidráulica), os quais são importantes componentes para a recarga do SAB que, da mesma maneira que auxilia na recarga do aquífero, é extremamente vulnerável à infiltração de contaminantes

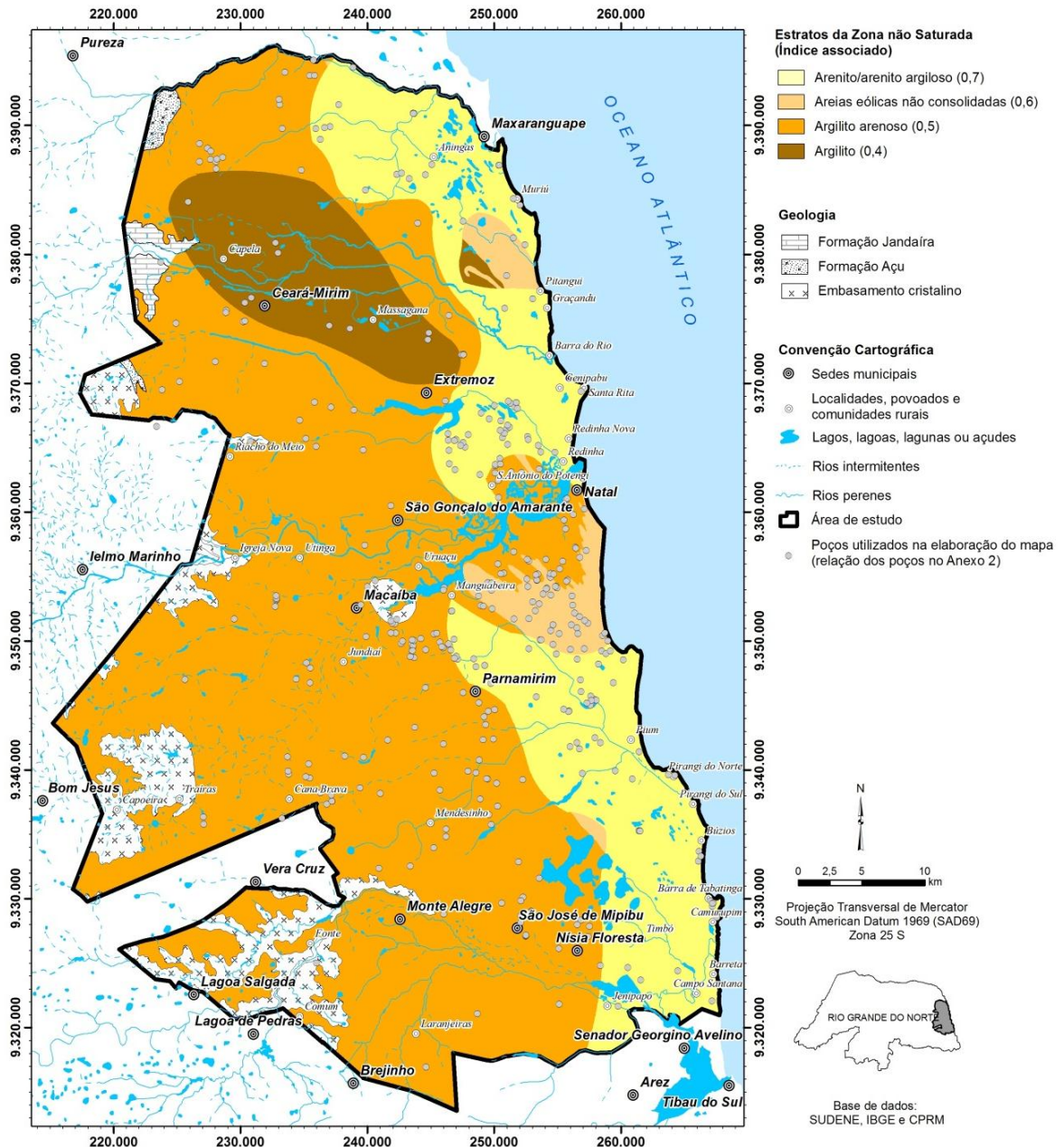


Figura 7.3. Estratos da zona não saturada do Sistema Aquífero Barreiras na RMN

Conforme demonstra a **Figura 7.3**, a ocorrência de estratos argilo-arenosos na zona não saturada predomina na área de estudo, com uma faixa estreita situada paralela a linha de costa, onde ocorrem estratos arenosos.

A heterogeneidade dos sedimentos da Formação Barreiras, principalmente em sua porção superior, condiciona também a ocorrência de semi-confinamento em determinados locais, como na zona sul de Natal e na região da Lagoa do Bonfim em Nísia Floresta. Entretanto, por se tratar de um mapa em escala regional para avaliação da vulnerabilidade natural, adotou-se um caráter predominantemente livre para o SAB, conforme discutido no modelo conceitual apresentado no Volume 1, até mesmo com o intuito de se garantir uma melhor proteção do aquífero. Quando avaliado em escala de detalhe, estas nuances do aquífero devem ser levados em consideração.

Com isso, para o grau de confinamento do aquífero (D), foi adotado o índice 1 para aquíferos livres (FOSTER *et al.* 2006).

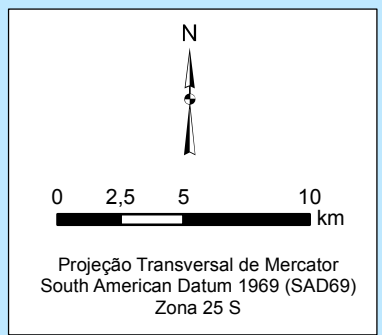
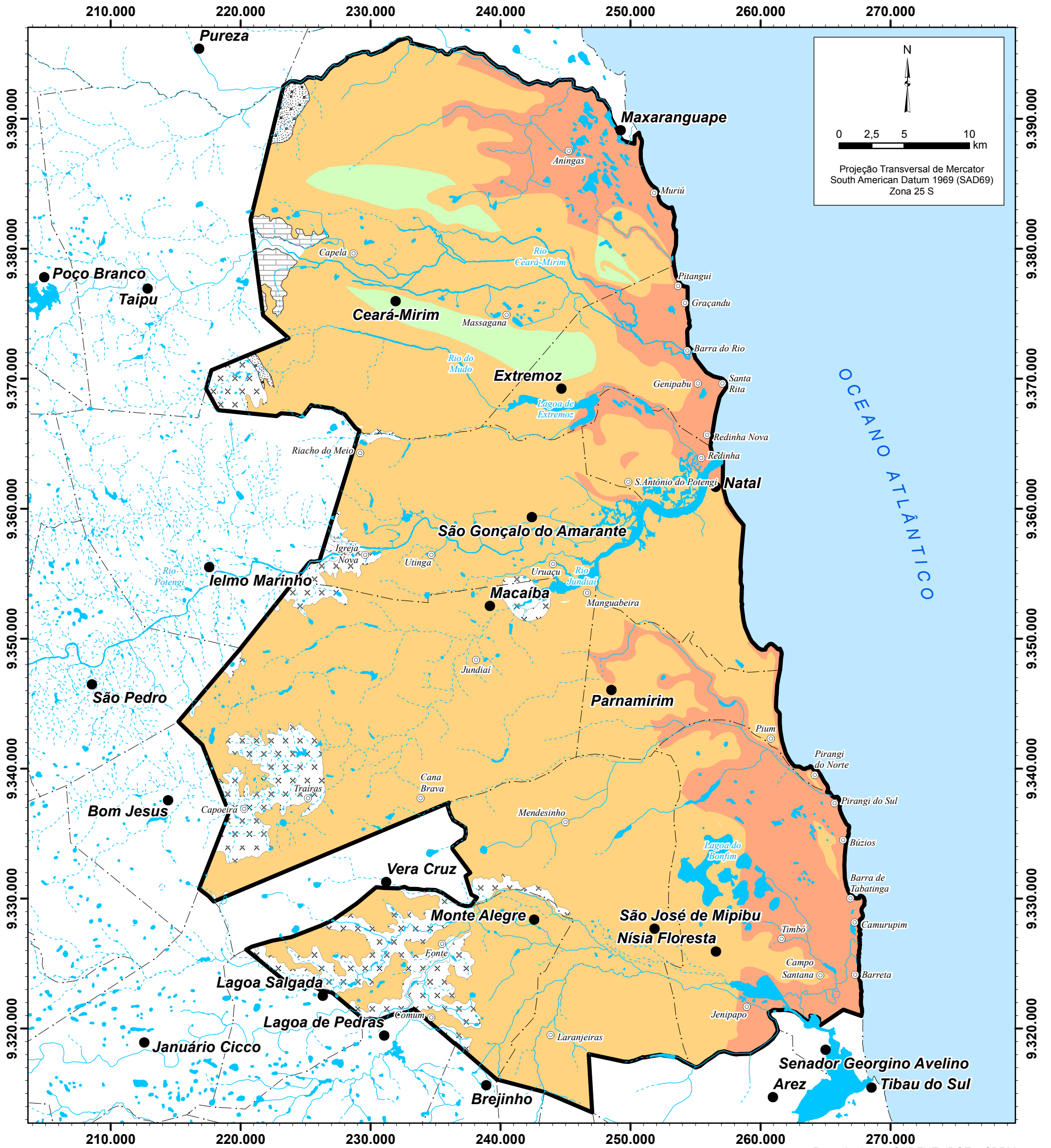
Os três parâmetros foram então integrados, gerando os índices de vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação antrópica (**Tabela 7.3**). Desse resultado foi obtido o mapa de vulnerabilidade natural à contaminação (**Figura 7.4**).

Tabela 7.3. Vulnerabilidade natural à contaminação do Sistema Aquífero Barreiras pelo método GOD na RMN							
Estrato da ZNS (O)	Índ.	Esp. da ZNS (m) (D)	Índ.	Grau de Confinamento (G)	Índ.	Classificação	Índice Final
Arenito/arenito argiloso	0,7	< 5	0,9	Livre	1,0	Alta	0,63
		5 a 20	0,8			Alta	0,56
		21 a 50	0,7			Média	0,49
Areia eólica não consolidada (dunas/paleodunas)	0,6	< 5	0,9			Alta	0,54
		5 a 20	0,8			Média	0,48
		21 a 50	0,7			Média	0,42
Argilito arenoso	0,5	< 5	0,9			Média	0,45
		5 a 20	0,8			Média	0,40
		21 a 50	0,7			Média	0,35
Argilito	0,4	< 5	0,9			Média	0,36
		5 a 20	0,8			Média	0,32
		21 a 50	0,7			Baixa	0,28

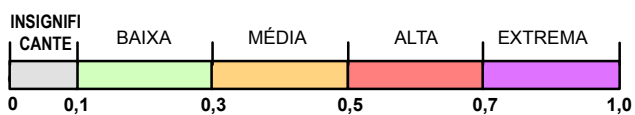
Fonte: Foster *et al.* 2006

A vulnerabilidade natural do SAB na Região Metropolitana de Natal é caracterizada pela ocorrência de três classes distintas, que variam entre baixa, média e alta (**Figura 7.4**).

Os maiores índices de vulnerabilidade (alta) estão associados à ocorrência de estratos predominantemente arenosos e areno-argilosos, com espessura da zona não saturada menor que 20 m. Essas situações ocorrem principalmente ao longo da costa, na frente de escoamento para o oceano e nas porções baixas das bacias hidrográficas.



**Índice de Vulnerabilidade Natural**



**Geologia**

- Formação Jandaíra
- Formação Açú
- Embasamento cristalino

**Convenção Cartográfica**

- Sedes municipais
- Povoados ou assentamentos
- Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Limites municipais
- Área de estudo

**Localização da área de estudo**



**Figura 7.4. Vulnerabilidade natural à contaminação do Sistema Aquífero Barreiras na RMN**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL





Os índices de vulnerabilidade média e baixa estão associados principalmente aos altos topográficos, e na porção média e alta das bacias hidrográficas, onde o nível de água é mais profundo em relação à superfície e, conseqüentemente, a espessura da zona não saturada é maior.

Nas áreas com altos índices de vulnerabilidade associadas aos vales dos principais cursos d'água, uma possível contaminação do aquífero estaria restrita a pequenas faixas, pois, segundo o modelo hidrogeológico conceitual, essa água estaria ressurgindo nos canais dos rios efluentes poucos metros a jusante (FOSTER *et al.* 2006). Assim, mesmo que contaminadas, o impacto no aquífero será restrito a uma pequena extensão. Além disso, os poços mal construídos ou abandonados são importantes focos de contaminação do aquífero, pois permitem a infiltração direta de contaminantes da superfície até a zona saturada.

Nas zonas de recarga regional a contaminação do aquífero pode causar grandes impactos, pois, dependendo das características do fluxo subterrâneo e do contaminante, este pode ser conduzido para porções profundas do aquífero.

Embora o método de vulnerabilidade GOD permita estabelecer quais áreas são mais vulneráveis em relação a outras, ele se distingue de outros métodos, pois tenta definir os diferentes graus de vulnerabilidade também de forma absoluta (FOSTER *et al.* 2006). Assim, a interpretação de mapas de vulnerabilidade deve seguir os critérios apresentados na **Tabela 7.4**.

<b>Tabela 7.4. Definição prática das classes de vulnerabilidade do aquífero</b>	
<b>Classe de Vulnerabilidade</b>	<b>Definição Correspondente</b>
Extrema	Vulnerável a maioria dos contaminantes com impacto rápido em muitos cenários de contaminação
Alta	Vulnerável a muitos contaminantes (exceto os que são fortemente adsorvidos ou rapidamente transformados) em muitas condições de contaminação
Média	Vulnerável a alguns contaminantes, mas somente quando continuamente lançados ou lixiviados
Baixa	Vulnerável somente a contaminantes conservadores a longo prazo, quando contínua e amplamente lançados ou lixiviados
Insignificante	Presença de camadas confinantes sem fluxo vertical significativo de água subterrânea (percolação)

Fonte: Foster *et al.* 2006

É preciso enfatizar ainda que o mapa de vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação é uma simplificação da hidrogeologia e do comportamento de contaminantes (as quais são bastante complexas), mas que pode ter papel fundamental para basear as políticas de proteção da água subterrânea, não podendo ser utilizado para substituir os estudos de detalhe necessários na implantação de atividades econômicas potencialmente contaminantes.

A avaliação dos riscos potenciais de contaminação do SAB foi realizada pela interação entre a carga contaminante disposta sobre a superfície (apresentada no capítulo anterior deste relatório, referente ao cadastro de fontes de contaminação) e a vulnerabilidade natural do aquífero à poluição.

O termo “risco” empregado neste capítulo possui a mesma definição do termo “perigo” definido por Foster *et al.* (2006) como sendo a avaliação da probabilidade de um aquífero sofrer impactos negativos decorrentes de atividades humanas, a ponto de tornar a água subterrânea imprópria para consumo, sem considerar possíveis impactos sobre a população humana ou os ecossistemas aquáticos.

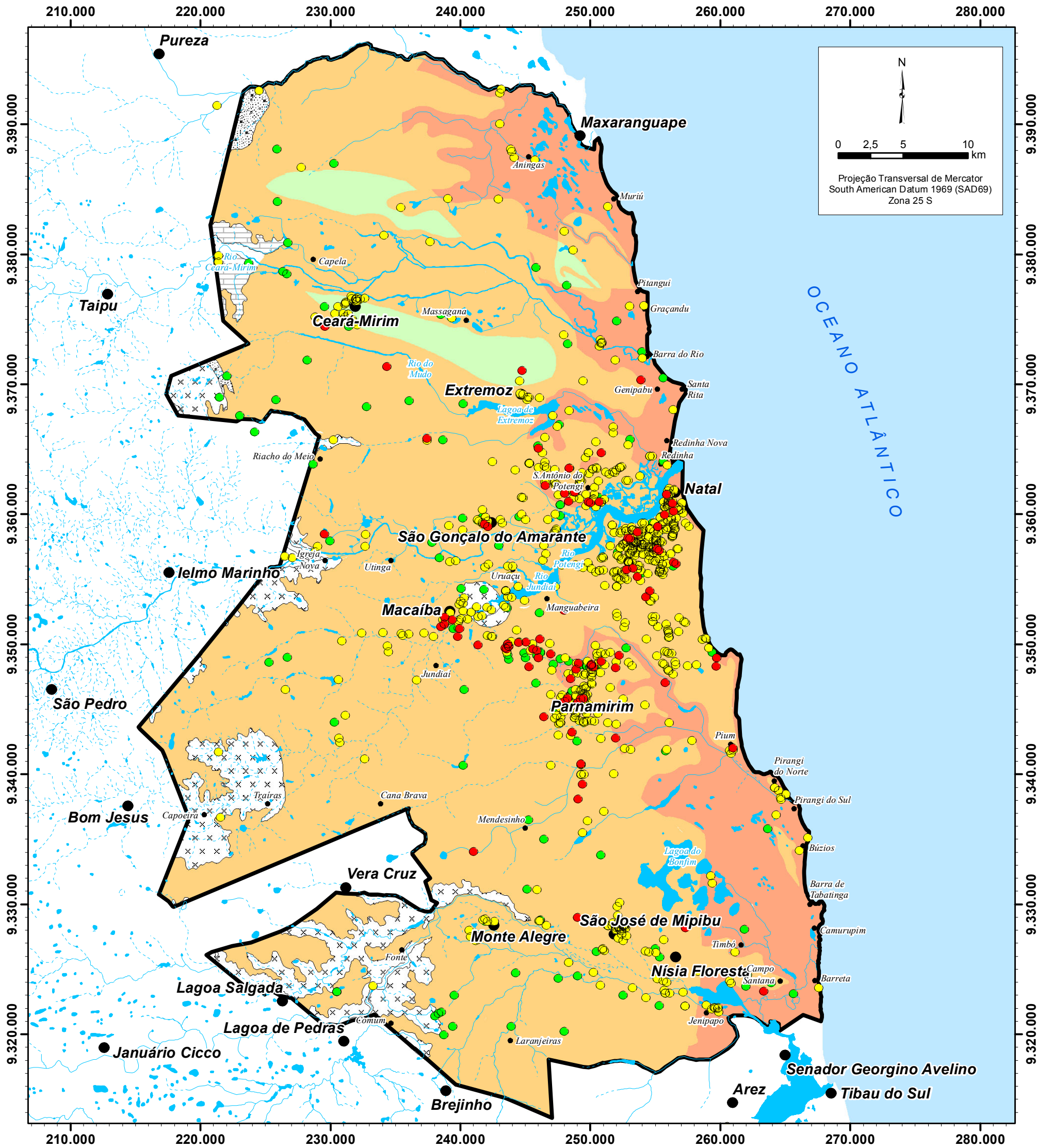
A metodologia utilizada foi a proposta por Foster *et al.* (2006), através da sobreposição dos mapas de disposição da carga contaminante potencial, classificadas conforme a metodologia *POSH* (detalhadamente discutida no capítulo anterior deste relatório), com o mapa de vulnerabilidade apresentado neste capítulo, em um sistema de informação georreferenciado, através do *software ArcGis vs 10*. Os resultados são apresentados nas **Figuras 7.5 e 7.6**.

O cruzamento dessas informações permitiu identificar as áreas com diferentes riscos potenciais com base nas fontes pontuais (**Figura 7.5**) e difusas (**Figura 7.6**) de contaminação.

De maneira geral, os municípios de Natal, Parnamirim, Macaíba e São Gonçalo do Amarante são os que apresentam maiores riscos de contaminação pela concentração muito alta de fontes pontuais de contaminação potencial, principalmente moderada a elevada, em locais onde o SAB apresenta vulnerabilidade alta a média (**Figura 7.5**).

Esse cenário reflete o maior nível de desenvolvimento urbano e econômico desses municípios na RMN. Entre as principais fontes pontuais de contaminação de índice moderado e elevado, nesses municípios, estão as atividades industriais (principalmente do tipo 3 do método *POSH*), os postos de serviços e oficinas mecânicas, lagoas de efluentes e unidades de saúde (conforme detalhado no capítulo relacionado ao cadastro de fontes de contaminação).

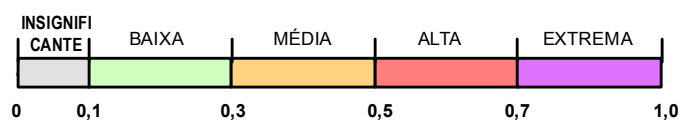
Em Natal, as atividades pontuais com potencial de contaminação moderado e elevado estão concentradas principalmente na porção central e portuária, onde a vulnerabilidade do SAB é média. Entretanto, essas atividades se desenvolveram sobre os depósitos de dunas e paleodunas, que possuem uma alta permeabilidade, o que possivelmente favorece uma rápida infiltração de contaminantes até o aquífero e baixa capacidade de retenção ou atenuação do mesmo.



0 2,5 5 10 km

Projeção Transversal de Mercator  
South American Datum 1969 (SAD69)  
Zona 25 S

**Índice de Vulnerabilidade Natural**



**Potencial de Gerar Carga Contaminante no Subsolo**

- Elevado (Indústria Tipo 3/ Deposição de resíduos sólidos/ Unidade de saúde) - 120
- Moderado (Carcinicultura/ Indústria Tipo 2/ Lagoa de águas residuais/ Mineração/ Oficina mecânica/ Posto de combustível/ Unidade de saúde) - 915
- Reduzido (Casa de farinha/ Cemitério/ Criação de animais/ Indústria Tipo 1/ Matadouro/ Mineração/ Piscicultura) - 180

**Convenção Cartográfica**

- Sedes municipais
- Povoados ou assentamentos
- Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Área de estudo

**Geologia**

- ▨ Formação Jandaíra
- ▨ Formação Açú
- × × Embasamento cristalino

Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM

Localização da área de estudo

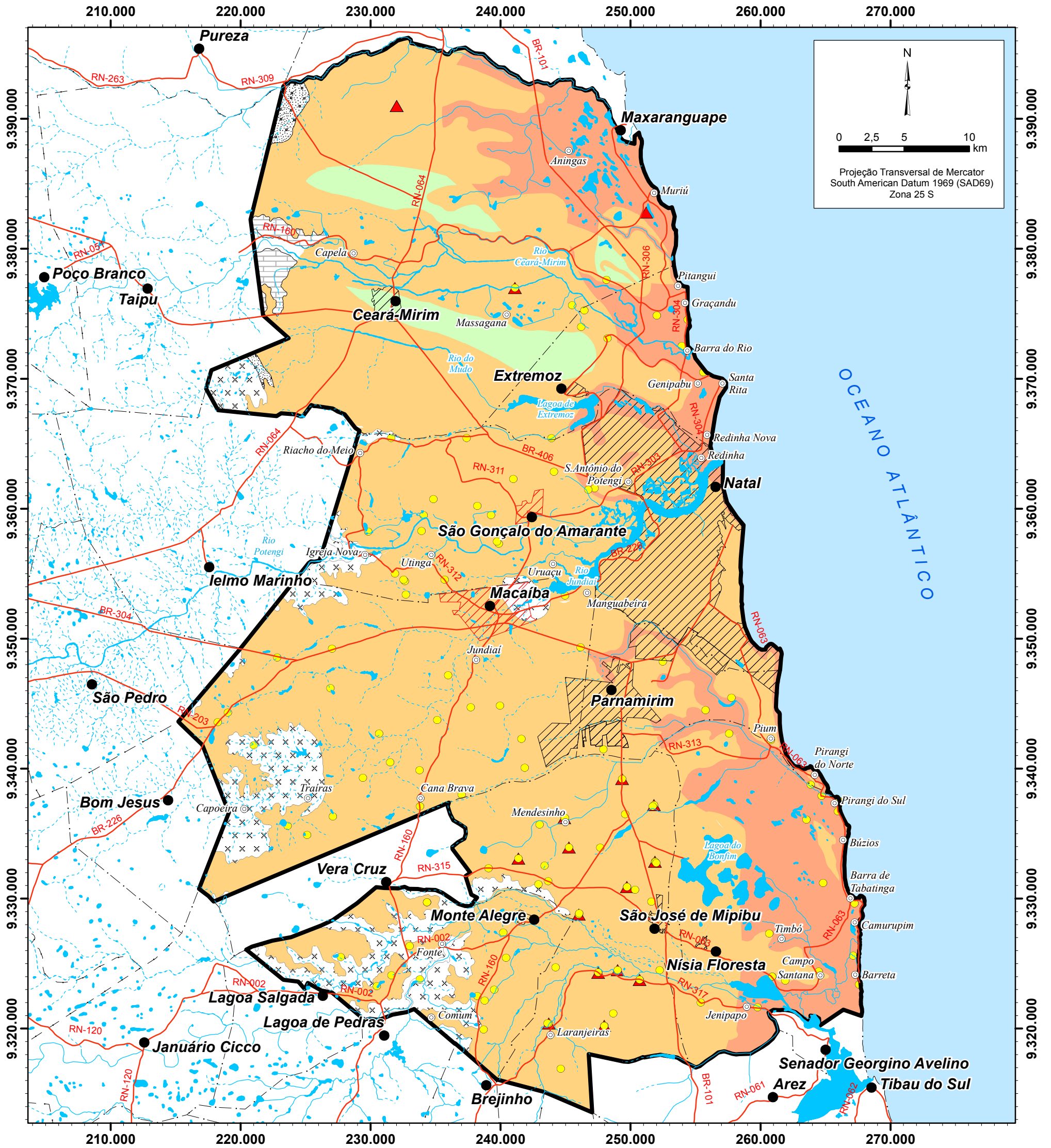


**Figura 7.5. Riscos potenciais de contaminação (fontes pontuais) do SAB na RMN**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL





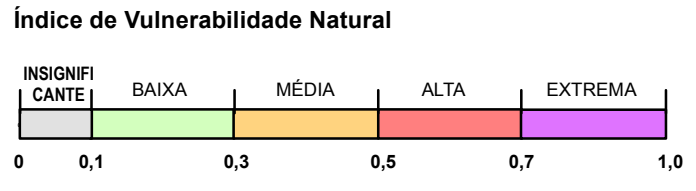


N

0 2,5 5 10 km

Projeção Transversal de Mercator  
South American Datum 1969 (SAD69)  
Zona 25 S

Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM



- Potencial de Gerar Carga Contaminante no Subsolo**
- ▲ Elevado - 26
  - ▲ Moderado - 2
- Práticas Agrícolas**
- Moderado (Comunidades/Distritos/Assentamentos) - 153
  - ▨ Elevado (Sedes Municipais) - 2
  - ▨ Moderado (Sedes Municipais) - 7

- Convenção Cartográfica**
- Sedes municipais
  - Povoados ou assentamentos
  - Estradas pavimentadas
  - ☁ Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
  - ⋯ Rios intermitentes
  - Rios perenes
  - - - Limites municipais
  - ▭ Área de estudo
- Geologia**
- ▨ Formação Jandaíra
  - ▨ Formação Açú
  - ⊗ Embasamento cristalino



**Figura 7.6. Riscos potenciais de contaminação (fontes difusas) do SAB na RMN**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL

ANA  
AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

SEMARH  
SECRETARIA DE ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE  
DE RECURSOS HÍDRICOS

Servmar  
AMBIENTAL & ENGENHARIA

Em Macaíba, as atividades pontuais potenciais de contaminação concentram-se na sede do município e no Centro Industrial Avançado (CIA) e em São Gonçalo do Amarante, onde fontes pontuais potenciais de contaminação ocorrem por praticamente toda a área urbana. Nesses municípios a vulnerabilidade natural do aquífero é média.

Em Parnamirim as fontes pontuais potenciais de contaminação ocorrem por toda a área urbana, onde a vulnerabilidade do aquífero é predominantemente média nos altos topográficos, e alta nos vales dos principais rios do município.

Nos demais municípios há uma concentração nas sedes de atividades com potencial moderado, associadas principalmente aos postos de serviços, oficinas mecânicas, lixões e unidades de saúde. Cabe destacar a importância da carcinicultura em Nísia Floresta, que corresponde a mais de 50% das fontes potenciais de contaminação moderadas no município (conforme apresentado no capítulo anterior deste relatório).

Em relação às fontes difusas, o despejo de esgoto *in situ* é a principal fonte potencial de contaminação do aquífero nas áreas urbanas, devido à baixa cobertura da rede de esgotamento nos municípios da RMN. Nos municípios de São Gonçalo do Amarante e Macaíba, a densidade populacional acima de 100 hab/ha resulta em um potencial elevado para geração de carga contaminante. Nos demais municípios, como a densidade é inferior a 100 hab/ha, o potencial de gerar carga contaminante é moderado (**Figura 7.6**).

Com isso, as situações de maior risco frente às fontes difusas, ocorrem nas sedes dos municípios de Macaíba e São Gonçalo do Amarante, onde a vulnerabilidade do aquífero é média e nos municípios de Natal e Parnamirim, com alto potencial de geração de carga contaminante, devido ao tamanho da população urbana. Deve-se destacar a zona norte do município de Natal, onde o aquífero apresenta alta vulnerabilidade, e há uma baixa cobertura da rede de esgotamento, propiciando altos riscos de contaminação ao aquífero.

A sede do município de Ceará-Mirim localiza-se em área de baixa vulnerabilidade enquanto que Extremoz, São José de Mipibu e Nísia Floresta, de média vulnerabilidade, todos com potencial moderado de gerar carga contaminante.

Apesar de não ser possível representar no mapa de riscos, deve-se considerar algumas situações que interferem diretamente nos riscos de contaminação do aquífero. Na RMN é uma prática comum a transformação de poços cacimbas em fossas, onde são despejados os esgotos diretamente no aquífero. Essa situação foi verificada em campo, assim como indicada nos estudos conduzidos por Diniz Filho (1999). Além disso, a existência de poços mal construídos, sem proteção

sanitária adequada ou abandonados também contribui para a contaminação dos recursos hídricos subterrâneos.

Nas zonas rurais, assentamentos e distritos, as áreas ocupadas também se configuram como fontes potenciais difusas, pelo despejo de esgoto em fossas. É comum inclusive, o uso de fossas sanitárias a pouco mais de 3 metros de poços tubulares e cacimbas, muitos dos quais já desativados por conta da qualidade indesejável da água (checada em campo). Apesar do alto potencial de contaminação nesses locais, por se encontrarem dispersos por grandes áreas (**Figura 7.6**), uma possível contaminação ficaria restrita ao entorno dessas comunidades.

As atividades agrícolas se configuram como importantes fontes de cargas contaminantes principalmente nos municípios de São José de Mipibu e Ceará-Mirim. Em São José de Mipibu essas fontes se desenvolvem principalmente nos locais de média vulnerabilidade do SAB. Em Ceará-Mirim essas fontes estão dispersas pelo município, ocorrendo em locais de baixa, média e alta vulnerabilidade.

Resumidamente, as áreas com maiores riscos de contaminação na RMN são apresentadas na **Tabela 7.5**.

Nessas áreas indicadas acima, é recomendável o monitoramento tanto da qualidade quanto dos níveis potenciométricos do SAB, que permitam identificar os locais onde as águas já se encontram comprometidas e os locais onde deverão ser implantadas restrições ou medidas controladoras para o uso da água subterrânea, visando uma gestão sustentável do aquífero. Essas considerações referentes ao manejo adequado das águas subterrâneas na RMN serão amplamente discutidas no Volume 3 deste Relatório Final, integrando-se todos os dados obtidos no âmbito deste projeto.

De modo geral, os cenários identificados no mapa de risco potencial do aquífero a contaminação são comuns em países em desenvolvimento, onde o crescimento populacional ocorre em taxas superiores à capacidade de implantação da infraestrutura básica. Isso fica bastante evidente no modelo da infraestrutura hídrica de Natal e dos municípios limítrofes (Parnamirim, São Gonçalo do Amarante e Macaíba) onde, para atender a demanda crescente por água pela expansão urbana, a maior parte dos poços de abastecimento público estão localizados em áreas com alta densidade populacional, sem cobertura de esgotos e com diversas fontes potenciais de contaminação no entorno (sem perímetro de proteção), por vezes à distâncias menores que 100 m (**Figuras 7.7 e 7.8**). Além disso, os poços operam em regimes praticamente ininterruptos para suprir a demanda da população.

**Tabela 7.5. Áreas com altos riscos de contaminação na RMN**

Município	Localidade	Vulnerabilidade do aquífero <sup>1</sup>	Fontes contaminantes
Natal	Área total do município	Média a alta	Alta concentração de fontes pontuais moderadas e elevadas e fontes difusas moderadas
Parnamirim	Área urbana	Média a alta	Alta concentração de fontes pontuais moderadas e elevadas e fontes difusas moderadas
Macaíba	Sede	Média	Alta concentração de fontes pontuais moderadas e elevadas e fontes difusas elevadas
	Centro Industrial Avançado	Média	Alta concentração de fontes pontuais moderadas e elevadas
S. Gonçalo do Amarante	Sede	Média	Alta concentração de fontes pontuais moderadas e elevadas e fontes difusas elevadas
Monte Alegre	Sede	Média	Concentração de fontes pontuais moderadas e elevadas e fontes difusas moderadas
S. José de Mipibu	Sede	Média	Concentração de fontes pontuais e difusas moderadas
Nísia Floresta	Sede	Média	Concentração de fontes pontuais e difusas moderadas
	Zona rural (próximo a lagoa Jenipapo)	Média	Concentração de fontes pontuais moderadas (carcinicultura)
Extremoz	Sede	Média	Concentração de fontes pontuais e difusas moderadas
Ceará-Mirim	Sede	Baixa	Concentração de fontes pontuais e difusas moderadas

1 – quando a área localiza-se em uma área com mais de um índice de vulnerabilidade o primeiro é o predominante

Na **Figura 7.8** é possível observar a ocorrência de diversas fontes pontuais de contaminação com potencial elevado a moderado, no entorno de poços de abastecimento público.

Nos demais municípios, o cenário é muito parecido com o descrito acima, entretanto em proporções menores, restringindo-se principalmente às sedes (**Figura 7.7**). Nesses municípios devem ser adotadas políticas distintas às que vêm sendo praticadas atualmente, principalmente voltadas ao planejamento urbano adequado e proteção dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais. Essas situações serão amplamente abordadas no Volume 3 deste Relatório Final.

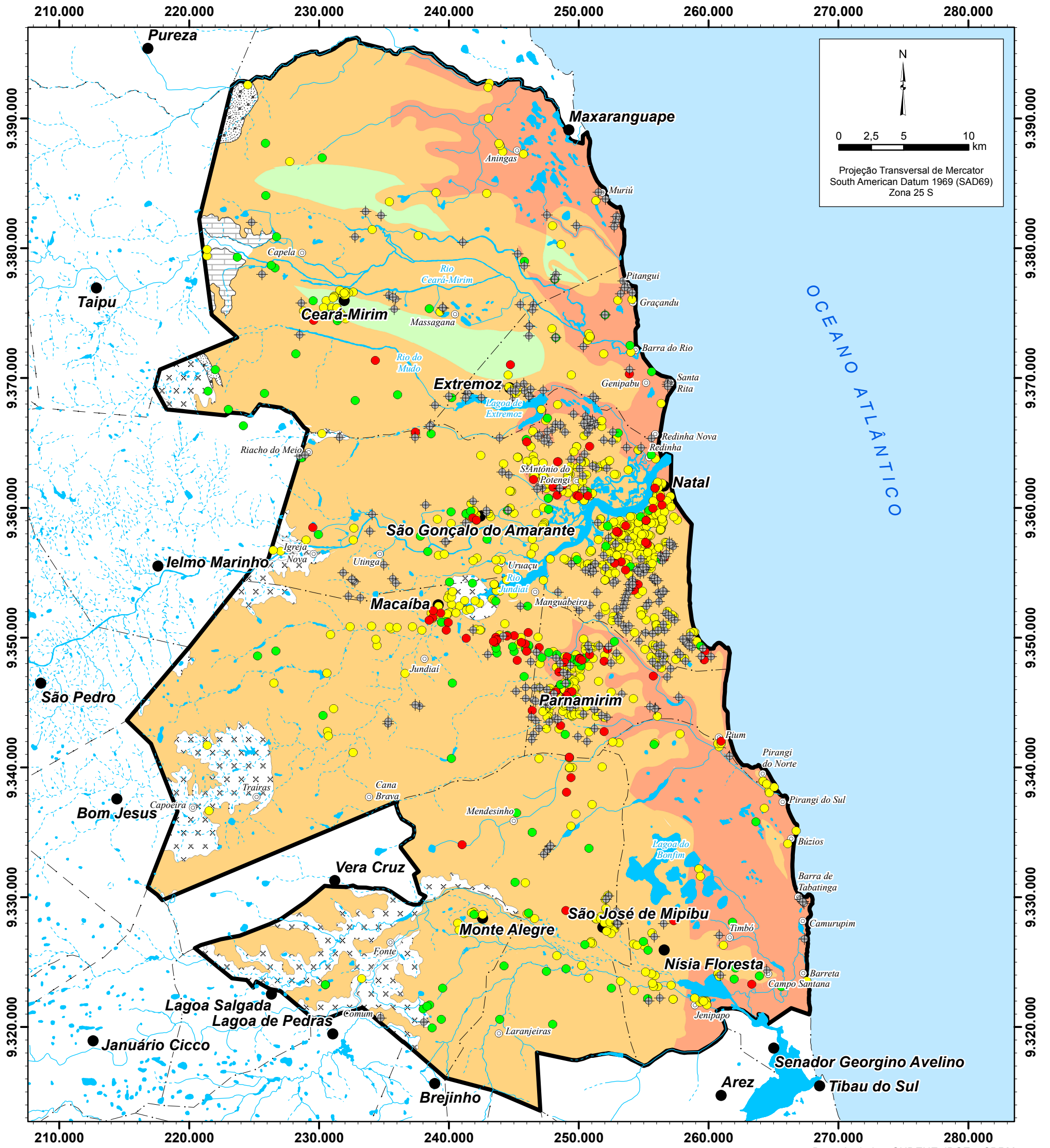
Outro fato importante e que já indica a deterioração da qualidade das águas subterrâneas em alguns locais da RMN, principalmente pela contaminação de

nitrito, é a necessidade da concessionária de misturar águas de excelente qualidade com águas contaminadas para diluir a concentração dos contaminantes, adequando-os aos padrões de potabilidade.

Portanto, nas próximas etapas do projeto, o mapa de riscos potenciais será uma importante ferramenta para auxiliar na definição de ações que contribuam para a adoção de políticas que permitam o manejo sustentável do aquífero, inclusive auxiliando no planejamento urbano dos municípios, como também apoiando a definição de novas áreas para captação de águas subterrâneas que ajudem a suprir a demanda crescente da população.

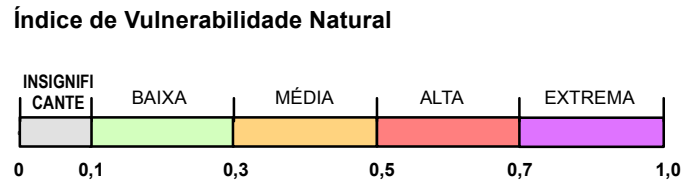
Cabe ressaltar que o mapa de riscos potenciais de contaminação do aquífero representa, de uma maneira simplificada, a complexa relação existente entre a vulnerabilidade natural do aquífero e as intervenções humanas, servindo como uma ferramenta orientadora, porém sem dispensar a necessidade de se realizar estudos detalhados para a implantação de políticas de manejo sustentável, tanto para os recursos hídricos como para o planejamento urbano.





0 2,5 5 10 km

Projeção Transversal de Mercator  
South American Datum 1969 (SAD69)  
Zona 25 S



- Potencial de Gerar Carga Contaminante no Subsolo**
- Elevado (Indústria Tipo 3/ Deposição de resíduos sólidos/ Unidade de saúde)
  - Moderado (Carcinicultura/ Indústria Tipo 2/ Lagoa de águas residuais/ Mineração/ Oficina mecânica/ Posto de combustível/ Unidade de saúde)
  - Reduzido (Casa de farinha/ Cemitério/ Criação de animais/ Indústria Tipo 1/ Matadouro/ Mineração/ Piscicultura)

- Convenção Cartográfica**
- Sedes municipais
  - ⊙ Povoados ou assentamentos
  - ☁ Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
  - ⋯ Rios intermitentes
  - Rios perenes
  - - - Limites municipais
  - ▭ Área de estudo
  - ⊕ Poços de abastecimento público
- Geologia**
- ▨ Formação Jandaíra
  - ▩ Formação Açú
  - ⊗ ⊗ ⊗ Embasamento cristalino

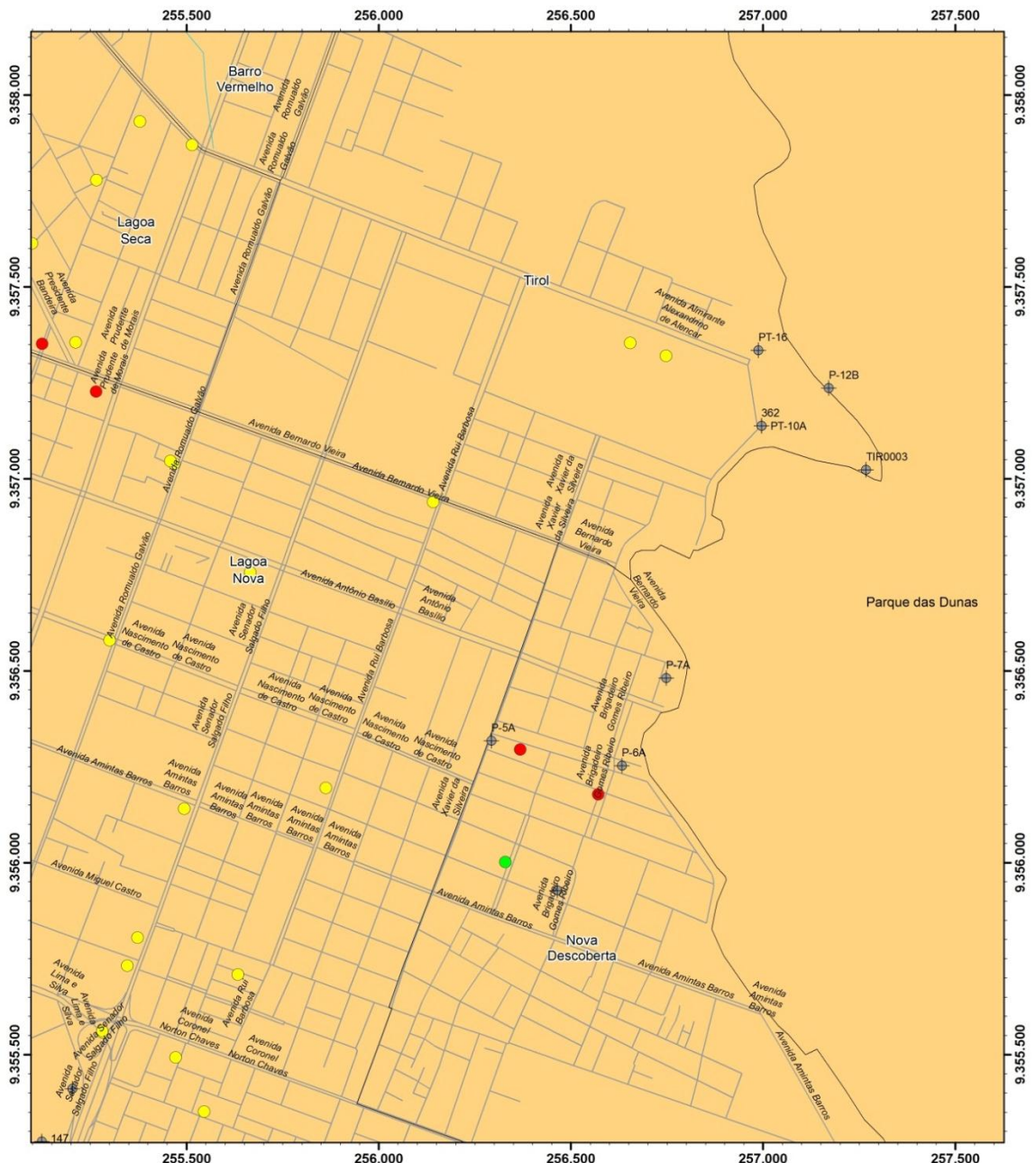


**Figura 7.7. Localização dos poços de abastecimento público no mapa de riscos potenciais de contaminação do SAB na RMN (fontes pontuais)**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL

ANA  
 SEMARH  
 Servmar  
 AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS    SECRETARIA DE ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE    AMBIENTAL & ENGENHARIA

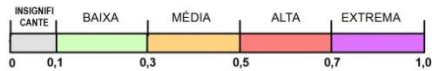




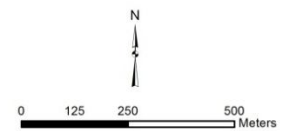
**Convenção Cartográfica**

- Rios perenes
- Limites municipais
- Bairros
- Poços públicos operantes

**Índice de Vulnerabilidade Natural**



Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM



**Potencial de gerar contaminante no subsolo (Classificação POSH)**

- Elevado (Indústria Tipo 3/ Deposição de Resíduos Sólidos/ Unidade de Saúde)
- Moderado (Carcinocultural/ Indústria Tipo 2/ Lagoas de águas residuais/ Mineração/ Oficina Mecânica/ Posto de Combustível/ Unidade de Saúde)
- Reduzido (Casa de farinha/ Cemitério/ Criação de animais/ Indústria Tipo 1/ Matadouro/ Mineração/ Psicultura)



**Figura 7.8. Fontes pontuais de contaminação com potenciais elevado e moderado localizadas próximas aos poços de abastecimento público no município de Natal**

## 8 AVALIAÇÃO HIDROQUÍMICA

A hidrogeoquímica visa identificar e quantificar propriedades e os constituintes da água subterrânea, estabelecendo uma relação com o meio físico. A qualidade da água, tão importante quanto o aspecto quantitativo, é definida por sua composição e conhecimentos dos efeitos que podem causar os seus constituintes.

Os principais objetivos de um estudo hidrogeoquímico na investigação de aquíferos são (CUSTÓDIO, 1994):

- qualificar e quantificar a recarga;
- identificar áreas de recarga e descarga de águas subterrâneas e suas características;
- explicar a composição química da água subterrânea;
- prever as mudanças na composição química da água subterrânea sob determinadas ações ou seguindo uma certa pauta evolutiva;
- determinar o grau de proteção da quantidade e qualidade da água subterrânea.

Este capítulo apresenta informações sobre a coleta e análise das amostras de água, análise hidroquímicas, análises de parâmetros específicos (metais pesados, compostos organoclorados e organofosforados, contaminantes derivados do petróleo e isótopos), com interpretação dos resultados de qualidade natural, contaminação e avaliação isotópica das águas subterrâneas.

A malha de monitoramento utilizada para as coletas das amostras de águas é constituída de poços tubulares rasos e profundos, poços amazonas (cacimbas), nascentes e águas superficiais.

As amostras hidroquímicas foram submetidas a análises físico-químicas com determinação dos seguintes parâmetros: temperatura, pH, condutividade elétrica (CE), sólidos totais dissolvidos (STD), turbidez, cor, dureza, alcalinidade, principais cátions (sódio, potássio, cálcio e magnésio), principais ânions (cloreto, sulfato, bicarbonato e carbonato), componentes químicos secundários (ferro, alumínio e manganês) e a série nitrogenada (nitrato, nitrito e amônio).

Na primeira campanha, executada em outubro e novembro de 2011, foram amostrados 92 poços tubulares, 02 poços amazonas e 09 pontos superficiais (incluindo nascentes). A distribuição global das amostras coletadas por município e por aquífero da primeira campanha são apresentadas na **Tabela 8.1**.

**Tabela 8.1. Distribuição global das amostras coletadas por município e por aquífero para parâmetros hidroquímicos - executado em outubro e novembro/2011**

Município	Aquífero					Cacimba	Superficial	Total
	Barreiras	Barreiras/ Rochas Carbonáticas*	Açu e Rochas Carbonáticas	Barreiras/ Cristalino*	Cristalino			
Ceará Mirim	9	2	2				1	14
Extremoz	8						1	9
Macaíba	4	1		1	1		1	8
Monte Alegre	1					1		2
Natal	21	1					2	24
Nizia Floresta	9						2	11
Parnamirim	17						1	18
S.G. Amarante	5	2	1			1	1	10
S. J. Mipibu	6	1						7
Total	80	7	3	1	1	2	9	103

\* Aquíferos mistos

A segunda campanha, executada em fevereiro e março de 2012, abrangeu as coletas destinadas tanto aos parâmetros hidroquímicos e série nitrogenada, analisados na primeira campanha, quanto a parâmetros específicos, tais como isótopos, para uma avaliação de origens das águas; bem como metais pesados, derivados de petróleo e agroquímicos, para uma avaliação de eventuais contaminações das águas subterrâneas.

Para a análise de parâmetros específicos foi definida uma rede específica constituída tanto de alguns poços contemplados na rede hidroquímica quanto de poços adicionais. A seleção de poços considerou o conhecimento sobre o uso e ocupação do solo; os cadastros de fontes de contaminação; o mapa de zoneamento do risco e vulnerabilidade e o modelo conceitual hidrogeológico.

A **Tabela 8.2** apresenta a distribuição global das amostras coletadas por município e por aquífero referente a segunda campanha.

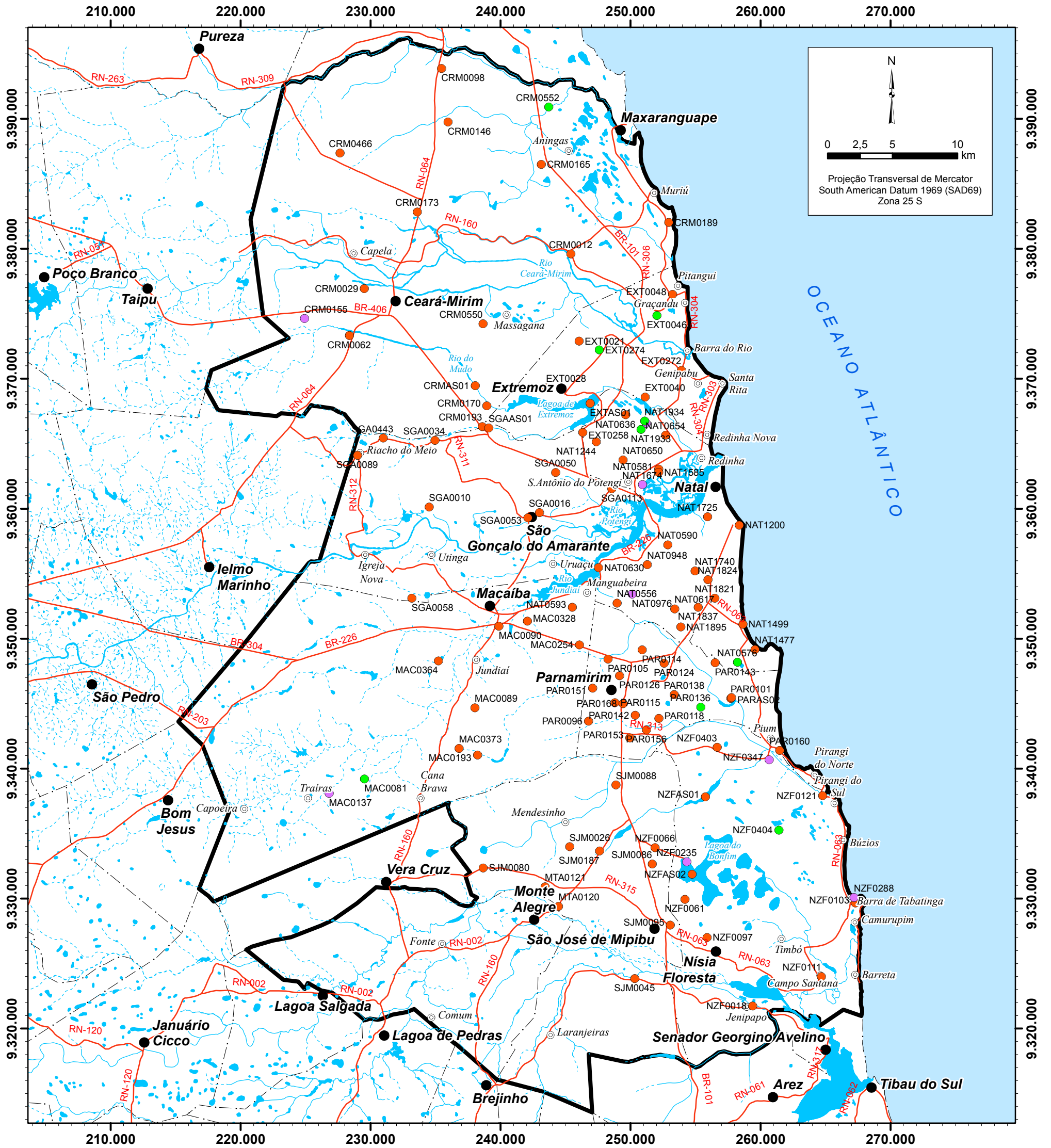
A **Figura 8.1** ilustra a distribuição global das amostras destinadas aos parâmetros hidroquímicos, na RMN. Vale ressaltar que os locais de coleta da primeira e segunda campanha foram prioritariamente os mesmos, sempre que acessíveis. A **Figura 8.2** ilustra a distribuição global tanto das amostras destinadas aos parâmetros hidroquímicos, quanto das amostras destinadas aos parâmetros específicos, na RMN.

**Tabela 8.2. Distribuição global das amostras coletadas por município, por aquífero e por tipo de análise - fevereiro e março / 2012**

Município	Aquíferos					Cacimba	Superficial	Total
	Barreiras	Barreiras / Rochas Carbonáticas*	Açu e Rochas Carbonáticas	Barreiras / Cristalino*	Cristalino			
Ceará Mirim	08 Hidroquímica 01 D. Petróleo 05 Agroquímico 02 Isótopos	02 Hidroquímica 02 Agroquímico 01 Isótopos	03 Hidroquímico 01 D. Petróleo 01 M. Pesados 01 Agroquímico 01 Isótopos				01 Hidroquímica 01 Agroquímico	14 Hidroquímica 02 D. Petróleo 01 M. Pesados 09 Agroquímico 04 Isótopos
Extremoz	06 Hidroquímica 02 M. Pesados 01 Agroquímico						01 Hidroquímica 01 Isótopos	07 Hidroquímica 02 M. Pesados 01 Agroquímico 01 Isótopos
Macaíba	04 Hidroquímica 01 D. Petróleo 03 M. Pesados 02 Agroquímico 01 Isótopos	01 Hidroquímica 01 D. Petróleo 01 Isótopos		01 Hidroquímica 01 Agroquímico 01 Isótopos	01 Hidroquímica 01 Agroquímico 01 Isótopos		01 Hidroquímica 01 Isótopos	08 Hidroquímica 02 D. Petróleo 03 M. Pesados 04 Agroquímico 04 Isótopos
Monte Alegre	01 Hidroquímica 01 Agroquímico 01 Isótopos				01 D. Petróleo	01 Hidroquímica 01 Isótopos		02 Hidroquímica 01 D. Petróleo 01 Agroquímico 02 Isótopos
Natal	19 Hidroquímica 10 D. Petróleo 15 M. Pesados 03 Isótopos	01 Hidroquímica 01 D. Petróleo 01 M. Pesados	01 M. Pesados			02 Hidroquímica 01 D. Petróleo 02 Isótopos	02 Hidroquímica 02 Isótopos	24 Hidroquímica 12 D. Petróleo 17 M. Pesados 07 Isótopos
Nizia Floresta	08 Hidroquímica 02 M. Pesados 03 Agroquímico 04 Isótopos					03 Hidroquímica 03 Isótopos	02 Hidroquímica 02 Isótopos	13 Hidroquímica 02 M. Pesados 03 Agroquímico 09 Isótopos
Parnamirim	16 Hidroquímica 04 D. Petróleo 13 M. Pesados 01 Agroquímico 02 Isótopos						01 Hidroquímica 01 Isótopos	17 Hidroquímica 04 D. Petróleo 13 M. Pesados 01 Agroquímico 03 Isótopos
São Gonçalo do Amarante	05 Hidroquímica 01 D. Petróleo 02 Agroquímico 02 Isótopos	02 Hidroquímica 02 D. Petróleo 01 M. Pesados 02 Isótopos	01 Hidroquímica 01 Agroquímico 01 Isótopos			01 Hidroquímica 01 Agroquímico 01 Isótopos	01 Hidroquímica	10 Hidroquímica 03 D. Petróleo 01 M. Pesados 04 Agroquímico 06 Isótopos
São José do Mipibu	06 Hidroquímica 01 D. Petróleo 01 M. Pesados 06 Agroquímico 04 Isótopos	01 Hidroquímica 01 Agroquímico						07 Hidroquímica 01 D. Petróleo 01 M. Pesados 07 Agroquímico 04 Isótopos
Total	73 Hidroquímica 18 D. Petróleo 36 M. Pesados 21 Agroquímico 18 Isótopos	07 Hidroquímica 04 D. Petróleo 02 M. Pesados 03 Agroquímico 04 Isótopos	04 Hidroquímica 01 D. Petróleo 02 M. Pesados 02 Agroquímico 02 Isótopos	01 Hidroquímica 01 Agroquímico 01 Isótopos	01 Hidroquímica 01 D. Petróleo 01 Agroquímico 01 Isótopos	07 Hidroquímica 01 D. Petróleo 01 Agroquímico 07 Isótopos	09 Hidroquímica 01 Agroquímico 07 Isótopos	102 Hidroquímica 25 D. Petróleo 40 M. Pesados 30 Agroquímico 40 Isótopos

\* Aquíferos mistos





Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM

**Distribuição Global das Amostras**

- 1ª Campanha - (Out/Nov 2011)
- 2ª Campanha - (Fev/Mar 2012)
- 1ª e 2ª Campanha

**Convenção Cartográfica**

- Sedes municipais
- ⊙ Povoados ou assentamentos
- Estradas pavimentadas
- Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- - - Rios intermitentes
- Rios perenes
- - - Limites municipais
- Área de estudo

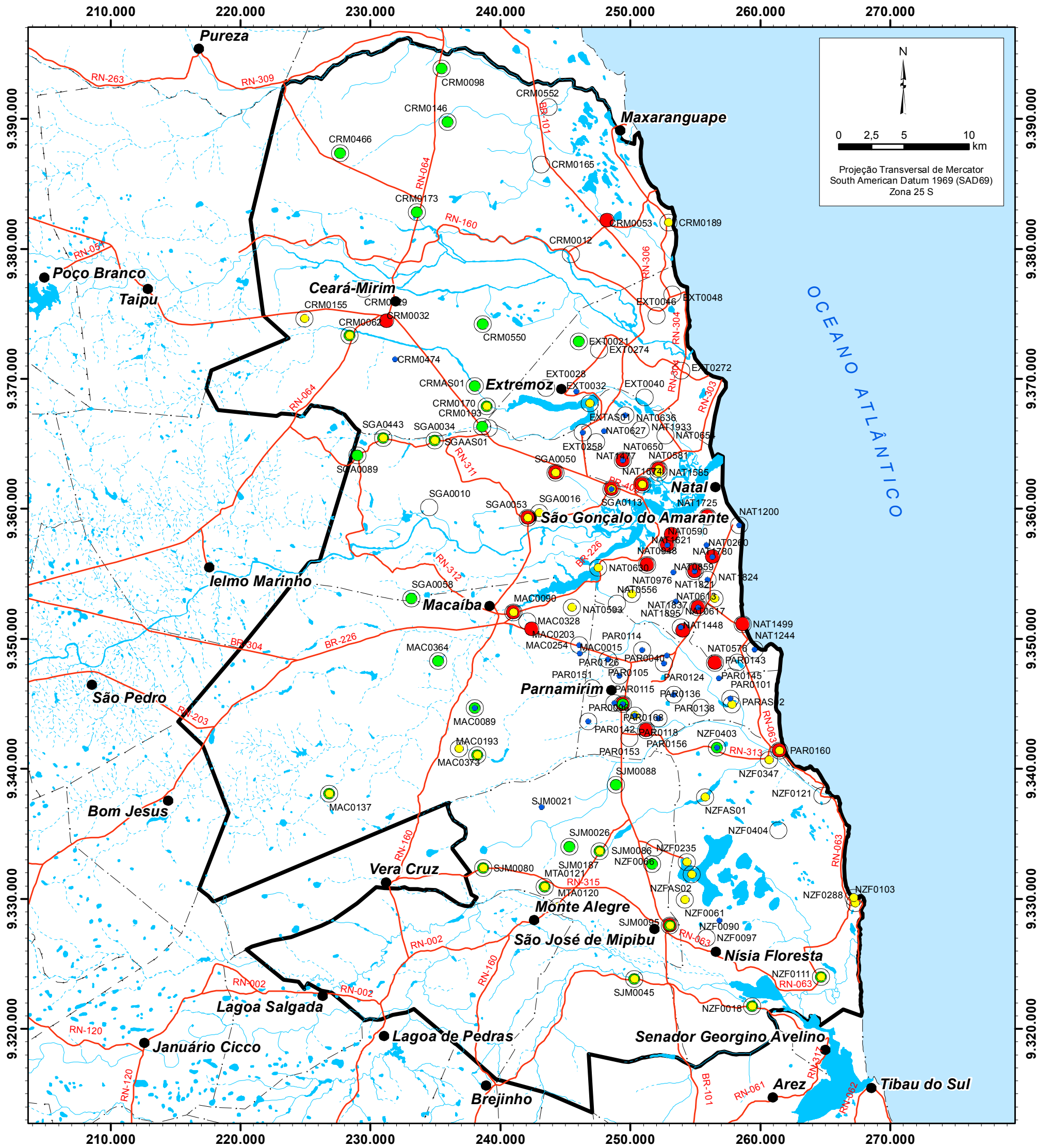
Localização da área de estudo



**Figura 8.1. Distribuição global das amostras na Região Metropolitana de Natal**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL





N

0 2,5 5 10 km

Projeção Transversal de Mercator  
South American Datum 1969 (SAD69)  
Zona 25 S

**Rede Monitoramento**

- Metais pesados
- Isótopos
- Agricultura
- Derivado de Petróleo
- Hidroquímico

**Convenção Cartográfica**

- Sedes municipais
- Estradas pavimentadas
- Lagos, lagoas, lagoas ou açudes
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Limites municipais
- ▭ Área de estudo

Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM



**Figura 8.2. Distribuição global das amostras específicas na Região Metropolitana de Natal**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL

ANA  
 AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

SEMARH  
 SECRETARIA DE ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE  
 DE SANEAMENTO AMBIENTAL

Servmar  
 AMBIENTAL & ENGENHARIA



## 8.1 Métodos de coleta

Para a realização das amostragens em poços, inicialmente procedeu-se com o bombeamento do poço por ao menos 5 minutos para uma reposição de água do aquífero no poço. As amostragens superficiais ocorreram em pontos acessíveis, o mais distante possível das margens dos corpos de água.

Durante a amostragem, foram determinados *in situ* os parâmetros físico químicos pH, temperatura e condutividade elétrica, com o auxílio do equipamento multiparâmetro (HANNA HI 9828), sendo aguardada a estabilização dos respectivos valores para a realização da amostragem. No período de amostragem foram realizadas calibrações semanais, para garantir a confiabilidade dos dados medidos.

As águas coletadas foram armazenadas em frascos fornecidos pelo laboratório, lavados por três vezes com água do próprio poço, subsequentemente conservadas sob refrigeração. As amostras destinadas à análise de cátions e ferro foram preservadas, com HNO<sub>3</sub>.

A **Tabela 8.3** apresenta parâmetro, frascaria, preservação e validades para as amostras analisadas. As **Fotos de 20 a 23** ilustram os procedimentos adotados nas coletas.

Tabela 8.3. Dados referentes ao parâmetro, frascaria e preservação			
Parâmetros	Frascaria	Preservação	Validade
Alcalinidade Carbonato	Pet 500 mL	sem preservação	7 dias
Alcalinidade Bicarbonato			7 dias
Dureza			6 meses
Cloreto, Fluoreto, Fosfato e Sulfato			15 dias
Série Nitrogenada			2 dias
Cor e Turbidez			2 dias
STD			7 dias
Ferro	Pet 250 mL	HNO <sub>3</sub> até pH<2*	6 meses
Cátions	Pet 250 mL	HNO <sub>3</sub> até pH<2*	6 meses
Metais Pesados	Pet 500 mL	HNO <sub>3</sub> até pH<2*	28 dias
BTXE	Vial	sem preservação	7 dias
SVOC (fenóis e agroquímicos)	Âmbar	sem preservação	7 dias

\*APHA, 2005



Fotos 20 e 21. Instalações de torneiras e monitoramento de parâmetros físico-químicos



Fotos 22 e 23. Frascos PET e preservação *in situ* com  $\text{HNO}_3$

## 8.2 Métodos de análise

Na primeira campanha as amostras foram analisadas pelo Núcleo de Processamento Primário e Reuso de Água Produzida e Resíduos (NUPPRAR), na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Na segunda campanha as amostras foram analisadas pelo laboratório Analytical Solutions Ltda. (ANASOL). As análises de isótopos de hidrogênio e oxigênio foram realizadas no Environmental Isotope Laboratory of University of Waterloo.

Os laudos químicos com os resultados de todos os parâmetros analisados são apresentados em versão eletrônica. A **Tabela 8.4** apresenta os parâmetros, metodologia, técnica, limite de detecção (LD) e limite de quantificação (LQ).

<b>Tabela 8.4. Métodos de análise (mg/L)</b>					
<b>Parâmetros</b>	<b>Metodologia</b>	<b>Técnica</b>	<b>LD</b>	<b>LQ</b>	
Cations	USEPA 6110B	ICP-OES	0,03	0,01	
Ânions	Standart Methods 4110	ICP-OES	0,03	0,01	
Nitrato e Nitrito	Standart Methods 4110	ICP-OES	0,03	0,01	
Amônio	Standart Methods 4110	ICP-OES	0,03	0,01	
Ferro Total	USEPA 6110B	ICP-OES	0,03	0,01	
STD	Standart Methods 2540 C	Condutivimetria	0,10	0,30	
Alcalinidade Carbonato	Standart Methods 2320	Titulometria	0,10	0,30	
Alcalinidade Bicarbonato	Standart Methods 2320	Titulometria	0,20	0,60	
Dureza	Standart Methods 2340 B	IC	0,02	0,02	
Cor	Standart Methods 2120 C	Espectrofotometria	0,10	0,50	
Turbidez	Standart Methods 2130	Turbidímetro	0,01	0,03	
Metais Pesados	Arsênio	USEPA 7074A	Espectrofotometria	0,0002	0,005
	Bário	USEPA 7074A	Espectrofotometria	0,002	0,01
	Cádmio	USEPA 7074A	Espectrofotometria	0,0003	0,001
	Chumbo	USEPA 7074A	Espectrofotometria	0,002	0,01
	Cobre	USEPA 7074A	Espectrofotometria	0,001	0,005
	Cromo	USEPA 7074A	Espectrofotometria	0,005	0,01
	Mercúrio	USEPA 7000	AAS – vapor frio	0,0002	0,001
	Níquel	USEPA 7074A	Espectrofotometria	0,005	0,01
	Zinco	USEPA 7074A	Espectrofotometria	0,005	0,01
SVOC pesticidas	USEPA 8E70D	Cromatog. gasosa	0,00005	0,0002	
SVOC fenóis	USEPA 8E70D	Cromatog. gasosa	0,00005	0,0002	
BTEX	USEPA 5021A, USEPA 8021B	Cromatog. gasosa	0,0001	0,001	

### 8.3 Avaliação dos resultados hidroquímicos

Numa primeira avaliação dos resultados das análises químicas observou-se uma variação muito pequena entre os valores dos parâmetros obtidos na primeira e segunda campanha. Como demonstração disso, é apresentado o gráfico de correlação de cátions, ânions e STD entre a primeira e segunda campanha (**Figura 8.3**). Os íons apresentaram correlação superior a 90%, foi obtida correlações de 95% para STD.

Para o parâmetro nitrato, as amostras NAT0636, NAT0650, NAT0948, NAT1821, NAT1895, SGA0089 e SJM045 apresentaram variações muito elevadas (**Tabela 8.5**), sendo desconsideradas essas amostras para a análise de comparação dos resultados das campanhas.

Tabela 8.5. Variação de resultados N- NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		
ID	1ª Campanha (mg/L)	2ª Campanha (mg/L)
NAT0636	16,19	1,69
NAT0650	33,98	20,08
NAT0948	26,65	11,92
NAT1821	11,28	6,37
NAT1895	7,24	20,60
SGA0089	12,51	0,01
SJM0045	1,92	16,27

Os pontos superficiais CRMAS01 e SGAAS01 e os poços NAT1824 e SGA0053, apresentaram variações elevadas para potássio (**Tabela 8.6**), sendo desconsideradas essas amostras para a análise de comparação dos resultados das campanhas.

Tabela 8.6. Variação de resultados K <sup>+</sup>		
ID	1ª Campanha (mg/L)	2ª Campanha (mg/L)
CRMAS01	3,35	9,54
SGAAS01	2,96	9,30
NAT1821	3,82	22,28
SGA0053	25,17	13,29

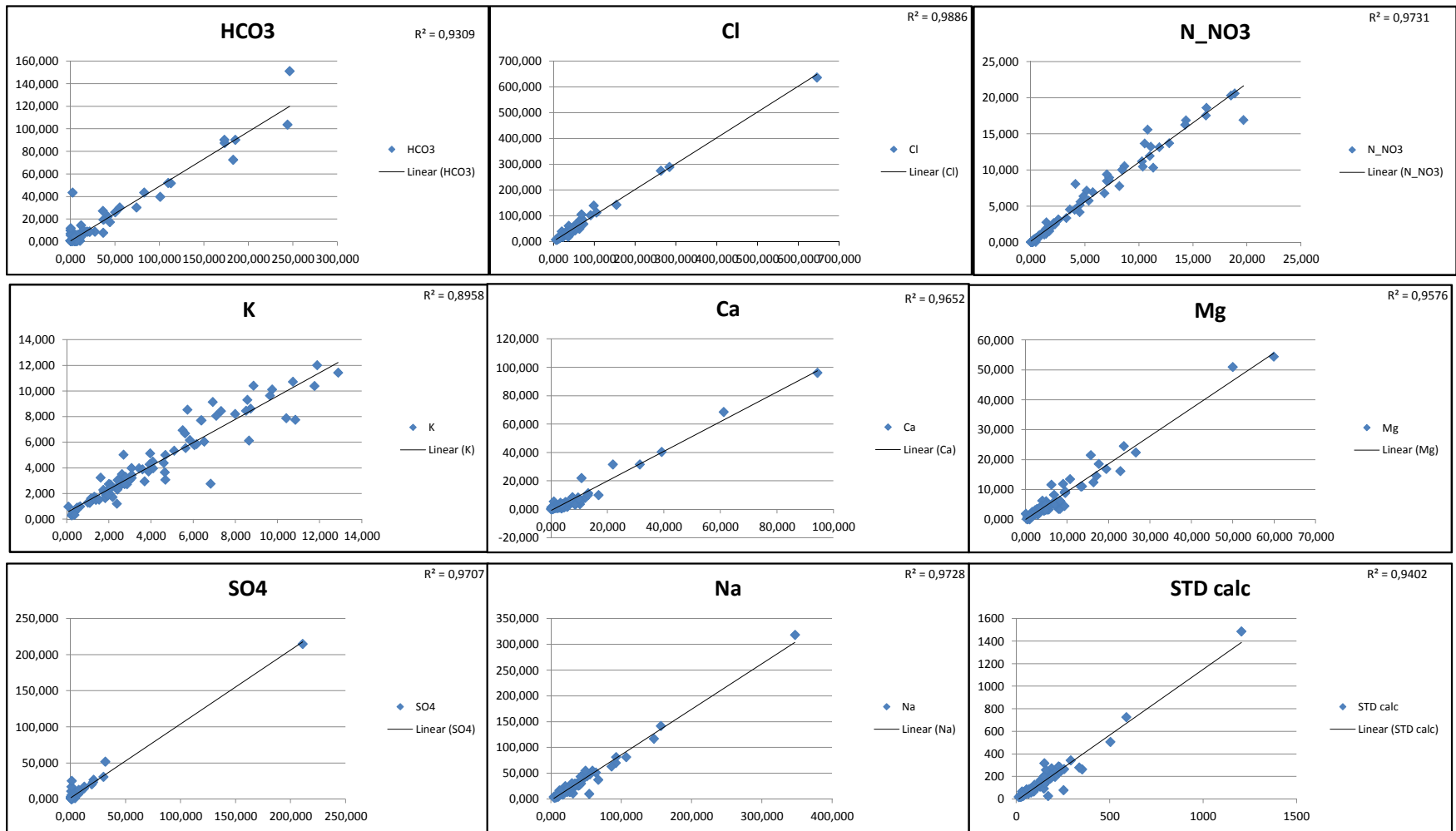


Figura 8.3 Gráficos de correlação dos principais íons e STD para 1ª e 2ª campanha



Os valores obtidos para parâmetros físico-químicos, bem como para cátions, ânions e série nitrogenada são apresentados nas **Tabelas 1 a 12**, no **Apêndice G** na primeira e segunda campanha, respectivamente. As tabelas foram organizadas discriminando o aquífero Barreiras, amostras superficiais e os demais aquíferos, representados por: Açú, Rochas Carbonáticas, Cristalino ou mistos: Barreiras/Rochas Carbonáticas e Barreiras/Cristalino.

Para a determinação do STD foi considerada a somatória de íons analisados e não foi considerada a sílica, uma vez que não foram previstas análises de sílica neste trabalho.

Também para a avaliação e validação dos resultados fornecidos pelo laboratório foi realizado o balanço iônico de todas as amostras, no qual a concentração total de íons positivos (cátions) deve ser aproximadamente igual à concentração de íons negativos (ânions). As amostras se enquadraram no valor limite de erro de 10%, recomendado para este trabalho. O balanço iônico foi calculado através da equação definida por Logan (1965), como:

$$\text{Erro \%} = 100 \times [\sum(\text{cátions}) - \sum(\text{ânions})] / [\sum(\text{cátions}) + \sum(\text{ânions})]$$

As **Tabelas 1 e 2**, no **Apêndice H**, apresentam o balanço iônico da primeira e segunda campanha de amostragem, respectivamente. Os valores obtidos da primeira campanha enquadram-se no valor limite de erro de 10%, exceto a amostra NZF0018. Para segunda campanha foram detectados 20 valores acima do limite de erro de 10%.

Conforme Pyne (1995) são validadas as amostras com erro superior a 10%, quando o valor de STD for inferior a 100 mg/L. Assim, pôde-se reconsiderar a amostra NZF0018, validando todas amostras analisadas na primeira campanha. Das 20 amostras com valores acima do limite de erro de 10%, analisadas na segunda campanha, apenas 9 apresentam STD inferior a 100 mg/L, restando, portanto, 11 amostras não validadas.

Os elevados índices de correlação entre os resultados das duas campanhas de monitoramento possibilitaram que, para as interpretações e caracterização hidroquímica das águas avaliadas, fossem utilizados os resultados de apenas uma das campanhas. Desse modo, foram adotados os resultados analíticos da primeira campanha de monitoramento, pois o balanço iônico de todas as amostras apresentaram coeficiente de erro inferior a 10%.



## 8.4 Síntese dos resultados

A seguir é apresentada uma síntese dos resultados das análises hidroquímicas das amostras de águas subterrâneas e superficiais coletadas na primeira campanha de monitoramento, sob a forma de parâmetros estatísticos dos principais cátions e ânions, além do pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, nitrato, ferro e dureza total, incluindo considerações pertinentes ao assunto.

Inicialmente será apresentada a síntese dos resultados dos parâmetros hidroquímicos do Sistema Aquífero Barreiras na RMN. Serão também apresentados e discutidos, os resultados das análises de águas superficiais e os demais aquíferos locais levando-se em conta as possíveis variações pelas características climáticas locais, pela sazonalidade, pela distância da linha de costa, pela profundidade de captação da água, pelos diferentes tipos de rocha ou corpos d'água e pelas interferências antrópicas resultadas em contaminações.

A partir das **Tabelas 1 a 12**, apresentadas no **Apêndice G**, foi realizado um tratamento estatístico simplificado dos resultados das análises para parâmetros físico-químicos, cátions, ânions e série nitrogenada. Este tratamento foi dado aos dados da primeira e segunda campanha, para o aquífero Barreiras e as águas superficiais.

### Avaliação global do Sistema Aquífero Barreiras na RMN

A **Tabela 8.7** apresenta a síntese dos resultados dos parâmetros hidroquímicos do Sistema Aquífero Barreiras (SAB) na RMN.

As águas do SAB foram caracterizadas, no geral, como águas cloretadas sódicas, de circulação rasa, baixo STD e baixo pH, ocorrendo águas de boa qualidade em todos os municípios da RMN. Entretanto, na região oeste da RMN, no município de Macaíba e em parte dos municípios de Ceará-Mirim, Monte Alegre e São José do Mipibu, predominam águas com STD acima de 200 mg/L. Já no município de Natal e em parte do município de Parnamirim, a contaminação por nitrato compromete fortemente a qualidade natural das águas do SAB e reflete também nas características químicas da águas em relação ao conteúdo dos demais íons presentes.

**Tabela 8.7. Estatísticas do parâmetros hidroquímicos nas amostras de água do aquífero Barreiras - 1ª Campanha**

Parâmetro	unidade	média	mediana	contagem	máximo	mínimo	desvio padrão	Variação (%)
Temperatura	°C	29,42	29,40	80	31,03	26,10	0,72	2,43
pH		5,12	5,10	80	7,08	3,74	0,64	12,50
CE	µS/cm	196,80	156,50	80	760,00	23,00	144,47	73,41
Dureza	mg/L	26,83	17,33	80	105,30	1,94	25,77	96,07
STD	mg/L	107,56	79,50	80	505,00	14,00	85,06	79,08
Na <sup>+</sup>	mg/L	23,48	18,06	80	156,50	4,11	21,31	90,77
K <sup>+</sup>	mg/L	3,92	2,92	80	12,88	0,08	3,06	77,98
Ca <sup>+2</sup>	mg/L	2,96	1,61	80	13,14	0,16	3,00	101,35
Mg <sup>+2</sup>	mg/L	4,50	2,71	80	22,86	0,00	4,95	110,15
Fe <sup>+3</sup>	mg/L	0,03	0,01	80	1,36	0,01	0,16	496,76
Cl <sup>-</sup>	mg/L	28,67	21,44	80	262,94	6,60	31,78	110,83
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	11,68	5,14	80	109,80	0,20	18,98	162,51
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mg/L	2,35	1,15	80	31,50	0,45	4,26	181,18
CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	0,10	0,10	80	0,10	0,10	0,00	0,00
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	5,87	2,56	80	33,98	0,04	6,93	118,09
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/L	0,02	0,02	80	0,15	0,00	0,02	63,91
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/L	0,06	0,01	80	3,53	0,01	0,39	621,27

Num universo de 80 amostras o pH variou entre 3,74 e 7,08, com valores de média e mediana bastante próximos, respectivamente de 5,12 e 5,10. Portanto com coeficiente de variação pequeno, da ordem de 2%. De acordo com o histograma de frequência do pH apresentado na **Figura 8.4**, 57% dos pontos de água amostrados indicam valores de pH entre 4,90 e 5,60. Esses resultados mostram que as águas do Sistema Aquífero Barreiras, são em geral ácidas tendendo em alguns casos para uma situação de equilíbrio, ou seja, de neutralidade.

A CE obtida em campo variou de 23,00 µS/cm a 760,00 µS/cm, com coeficiente de variação de 12%. A média e a mediana são respectivamente 196,80 µS/cm e 156,50 µS/cm. A análise do histograma de frequência representado na **Figura 8.4** mostra que aproximadamente 60% dos poços tubulares amostrados no domínio do sistema aquífero Barreiras possuem valores de condutividade elétrica inferiores a 200 µS/cm. Principalmente para os municípios de Natal e Parnamirim, os altos valores de CE, conforme Melo (2008), denotam que as águas são afetadas por efluentes urbanos, já que a condutividade elétrica das águas do aquífero Barreiras na RMN é em geral inferior a 150 µS/cm.

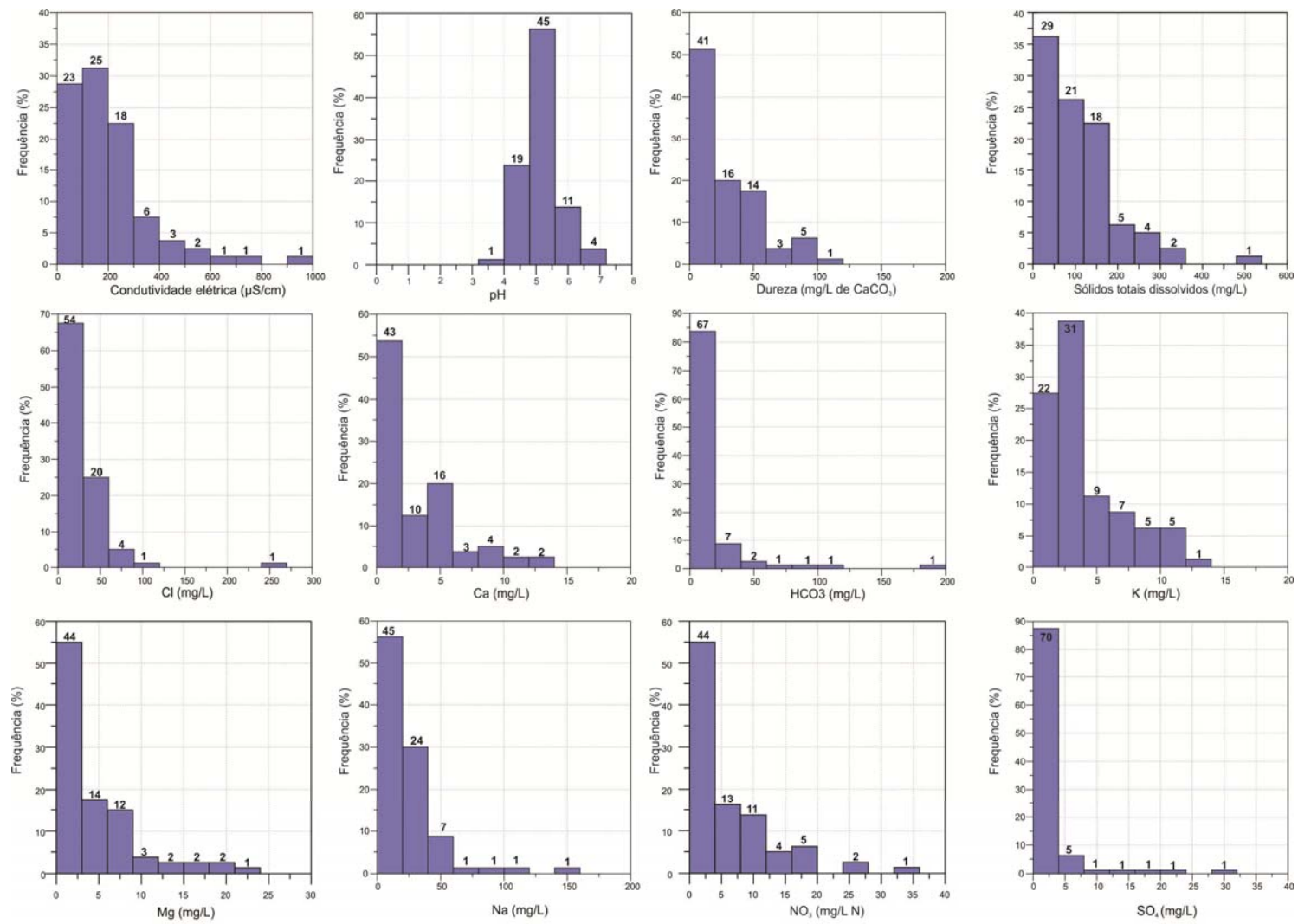


Figura 8.4 Histogramas

Os sólidos totais dissolvidos (STD) obtidos em laboratório pela soma dos cátions e ânions também apresentam uma dispersão nos valores, com um coeficiente de variação da ordem de 79 %. Os valores mínimos e máximos foram de 13,63 mg/L e 505,39 mg/L, respectivamente, com média de 107,56 mg/L e mediana de 79,47 mg/L. A análise do histograma de frequência apresentado na **Figura 8.4** mostra que quase 90% dos pontos amostrados possuem sólidos totais dissolvidos inferior a 250 mg/L. Esses resultados permitem classificar as água do SAB na área de estudo, de um modo geral, como de salinidade baixa (**Tabela 8.8**).

<b>Tabela 8.8. Classificação das águas quanto à salinidade de acordo com o STD</b>	
<b>Classificação</b>	<b>Teor STD (mg/L)</b>
Baixa	< 250
Baixa a média	250 – 500
Média	500 – 1000
Alta	1000 – 2000
Muito alta	2000 – 4000
Excepcionalmente alta	> 4000

Fonte: McNeely *et al.* 1979

O coeficiente de dispersão da dureza obtido foi da ordem de 96 %. A dureza variou de 1,94 a 105,3 mg/L CaCO<sub>3</sub>, com média 26,83 mg/L de CaCO<sub>3</sub> e mediana de 17,33 mg/L de CaCO<sub>3</sub>, respectivamente. A **Figura 8.4** apresenta apenas uma amostra com valores superiores a 100mg/L. Esses resultados indicam que as águas do SAB são em geral de águas moles. A **Tabela 8.9** apresenta a classificação das águas segundo a dureza.

<b>Tabela 8.9. Classificação das águas quanto à dureza</b>	
<b>Classificação</b>	<b>Teor de Ca CO3 (mg/L)</b>
Mole	< 100
Intermediária	100 – 200
Dura	> 200

Fonte: Feitosa *et al.* 2008

No caso da alcalinidade, tem-se a considerar a alcalinidade TAC atribuída aos bicarbonatos, já que o pH das águas é inferior a 8. Os valores de TAC, portanto, variam de 0,17 a 90,04 mg/L (valores obtidos para o bicarbonato), que expresso em mg/L de CaCO<sub>3</sub> corresponde a um mínimo de  $0,17 \cdot 1,22 = 0,20$  mg/L CaCO<sub>3</sub> a um máximo  $90,04 \cdot 1,22 = 109,84$  mg/L CaCO<sub>3</sub>. O valor médio correspondente da alcalinidade TAC é de 11,68 mg/L CaCO<sub>3</sub>, valor representativo de baixa alcalinidade.

Os íons cálcio e magnésio apresentam comportamento similar no que diz respeito a dispersão de valores com coeficiente de variação de 101% e 109%, respectivamente. O teor de cálcio variou de 0,16 mg/L a 13,14 mg/L, com média de 2,96 mg/L e mediana de 1,61 mg/L. Na **Figura 8.4**, é apresentado o histograma de frequência do íon cálcio, onde se observa que em 97% dos poços amostrados os valores de cálcio estão compreendidos até 10,00 mg/L. O íon magnésio varia desde não detectado a até uma detecção com concentração de 22,86 mg/L, com média de 4,50 mg/L e mediana de 2,71 mg/L. O histograma de frequência apresentado na **Figura 8.4** mostra que 15% dos pontos amostrados apresentam magnésio em concentrações de até 80 mg/L. O cálcio e o magnésio contribuem para a dureza da água e tornam-se incrustantes, sob condições de pH elevado.

O sódio variou de 4,11 mg/L a 156,50 mg/L, com média de 23,48 mg/L, mediana de 18,06 mg/L. O coeficiente de variação foi de 90%. Na **Figura 8.4**, o histograma de frequência do íon sódio mostra que na área de estudo aproximadamente 97% dos poços tubulares amostrados são inferiores a 100 mg/L.

O potássio variou de 0,08 mg/L a 12,88 mg/L, com média de 3,92 mg/L, mediana de 2,92 mg/L. O coeficiente de variação é de 78%. No histograma de frequência exposto na **Figura 8.4** pode-se observar que quase 92% dos poços amostrados apresentam potássio até 10,00 mg/L. O sódio e o potássio têm bastante afinidade química, entretanto, o potássio é facilmente adsorvido pelas argilas, razão pelo qual o mesmo ocorre em concentrações relativamente bem mais baixas que o sódio.

Os ânions cloreto e sulfato apresentaram elevada dispersão de valores, com coeficiente de variação de 109% e 178%, respectivamente. O cloreto apresenta um valor mínimo de 6,60 mg/L e máximo de 262,94 mg/L, com média de 28,67 mg/L, mediana de 21,44 mg/L. De acordo com o histograma de frequência apresentado na **Figura 8.4**, 93% dos pontos de água amostrados no domínio do SAB possuem cloreto com teores até 60 mg/L. O sulfato variou de 0,45 a 31,50 mg/L, com média de 2,35 mg/L e mediana da ordem de 1,15 mg/L. Aproximadamente 85% dos poços tubulares amostrados apresentam até 4,00 mg/L de sulfato, conforme o histograma de frequência ilustrado na **Figura 8.4**.

O bicarbonato apresenta um coeficiente de variação de 160%. Seus teores variam de 0,17 a 90,04 mg/L, com média de 9,58 mg/L e 4,22 mediana de. A análise do histograma de frequência apresentado na **Figura 8.4** mostra que em mais de 84% dos poços amostrados os teores de bicarbonato foram de até 20 mg/L.

O ânion nitrato apresenta elevada dispersão nos valores, com coeficiente de variação da ordem de 118%. Os teores de nitrato encontrados nas águas

subterrâneas do SAB variam entre 0,04 e 33,98 mg/L N, com uma média de 5,87 mg/L, a mediana é 2,56 mg/L. De acordo com o histograma de frequência (**Figura 8.4**) 55% dos poços apresentam concentração de nitrato inferior a 4 mg/L de N.

O íon amônio, variou de 0,01 mg/L a 3,53 mg/L, com média de 0,06 mg/L e mediana de 0,01 mg/L, com poucas ocorrências de contaminação por esse componente nitrogenado, indicando uma baixa condição de redução no ambiente das águas subterrâneas. O nitrito, praticamente não é detectado nas águas subterrâneas. De fato, o processo de oxidação de íon amônio para nitrato via nitrito ocorre rapidamente, dificultando a sua ocorrência, conforme demonstram os resultados que, em grande parte, são inferiores ao limite de detecção.

O cátion ferro variou de 0,01 a 1,36 mg/L, com média de 0,03 mg/L e mediana de 0,01 mg/L. Nota-se grande parte dos resultados inferior ao limite de detecção.

Os dados hidroquímicos obtidos são coerentes com os dados existentes nas referências de estudos locais e corroboram com os resultados compilados em Melo 2008, que é a referência específica mais atual, na qual estão reunidos dados hidroquímicos da RMN.

A **Tabela 8.10** apresenta o tratamento estatístico dos dados da 2ª. campanha, no aquífero Barreiras, Pelo apresentado, pôde-se observar que, levando-se em conta alguns dos principais parâmetros para uma comparação da 1ª. campanha e 2ª. campanha, as alterações de concentrações médias demonstraram variações pequenas, que não alteram significativamente a caracterização do aquífero anteriormente descrita utilizando-se os dados da 1ª. campanha.

Ao considerar o STD, o sódio e o cloreto, observou-se pelas análises estatísticas que o cloreto foi o parâmetro mais estável da primeira para a segunda campanha, tendo mantido quase inalterados tanto os seus valores de concentração, quanto os seus coeficientes de variação. O STD teve comportamento similar ao do cloreto, porém com uma alteração um pouco mais significativa. O sódio, da primeira para a segunda campanha, teve a sua concentração média diminuída, porém, o seu coeficiente de variação aumentado.

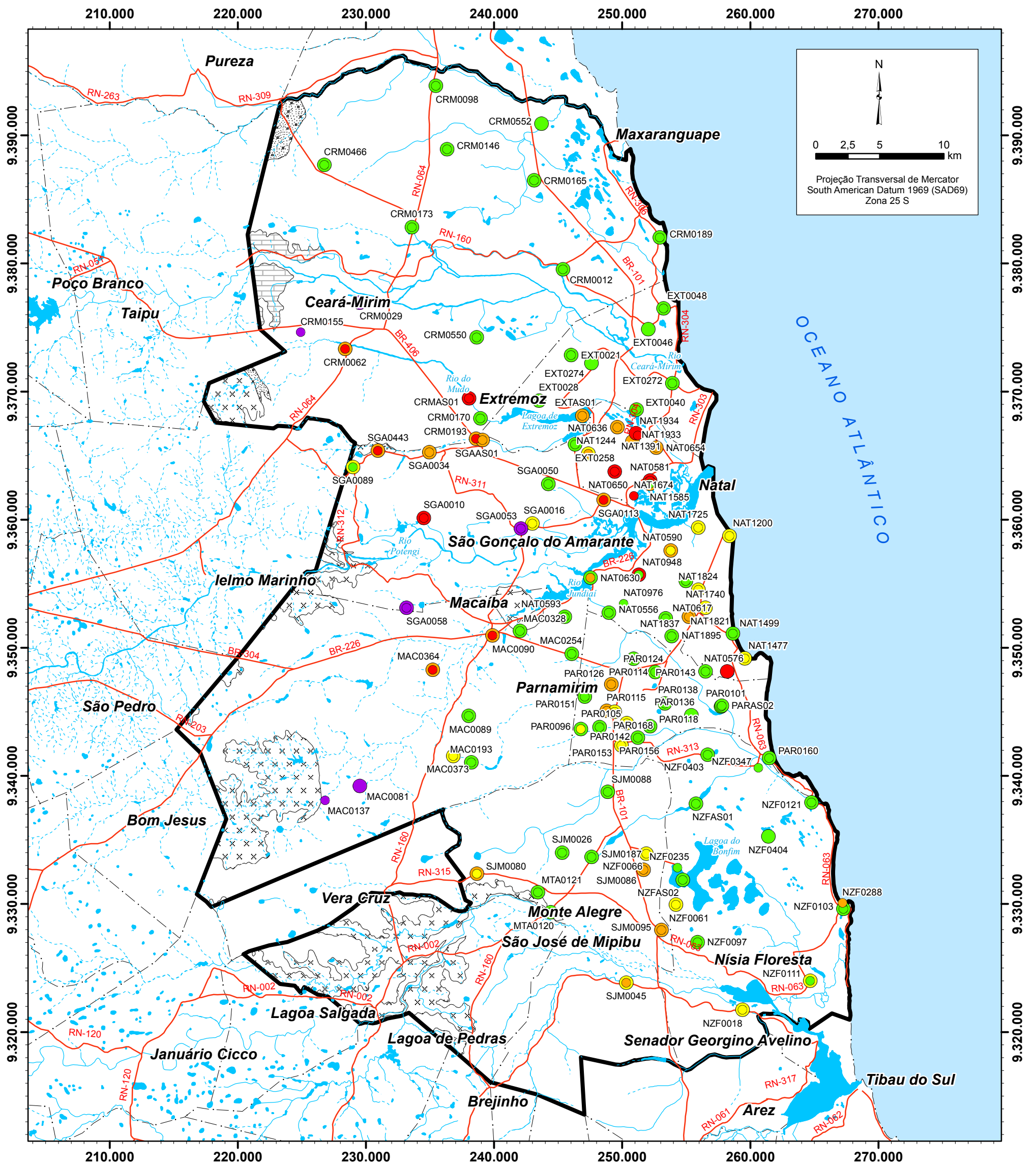
Ainda para a comparação de resultados das duas campanhas de amostragem, foram elaborados mapas de ocorrência para STD e para o  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Na}^+$ , ânion e cátion de maior representatividade quantitativa das águas do aquífero Barreiras na RMN. Estes mapas são apresentados nas **Figuras 8.5 a 8.7** e permitem observar que as alterações de valores entre as duas campanhas foram pouco significativas e não obedeceram satisfatoriamente a um determinado padrão.



**Tabela 8.10. Estatísticas do parâmetros físico-químicos nas amostras de água do aquífero Barreiras - 2ª Campanha**

Parâmetro	unidade	média	mediana	contagem	máximo	mínimo	desvio padrão	Variação (%)
Temperatura	°C	29,72	29,50	73	36,51	27,29	1,13	3,81
pH		5,24	5,14	73	7,49	3,74	0,82	15,68
CE	µS/cm	171,74	140,00	73	879,00	9,00	137,49	80,06
Dureza	mg/L	20,72	12,27	73	88,98	0,63	20,53	101,72
STD	mg/L	104,70	79,00	73	507,00	17,00	82,75	79,03
Na <sup>+</sup>	mg/L	18,59	14,04	73	141,72	2,04	18,44	99,21
K <sup>+</sup>	mg/L	4,34	3,06	73	22,29	0,28	3,64	83,95
Ca <sup>+2</sup>	mg/L	2,07	1,30	73	10,00	0,05	2,15	104,34
Mg <sup>+2</sup>	mg/L	3,92	2,62	73	18,51	0,01	4,01	102,36
Fe <sup>+3</sup>	mg/L	0,26	0,01	73	14,22	0,01	1,67	648,91
Cl <sup>-</sup>	mg/L	30,93	22,33	73	275,19	7,23	35,02	113,24
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	5,27	0,70	73	52,10	0,70	8,49	160,20
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mg/L	3,30	1,53	73	25,16	0,02	4,78	144,91
CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	0,70	0,70	73	0,70	0,70	0,00	0,00
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	6,51	3,10	73	35,48	0,01	7,06	108,55
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/L	0,00	0,00	73	0,03	0,00	0,00	260,39

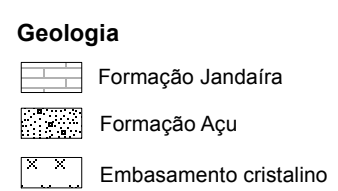
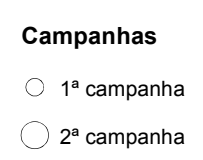
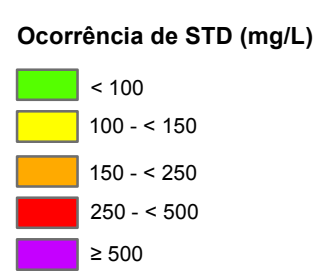
Além de ter havido pouca variação de concentrações entre as duas campanhas, ocorreu que em alguns pontos os íons aumentaram em concentrações da primeira para a segunda campanha, enquanto em outros pontos diminuíram. Nota-se que, a partir destas observações, não é possível afirmar que as águas da primeira campanha apresentam-se mais diluídas em relação à segunda campanha, o que seria esperado do ponto de vista conceitual, considerando que a primeira campanha seria a de um momento de resposta do aquífero pelas recargas do período chuvoso.



N

0 2,5 5 10 km

Projeção Transversal de Mercator  
South American Datum 1969 (SAD69)  
Zona 25 S



Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM



**Figura 8.5. Ocorrência de sólidos totais dissolvidos (STD) na Região Metropolitana de Natal**

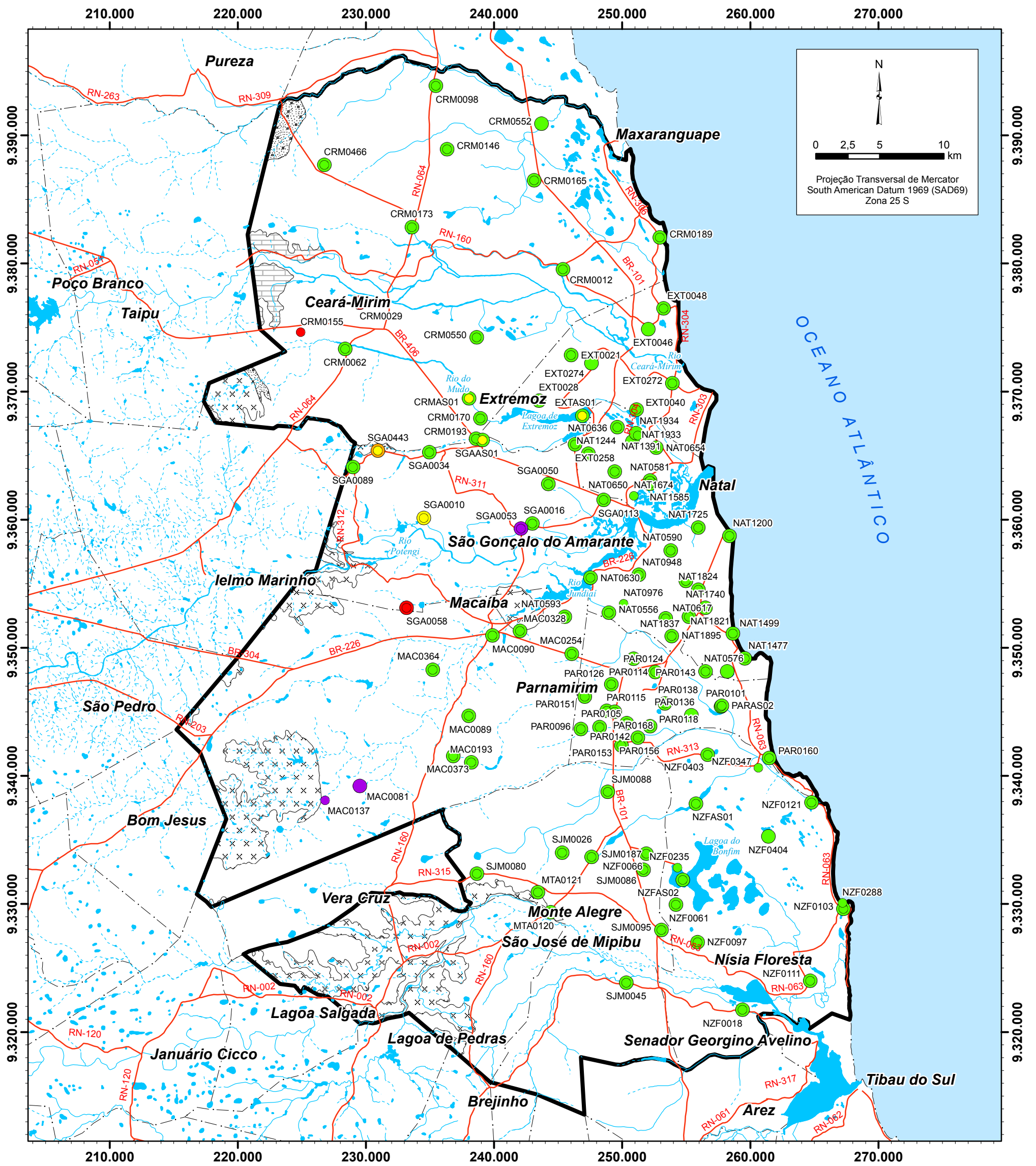
ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL

**ANA** AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

**SEMARH** SECRETARIA DE ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE DE RECURSOS HÍDRICOS

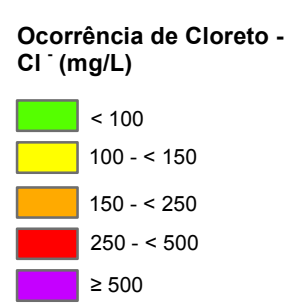
**Servmar** AMBIENTAL & ENGENHARIA





0 2,5 5 10 km

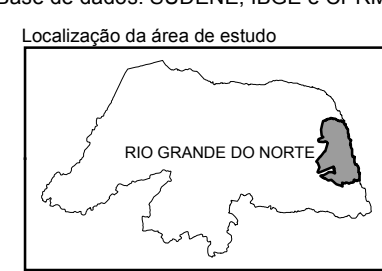
Projeção Transversal de Mercator  
South American Datum 1969 (SAD69)  
Zona 25 S



- Campanhas**
- 1ª campanha
  - 2ª campanha

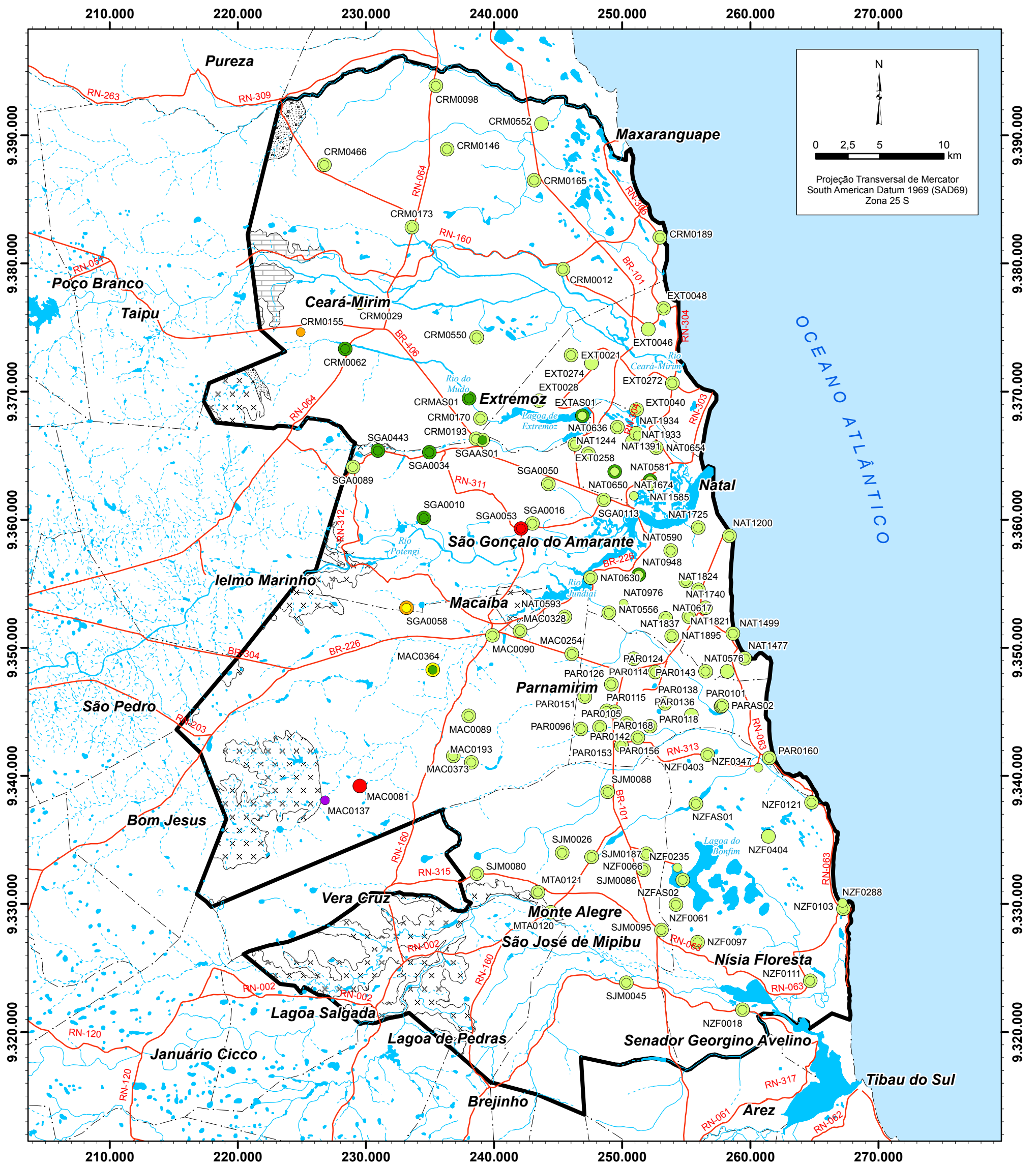
- Convenção Cartográfica**
- Estradas pavimentadas
  - Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
  - Rios intermitentes
  - Rios perenes
  - Limites municipais
  - Área de estudo

- Geologia**
- Formação Jandaíra
  - Formação Açú
  - Embasamento cristalino



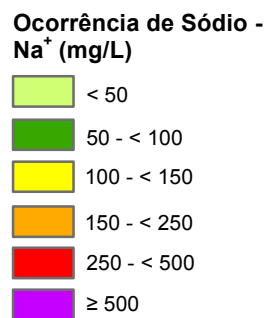
**Figura 8.6. Ocorrência de cloreto (Cl<sup>-</sup>) na Região Metropolitana de Natal**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL



0 2,5 5 10 km

Projeção Transversal de Mercator  
South American Datum 1969 (SAD69)  
Zona 25 S



- Campanhas**
- 1ª campanha
  - 2ª campanha

- Convenção Cartográfica**
- Estradas pavimentadas
  - Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
  - Rios intermitentes
  - Rios perenes
  - Limites municipais
  - Área de estudo

- Geologia**
- Formação Jandaíra
  - Formação Açú
  - Embasamento cristalino

Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM

Localização da área de estudo



**Figura 8.7. Ocorrência de sódio (Na<sup>+</sup>) na Região Metropolitana de Natal**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL





## Avaliação global de águas superficiais na RMN

Com base nos dados da 1ª. campanha, pelo tratamento estatístico apresentado na **Tabela 8.11** pôde-se observar as seguintes características para as águas superficiais:

<b>Tabela 8.11. Estatísticas dos parâmetros hidroquímicos nas amostras de águas superficiais - 1ª Campanha</b>								
Parâmetro	unidade	média	mediana	contagem	máximo	mínimo	desvio padrão	Variação (%)
Temperatura	°C	29,79	29,49	9	32,93	28,07	1,38	4,63
pH		6,08	6,35	9	8,18	4,35	1,13	18,57
CE	µS/cm	291,00	286,00	9	600,00	82,00	190,25	65,38
Dureza	mg/L	46,47	21,13	9	119,53	10,71	41,27	88,82
STD	mg/L	141,27	122,95	9	293,45	38,32	94,30	66,75
Na <sup>+</sup>	mg/L	33,47	42,51	9	59,01	6,55	20,45	61,10
K <sup>+</sup>	mg/L	2,81	2,44	9	5,84	1,60	1,25	44,71
Ca <sup>+2</sup>	mg/L	7,30	3,45	9	21,96	1,27	7,90	108,20
Mg <sup>+2</sup>	mg/L	6,72	2,94	9	15,71	1,56	5,48	81,55
Fe <sup>+3</sup>	mg/L	0,48	0,13	9	2,67	0,01	0,86	179,73
Cl <sup>-</sup>	mg/L	51,07	54,97	9	98,58	9,12	33,26	65,13
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	28,81	8,00	9	92,51	0,17	36,12	125,35
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mg/L	2,81	1,17	9	12,41	0,64	3,95	140,59
CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	0,10	0,10	9	0,10	0,10	0,00	0,00
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	1,38	0,07	9	8,20	0,02	2,69	195,21
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/L	0,03	0,02	9	0,07	0,02	0,02	60,83
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/L	0,02	0,01	9	0,09	0,01	0,03	158,24

Num universo de 9 amostras o pH variou entre 4,35 e 8,18, com valor médio e mediana bastante próximos, respectivamente de 6,08 e 6,35. Portanto com coeficiente de variação pequeno, da ordem de 18%.

A CE obtida em campo variou de 82,00 µS/cm a 190,25 µS/cm, com coeficiente de variação de 65%. A média e a mediana são respectivamente 291,00 µS/cm e 286,00 µS/cm. Os sólidos totais dissolvidos (STD) obtidos em laboratório pela soma dos cátions e ânions também apresentam uma dispersão nos valores, com um coeficiente de variação da ordem de 67 %. Os valores mínimos e máximos foram de 38,32 mg/L e 293,45 mg/L, respectivamente, com média de 141,27 mg/L e mediana de 122,95 mg/L.

O coeficiente de dispersão da dureza obtido foi da ordem de 87 %. A dureza variou de 10,71 a 119,53 mg/L CaCO<sub>3</sub>, com média 46,47 mg/L de CaCO<sub>3</sub> e mediana de 21,13 mg/L de CaCO<sub>3</sub>, respectivamente.

O teor de cálcio variou de 1,27 mg/L a 21,96 mg/L, com média de 7,30 mg/L e mediana de 3,45 mg/L. O íon magnésio varia de 1,56 mg/L a 15,71 mg/L, com média de 6,72 mg/L e mediana de 2,94 mg/L.

O sódio variou de 6,55 mg/L a 59,01 mg/L, com média de 33,47mg/L, mediana de 42,51 mg/L. O coeficiente de variação foi de 61%. O potássio variou de 1,60 mg/L a 5,84 mg/L, com média de 2,81 mg/L, mediana de 2,44 mg/L. O coeficiente de variação é de 45%.

Os ânions cloreto e sulfato apresentaram dispersão de valores, com coeficiente de variação de 65% e 141%, respectivamente. O cloreto apresenta um valor mínimo de 9,12 mg/L e máximo de 98,58 mg/L, com média de 51,07mg/L, mediana de 54,97 mg/L. O sulfato variou de 0,64 a 12,41 mg/L, com média de 2,81 mg/L e mediana de 1,17 mg/L.

O bicarbonato apresenta um coeficiente de variação de 125%. Seus teores variam de 0,17 a 92,58 mg/L, com média de 28,81 mg/L e mediana de 8,00 mg/L. O nitrato apresenta elevada dispersão nos valores, com coeficiente de variação da ordem de 195%. Os teores de nitrato encontrados nas águas superficiais variam entre 0,02 e 8,20 mg/L N, com uma média de 1,38 mg/L, a mediana é 0,07 mg/L. Os íons amônio, nitrito e ferro apresentam, na maioria dos resultados, teores inferiores ao limite de detecção.

Com base nos parâmetros acima descritos, à exceção do nitrogênio-nitrato, pôde-se observar que, invariavelmente, as concentrações destes parâmetros são maiores nas águas superficiais do que nas águas do aquífero Barreiras. Esta observação é válida tanto para valores médios quanto para mínimos e máximos. Isso se deve, provavelmente, a três fatores preponderantes: ao fato de que os corpos superficiais são áreas de descarga dos aquíferos, recebendo águas mais salinizadas; a eventuais contribuições de outros aquíferos para as águas superficiais e a evaporação de águas, tornando-as mais salinizadas, no caso das lagoas.

A **Tabela 8.12** apresenta o tratamento estatístico dos dados da 2<sup>a</sup>. campanha, para as águas superficiais. Pelo apresentado, pôde-se observar que, levando-se em conta alguns dos principais parâmetros para uma comparação da 1<sup>a</sup>. campanha e 2<sup>a</sup>. campanha, as alterações de concentrações, observando-se médias, mínimas e máximas demonstraram variações pequenas, que não alteram significativamente a caracterização das águas superficiais anteriormente descrita utilizando os dados da 1<sup>a</sup>. campanha. Entretanto é evidente que o coeficiente de variação dos parâmetros químicos analisados nas águas superficiais é maior, comparado ao do aquífero Barreiras.



**Tabela 8.12. Estatísticas dos parâmetros hidroquímicos nas amostras de águas superficiais - 2ª Campanha**

Parâmetro	unidade	média	mediana	contagem	máximo	mínimo	desvio padrão	Variação (%)
Temperatura	°C	29,65	29,71	9	32,16	27,51	1,25	4,21
pH		6,71	6,64	9	7,92	5,21	0,92	13,67
CE	µS/cm	274,22	185,00	9	756,00	39,00	237,23	86,51
Dureza	mg/L	45,81	15,64	9	167,18	3,49	55,48	121,11
STD	mg/L	149,44	120,10	9	342,48	25,82	108,08	72,23
Na <sup>+</sup>	mg/L	29,40	30,02	9	54,98	2,94	20,30	69,05
K <sup>+</sup>	mg/L	4,36	3,04	9	9,55	0,34	3,24	74,36
Ca <sup>+2</sup>	mg/L	6,90	1,29	9	31,54	0,53	10,14	146,82
Mg <sup>+2</sup>	mg/L	7,84	3,36	9	21,47	1,25	6,95	88,65
Fe <sup>+3</sup>	mg/L	0,15	0,07	9	0,64	0,01	0,21	134,89
Cl <sup>-</sup>	mg/L	63,46	67,27	9	139,97	7,14	46,23	72,85
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	16,44	5,82	9	51,80	0,70	19,10	116,15
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mg/L	4,52	1,81	9	15,00	0,56	5,17	114,34
CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	1,85	0,70	9	11,07	0,70	3,46	186,62
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	1,20	0,01	9	7,75	0,01	2,54	212,40
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/L	0,01	0,00	9	0,04	0,00	0,01	241,30
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/L	0,29	0,01	9	1,29	0,01	0,45	153,14

### Avaliação global de águas subterrâneas na RMN, exceto SAB

Com base nos dados da 1ª. campanha, a **Tabela 8.13.** apresenta, resumidamente alguns dos principais parâmetros para os demais aquíferos, representados por: Açú, Cristalino, Rochas Carbonáticas e aquíferos mistos. Pôde-se observar que à exceção do nitrogênio-nitrato, invariavelmente, as concentrações destes parâmetros são bem maiores do que nas águas do aquífero Barreiras, inclusive para os aquíferos de águas mistas. Destaca-se, entretanto, uma qualidade superior das águas do aquífero Açú em relação às águas do Cristalino e das Rochas Carbonáticas.

**Tabela 8.13. Resultados dos principais parâmetros em aquíferos Mistos, Rochas Carbonáticas, Açú e Cristalino - 1ª Campanha**

Aquífero	ID	pH	CE	STD	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
			μS/cm	mg/L				
Açú	SGA0034	7,1	365	152	63,89	58,12	17,71	0,76
Cristalino	MAC0081	6,2	6.078	2.971	426,80	2.196,01	130,76	1,47
Rochas Carbonáticas	CRM0029	7,3	1.806	590	146,60	283,94	200,08	10,37
Rochas Carbonáticas	CRM0062	8,1	492	152	92,47	37,13	142,32	0,02
Barreiras / Rochas Carbonáticas	CRM0170	6,4	158	56	15,41	19,30	34,45	0,93
Barreiras / Rochas Carbonáticas	MAC0090	6,7	686	233	38,88	73,41	152,06	4,52
Barreiras / Rochas Carbonáticas	NAT1740	5,3	124	31	10,44	12,52	6,89	4,89
Barreiras / Rochas Carbonáticas	SGA0113	4,6	247	160	48,46	60,79	2,36	18,52
Barreiras/ Rochas Carbonáticas	CRM0193	7,8	517	190	42,72	60,88	142,06	3,29
Barreiras/Rochas Carbonáticas	SJM0026	5,3	81	21	10,66	15,27	4,00	0,21
Barreiras/ Rochas Carbonáticas	SGA0053	7,3	2.612	1.206	347,20	645,64	202,08	0,22
Barreiras/Cristalino	MAC0364	7,2	972	215	107,40	63,34	150,06	0,05

## 8.5 Análise hidrogeoquímica

Será avaliado nesta parte do trabalho o comportamento hidrogeoquímico das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Barreiras, procurando diagnosticar sobre a origem e mecanismos da salinização das águas. Nestas condições, os fatores geo-estruturais, climáticos e hidrogeológicos propriamente ditos (notadamente no que diz respeito à direção e regime do fluxo subterrâneo), serão considerados como fundamentais. A caracterização hidrogeoquímica dos demais aquíferos e as águas superficiais serão consideradas de forma simplificada.

### 8.5.1 Correlação entre parâmetros hidroquímicos do aquífero Barreiras

A **Tabela 8.14** apresenta a matriz de coeficientes de correlação entre parâmetros hidroquímicos das águas subterrâneas do SAB, que incluem condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, dureza e pH, além dos cátions e ânions principais. As faixas de variação de correlação com a identificação da respectiva “correlação” são apresentadas na **Tabela 8.15**. A **Figura 8.8** ilustra através de gráficos as correlações obtidas.

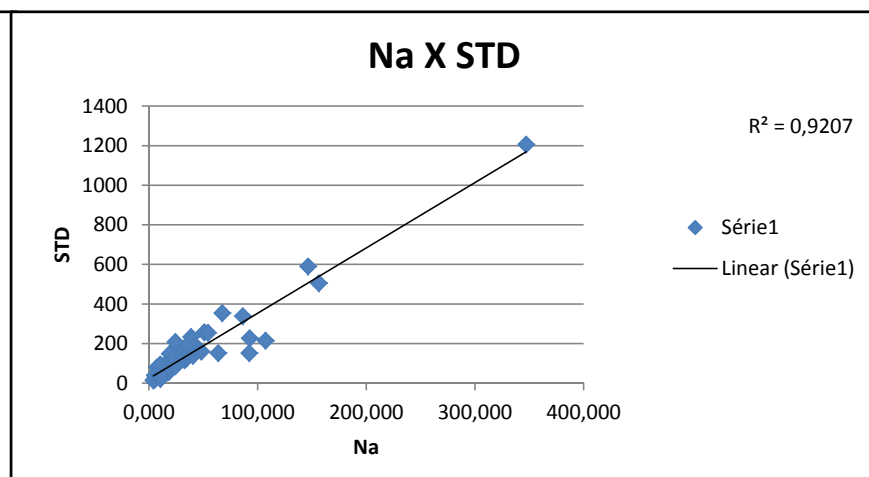
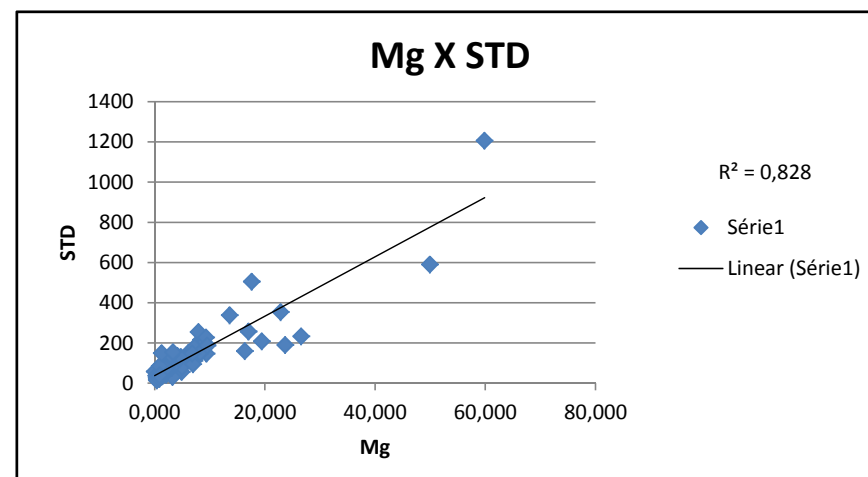
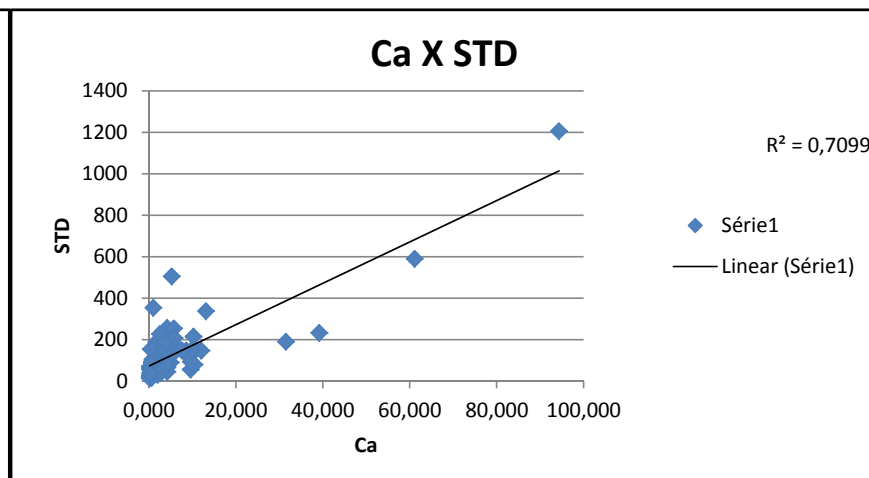
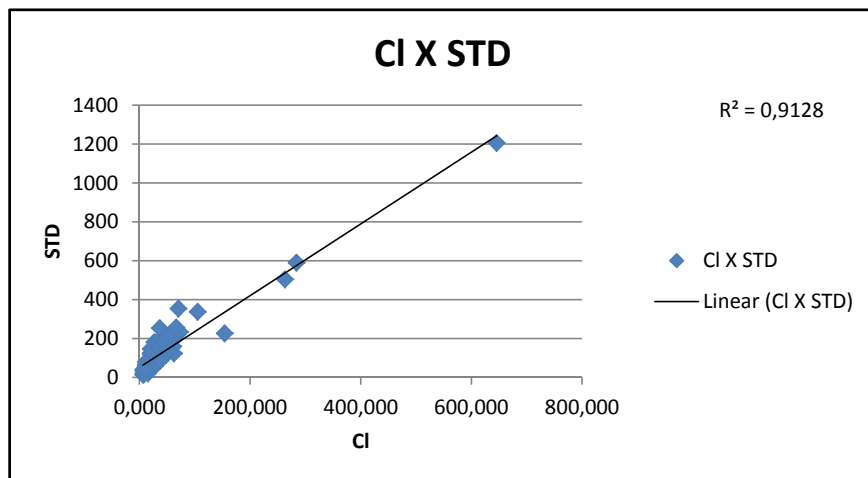
A condutividade elétrica é em geral o parâmetro utilizado na análise da salinidade das águas, tanto pelas facilidades de medição como principalmente pela elevada correlação que o mesmo apresenta com os sólidos totais dissolvidos. Na área de estudo a correlação é perfeita, atingindo 97%.

Entre os íons, o ânion cloreto, e os cátions, magnésio, sódio e cálcio, são os que apresentam maior correlação com os STD, cujos coeficientes de correlação são de 91%, 82%, 92% e 70%, respectivamente. A correlação nestes casos é fortíssima - forte. Este comportamento é característico de águas que foram afetadas por processos de evaporação. Entre esses íons, o cálcio é o que apresenta menor correlação com os sólidos totais dissolvidos, provavelmente devido a maior susceptibilidade do cálcio em precipitar.

O potássio apresenta correlação forte de 84%. O sulfato e bicarbonato apresentaram uma correlação média com os sólidos totais dissolvidos, da ordem de 37% e 57%. A correlação com o ânion nitrato é fraca (3%), a correlação com o pH é de fraca a média (26%).

Tabela 8.14. Coeficiente correlação																
	Ca <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>+2</sup>	Al <sup>+</sup>	Fe <sup>+2</sup>	Mn <sup>+</sup>	F <sup>-</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	pH	CE	STD
Ca <sup>+2</sup>	1.00	0.89	0.83	0.94	0.96	0.63	0.40	-0.04	0.04	-0.01	0.09	-0.06	0.00	0.35	0.93	0.70
Na <sup>+</sup>		1.00	0.84	0.81	0.88	0.64	0.62	0.10	0.03	-0.05	0.24	0.05	0.02	0.28	0.90	0.92
K <sup>+</sup>			1.00	0.78	0.83	0.52	0.44	-0.03	-0.05	-0.03	0.16	-0.01	-0.03	0.28	0.85	0.84
Mg <sup>+2</sup>				1.00	0.98	0.41	0.15	0.03	0.01	-0.02	0.01	0.01	0.03	0.16	0.94	0.82
Cl <sup>-</sup>					1.00	0.43	0.28	0.02	0.00	-0.02	0.03	-0.04	-0.01	0.17	0.97	0.91
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>						1.00	0.57	-0.11	0.17	0.02	0.48	-0.20	0.10	0.75	0.48	0.57
SO <sub>4</sub> <sup>+2</sup>							1.00	-0.03	-0.04	-0.02	0.27	-0.08	0.12	0.33	0.38	0.37
Al <sup>+</sup>								1.00	0.13	-0.03	-0.04	0.39	0.01	-0.23	0.06	0.04
Fe <sup>+2</sup>									1.00	-0.01	-0.02	-0.09	-0.02	0.12	-0.03	0.02
Mn <sup>+</sup>										1.00	0.00	-0.08	-0.01	0.14	-0.03	0.08
F <sup>-</sup>											1.00	-0.14	-0.03	0.48	0.10	0.10
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>												1.00	0.07	-0.44	0.02	0.02
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>													1.00	0.03	0.04	0.03
pH														1.00	0.21	0.26
CE															1.00	0.97
STD																1.00

Tabela 8.15. Coeficiente de variação (r) e os respectivos graus de correlação	
Valor de "r <sub>x,y</sub> "	Correlação
0	nula
0 - 0.3	fraca
0.3 - 0.6	média
0.6 - 0.9	forte
0.9 - 0.99	fortíssima
1	perfeita



**Figura 8.8 Correlação de STD X íons**

### 8.5.2 Variações hidrogeoquímicas e suas condicionantes

As bacias hidrográficas da RMN, formadas pelos rios Maxaranguape, Ceará Mirim, Doce, Potengi, Pirangi e Trairi mostram certa independência do ponto de vista da hidrogeoquímica. Porém, em geral, os mecanismos que regem o comportamento hidroquímico em toda à RMN se aplicam, individualmente, a todas estas bacias.

#### Comportamento observado quanto à salinização das águas

Os sólidos totais dissolvidos (STD) expressam a salinidade das águas, de forma que este parâmetro é tomado como referência na avaliação do comportamento hidrogeoquímico.

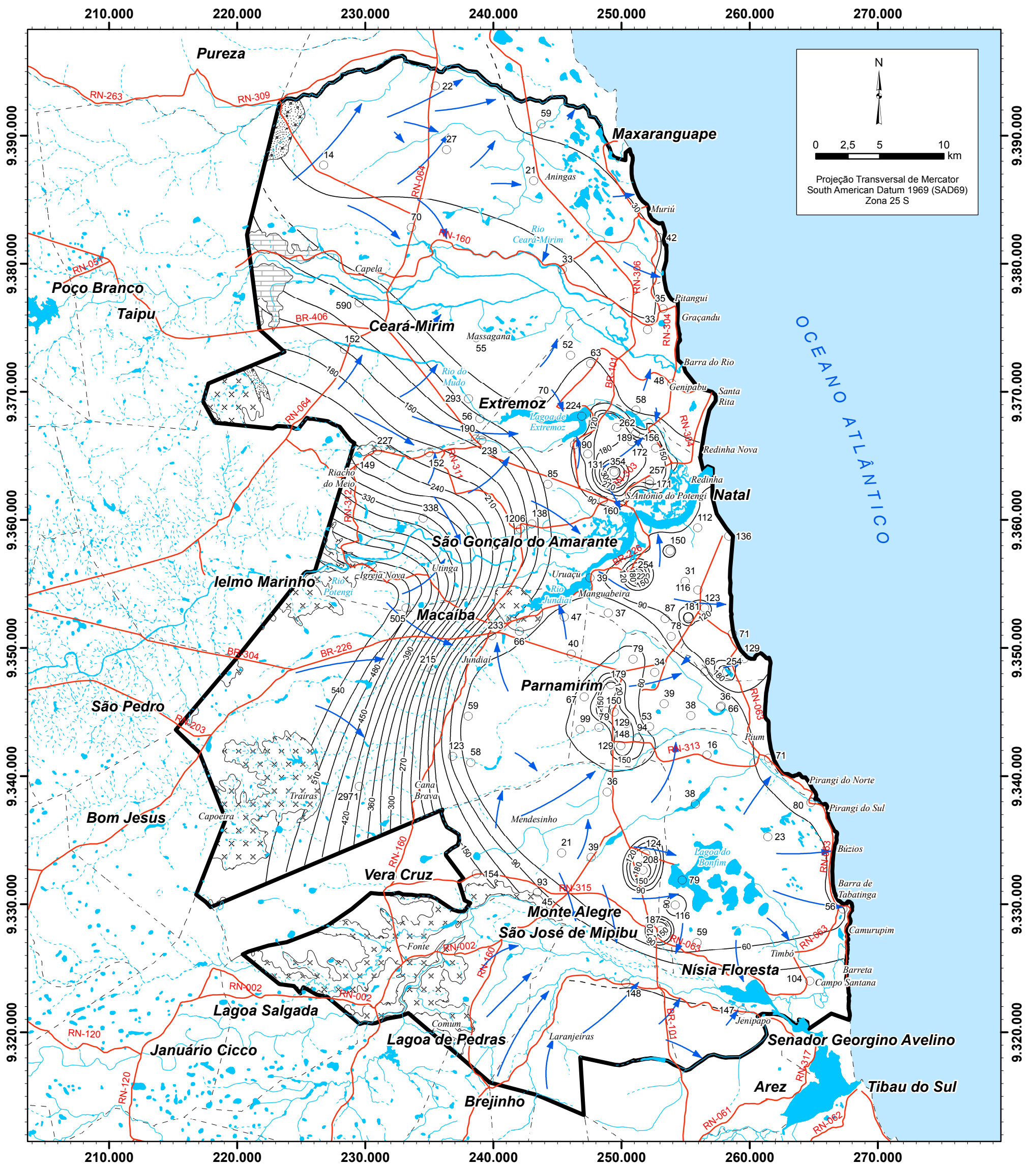
Em teoria, a tendência é a salinização das águas aumentar na direção do fluxo subterrâneo devido ao contato íntimo e prolongado das águas com os sedimentos. Embora este conceito se aplique em termos de evolução da qualidade química da água, às águas do aquífero Barreiras na RMN, há outras condicionantes que preponderam na configuração espacial da qualidade química da água e definem suas variações hidrogeoquímicas. Este tema é tratado nos itens seguintes.

A distribuição das concentrações de STD na área pode ser observada na **Figura 8.9**. A partir desta figura, nota-se que as águas mais salinizadas, ou seja, com maiores valores de STD, ocorrem, no geral, nas porções oeste da RMN, principalmente nos municípios de Macaíba, São Gonçalo do Amarante e Ceará-Mirim, denotando uma divisão evidente de águas com maiores valores de STD, superiores a 150 mg/L, no setor oeste, e águas com menores STD, inferiores a 150 mg/L, no setor leste da RMN. Esta divisão geral é contrariada em locais onde o efluente doméstico representa um impacto significativo sobre a qualidade das águas subterrâneas, que correspondem a amplas áreas dos municípios de Natal e Parnamirim, bem como em áreas menores dos municípios de São José do Mipibu, São Gonçalo do Amarante e Ceará-Mirim.

Considerando somente as áreas do setor leste da RMN, com valores de STD inferiores a 150 mg/L, desconsiderando-se as zonas impactadas por efluentes domésticos, é possível observar que há tendências de ocorrência de valores de STD relativamente maiores nas principais áreas de descarga, ou seja, mais próximas à linha de costa e no entorno das principais drenagens.

A condutividade elétrica (CE) demonstrou uma configuração, **Figura 8.10**, similar à do STD, o que era esperável, uma vez que o índice de correlação entre estes parâmetro foi de 0,97, como demonstrado na **Tabela 8.14**.





N

0 2,5 5 10  
km

Projeção Transversal de Mercator  
South American Datum 1969 (SAD69)  
Zona 25 S

**Convenção Cartográfica**

- Estradas pavimentadas
- Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Limites municipais
- Área de estudo
- Linhas de isotores
- Direção do fluxo subterrâneo
- Servmar 1ª campanha (Out/Nov 2011)

**Geologia**

- Formação Jandaíra
- Formação Açú
- Embasamento cristalino

Localização da área de estudo

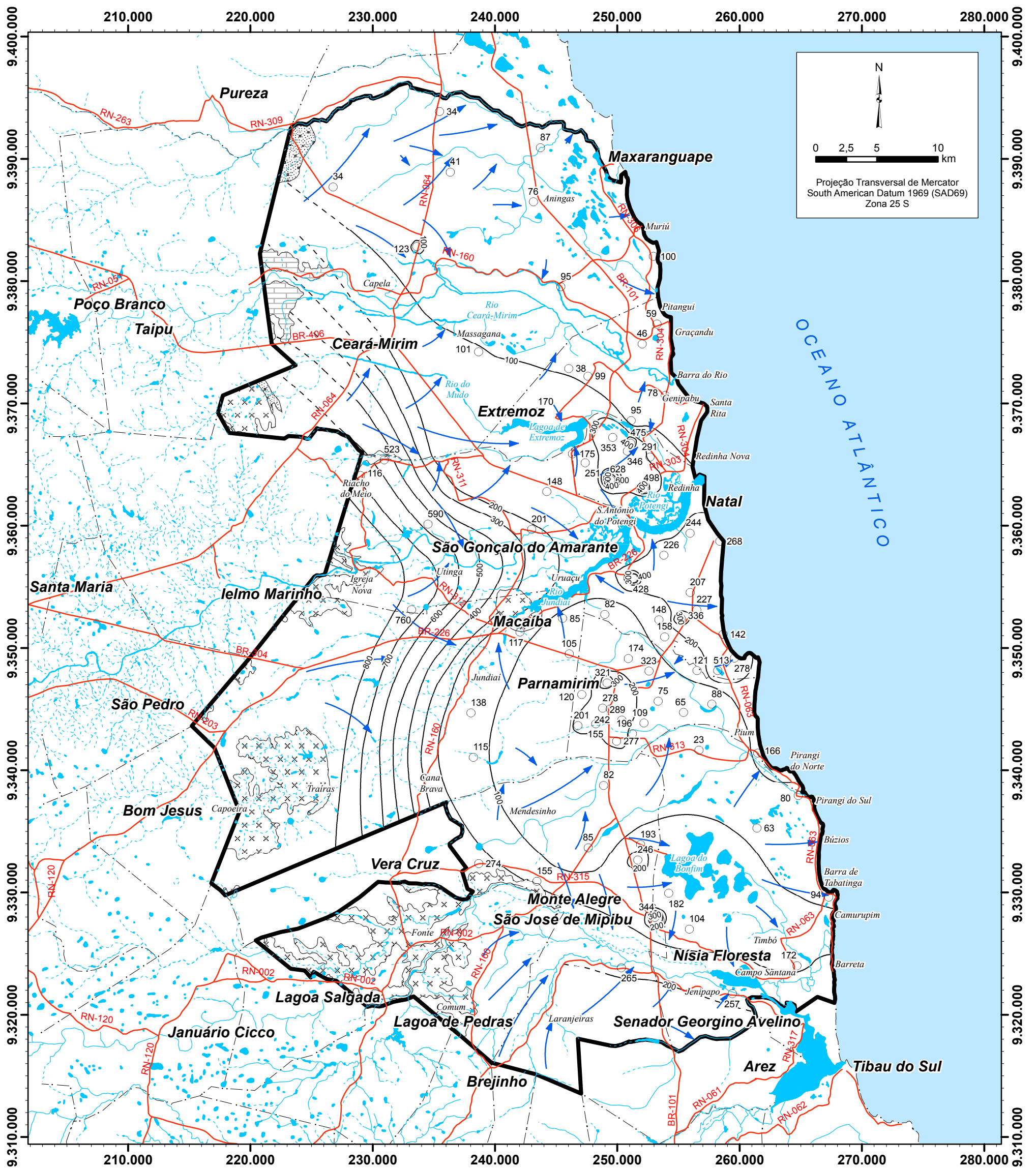


**Figura 8.9. Isoetes de sólidos totais dissolvidos (mg/L) na Região Metropolitana de Natal - 1ª Campanha**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL







N

0 2,5 5 10 km

Projeção Transversal de Mercator  
South American Datum 1969 (SAD69)  
Zona 25 S

Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM

**Convenção Cartográfica**

- Estradas pavimentadas
- Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Limites municipais
- Área de estudo
- Linhas de isovalores
- Direção do fluxo subterrâneo
- Servmar 1ª campanha (Out/Nov 2011)

**Geologia**

- Formação Jandaíra
- Formação Açú
- Embasamento cristalino

**Localização da área de estudo**



**Figura 8.10. Isovalores de condutividade elétrica (µS/cm) na Região Metropolitana de Natal - 1ª Campanha**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL



### Comportamento observado quanto aos íons dissolvidos

Os comportamentos observados para os principais íons dissolvidos (cloreto, sódio, potássio, cálcio, magnésio, sulfato e bicarbonato) quanto às modificações hidrogeoquímicas, em termos de distribuição espacial, são, em geral, similares ao apresentado para os sólidos totais dissolvidos. Ou seja, a concentração dos cátions e ânions dissolvidos tende a crescer dos tabuleiros em direção aos vales (**Figuras 8.11 a 8.17**). Os casos anômalos, em geral, são atribuídos a valores alterados devidos, provavelmente, à disposição local de efluentes domésticos.

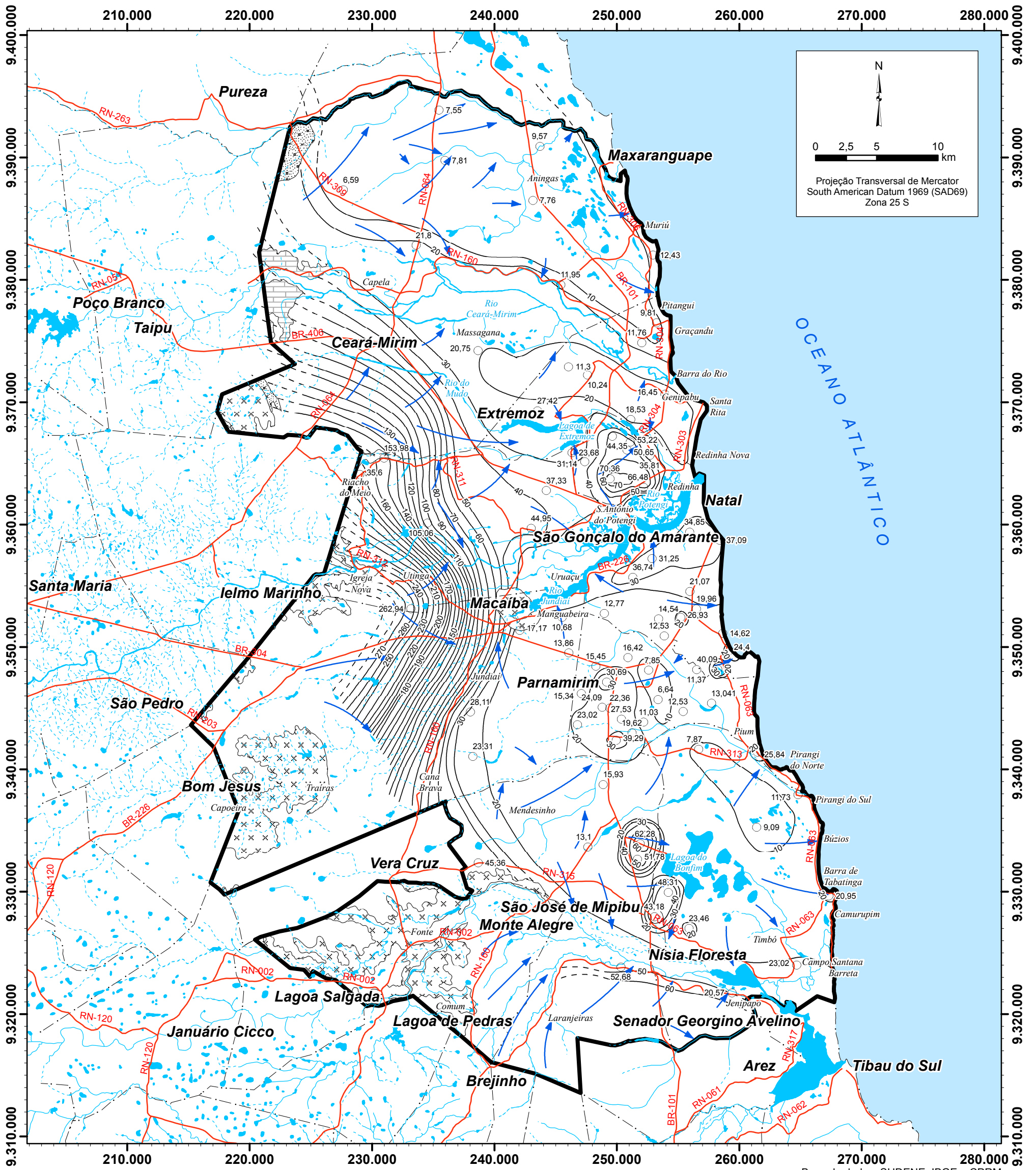
O sódio, o cloreto, o potássio e o magnésio demonstram uma configuração muito similar à dos STD.

As mais altas concentrações de cálcio, determinantes na configuração das isoconcentrações são, notadamente, definidas pela contaminação por efluentes domésticos.

O bicarbonato apresenta uma configuração mais variável em relação aos demais íons e isto pode estar associado às condições locais específicas, aparentemente definidas por condicionantes hidrogeológicas naturais.

O sulfato apresenta uma configuração que denota menor interferência pela contaminação por efluentes domésticos.





Projeção Transversal de Mercator  
South American Datum 1969 (SAD69)  
Zona 25 S

Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM

**Convenção Cartográfica**

- Estradas pavimentadas
- Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Limites municipais
- Área de estudo
- Linhas de isoteores
- Direção do fluxo subterrâneo
- Servmar 1ª campanha (Out/Nov 2011)

**Geologia**

- Formação Jandaíra
- Formação Açú
- Embasamento cristalino



**Figura 8.11. Isoetes de cloreto - Cl<sup>-</sup> (mg/L) na Região Metropolitana de Natal - 1ª Campanha**

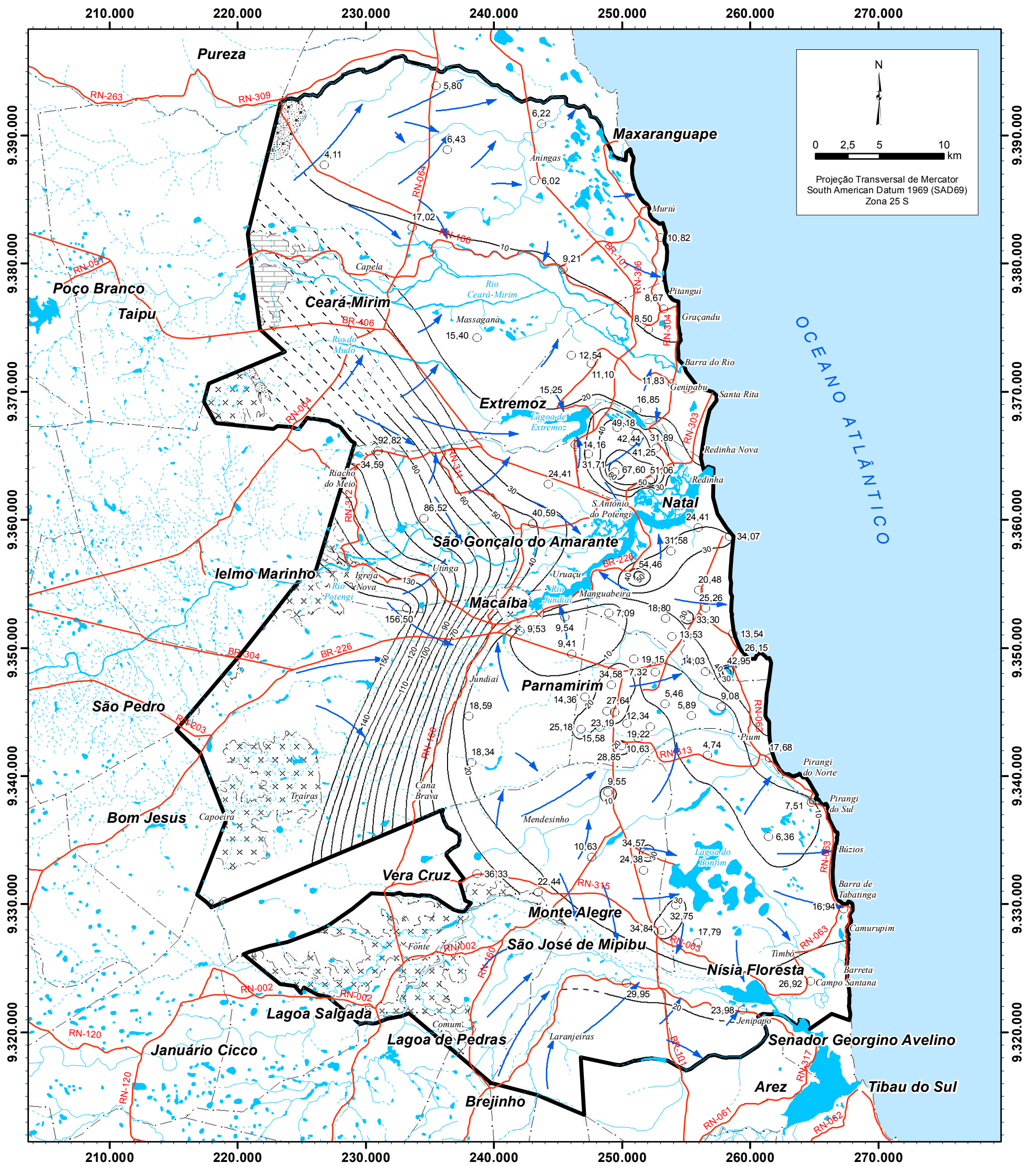
ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL





Abril de 2012





N

0 2,5 5 10 km

Projeção Transversal de Mercator  
South American Datum 1969 (SAD69)  
Zona 25 S

**Convenção Cartográfica**

- Estradas pavimentadas
- Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Limites municipais
- Área de estudo
- Linhas de isoteores
- Direção do fluxo subterrâneo
- Servmar 1ª campanha (Out/Nov 2011)

**Geologia**

- Fm. Jandaíra
- Fm. Açú
- Cristalino

Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM  
Localização da área de estudo



**Figura 8.12. Isoteores de sódio - Na<sup>+</sup> (mg/L) na Região Metropolitana de Natal - 1ª Campanha**

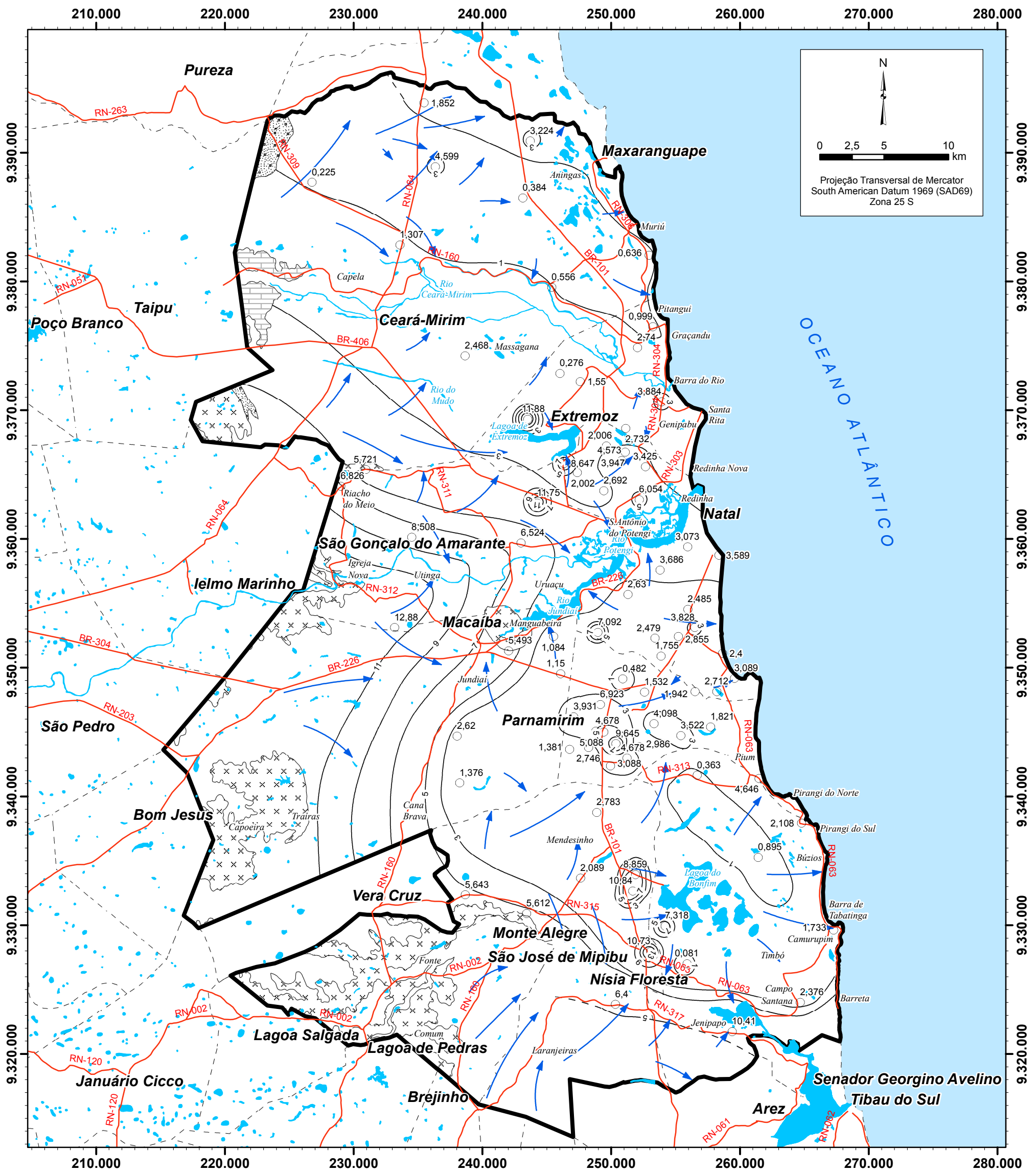
ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL

ANA  
AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

SEMARH  
SECRETARIA DE ESTADO DO AMBIENTE E DO RECURSO HÍDRICO

Servmar  
AMBIENTAL & ENGENHARIA





Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM

**Convenção Cartográfica**

- Estradas pavimentadas
- Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Limites municipais
- Área de estudo
- Linhas de isotores
- Direção do fluxo subterrâneo
- Servmar 1ª campanha (Out/Nov 2011)

**Geologia**

- Formação Jandaíra
- Formação Açú
- Embasamento cristalino

Localização da área de estudo

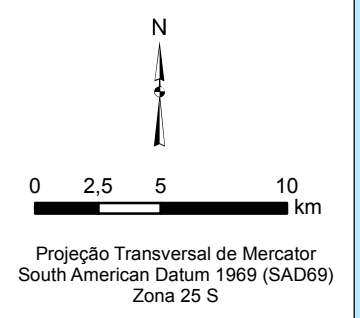
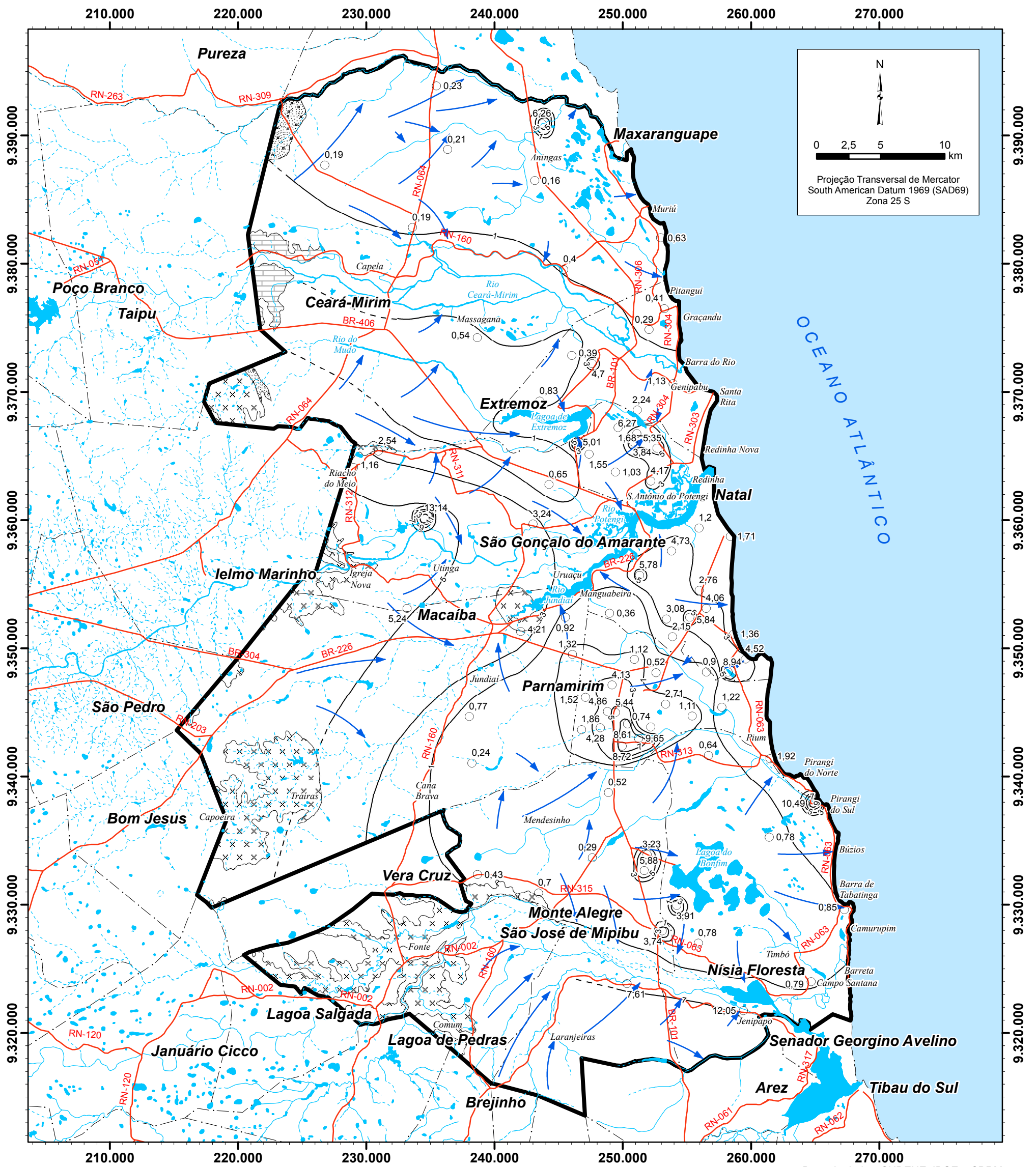


**Figura 8.13. Isotores de potássio - K<sup>+</sup> (mg/L) na Região Metropolitana de Natal - 1ª Campanha**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL







Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM

**Convenção Cartográfica**

- Estradas pavimentadas
- Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Limites municipais
- Área de estudo
- Linhas de isotores
- Direção do fluxo subterrâneo
- Servmar 1ª campanha (Out/Nov 2011)

**Geologia**

- Formação Jandaíra
- Formação Açú
- Embasamento cristalino

**Localização da área de estudo**

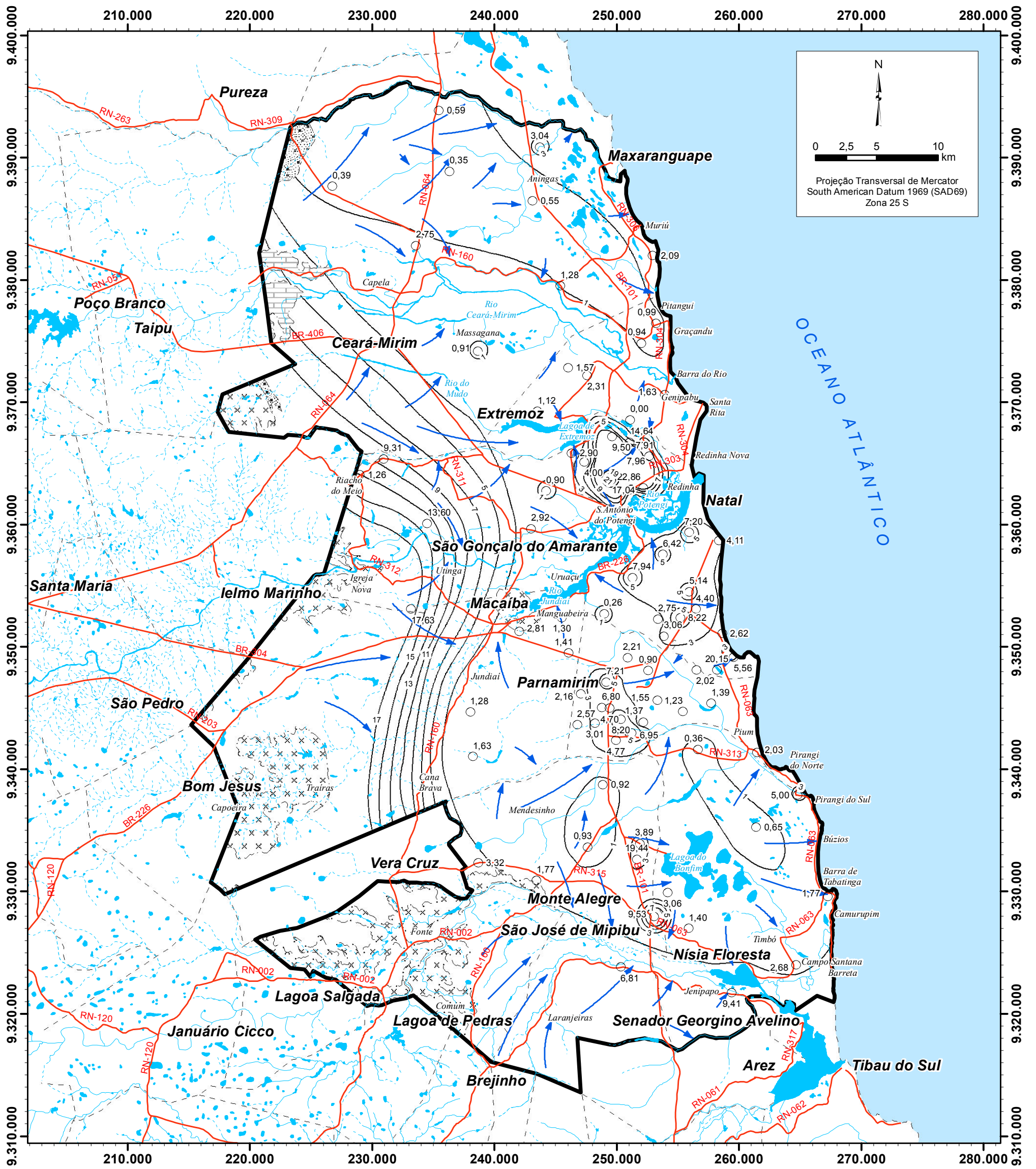


**Figura 8.14. Isotores de cálcio - Ca<sup>2+</sup> (mg/L) na Região Metropolitana de Natal - 1ª Campanha**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL







N

0 2,5 5 10 km

Projeção Transversal de Mercator  
South American Datum 1969 (SAD69)  
Zona 25 S

**Convenção Cartográfica**

- Estradas pavimentadas
- Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Limites municipais
- Área de estudo
- Linhas de isotores
- Direção do fluxo subterrâneo
- Servmar 1ª campanha (Out/Nov 2011)

**Geologia**

- Fm. Jandaíra
- Fm. Açú
- Cristalino

Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM

Localização da área de estudo

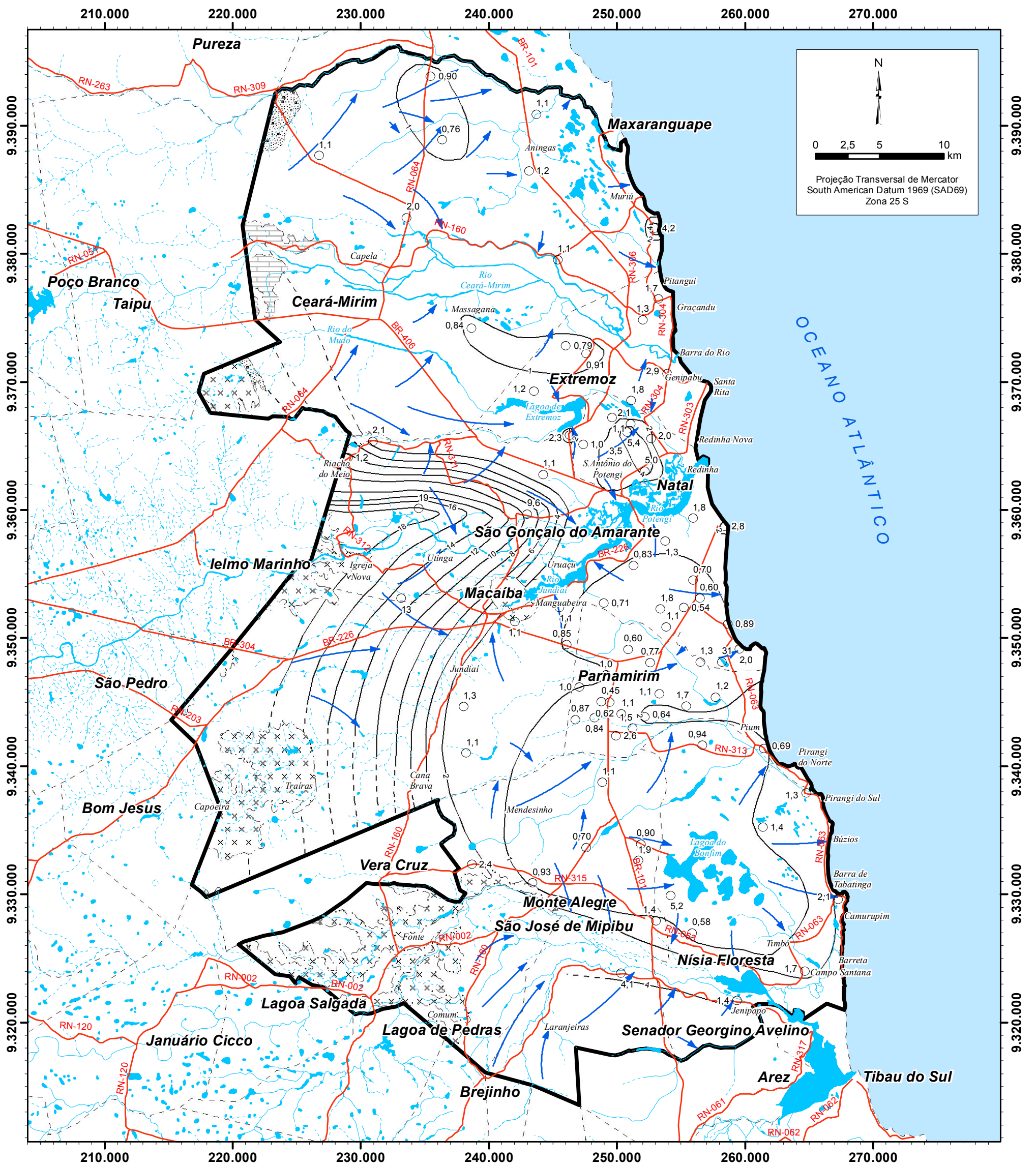


**Figura 8.15. Isotores de magnésio -  $Mg^{+2}$  (mg/L) na Região Metropolitana de Natal - 1ª Campanha**

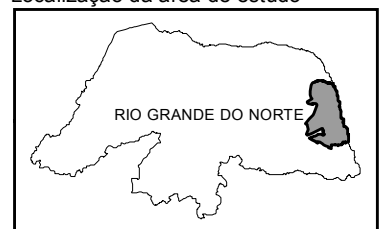
ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL







Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM  
Localização da área de estudo



**Figura 8.16. Isotores de sulfato -  $SO_4^{2-}$  (mg/L) na Região Metropolitana de Natal - 1ª Campanha**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL

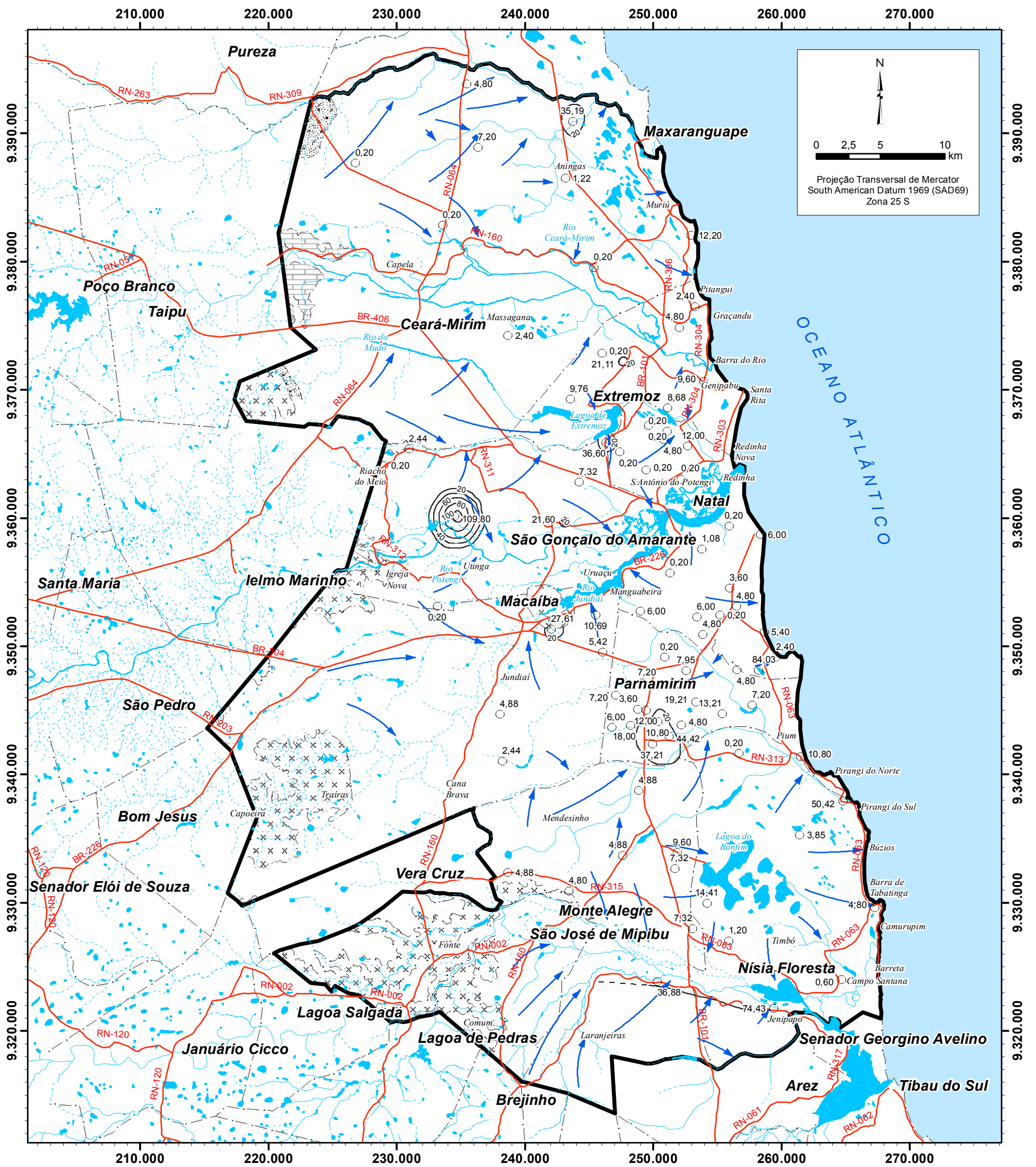
**Convenção Cartográfica**

- Estradas pavimentadas
- Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Limites municipais
- Área de estudo
- Linhas de isotores
- Direção do fluxo subterrâneo
- Servmar 1ª campanha (Out/Nov 2011)

**Geologia**

- Fm. Jandaíra
- Fm. Açú
- Cristalino





N

0 2,5 5 10 km

Projeção Transversal de Mercator  
South American Datum 1969 (SAD69)  
Zona 25 S

**Convenção Cartográfica**

- Estradas pavimentadas
- Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Limites municipais
- Área de estudo
- Linhas de isotoeiros
- Direção do fluxo subterrâneo
- Servmar 1ª campanha (Out/Nov 2011)

**Geologia**

- Fm. Jandaíra
- Fm. Açú
- Cristalino

Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM  
Localização da área de estudo



**Figura 8.17. Isotoeiros de bicarbonato -  $\text{HCO}_3^-$  (mg/L) na Região Metropolitana de Natal - 1ª Campanha**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL

ANA  
AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

SEMARH  
SECRETARIA DE ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE  
SECRETARIA DE AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

Servmar  
AMBIENTAL & ENGENHARIA

### Variações hidrogeoquímicas propiciadas pelo clima

Após observar as configurações dos mapas de concentrações dos íons nas águas do aquífero Barreiras na RMN é possível interpretar e discorrer sobre as principais condicionantes destas variações, afirmando que o comportamento dos íons acerca das origens e mecanismos da salinização destas águas, apresenta uma forte diferenciação na quantidade de íons dada, predominantemente, pelas condições climáticas. Esta característica é evidenciada observando-se o traçado da isoietas de 1000 mm coincidente aproximadamente com as isolinhas de 150 a 250 mg/L de STD, que dividem as águas do Barreiras, caracterizando-as, em geral, como de baixa salinidade a leste. Ou seja, onde ocorrem as menores pluviosidades, ocorrem as menores recargas e, portanto, as menores diluições de águas subterrâneas, resultando numa região com águas naturalmente mais salinizadas.

Cabe considerar que embora se esteja admitindo o clima como fator predominante nestas variações de STD, há também um favorecimento a esta divisão em setores oeste e leste relativo à compartimentação geológica-estrutural, uma vez que o Barreiras tem menores espessuras a oeste, contendo, portanto, menores espessuras saturadas e maior susceptibilidade à evaporação.

### Variações hidrogeoquímicas propiciadas pela contaminação

Tão evidente quanto a característica geral de baixa salinidade das águas do Barreiras no setor leste é a exceção desta característica nas áreas contaminadas por nitrato, ocorrentes em amplas áreas dos municípios de Natal e Parnamirim, bem como em áreas menores dos municípios de São José do Mipibu, São Gonçalo do Amarante e Ceará-Mirim.

A contaminação por nitrato eleva os valores de STD no setor leste da RMN, para acima de 100 mg/L, podendo ultrapassar 350 mg/L e coincide com um aumento relativo nas quantidades da maioria dos íons principais, destacadamente o cálcio, o magnésio e o cloreto.

### Modificações hidrogeoquímicas na direção do fluxo subterrâneo

Em teoria, a tendência é a salinização das águas aumentar na direção do fluxo subterrâneo, devido ao contato íntimo e prolongado das águas com os sedimentos. Nas águas do aquífero Barreiras na RMN esse processo ocorre, mas é mascarado em função de outros fatores, como a ocorrência de maiores recargas do aquífero nos setores leste (montante), favorecendo a ocorrência de



águas menos salinizadas, relativamente, no sentido do fluxo. Ou seja, embora os fluxos das águas sejam caracteristicamente de oeste para leste, as áreas a leste são providas de uma recarga muito maior e acabam apresentando águas mais diluídas.

Entretanto, tendo-se as principais drenagens como áreas de descarga é possível verificar uma tendência de ocorrência de águas relativamente mais salinizadas no entorno das drenagens, desta vez num comportamento concordante com o conceito de que a salinização das águas aumenta na direção do fluxo. A **Figura 8.11**, de isotores de cloreto, apoia esta observação, desde que se desprezem as ocorrências de concentrações mais elevadas decorrentes de contaminações.

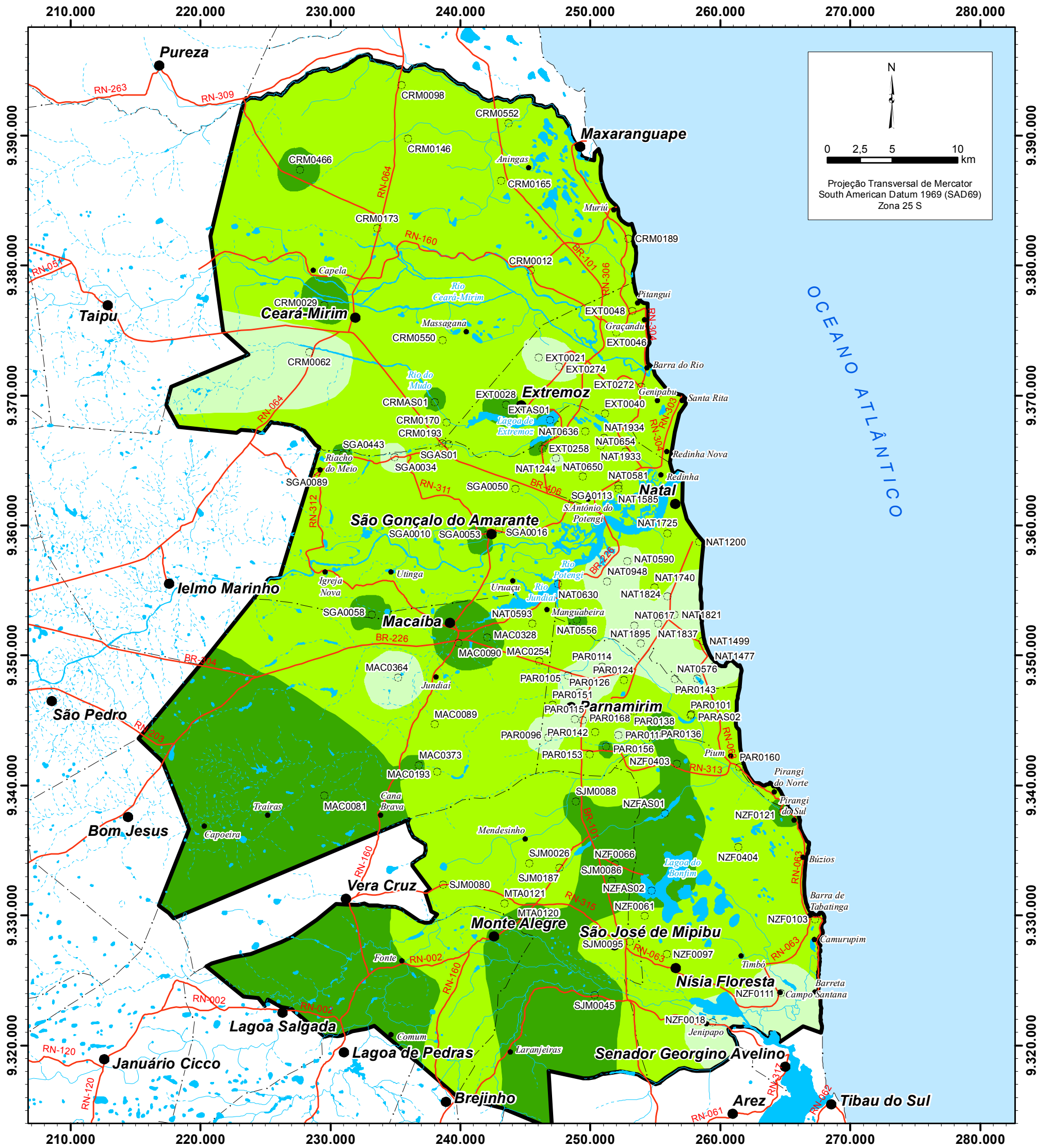
### 8.5.3 Observações acerca de razões iônicas

Para a interpretação analítica de resultados, foram realizados alguns exercícios de observação de resultados hidroquímicos e razões iônicas indicados em Hounslow, 1995, tais como a observação de valores de STD, as razões entre sódio e cloreto e as razões entre bicarbonato e a soma de ânions.

Conforme Hounslow, 1995, os valores de STD, todos abaixo de 500 mg/L, indicam a predominância de ambiente típico de águas provenientes de rochas silicáticas.

A razão entre bicarbonato e a soma de ânions, sendo de valores inferiores a 0,8 em amostras com baixos teores de sulfato, conforme Hounslow, 1995, seriam indicativas de águas de origem marinha. Já no caso das águas do Barreiras na RMN, a ocorrência de amostras com a razão entre bicarbonato e a soma de ânions em valores inferiores a 0,8, deve ser associada à forte influencia marinha, devido ao *spray* marinho que adentra ao continente.

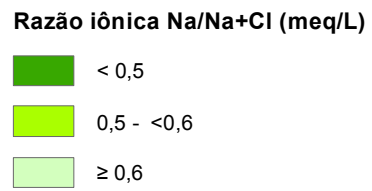
Para a avaliação das proporções de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ , foi elaborado um mapa de isovalores de razão iônica de  $\text{Na}^+$  por  $\text{Cl}^-$ , dada pela equação  $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Cl})$ , em meq/L, apresentado na **Figura 8.18**. Pôde-se observar que as menores proporções de  $\text{Na}^+$  em relação ao  $\text{Cl}^-$  provem das rochas cristalinas, na região sudoeste da área, bem como ocorrem no entorno da lagoa do Bonfim, enquanto que as maiores proporções de  $\text{Na}^+$  em relação ao  $\text{Cl}^-$  ocorreram no município de Natal, em áreas de contaminação por nitrato mais expressivas.



N

0 2,5 5 10 km

Projeção Transversal de Mercator  
South American Datum 1969 (SAD69)  
Zona 25 S



- Convenção Cartográfica**
- Sedes municipais
  - Povoados ou assentamentos
  - Estradas pavimentadas
  - Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
  - Rios intermitentes
  - Rios perenes
  - Limites municipais
  - Área de estudo

Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM  
Localização da área de estudo



**Figura 8.18. Razões iônicas - Na/Na+Cl (meq/L) na Região Metropolitana de Natal**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL



AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS



SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS



AMBIENTAL & ENGENHARIA

#### 8.5.4 Avaliação da qualidade das águas com diagramas de Stiff

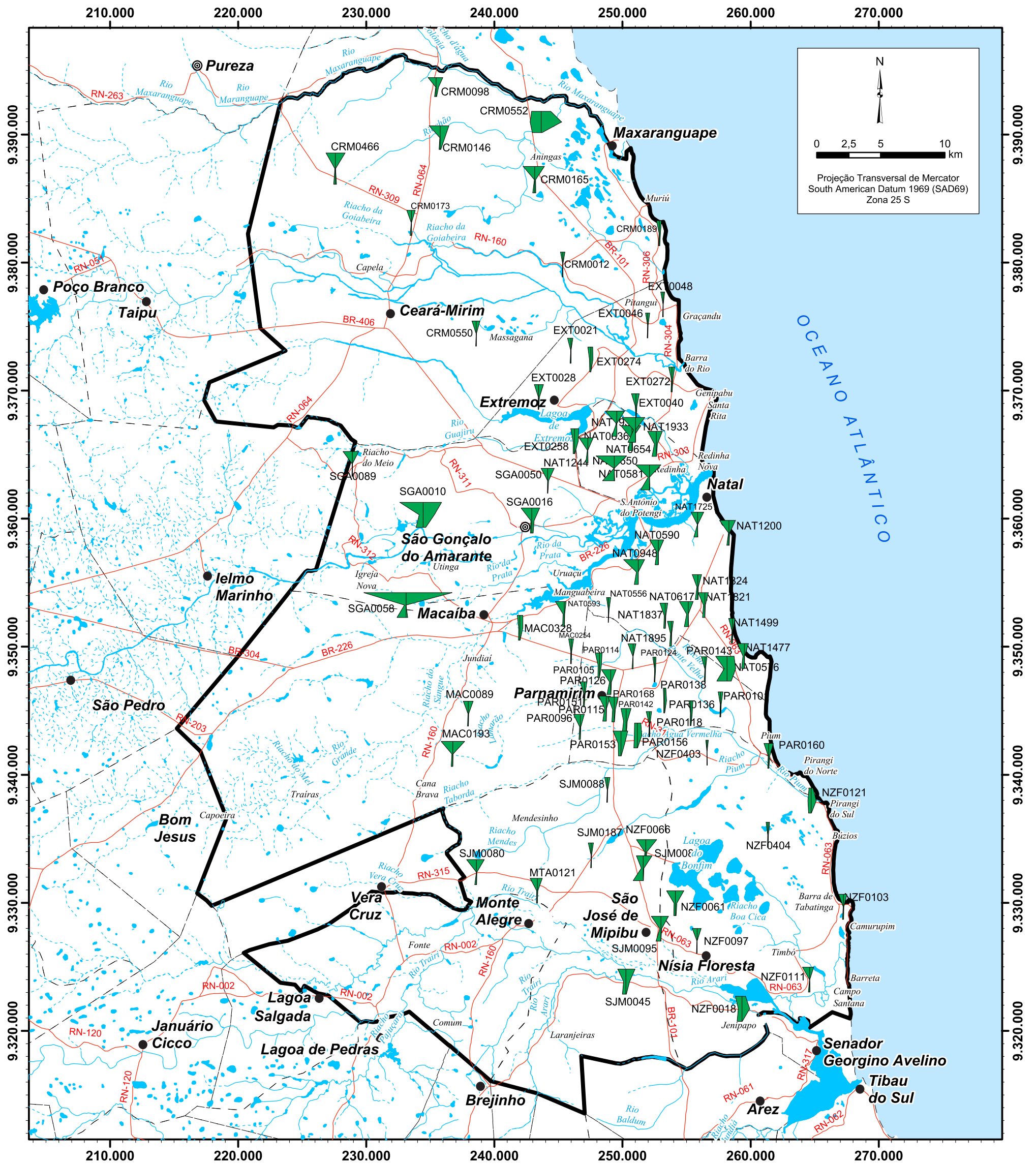
Conforme Zaporozec (1972) a qualidade das águas determinadas por análises químicas pode ser avaliada graficamente por métodos de classificação, analíticos ou de correlação. Para uma avaliação das quantidades relativas de íons, foram elaborados diagramas de Stiff.

A **Figura 8.19** demonstra a distribuição dos diagramas de Stiff, que evidencia tipos de águas predominantemente cloretadas sódicas, ocorrentes por toda a RMN. É possível observar também ocorrências pontuais de águas bicarbonatadas sódicas e neutras (em Nísia Floresta e Macaíba) cloretadas magnesianas (próximas a lagoa do Bonfim), bicarbonatadas magnesianas (em Macaíba e São Gonçalo do Amarante) e bicarbonatadas cálcicas, no setor nordeste de Ceará Mirim.

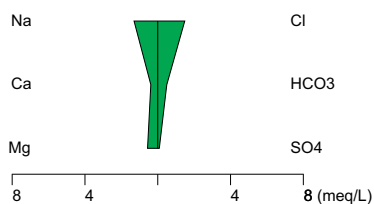
A distribuição dos diagramas de Stiff evidencia também a regionalização de tipos de águas, cloretadas sódicas com altas concentrações de íons no setor oeste da área e baixas concentrações de íons no setor leste da área. Esta configuração reflete os diferentes regimes de circulação de água, nos setores oeste e leste da RMN, sendo que no setor leste há um regime de circulação mais dinâmico decorrente de ser uma área com maiores recargas e mais próximas a linha de costa. Estas observações corroboram com o modelo descrito anteriormente, atribuindo uma predominância da condicionante climática, atreladas à recarga do aquífero, sobre as variações quantitativas dos íons.

É possível observar ainda um lineamento bem demarcado das menores concentrações de íons ocorrente ao longo do riacho Ponte Velha, estendendo-se até o município de Nísia Floresta, numa direção coincidente com os sistemas de falhas NW, característicos dessa região. Isto pode ser um indicativo importante da influência da compartimentação geológica-estrutural nas características hidroquímicas e, portanto, nos regimes de fluxo das águas subterrâneas na RMN.





Representação do Stiff na escala do mapa



**Convenção Cartográfica**

- Sedes municipais
- Estradas pavimentadas
- Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Limites municipais
- ▭ Área de estudo

Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM



**Figura 8.19. Localização dos diagramas de Stiff na Região Metropolitana de Natal**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL



### 8.5.5 Avaliação da qualidade das águas com diagramas de Piper

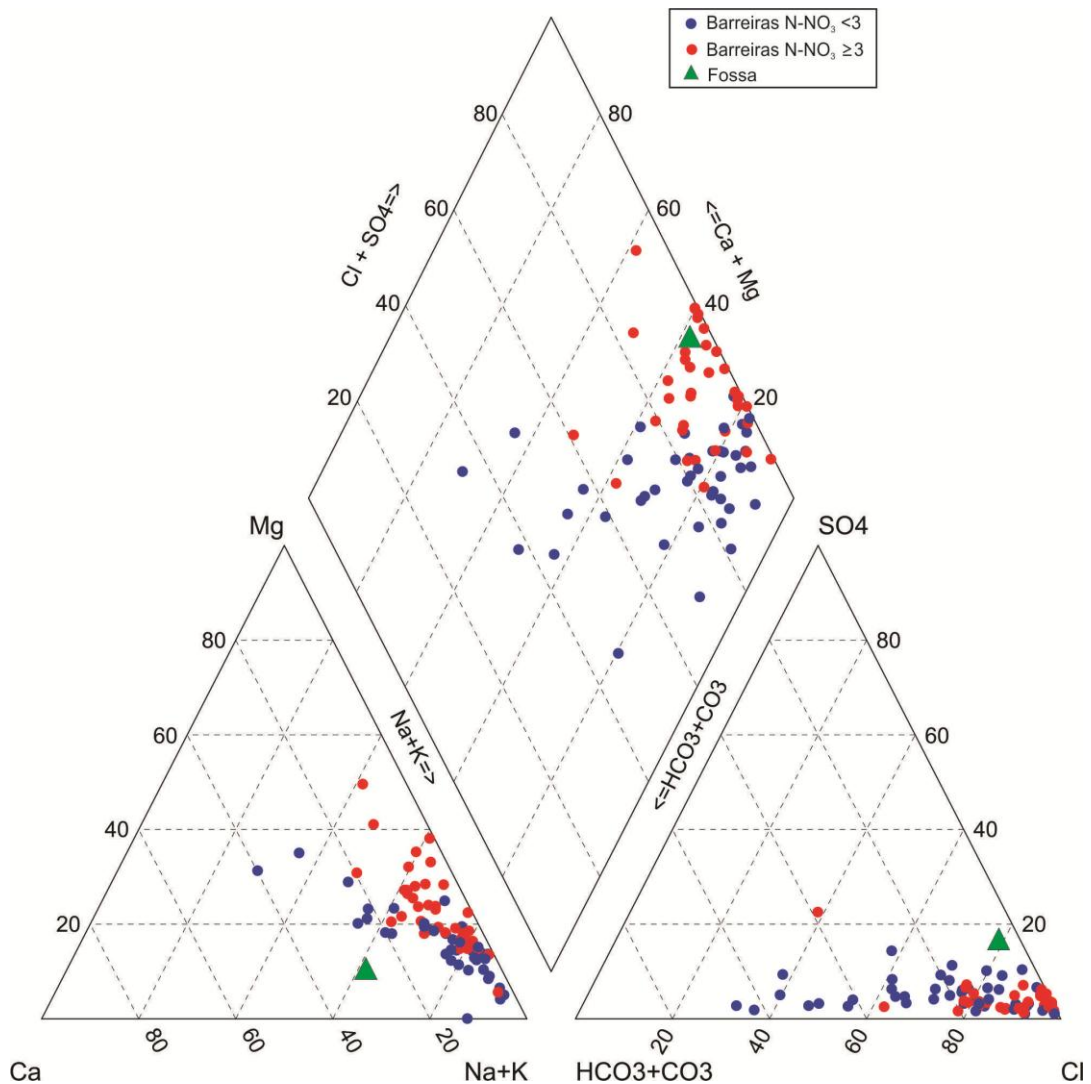
Seguindo uma abordagem gráfica para a análise e classificação da qualidade das águas, foram elaborados diagramas de Piper para a observação das proporções de íons, permitindo discorrer acerca das variações hidroquímicas observadas entre amostras de águas. Estas variações hidroquímicas podem ocorrer naturalmente em função da dinâmica da solução, dos padrões de fluxo e da litologia. A interferência antrópica também pode determinar modificações consideráveis na qualidade química das águas com a imposição de cargas contaminantes para o aquífero. Estas variações hidroquímicas podem ser detectadas e classificadas, com base nos íons dominantes, através do Diagrama trilinear de Piper.

Foram produzidos quatro diagramas de Piper para determinados grupos de amostras das águas da RMN. O primeiro diagrama de Piper foi elaborado diferenciando amostras do Barreiras com quantidades distintas de nitrato; o segundo, considerando apenas amostras de águas subterrâneas naturais do aquífero Barreiras, ou seja, sem evidências de contaminação por efluentes domésticos; o terceiro, considerando todos os pontos de amostragem, com as diferentes origens de água e o quarto, considerando apenas as amostras de poços de aquíferos mistos, Açu, Cristalino, rochas carbonáticas e águas superficiais.

Classificando-se amostras do Barreiras com diferentes quantidades de nitrato, foi elaborado o diagrama de Piper, apresentado na **Figura 8.20** e pôde-se observar que as amostras com menor quantidade de nitrato apresentaram proporções de magnésio e cálcio bastante equilibradas entre estes dois cátions e, quanto aos ânions, as quantidades de bicarbonato foram bastante significativas. Já as amostras com maior quantidade de nitrato apresentaram uma tendência de serem menos cálcicas e mais magnesianas, bem como menos bicarbonatadas e mais cloretadas. Para quaisquer situações, os conteúdos de sulfato foram pouco significativos.

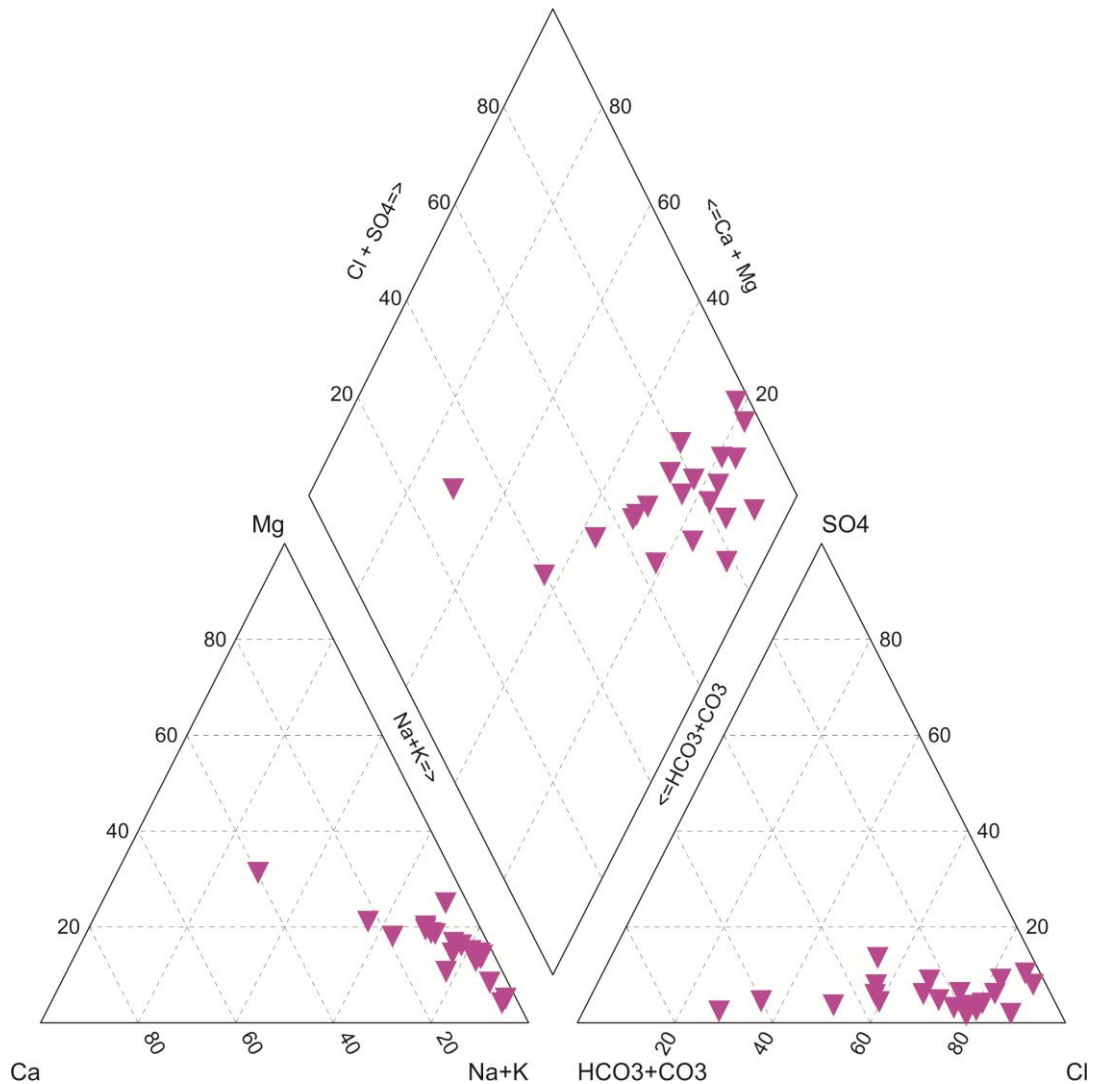
Foi plotado um ponto com a composição típica de uma fossa, obtida em Varnier 2001, e pôde-se observar que o ponto da fossa no diagrama está na região das amostras com contaminação por nitrato, podendo denotar a ocorrência de aporte de efluentes domésticos para o aquífero, ou seja, evidencia a influência das fossas na composição das águas.





**Figura 8.20. Diagrama de Piper com diferentes quantidades de N-NO<sub>3</sub> – aquífero Barreiras**

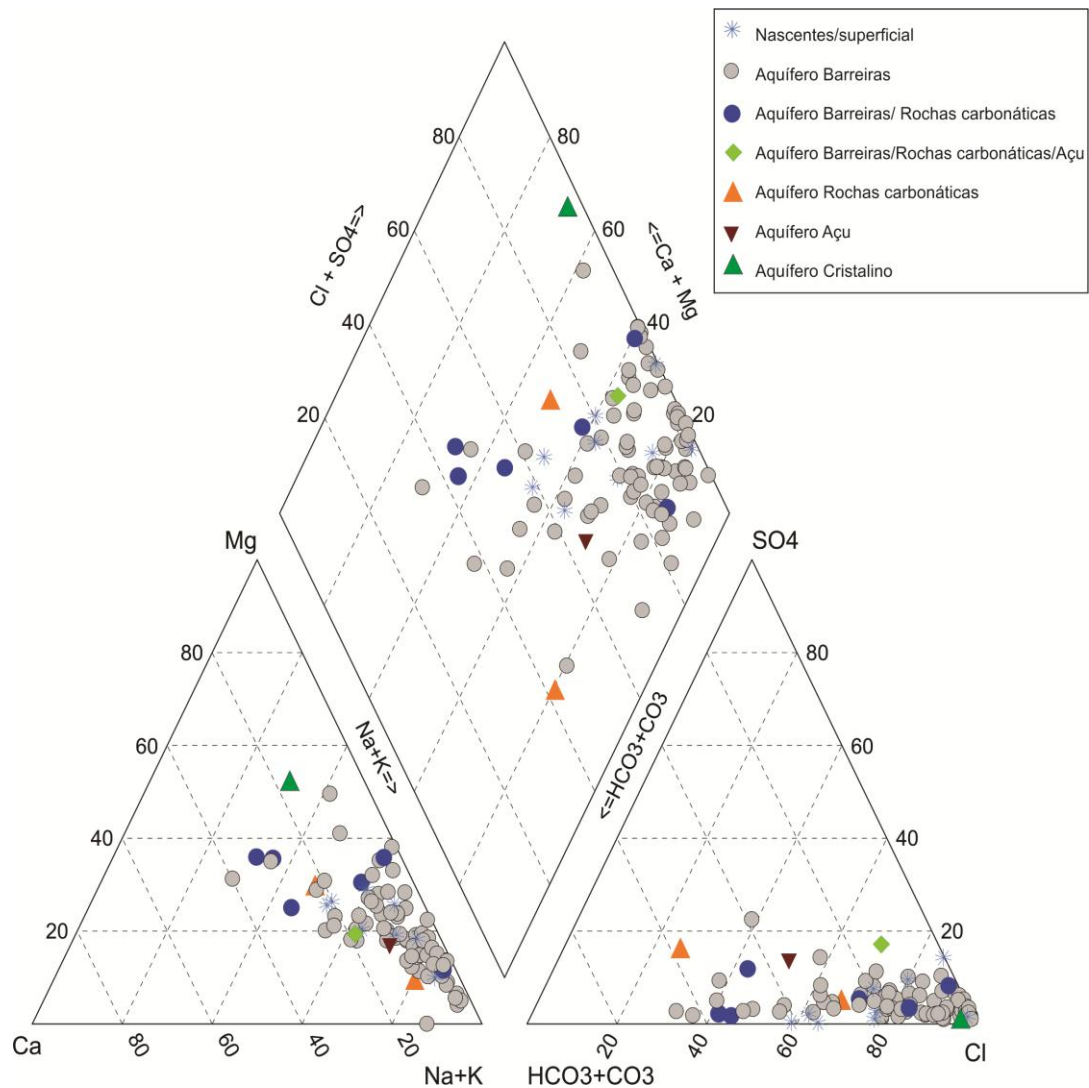
O diagrama de Piper elaborado com dados das águas do aquífero Barreiras somente com concentrações de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> menores do que 2mg/L, portanto, indicativas de águas naturais, desprovidas de contaminações provenientes de efluentes domésticos, é apresentado na **Figura 8.21**. A medida de selecionar estas amostras ocorreu para isolar as possibilidades de interferências, permitindo observar as águas naturais típicas do aquífero Barreiras. Com exceção das amostras NZF-0121 e PAR-0138, respectivamente bicarbonatada cálcica a neutra e bicarbonatada sódica a neutra, ficou evidente a característica de águas cloretadas sódicas do aquífero Barreiras, representadas neste diagrama por 19, dentre 21 amostras. Foram realizados exercícios para uma avaliação de variações hidrogeoquímicas dentre estas amostras, que pudessem estar correlacionadas com o fluxo das águas, ou que pudesse demonstrar zoneamentos, porém, não foi possível observar, pelo diagrama, quaisquer padrões que se associassem a estas questões.



**Figura 8.21. Diagrama de Piper representativo de águas naturais – Aquífero Barreiras**

O diagrama de Piper contendo todos os pontos de amostragem, apresentado na **Figura 8.22**, classificou as águas do Barreiras na RMN como predominantemente cloretadas sódicas, ocorrendo também algumas amostras bicarbonatadas magnesianas, ou bicarbonatadas neutras.

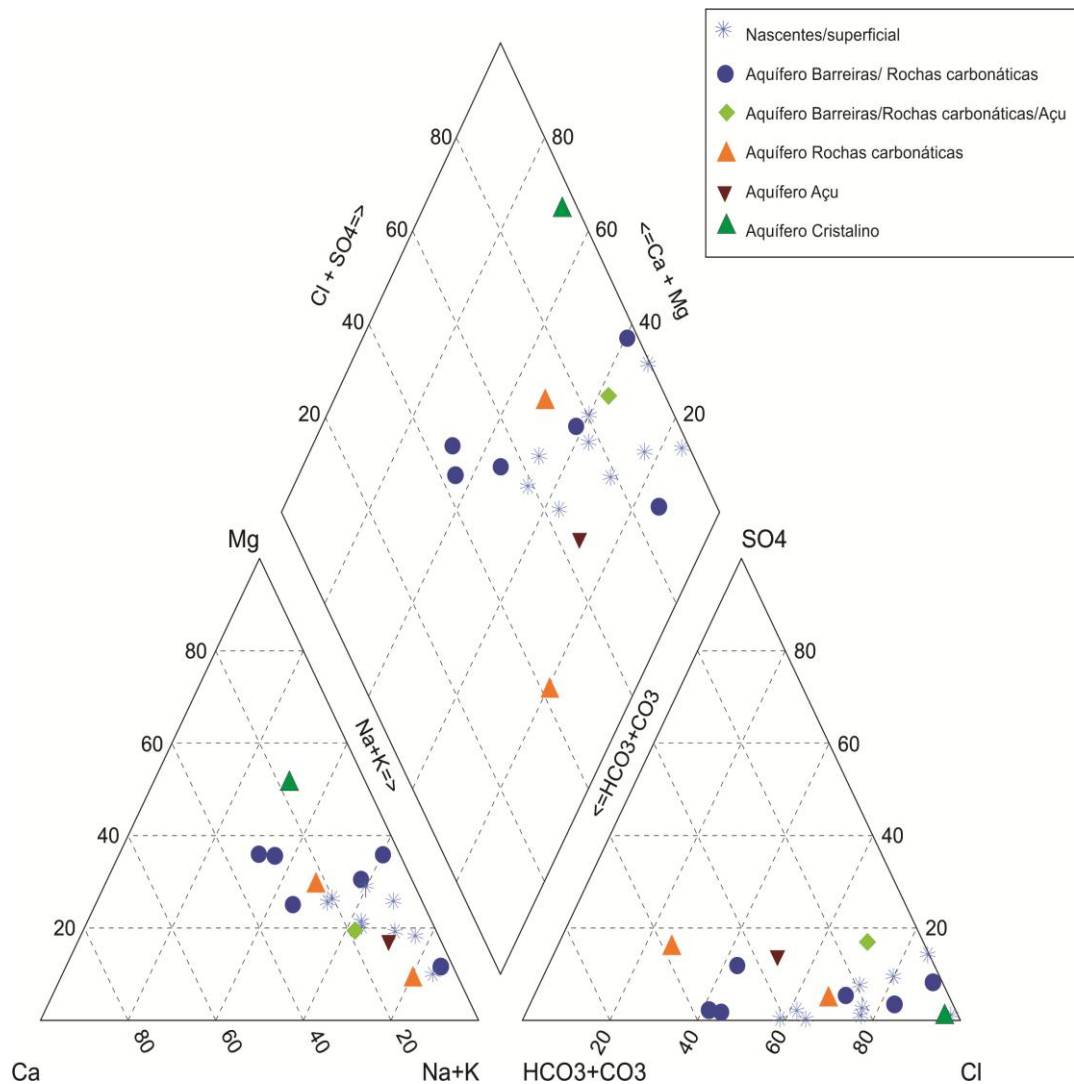
Nota-se que o campo de distribuição das amostras do Barreiras, naturais e contaminadas, é amplo no diagrama de Piper, abrangendo um campo de composição química similar, ou próximo dos campos de distribuição das amostras de origens diversas, provavelmente por causa de diferentes dinâmicas e regimes de fluxo determinados pelas recargas, pela distância da linha de costa, pelas profundidades dos poços nos aquíferos e até por possíveis interações locais de águas de origens diversas.



**Figura 8.22. Diagrama de Piper dos pontos de amostragem**

Considerando somente as amostras de poços de aquíferos mistos, rochas carbonáticas, Açu, Cristalino e águas superficiais, o diagrama de Piper apresentado na **Figura 8.23**, demonstra que as amostras de poços de aquíferos mistos são de cloretadas sódicas a bicarbonatadas neutras; as amostras de rochas carbonáticas é bicarbonatada sódica e cloretada sódica; a amostra do Açu é cloretada bicarbonatada sódica; a amostra do Cristalino é cloretada magnesiânica sódica; as amostras de águas superficiais são cloretadas sódicas, semelhantes à maioria das amostras do Barreiras.

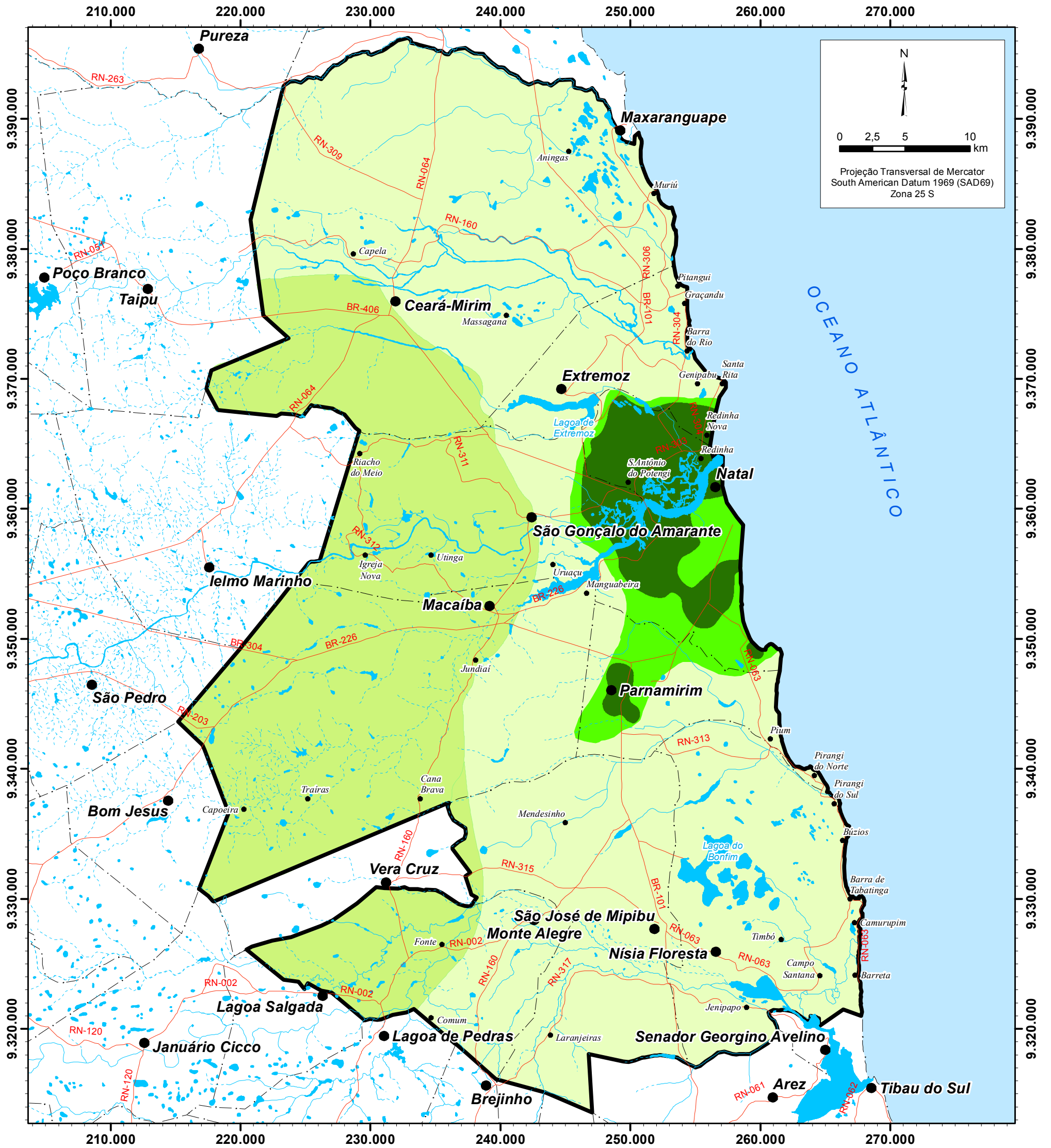
As águas coletadas em lagoas, representadas pelas amostras NZFAS01 e EXTAS01, apresentaram uma composição intermediária, em relação às demais amostras de águas superficiais, ou seja, localizaram-se no meio do campo de distribuição de amostras superficiais no diagrama de Piper.



**Figura 8.23. Diagrama de Piper – Aquíferos Mistos, Rochas Carbonáticas, Açú e Cristalino**

Considerando o fato de que os diagramas de Piper demonstraram que a qualidade hidroquímica das águas naturais do aquífero Barreiras são predominante cloretadas sódicas e que as pequenas variações observadas não permitem delinear um zoneamento hidroquímico, para uma classificação prática e simplificada da qualidade das águas do aquífero Barreiras, voltada a auxiliar no traçado das zonas explotáveis do aquífero e direcionada a auxiliar na compreensão para a definição de medidas de gestão, foi elaborado um mapa de zoneamento qualitativo da água indicando zonas de STD acima de 200 mg/L e zonas de nitrato acima de 5 mg/L, apresentado na **Figura 8.24**.





N

0 2,5 5 10 km

Projeção Transversal de Mercator  
South American Datum 1969 (SAD69)  
Zona 25 S

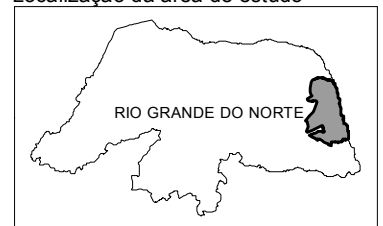
**Zoneamento Qualitativo**

- Água cloretada sódica com  $STD < 200$  mg/L
- Água cloretada sódica com  $STD \geq 200$  mg/L
- Água cloretada nitrada sódica com  $N-NO_3 \geq 10$  mg/L
- Água cloretada nitrada sódica com  $3 > N-NO_3 > 10$  mg/L

**Convenção Cartográfica**

- Sedes municipais
- Povoados e assentamentos
- Estradas pavimentadas
- Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Limites municipais
- Área de estudo

Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM  
Localização da área de estudo



**Figura 8.24. Zoneamento qualitativo da Região Metropolitana de Natal**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO LITORAL SUL DA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL (LS/RMN)





## 8.6 Qualidade das águas para o consumo humano

O conceito de qualidade das águas geralmente está associado às características das mesmas quanto a sua utilização. Os padrões de qualidade são embasados por um suporte legal, que especificam as condições e concentrações limites dos parâmetros para um determinado uso. Os conhecimentos das propriedades físicas, químicas e bacteriológicas são fundamentais. No presente estudo, entretanto, a preocupação maior é com relação às propriedades químicas, através da qual será feita a caracterização do uso das águas subterrâneas no abastecimento humano.

De um modo geral uma água é considerada potável quando pode ser consumida pelo homem sem perigo nenhum para sua saúde. Os órgãos sanitários apresentam padrões de potabilidade que variam em cada país, em função das peculiaridades locais. Percebe-se, entretanto, a tendência mundial de normalização das regulamentações existentes. Os guias atuais para determinar a potabilidade das águas baseiam-se em dois critérios distintos: primeiro, quanto a sua importância para a saúde, no que diz respeito aos efeitos tóxicos, carcinogênicos e mutagênicos, e, o segundo, quanto aos aspectos organolépticos ou estéticos. No primeiro caso intervêm os caracteres químicos e bacteriológicos das águas. A água é de boa potabilidade físico-química quando as concentrações de seus elementos satisfazem as condições fixadas pela legislação. A sanidade é reconhecida quando as águas são isentas de bactérias patogênicas. No primeiro caso refere-se ao sabor, cor, odor e turbidez.

Como já citado anteriormente, os constituintes químicos determinados no presente trabalho correspondem aos seguintes elementos e parâmetros: cátions e ânions principais; compostos da série nitrogenada (amônio, nitrito e nitrato) e ferro, além da condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, dureza, alcalinidade e pH. Concentrações excessivas dos constituintes iônicos principais das águas, tais como sódio, sulfato, cloreto e magnésio. O ferro não apresenta perigo direto para a saúde do consumidor, porém produz efeitos organolépticos que podem impossibilitar o consumo das águas (FENZL, 1988). A **Tabela 8.16** apresenta as normas para a qualidade de uma água potável de acordo com a Portaria MS nº 2914/2011 em vigor.

**Tabela 8.16. Qualidade de água para consumo humano – Portaria MS nº2914/2011**

	ID	STD (mg/L)	Dureza (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Sódio (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	N-NO3 (mg/L)	Classificação
Sistema Aquífero Barreiras	CRM0012	18,00	6,25	1,28	0,01	9,21	11,96	1,15	1,59	Sem restrição
	CRM0098	8,00	2,98	0,59	0,02	5,80	7,55	0,90	0,19	Sem restrição
	CRM0146	10,00	1,94	0,35	0,01	6,43	7,81	0,76	0,07	Sem restrição
	CRM0165	12,00	2,67	0,55	0,01	6,02	7,76	1,15	0,72	Sem restrição
	CRM0173	48,00	11,79	2,75	0,01	17,02	21,80	1,95	4,54	Sem restrição
	CRM0189	20,00	10,66	2,09	0,01	10,82	12,43	4,15	0,23	Sem restrição
	CRM0466	2,00	3,07	0,39	0,01	4,11	6,60	1,06	0,14	Sem restrição
	CRM0550	32,00	4,69	0,91	0,01	15,40	20,75	0,84	2,13	Sem restrição
	CRM0552	18,00	22,45	3,04	0,01	6,22	9,58	1,12	0,04	Sem restrição
	EXT0021	15,00	7,44	1,57	0,02	12,54	11,30	0,79	4,60	Sem restrição
	EXT0028	46,00	6,70	1,12	0,01	15,25	27,42	1,19	0,84	Sem restrição
	EXT0040	15,00	11,59	0,00	0,01	16,85	18,53	1,82	1,35	Sem restrição
	EXT0046	18,00	4,57	0,94	0,01	8,50	11,77	1,31	0,64	Sem restrição
	EXT0048	19,00	5,09	0,99	0,01	8,67	9,82	1,69	1,84	Sem restrição
	EXT0258	190,00	24,45	2,90	0,01	14,16	23,69	2,28	0,50	Sem restrição
	EXT0272	31,00	9,52	1,63	0,01	11,83	16,45	2,89	0,47	Sem restrição
	EXT0274	29,00	29,82	2,31	0,01	11,10	10,24	0,91	2,60	Sem restrição
	MAC0089	42,00	7,32	1,28	0,01	18,59	28,12	1,33	0,32	Sem restrição
	MAC0193	38,00	7,30	1,63	0,01	18,34	23,31	1,08	1,73	Sem restrição
	MAC0254	11,00	10,11	1,41	0,01	9,41	13,86	0,85	1,42	Sem restrição
	MAC0328	39,00	23,65	2,81	0,06	9,53	17,17	1,12	0,47	Sem restrição
	MTA0121	39,00	12,48	1,77	0,01	22,44	28,90	0,93	5,17	Sem restrição
	NAT0556	15,00	3,15	0,26	0,01	7,09	12,77	0,71	0,70	Sem restrição
	NAT0576	130,00	105,30	20,15	0,01	42,95	40,10	31,50	7,17	Sem restrição
	NAT0581	172,00	80,59	17,04	0,02	51,06	66,48	4,98	19,70	Restritivo
	NAT0590	65,00	38,25	6,42	0,01	31,58	31,25	1,26	12,81	Restritivo
	NAT0593	15,00	8,18	1,30	0,01	9,54	10,69	1,13	2,54	Sem restrição
	NAT0617	33,00	19,01	2,75	0,01	18,80	14,54	1,83	7,06	Sem restrição
	NAT0636	118,00	43,33	9,50	0,01	42,44	44,35	1,06	16,19	Restritivo
	NAT0650	230,00	96,70	22,86	0,31	67,60	70,36	3,50	33,98	Restritivo
	NAT0654	89,00	45,95	7,91	0,01	31,89	35,81	1,97	11,02	Restritivo
	NAT0948	137,00	47,14	7,94	0,01	54,46	36,74	0,83	26,66	Restritivo
	NAT1200	79,00	21,18	4,11	0,01	34,07	37,09	2,81	8,68	Sem restrição
	NAT1244	80,00	20,35	4,00	0,02	31,71	31,14	1,02	10,83	Restritivo
	NAT1477	67,00	34,17	5,56	0,01	26,15	24,40	2,05	11,34	Restritivo
	NAT1499	35,00	15,65	2,62	0,01	13,54	14,63	0,89	5,75	Sem restrição
	NAT1725	76,00	32,65	7,20	0,01	24,41	34,85	1,84	7,24	Sem restrição
	NAT1821	59,00	28,26	4,40	0,01	25,26	19,96	0,60	11,29	Restritivo
	NAT1824	60,00	31,69	5,14	0,01	20,48	21,07	0,70	11,12	Restritivo
	NAT1837	87,00	48,44	8,22	0,01	33,30	26,94	0,54	18,89	Restritivo
	NAT1895	30,00	19,54	3,06	0,01	13,53	12,54	1,14	7,25	Sem restrição
	NAT1933	108,00	42,35	7,96	0,01	41,25	50,65	5,44	9,94	Sem restrição
	NAT1934	159,00	75,95	14,64	0,01	49,18	53,22	2,13	24,36	Restritivo
	NZF0018	100,00	79,45	9,41	0,01	23,98	20,57	1,45	1,45	Sem restrição
	NZF0061	62,00	22,36	3,06	0,01	32,75	48,31	5,16	0,72	Sem restrição
NZF0066	75,00	24,08	3,89	0,01	34,57	62,28	0,90	0,40	Sem restrição	
NZF0097	40,00	6,94	1,40	0,07	17,79	23,47	0,58	2,58	Sem restrição	
NZF0103	35,00	9,39	1,77	0,01	16,94	20,95	2,08	1,41	Sem restrição	
NZF0111	41,00	13,01	2,68	0,04	26,92	23,02	1,73	8,45	Sem restrição	
NZF0121	29,00	46,76	5,00	0,01	7,51	11,73	1,35	0,06	Sem restrição	
NZF0403	6,00	3,08	0,36	0,01	4,74	7,87	0,94	0,07	Sem restrição	
NZF0404	7,00	4,62	0,65	0,23	6,36	9,10	1,35	0,13	Sem restrição	
PAR0096	50,00	50,00	2,57	0,01	25,18	23,02	0,87	7,26	Sem restrição	
PAR0101	10,00	8,76	1,39	0,01	9,08	13,04	1,16	0,38	Sem restrição	
PAR0105	33,00	23,09	3,01	0,01	15,58	15,45	0,84	4,07	Sem restrição	
PAR0114	41,00	11,90	2,21	0,01	19,15	16,43	0,60	7,04	Sem restrição	
PAR0115	75,00	40,12	6,80	0,01	27,64	24,09	0,45	14,36	Restritivo	
PAR0118	20,00	7,48	1,37	0,01	12,34	11,03	0,64	3,62	Sem restrição	

**Tabela 8.16. Qualidade de água para consumo humano – Portaria MS nº2914 (continuação)**

	ID	STD (mg/L)	Dureza (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Sódio (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	N-NO3 (mg/L)	Classificação
Sistema Aquífero Barreiras	PAR0124	5,00	5,00	0,90	0,01	7,32	7,85	0,77	1,49	Sem restrição
	PAR0126	90,00	40,02	7,21	0,01	34,58	30,70	1,03	16,27	Restritivo
	PAR0136	11,00	7,84	1,23	0,01	5,89	12,53	1,70	0,14	Sem restrição
	PAR0138	12,00	13,15	1,55	0,01	5,46	6,64	1,14	0,30	Sem restrição
	PAR0142	74,00	55,25	8,20	0,01	19,22	27,54	1,13	11,91	Restritivo
	PAR0143	31,00	10,55	2,02	0,01	14,03	11,37	1,31	5,38	Sem restrição
	PAR0151	31,00	12,69	2,16	0,01	14,36	15,35	1,00	4,13	Sem restrição
	PAR0153	79,00	41,41	4,77	0,01	28,85	39,29	2,64	2,07	Sem restrição
	PAR0156	49,00	52,71	6,95	0,01	10,63	19,62	1,53	0,81	Sem restrição
	PAR0160	37,00	13,14	2,03	0,01	17,68	25,85	0,70	1,73	Sem restrição
	PAR0168	59,00	32,95	4,70	0,01	23,19	22,36	0,62	10,54	Restritivo
	SGA0010	223,00	88,82	13,60	0,01	86,52	105,07	19,35	0,08	Sem restrição
	SGA0016	68,00	20,11	2,92	0,01	40,59	44,96	9,55	2,23	Sem restrição
	SGA0050	56,00	5,27	0,90	0,01	24,41	37,34	1,07	0,58	Sem restrição
	SGA0058	420,00	85,68	17,63	0,01	156,50	262,94	12,58	6,83	Restritivo
	SGA0089	174,00	4,97	1,26	1,36	34,59	35,61	1,19	12,52	Restritivo
	SJM0045	87,00	53,90	6,81	0,01	29,95	52,68	4,05	1,92	Sem restrição
	SJM0080	143,00	14,73	3,32	0,01	36,33	45,36	2,38	10,29	Restritivo
	SJM0086	144,00	94,74	19,44	0,01	24,38	51,78	1,88	16,23	Restritivo
	SJM0088	25,00	5,07	0,92	0,01	9,55	15,93	1,07	0,29	Sem restrição
SJM0095	125,00	48,58	9,53	0,01	34,84	43,18	1,39	14,29	Restritivo	
SJM0187	18,00	4,53	0,93	0,01	10,63	13,10	0,70	1,26	Sem restrição	
Açu	SGA0034	152,00	58,69	8,27	0,01	63,89	58,12	20,59	0,76	Sem restrição
Barreiras/Rochas Carbonáticas	CRM0193	190,00	176,26	23,69	0,01	42,72	60,88	4,36	3,29	Sem restrição
	SGA0053	1206,00	482,11	59,87	0,01	347,20	645,64	211,06	0,22	Restritivo
	SJM0026	21,00	4,36	0,85	0,01	10,66	15,27	0,86	0,21	Sem restrição
	MAC0090	233,00	207,26	26,58	0,01	38,88	73,41	3,74	4,52	Sem restrição
	NAT1740	31,00	20,41	3,23	0,02	10,44	12,52	1,27	4,89	Sem restrição
	SGA0113	160,00	74,90	16,37	0,01	48,46	60,79	7,51	18,52	Restritivo
	CRM0170	56,00	44,14	4,89	0,03	15,41	19,30	7,12	0,93	Sem restrição
RC	CRM0029	590,00	358,44	49,95	0,01	146,60	283,94	29,99	10,37	Restritivo
	CRM0062	152,00	52,39	6,15	0,01	92,47	37,13	31,81	0,02	Sem restrição
B/C	MAC0364	215,00	60,16	8,38	0,01	107,40	63,34	21,05	0,05	Sem restrição
C	MAC0081	2971,00	2160,18	393,90	0,01	426,80	2196,01	4,21	1,47	Restritivo
Cacimbas	MTA0120	45,00	20,96	1,82	0,32	11,13	21,43	6,93	0,47	Restritivo
	SGA0443	227,00	44,69	9,31	0,14	92,82	153,98	2,09	0,06	Sem restrição
Superficiais	CRMAS01	192,00	119,53	15,71	0,83	59,01	98,58	0,64	0,06	Restritivo
	EXTAS01	151,00	76,97	10,67	0,09	55,47	90,84	1,74	0,17	Sem restrição
	MAC0373	116,00	17,65	2,78	0,33	42,51	68,39	1,17	0,02	Restritivo
	NAT0630	18,00	11,41	1,99	0,01	6,55	9,12	1,28	2,34	Sem restrição
	NAT1585	116,00	46,41	8,99	0,01	42,86	54,97	12,41	8,20	Sem restrição
	NZFAS01	19,00	10,71	1,56	0,17	9,81	15,31	0,73	0,05	Sem restrição
	NZFAS02	45,00	17,53	2,94	0,07	21,74	35,96	5,80	0,07	Sem restrição
	PARAS02	22,00	21,13	2,59	0,13	14,16	17,68	0,84	1,42	Sem restrição
SGAAS01	157,00	96,88	13,29	2,67	49,10	68,77	0,66	0,06	Restritivo	
<b>Portaria 2914</b>		<b>1000,00</b>	<b>500,00</b>	<b>-</b>	<b>0,30</b>	<b>200,00</b>	<b>250,00</b>	<b>250,00</b>	<b>10,00</b>	

RC Rochas Carbonáticas

B/C Barreiras / Cristalino

C Cristalino

A avaliação dos resultados das análises químicas das 80 amostras coletadas em poços penetrando o Sistema Aquífero Barreiras na RMN permitem as seguintes considerações em termos da potabilidade dessas águas:

- As águas subterrâneas do SAB, conforme caracterizadas na avaliação hidroquímica, possuem excelente qualidade natural;
- De conformidade com os resultados das análises (**Tabela 8.16**), 72% das amostras analisadas não apresentaram qualquer tipo de restrição;
- As restrições ao consumo humano, em todos os pontos, são provenientes da concentração de nitrato acima de 10 mg/L (expresso em N) da qualidade natural em desconformidade aos padrões de consumo humano ou de contaminações por influência antrópica, conforme será discutido a seguir.

As ocorrências de restrição ao consumo por contaminação das águas subterrâneas são relacionadas ao parâmetro nitrato, em concentrações acima de 10 mg/L (expresso em N). Essa alteração da qualidade natural é influenciada pela infiltração de esgotos, devido ao modelo de disposição de efluentes sanitários em fossas. Na RMN essas ocorrências concentram-se nos municípios de Natal e Parnamirim.

Deve-se ressaltar, entretanto, que as concentrações de nitrato acima de 2 mg/L (expresso em N) são indicativos desse processo de contaminação e, se continuado, podem evoluir para águas restritas ao consumo humano.

O município de Natal apresenta 50% das amostras contaminadas e neste percentual são identificados poços de abastecimento público. Pode-se considerar que dos poços amostrados apenas dois representam a qualidade nativa de água subterrânea. Nos demais municípios as concentrações acima do valor de referência são contaminações pontuais em áreas urbanas.

As Rochas Carbonáticas possuem águas, em geral, com elevada salinidade, em muitos casos com condições de qualidade em desacordo com os padrões para o consumo humano. Nas amostras analisadas, 50% estavam fora dos padrões de qualidade para o consumo, porém este estudo não focou uma avaliação aprofundada dessa unidade aquífera.

A única amostra representativa do aquífero Açú não apresentou restrição ao consumo humano.

No aquífero Barreiras/Rochas Carbonáticas 71% das amostras analisadas apresentam condições para consumo humano. Foram detectadas duas amostras com concentrações superiores à portaria estabelecida, a amostra SGA0053 para os parâmetros: STD, sódio e cloreto, parâmetros que indicam uma característica de salinidade elevada e a amostra SGA0113 para nitrato, detectada concentração de 18,52 mg/L (expresso em N).

As amostras MAC0081, representativa do aquífero Cristalino, apresenta características salinas e duras, em desacordo com a Portaria 2914/2011. A única amostra coletada no aquífero Barreiras/Cristalino apresenta condições ao consumo humano.

Entre os poços cacimbas, a amostra MTA0120 ultrapassou ligeiramente a referência adotada para ferro e a amostra SGA0443 apresenta teores abaixo da Portaria 2914/2011.

As amostras de águas superficiais, em geral, apresentam condições adequadas aos padrões de consumo humano, sendo que apenas o composto ferro estava em desacordo com os valores de referência da Portaria MS nº2914 em três amostras (CRMAS01, MAC0373 e SGAAS01).

A Organização Mundial de Saúde estabelece que as amostras de água submetidas às análises bacteriológicas devem ser isentas de coliformes totais e fecais. Este estudo não contemplou análises bacteriológicas, entretanto as águas subterrâneas do SAB em condições naturais são isentas destes organismos em geral, característica intrínseca às águas subterrâneas. Nas águas subterrâneas do SAB com influência das atividades antrópicas, sobretudo nos casos com indícios de contaminação por esgoto, a presença desses patogênicos pode ocorrer.

As águas subterrâneas do SAB devem ser protegidas, visando à manutenção dos seus padrões da qualidade natural, visto que configuram importantes fontes de abastecimento ao consumo humano em condições de qualidade compatíveis aos padrões exigidos. Estes aspectos serão amplamente debatidos nos capítulos relativos às estratégias de manejo sustentável das águas subterrâneas, no Volume 3 deste relatório.



## 8.7 Parâmetros específicos

Para a análise de parâmetros específicos foi definida uma rede específica constituída tanto de alguns poços contemplados na rede hidroquímica quanto de poços adicionais. Para esta abordagem, a seleção de poços considerou o conhecimento sobre o uso e ocupação do solo, os cadastros de fontes de contaminação, o mapa de zoneamento do risco, a vulnerabilidade e o modelo conceitual hidrogeológico.

As amostras foram encaminhadas ao laboratório Analytical Solutions Ltda. (ANASOL), acondicionadas em caixas de isopor e conservadas com temperatura de 4º C. Os laudos químicos com os resultados de todos os parâmetros analisados são apresentados em versão eletrônica.

### 8.7.1 Análise de Metais Pesados

As amostras destinadas às análises dos metais pesados Bário, Níquel, Zinco, Cadmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Mercúrio e Arsênio, foram selecionadas no entorno de fontes potenciais de contaminação, tais como indústrias de elevado potencial de contaminação e lixões. A base de dados destas informações foram obtidas nos cadastros do IDEMA e FIERN, além das atividades de campo (**Figura 8.25**).

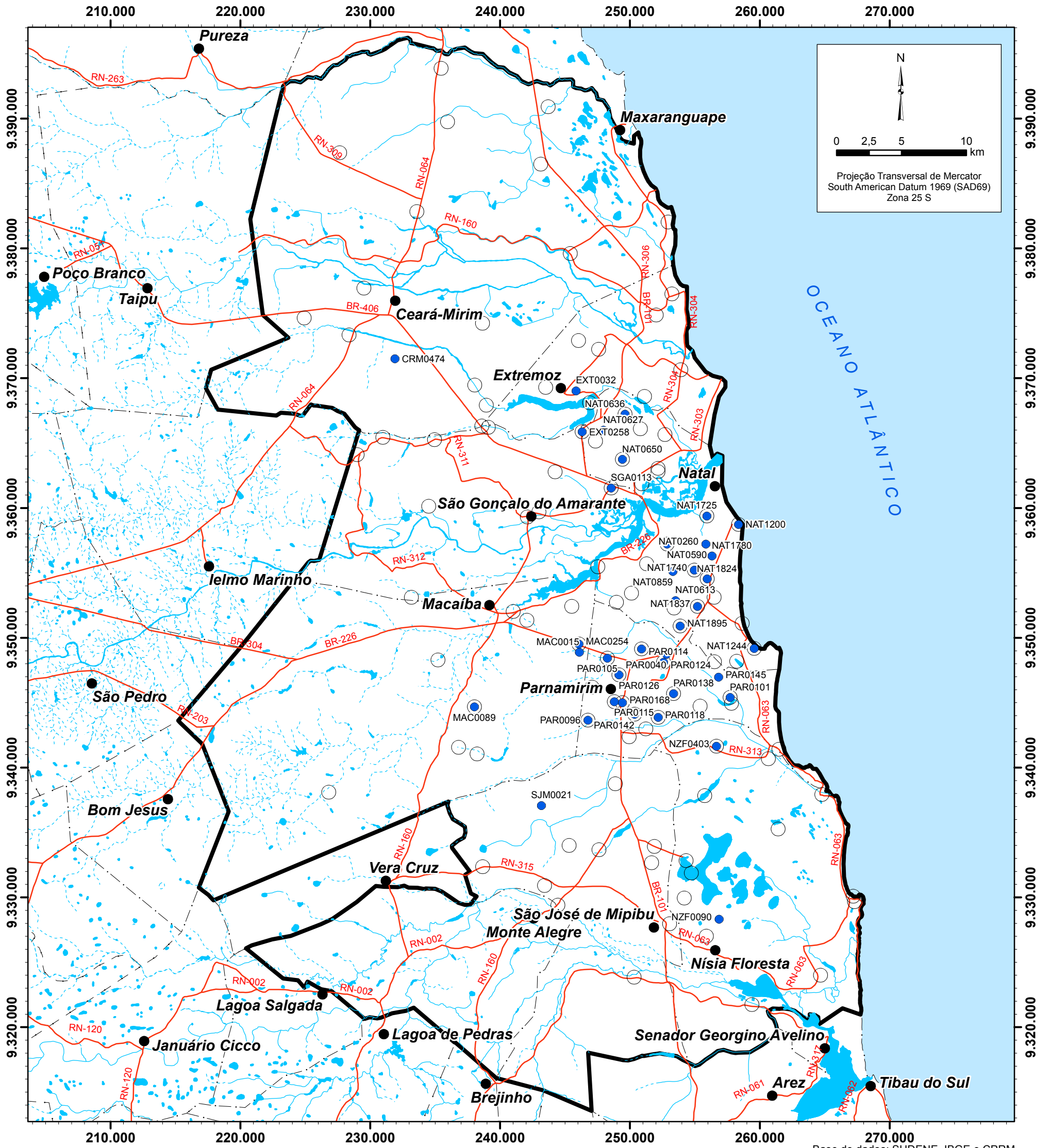
Para avaliação de metais pesados foram analisadas 40 amostras e os resultados químicos estão apresentados na **Tabela 8.17**.

A amostra EXT0258 apresenta concentração de bário acima da Portaria 2914/2011, possivelmente associada a uma fonte pontual de contaminação. Notam-se algumas atividades impactantes devido ao desenvolvimento urbano, no entorno do poço localizado na área industrial de Extremoz.

Também foram detectadas pontualmente concentrações de chumbo, que ultrapassam ligeiramente a Portaria 2914/2011, nos seguintes poços: EXT0032, MAC0015 e NAT0590. Os poços MAC0089 e NAT0650 apresentaram concentração de cadmio acima da referencia adotada.

Neste estudo não foi possível avaliar as contaminações pontuais, uma vez que na escala de trabalho adotada não apresentam distribuição espacial significativa.

<b>Tabela 8.17. Resultados químicos para metais pesados</b>									
<b>ID</b>	<b>Arsênio</b>	<b>Bário</b>	<b>Cádmio</b>	<b>Chumbo</b>	<b>Cobre</b>	<b>Cromo</b>	<b>Mercúrio</b>	<b>Níquel</b>	<b>Zinco</b>
CRM0474	<LD	0,068	<LD	<LD	0,006	<LD	<LD	<LD	<LD
EXT0032	<LD	0,026	0,003	0,022	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
EXT0258	<LD	0,870	<LD	<LD	0,014	<LD	<LD	0,035	0,028
MAC0015	<LD	0,087	<LD	0,024	0,0	<LD	<LD	<LD	0,017
MAC0089	<LD	0,065	0,011	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
MAC0254	<LD	0,041	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
NAT0260	<LD	0,240	<LD	<LD	0,030	<LD	<LD	<LD	0,040
NAT0590	<LD	<LD	<LD	0,023	<LD	<LD	<LD	0,060	<LD
NAT0613	<LD	0,084	<LD	<LD	0,098	<LD	<LD	<LD	0,042
NAT0627	<LD	0,035	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
NAT0636	<LD	0,084	<LD	0,017	0,052	<LD	<LD	<LD	0,026
NAT0648	<LD	0,147	<LD	<LD	0,056	<LD	<LD	<LD	0,077
NAT0650	<LD	0,083	0,006	<LD	0,013	<LD	<LD	<LD	0,035
NAT0830	<LD	0,034	<LD	0,014	0,022	<LD	<LD	<LD	0,128
NAT0859	<LD	0,098	<LD	0,015	<LD	<LD	<LD	<LD	0,023
NAT1200	<LD	0,099	<LD	<LD	0,070	<LD	<LD	0,016	0,036
NAT1244	<LD	0,294	<LD	<LD	0,048	<LD	<LD	<LD	0,066
NAT1725	<LD	0,170	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
NAT1740	<LD	0,143	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,028
NAT1780	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
NAT1824	<LD	0,109	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,024
NAT1837	<LD	0,096	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,063
NAT1895	<LD	0,096	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
NZF0090	<LD	0,019	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
NZF0403	<LD	0,019	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,021
PAR0040	<LD	0,116	<LD	<LD	0,021	<LD	<LD	0,011	0,020
PAR0096	<LD	0,077	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,016
PAR0101	<LD	0,048	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,013
PAR0105	<LD	0,090	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,013
PAR0114	<LD	0,124	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,016
PAR0115	<LD	0,344	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,017
PAR0118	<LD	0,122	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
PAR0124	<LD	0,082	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,016
PAR0126	<LD	0,493	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,023
PAR0138	<LD	0,025	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,017
PAR0142	<LD	0,251	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,020
PAR0145	<LD	0,055	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,019
PAR0168	<LD	0,323	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,036
SGA0113	<LD	0,071	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
SJM0021	<LD	0,090	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,018	0,025
<b>Portaria 2914</b>	<b>0,010</b>	<b>0,700</b>	<b>0,005</b>	<b>0,010</b>	<b>2,000</b>	<b>0,050</b>	<b>0,001</b>	<b>0,070</b>	<b>5,000</b>



Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM

**Rede de Monitoramento - (Fev-Mar 2012)**

- Metais pesados
- Hidroquímico

**Convenção Cartográfica**

- Sedes municipais
- Estradas pavimentadas
- ☪ Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- ~ Rios intermitentes
- ~ Rios perenes
- - - Limites municipais
- ▣ Área de estudo

**Localização da área de estudo**



**Figura 8.25. Distribuição das amostras de metais pesados na Região Metropolitana de Natal**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL



### 8.7.2 Compostos Organoclorados e Organofosforados

As amostras destinadas às análises de compostos agroquímicos, pesticidas organoclorados e organofosforados, foram selecionadas em áreas agrícolas potencialmente sob influência do uso de fertilizantes e pesticidas. Estas áreas foram identificadas através das atividades de campo e pelos dados fornecidos pelo IDEMA. Nota-se que a maioria dos poços selecionados (**Figura 8.26**) estão localizados no município de Ceará Mirim.

Para avaliação de compostos agroquímicos foram analisadas 30 amostras, incluindo os compostos organoclorados e organofosforados. Nenhum dos parâmetros analisados apresentou concentração superior ao limite de detecção. A **Tabela 8.18** apresenta a relação de compostos avaliados.

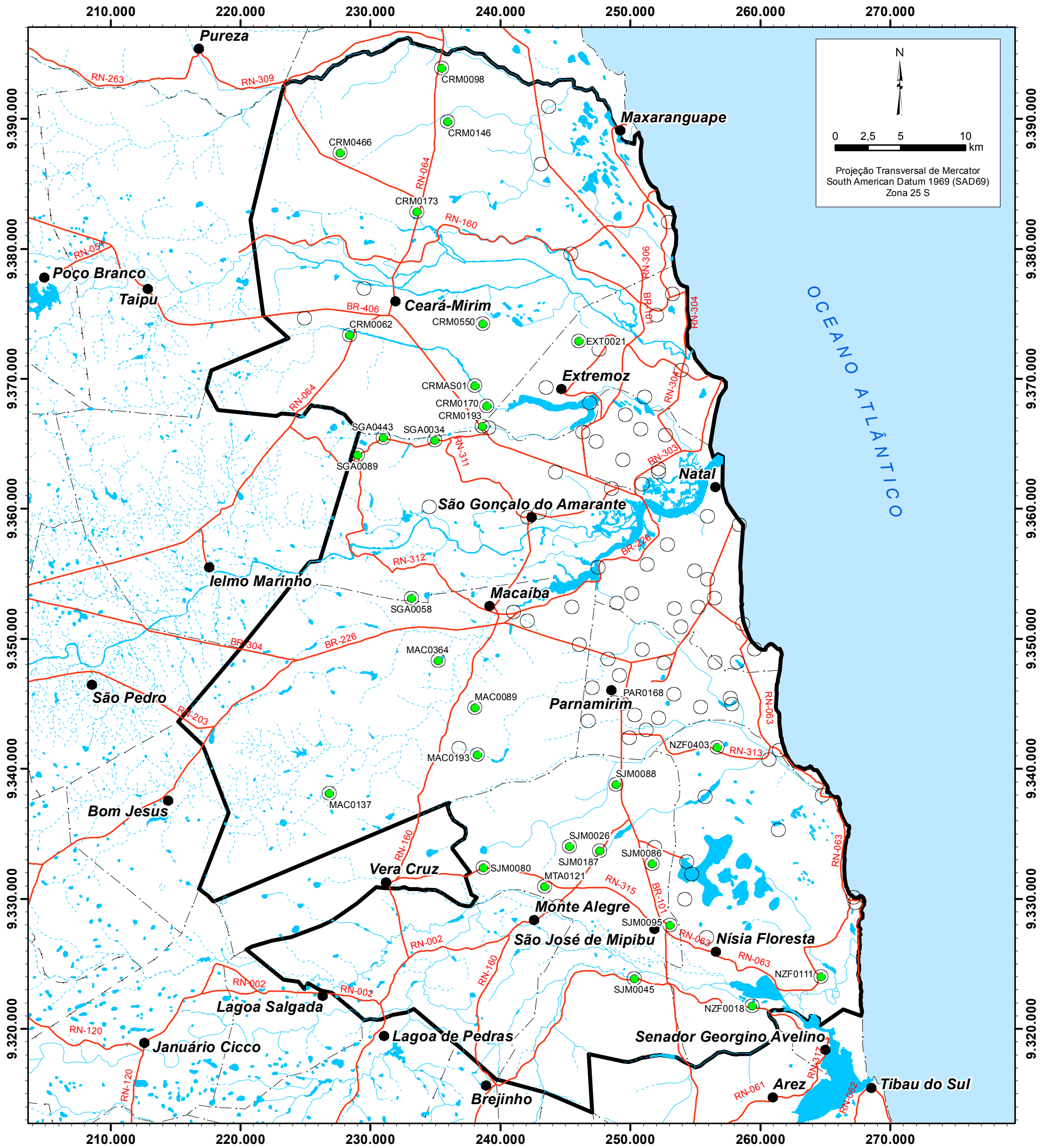
<b>Tabela 8.18. Compostos agroquímicos analisados</b>	
<b>SVOC</b>	
Aldrin	Endrin Ketone
Alfa-BHC	Epoxy Heptachlor
Alfa-clordano	Gama-BHC (Lindano)
Beta-BHC	Gaama-clordano
Delta-BHC	Glifosato
Dieldrin	Heptachlor
Endosulfan sulfate	Metoxichlor
Endosulfan 1	Toxafeno
Endosulfan 2	4,4-DDD (p,p-DDD)
Endrin	4,4-DDE (p,p-DDE)
Endrin aldeído	4,4-DDT (p,p-DDT)

### 8.7.3 Compostos Derivados de Petróleo

Após consulta de dados na ANP e informações adquiridas em campo foram selecionados poços para a investigação de eventuais ocorrências de contaminantes derivados de petróleo. Para a seleção de poços, foram verificadas áreas no entorno de postos de combustíveis e oficinas mecânicas (**Figura 8.27**). Os parâmetros analisados serão fenóis e BTEX, compostos aromáticos que incluem benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos.

Para avaliação de compostos derivados de petróleo foram analisadas 25 amostras. Nenhum dos parâmetros analisados apresentou concentração superior ao limite de detecção.





**Rede de Monitoramento - (Fev/Mar 2012)**

- Organoclorados e organofosforados
- Hidroquímico

**Convenção Cartográfica**

- Sedes municipais
- Estradas pavimentadas
- Lagos, lagoas, lagoas ou açudes
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Limites municipais
- ▭ Área de estudo

Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM  
Localização da área de estudo

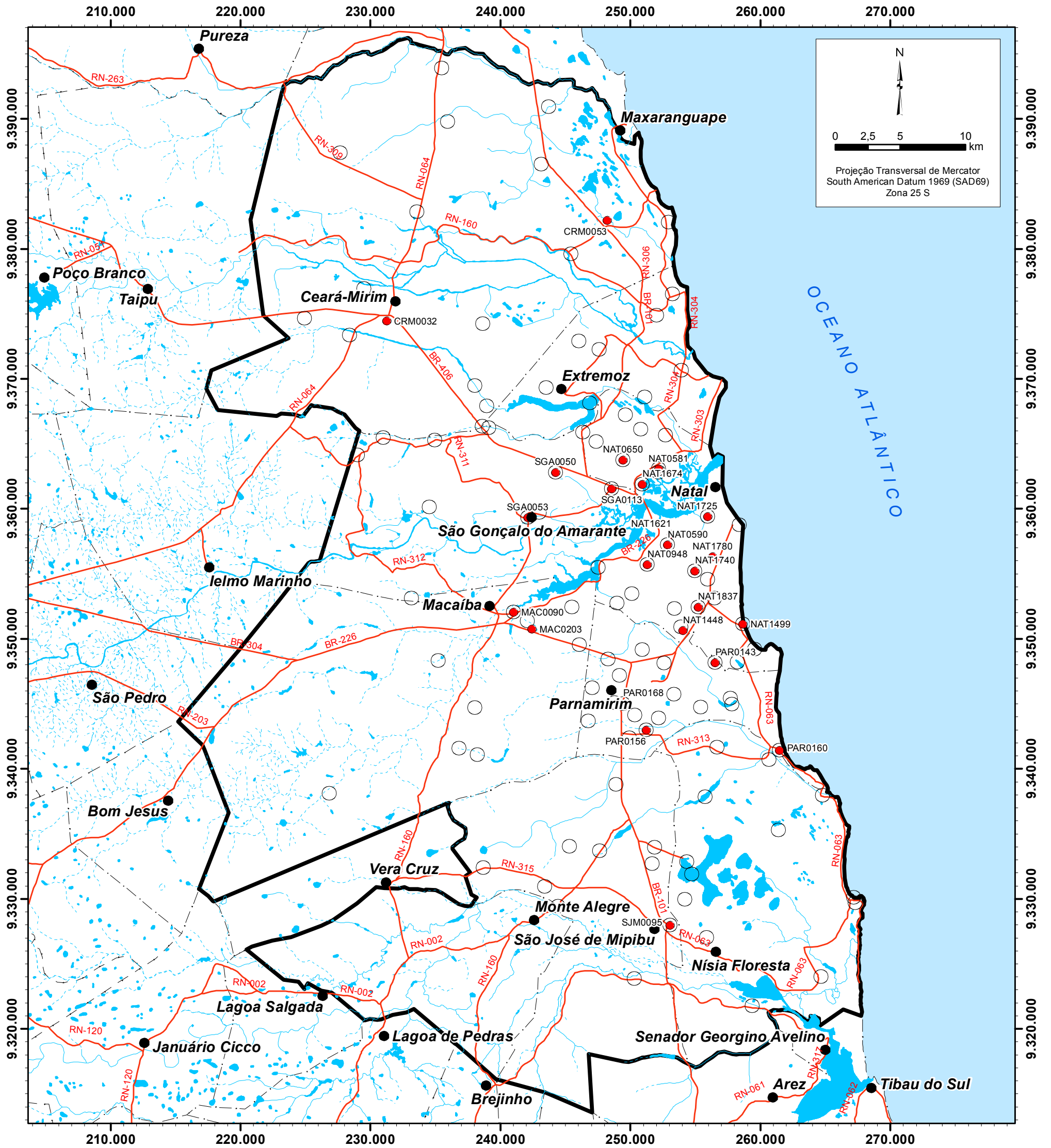


**Figura 8.26. Distribuição das amostras de compostos organoclorados e organofosforado na RMN**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL







**Rede de Monitoramento - (Fev/Mar 2012)**

- Derivado de Petróleo
- Hidroquímico

**Convenção Cartográfica**

- Sedes municipais
- Estradas pavimentadas
- Lagos, lagoas, lagoas ou açudes
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Limites municipais
- ▭ Área de estudo

Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM  
Localização da área de estudo



**Figura 8.27. Distribuição das amostras de derivados de petróleo na Região Metropolitana de Natal**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL



## 8.8 Caracterização das ocorrências de nitrato nas águas

O nitrato é um composto muito solúvel e dificilmente precipita, ocorrendo naturalmente em baixas concentrações, representando o estágio final de oxidação da matéria orgânica. É um indicador de contaminação por atividades antrópicas (FEITOSA *et al.* 2008).

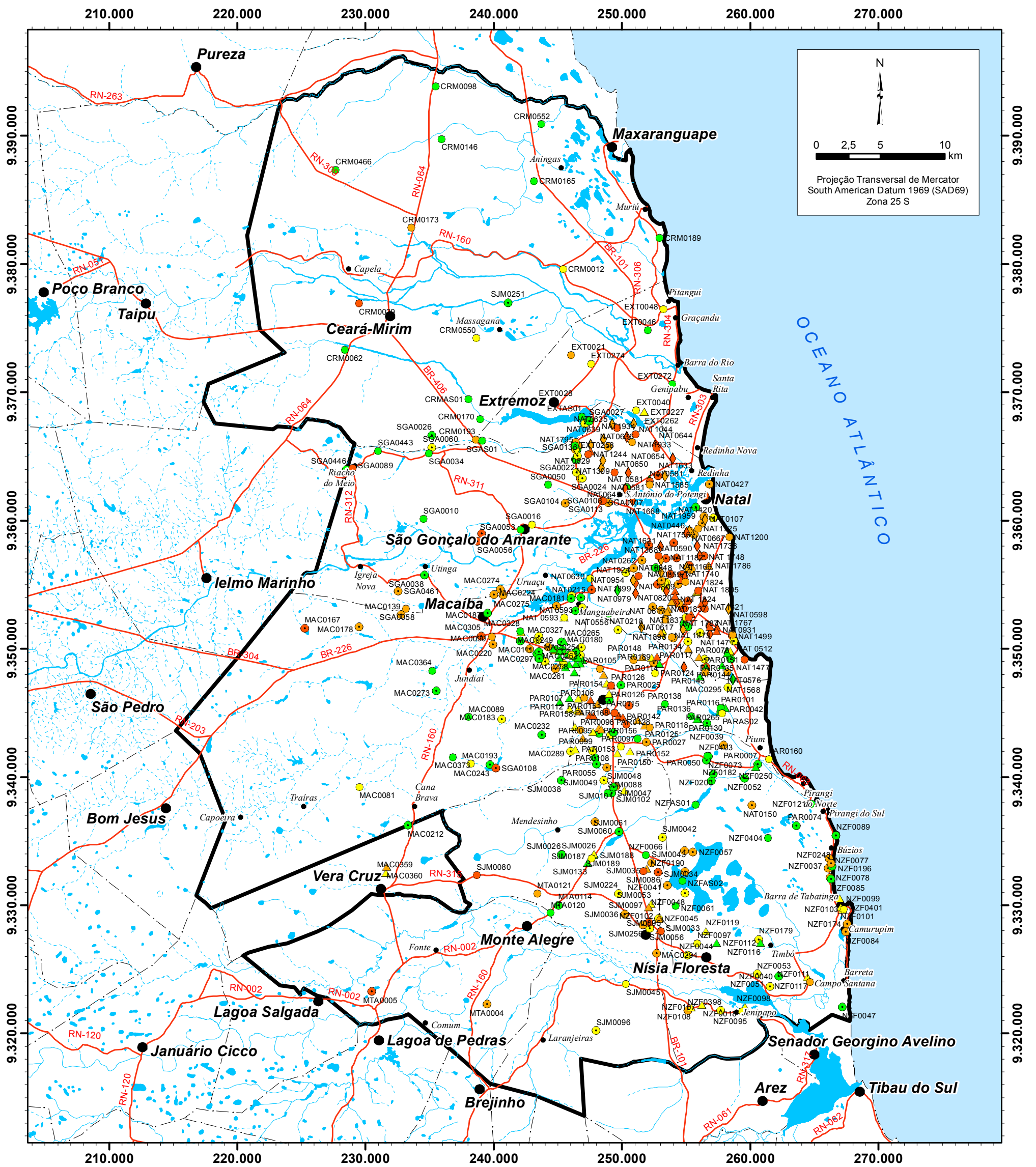
A ocorrência de nitrato na RMN foi detectada em concentrações superiores ao limite estabelecido pela Portaria MS 2914/2011 em 23% dos pontos monitorados em toda a RMN e 55% ao se considerar apenas o município de Natal.

Devida à importância do conhecimento da contaminação por nitrato na RMN, que, do ponto de vista de alteração da qualidade da água é uma questão determinante para a proposição de medidas de gerenciamento de uso e proteção das águas na região, o trabalho para a caracterização das ocorrências de nitrato priorizou focar o município de Natal e foi desenvolvido nas escalas de 1:100.000, considerando toda a RMN e de 1:50.000, considerando apenas o município de Natal.

Retomando os dados apresentados anteriormente, na interpretação geral dos dados de qualidade da água, observou-se que o  $\text{N-NO}_3^-$  foi detectado na RMN com um valor mínimo de 0,04 mg/L, máximo de 33,98 mg/L e média de 5,87 mg/L.

A **Figura 8.28** apresenta o mapa de ocorrência de  $\text{N-NO}_3^-$  na RMN, elaborado utilizando os resultados compilados de análises de nitrato do cadastro de poços deste trabalho. Contém dados obtidos na primeira campanha de amostragem, dados da SERHID, 2005, dados da CAERN, 2011 e os demais dados apresentados no cadastro geral. A vantagem de se observar este mapa com maior número de pontos está principalmente em poder verificar variações mais localizadas, melhorando a escala de mapa, além de trazer em mapa o mais amplo número de análises de  $\text{N-NO}_3^-$  para a RMN. Entretanto deve-se atentar que dados mais antigos podem fornecer informações ultrapassadas, que não refletem a evolução da contaminação.

Observa-se neste mapa de ocorrência de  $\text{N-NO}_3^-$  na RMN, o grande número de detecções de nitrato em concentrações superiores ao limite estabelecido pela Portaria MS 2914/2011 no município de Natal, bem como detecções pontuais em poços com nitrato superior ao limite estabelecido pela Portaria MS 2914/2011 em São José do Mipibu, à montante da Lagoa do Bonfim e no extremo oeste do município, na área urbana de Parnamirim, e pontualmente em São Gonçalo do Amarante e Ceará-Mirim.



**Ocorrência de Nitrogênio Nitrato -  $N-NO_3^-$  (mg/L)**



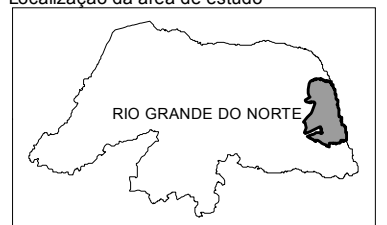
**Fonte**

- SERVMAR - 2011
- △ CAERN - 2011
- ◇ FUNCERN - 2006
- ⊙ Outros

**Convenção Cartográfica**

- Sedes municipais
- Povoados e assentamentos
- Estradas pavimentadas
- Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Limites municipais
- Área de estudo

Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM  
Localização da área de estudo



**Figura 8.28. Ocorrência de nitrogênio nitrato ( $N-NO_3^-$ ) na Região Metropolitana de Natal**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL





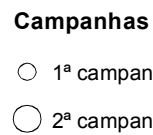
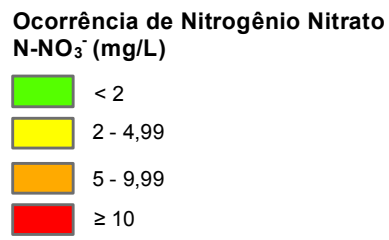
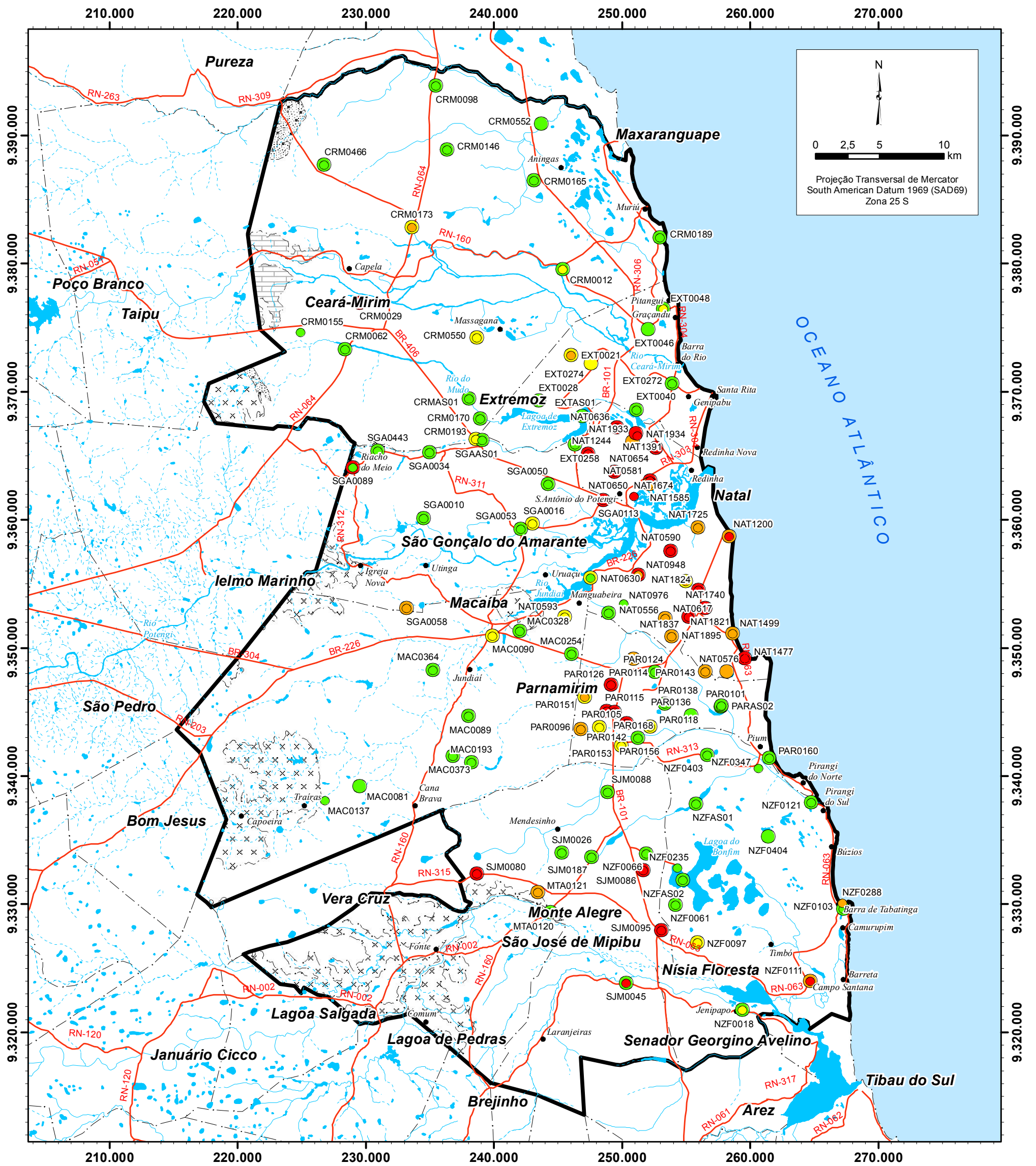
A **Figura 8.29** apresenta intervalos de isoconcentração de  $\text{N-NO}_3^-$  da RMN, de ambas as campanhas de amostragem e demonstram que, em geral, houve um adensamento de ocorrências do  $\text{N-NO}_3^-$  em concentrações mais altas na primeira campanha, relativa ao período de chuvas, tanto no setor oeste quanto no setor leste da RMN, relativo à recarga do aquífero e à consequente chegada do contaminante desde a superfície até o aquífero.

Levando-se em conta apenas o município de Natal, os valores detectados de  $\text{N-NO}_3^-$  foram: mínimo de 0,70 mg/L, máximo de 33,98 mg/L e média de 12,60 mg/L. A mediana foi de 11,02 mg/L e, dentre as 21 amostras analisadas na 1ª. campanha de monitoramento no município de Natal, 12 ficaram acima do valor de 10 mg/L, estabelecido pela norma de potabilidade vigente, a Portaria MS nº2914/2011.

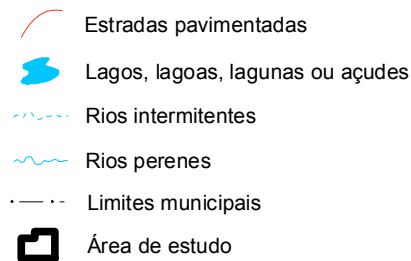
Para avaliar o município de Natal, onde se concentram os maiores valores de  $\text{N-NO}_3^-$ , foi elaborado um mapa de ocorrência, **Figura 8.30**, utilizando-se os resultados obtidos na primeira campanha de amostragem, dados da FUNCERN, 2006 e dados da CAERN, 2011, nesta ordem de prioridade. A zona norte de Natal apresenta concentrações elevadas em toda a sua extensão, com ocorrências de nitrato acima do limite estabelecido pela Portaria MS 2914, enquanto em algumas porções, na zona sul e sudeste, pode-se observar áreas com baixas concentrações de nitrato. Apenas no extremo oeste e extremo sul da área foram observadas concentrações de nitrato, possivelmente naturais, abaixo de 1 mg/L de  $\text{N-NO}_3^-$ .

Para uma avaliação sobre a evolução da contaminação por Nitrato no município de Natal foram elaborados mapas de isoconcentrações utilizando-se dados da FUNCERN, 2006, **Figura 8.31**, dados da 1ª. campanha de monitoramento, **Figura 8.32** e dados da 2ª. campanha de monitoramento, **Figura 8.33**.

O mapa da FUNCERN, 2006, tem a vantagem de ter sido traçado considerando-se 63 pontos de amostragem, permitindo verificar variações mais localizadas e melhorando a escala de mapa. Entretanto, os mapas produzidos com a primeira e segunda campanhas, embora tenham sido trabalhados com cerca de um terço de pontos em relação ao mapa com dados da FUNCERN, tiveram uma distribuição de pontos bastante regular e adequada, além da vantagem de uma campanha confirmar a outra.



**Convenção Cartográfica**



**Geologia**



Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM

Localização da área de estudo

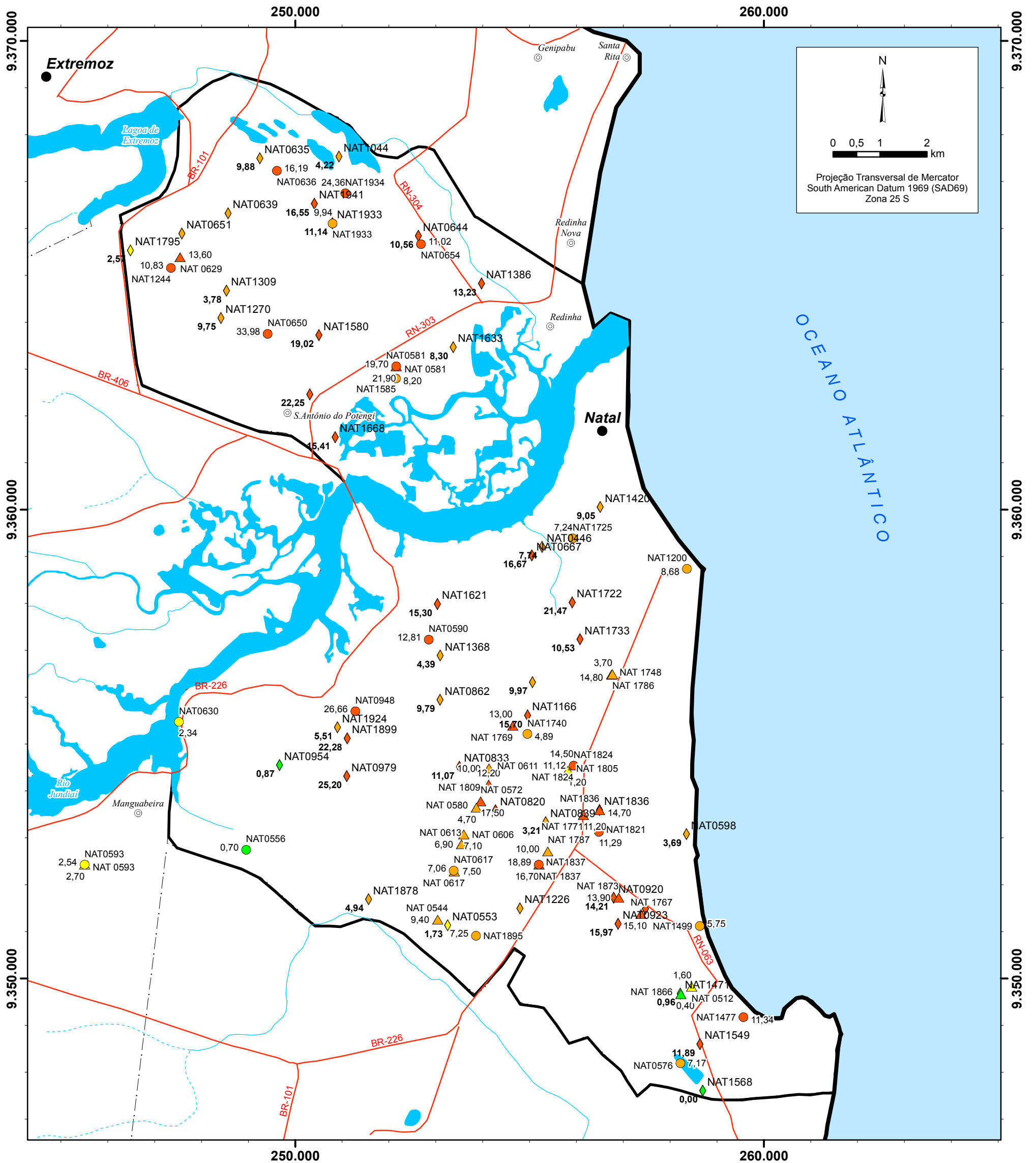


**Figura 8.29. Ocorrência de nitrogênio nitrato na Região Metropolitana de Natal (1ª e 2ª Campanha)**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL







Projeção Transversal de Mercator  
South American Datum 1969 (SAD69)  
Zona 25 S

**Ocorrência de Nitrogênio Nitrato - N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/L)**

Green	< 1
Yellow	1 - < 3
Orange	3 - < 10
Red	≥ 10

**Fonte**

Circle	SERVMAR - 2011
Triangle	CAERN - 2011
Diamond	FUNCERN - 2006

**Convenção Cartográfica**

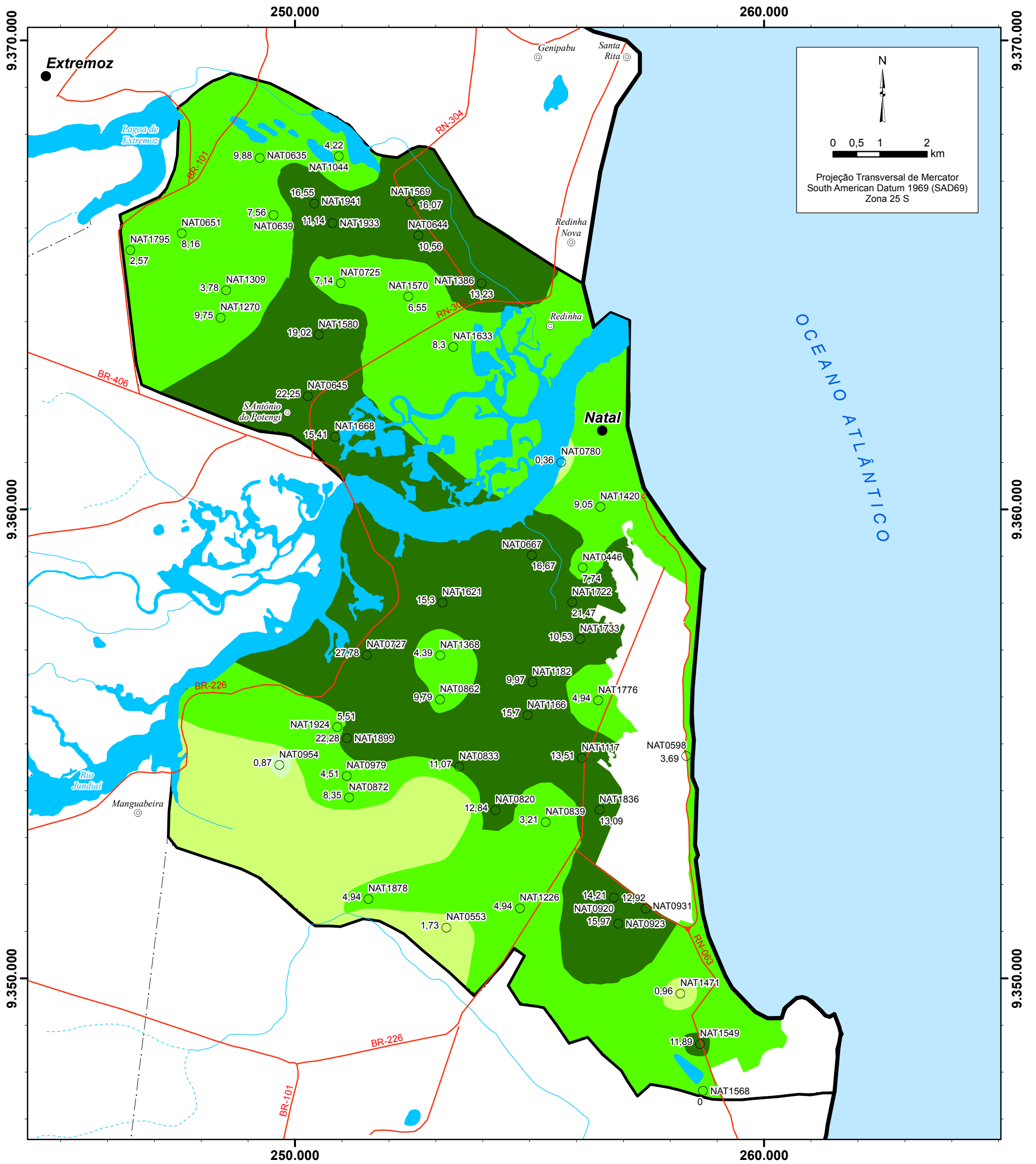
Black dot	Sedes municipais
Circle with dot	Povoados e assentamentos
Red line	Estradas pavimentadas
Blue area	Lagos, lagoas, lagoas ou açudes
Blue dashed line	Rios intermitentes
Blue solid line	Rios perenes
Black dashed line	Limites municipais
Black outline	Área de estudo

Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM  
Localização da área de estudo



**Figura 8.30. Ocorrência de nitrogênio nitrato (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) no município de Natal**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL

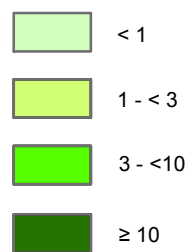


N

0 0,5 1 2 km

Projeção Transversal de Mercator  
South American Datum 1969 (SAD69)  
Zona 25 S

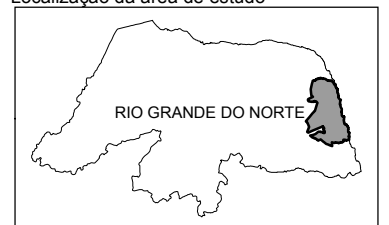
**Isoconcentrações de Nitrogênio Nitrato -  $N-NO_3^-$  (mg/L)**



**Convenção Cartográfica**

- Sedes municipais
- ⊙ Povoados e assentamentos
- Estradas pavimentadas
- Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Limites municipais
- ▭ Área de estudo
- Poços (FUNCERN, 2006)

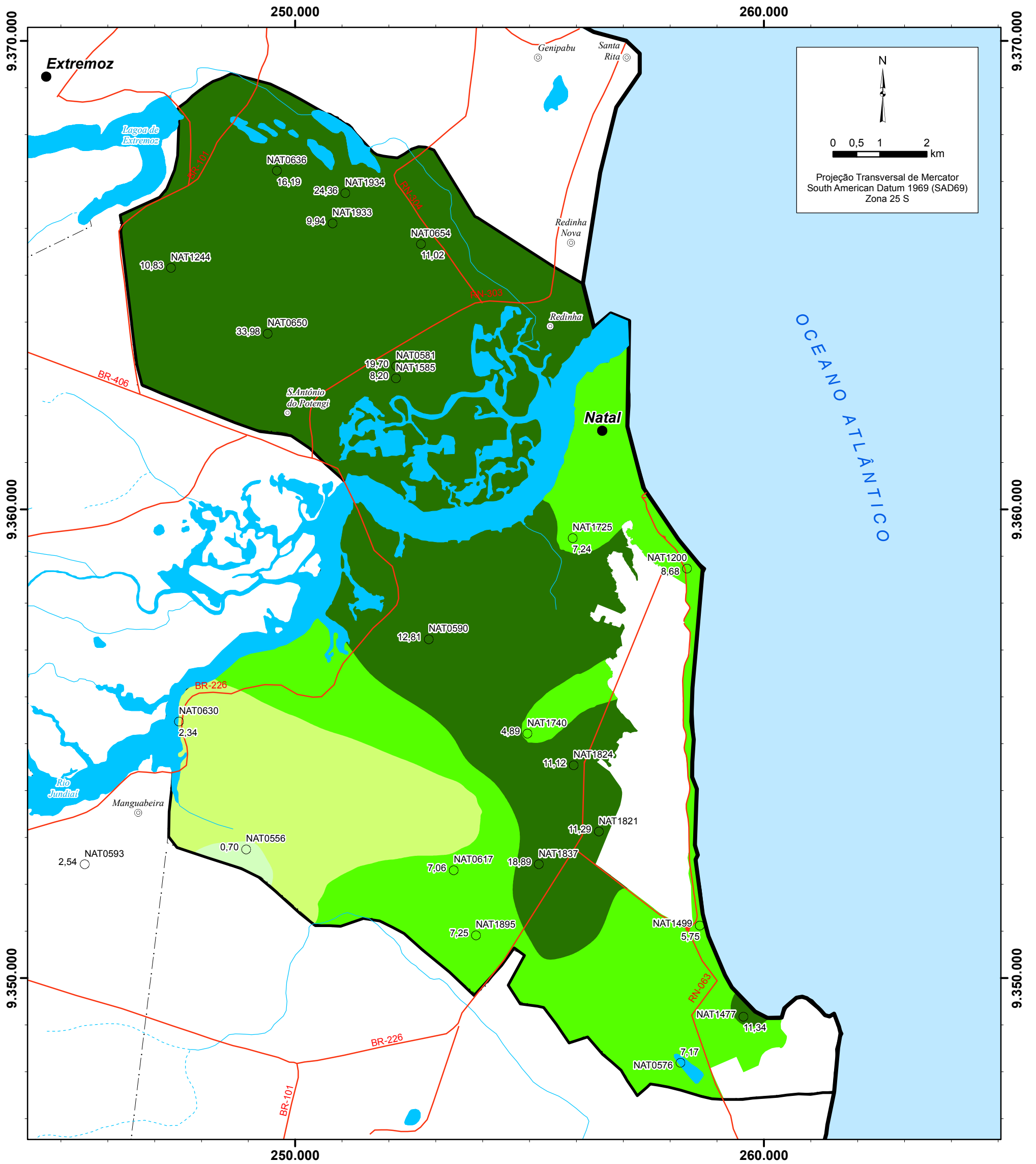
Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM  
Localização da área de estudo



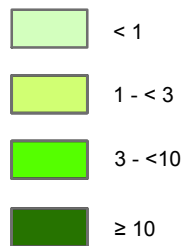
**Figura 8.31. Isoconcentrações de nitrogênio nitrato ( $N-NO_3^-$ ) no município de Natal - FUNCERN, 2006**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL





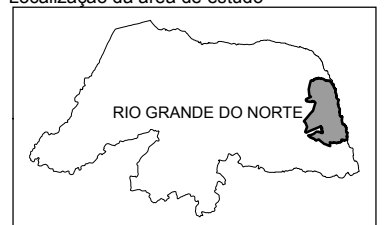
**Isoconcentrações de Nitrogênio Nitrato - N-NO<sub>3</sub> (mg/L)**



**Convenção Cartográfica**

- Sedes municipais
- ⊙ Povoados e assentamentos
- Estradas pavimentadas
- Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Limites municipais
- ▭ Área de estudo
- Poços - 1ª Campanha (Out/Nov 2011)

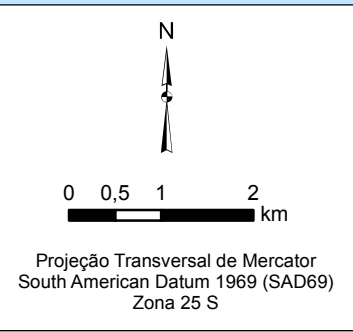
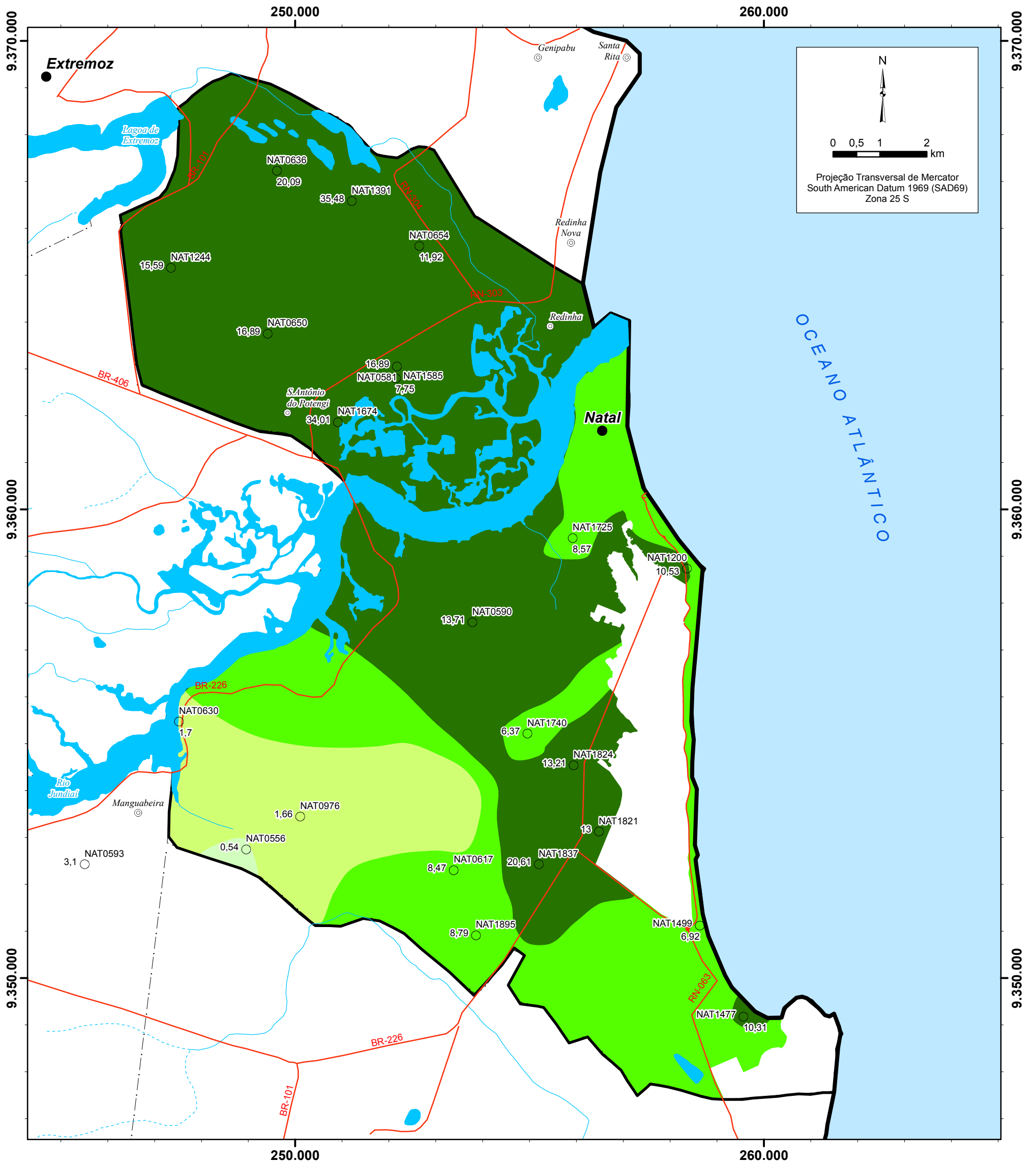
Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM  
Localização da área de estudo



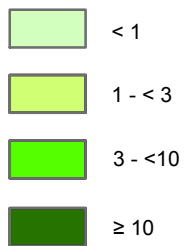
**Figura 8.32. Isoconcentrações de nitrogênio nitrato (N-NO<sub>3</sub>) no município de Natal - SERVMAR 1ª Campanha, 2011**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL





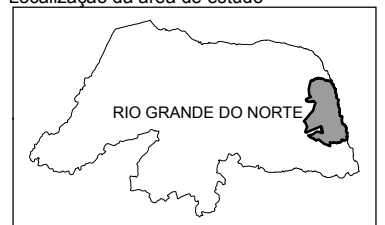
**Isoconcentrações de Nitrogênio Nitrito - N-NO<sub>3</sub> (mg/L)**



**Convenção Cartográfica**

- Sedes municipais
- ⊙ Povoados e assentamentos
- Estradas pavimentadas
- ☁ Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- ⋯ Rios intermitentes
- ⋯ Rios perenes
- Limites municipais
- ▭ Área de estudo
- Poços (2ª Campanha - Fev/Mar 2012)

Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM  
Localização da área de estudo



**Figura 8.33. Isoconcentrações de nitrogênio nitrito (N-NO<sub>3</sub>) no município de Natal - SERVMAR 2ª campanha, 2012**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL



De modo geral, pideram-se observar situações distintas sobre a evolução da contaminação para as zonas sul e norte do município de Natal entre 2006 e 2012, sendo que na zona norte houve uma expansão significativa da contaminação por nitrato, enquanto na zona sul, do que se pôde observar com os pontos monitorados em 2012, verificou-se que a contaminação apresentou uma configuração bastante semelhante à observada com os dados da SERHID (2005).

No caso da zona norte do município de Natal, com os dados da SERHID (2005) é possível observar que boa parte dos bairros de Nossa Senhora da Apresentação, Lagoa Azul e Redinha, embora tivessem águas impactadas pelo nitrato, apresentavam concentrações num intervalo entre 3 e 10 mg/L de  $\text{N-NO}_3^-$ . Com os dados de 2012, verificou-se que todas as amostras analisadas apresentaram concentrações superiores a 10 mg/L de  $\text{N-NO}_3^-$ , acima da Portaria MS nº 2914/2011.

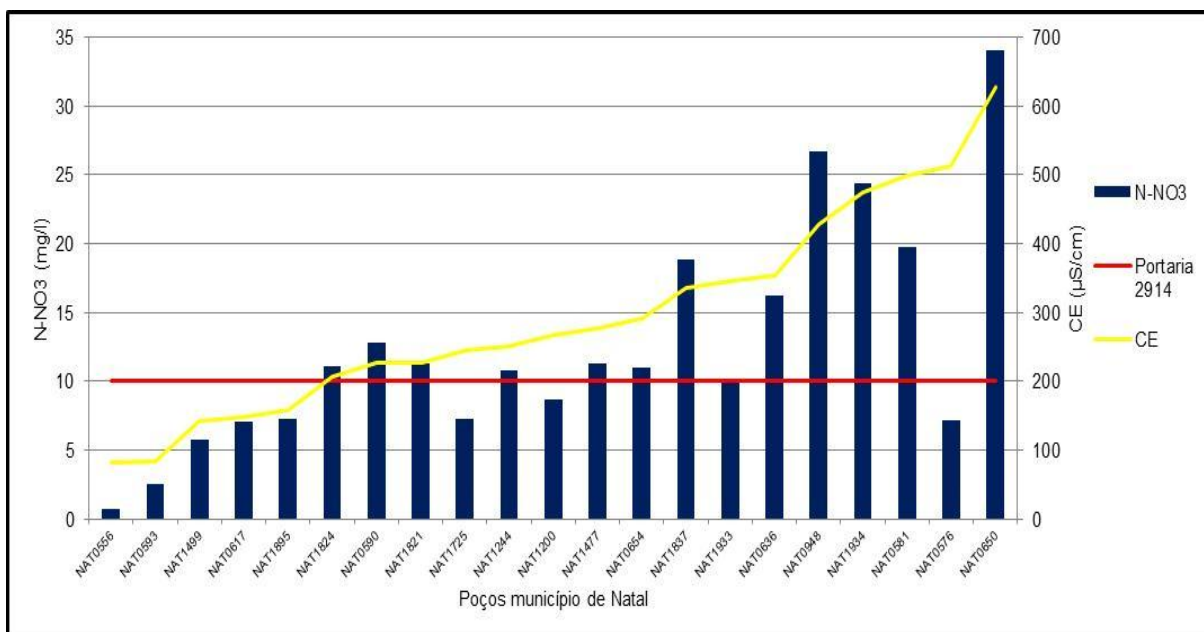
Na zona sul do município de Natal, deve-se destacar duas áreas privilegiadas do ponto de vista hidrogeológico: uma no extremo oeste, nos bairros de Guarapes, Cidade Nova e Planalto e outra no extremo leste, o Parque das Dunas. Estas áreas são caracteristicamente áreas de recarga, com fluxos de água divergentes a partir delas, favorecendo a diluição de eventuais ocorrências de nitrato e mantendo, portanto, a ocorrência de águas de qualidade relativamente boa, nestas localidades do município de Natal.

Observa-se que não foi detectado o nitrito nas águas subterrâneas e o amônio apresentou a mediana abaixo do limite de detecção.

Visando contribuir com algumas avaliações específicas que possam auxiliar em investigações sobre a contaminação por nitrato, foram realizados alguns exercícios de correlação de parâmetros hidroquímicos tais como pH, CE,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^+$  e  $\text{Na}^+$ .

A **Figura 8.34** foi elaborada para a verificação da variação da CE como indicador da contaminação por nitrato. Foram selecionados 21 pontos de ocorrência de nitrato no município de Natal e pôde-se observar uma forte correlação entre  $\text{N-NO}_3^-$  e CE, notando-se uma tendência de aumento nos valores de condutividade elétrica nas concentrações mais elevadas de  $\text{N-NO}_3^-$ .





**Figura 8.34. Correlação de CE x N-NO<sub>3</sub>**

Para verificar possíveis correlações de ocorrências de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> com pH, CE, Cl<sup>-</sup>, ISO<sub>4</sub><sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Ca<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup> foram elaborados gráficos de correlação de Scatter, apresentados nos gráficos da **Figura 8.35**.

Pôde-se confirmar que a correlação direta mais efetiva do N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> foi com a CE. Ainda assim, alguns dos pontos com os mais altos valores de CE apresentaram N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> muito baixo ou nulo, uma vez que a alta CE pode estar relacionada também a águas de circulação muito baixa ou a interferências de águas de outros aquíferos. Tanto o cloreto quanto o sódio apresentaram uma correlação com o nitrato neste mesmo modelo, embora bem menos evidente.

Por outro lado, puderam-se observar correlações inversas, embora pouco evidentes, do N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> com o pH e, menos evidentes ainda, com o cálcio.

Estudos mais específicos levando em conta modelos conceituais locais com fontes de contaminação, sentidos de fluxo de águas e poços de diferentes profundidades, podem utilizar este tipo de avaliação de uma maneira mais efetiva.

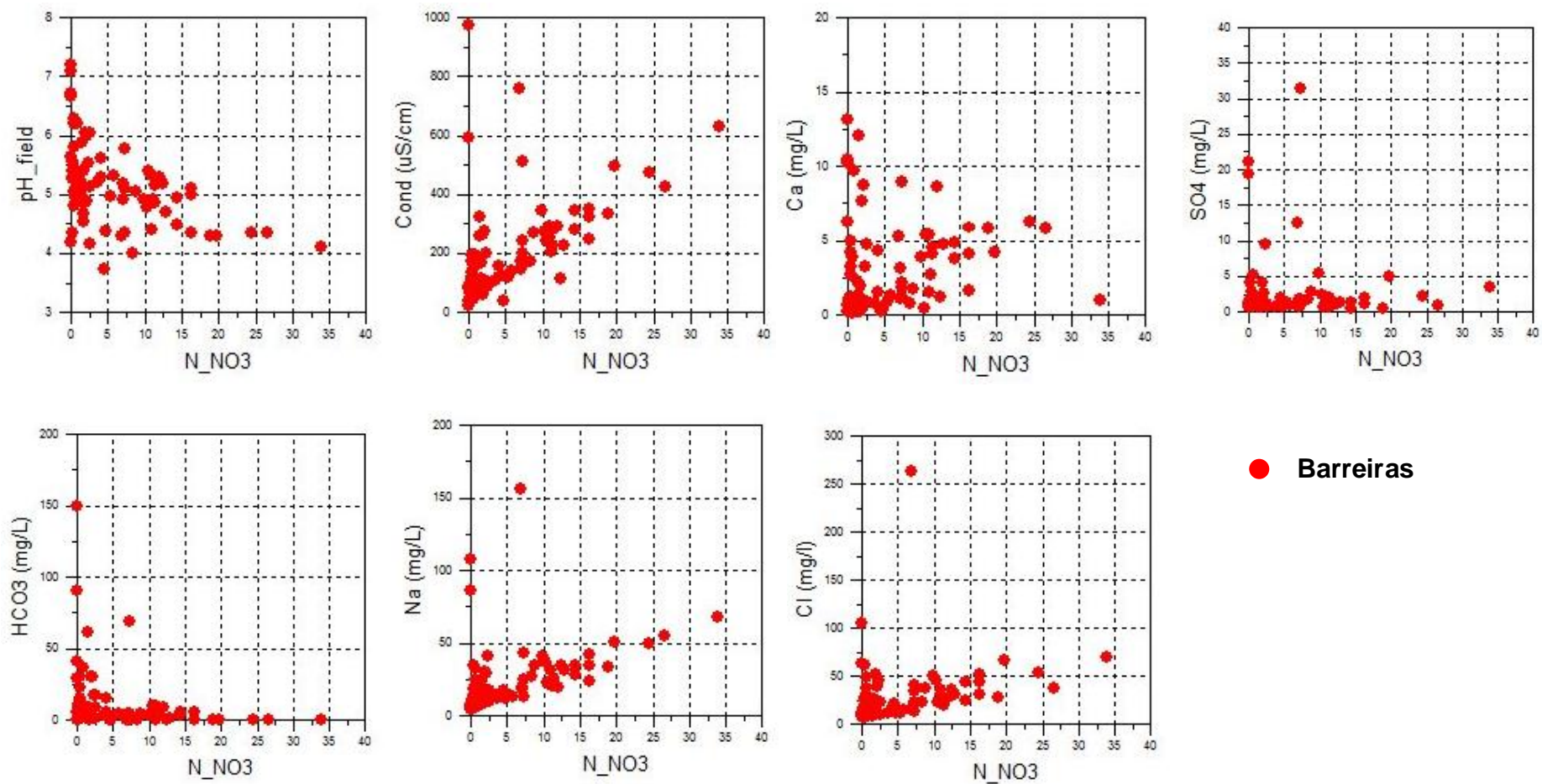


Figura 8.35 Gráficos de correlação de Scatter

## 8.9 Avaliações Isotópicas

Os isótopos ambientais de hidrogênio e oxigênio, devido a sua dinâmica no ciclo hidrológico, são utilizados nos estudos hidrogeológicos como ferramenta complementar na avaliação dos fluxos subterrâneos, investigação sobre a origem das águas e interpretações sobre mecanismos de contaminação em muitas partes do mundo (CLARK; FRITZ, 1997).

A rede de monitoramento dos isótopos ambientais definida neste estudo contemplou a seleção de 40 pontos de coleta, distribuídos amplamente na área de estudo, objetivando uma caracterização do Sistema Aquífero Barreira e as possíveis avaliações sobre sua dinâmica de fluxo e eventuais interpretações sobre a correlação com as outras unidades aquíferas e com os corpos hídricos superficiais. Desse modo, a rede de monitoramento foi constituída, na grande maioria, por poços (tubulares e cacimbas) instalados em diferentes profundidades do SAB, mas também por poços que exploram as demais unidades aquíferas da área (Rochas Carbonáticas, Cristalino e Açú) e pontos de coleta em nascentes e nas principais lagoas da RMN.

A seleção dos poços do Sistema Aquífero Barreiras considerou a distribuição espacial, bem como a profundidade de captação, buscando a representatividade de fluxos locais, intermediários e regionais. Os poços cacimbas, além de representarem as condições de fluxos rasos (freático) do SAB, foram selecionados também como possíveis pontos para caracterização da assinatura isotópica média das chuvas.

A **Figura 8.36** apresenta a localização dos pontos de amostragem de isótopos de hidrogênio e oxigênio. Vale ressaltar que todos os poços que compõem esta rede, também compõem a rede de monitoramento hidroquímico.

Os resultados das análises desses isótopos ambientais são dados em  $\delta\text{‰}$ , definido por,  $\delta\text{‰} = [(R_a - R_p)/R_p] \times 10^3$  onde,  $R_a$  é a razão isotópica  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  ou  $^2\text{H}/^1\text{H}$ , respectivamente, para o oxigênio e para o hidrogênio na amostra e  $R_p$  é o seu valor para uma água padrão “VSMOW” (Vienna Standard Mean Ocean Water) da IAEA (sigla em inglês da Agência Internacional de Energia Atômica) em Viena/Áustria.

A interpretação desses resultados, conforme será discutido adiante, é obtida pela relação  $\delta^{18}\text{O}$  vs  $\delta^2\text{H}$ , em comparação com as retas meteóricas que, neste caso, foram adotadas a Reta Meteórica Mundial (RMM) e uma reta meteórica do Estado do Ceará, elaborada a partir de dados obtidos na Rede de Águas de Chuva (GNIP) da IAEA.

Ressalta-se que, apesar de não existir uma reta meteórica local, a metodologia adotada não compromete a interpretação alcançada nestes estudos, visto que este é um procedimento usual nessas interpretações isotópicas que contam com poucas retas meteóricas locais.

A aplicação desses isótopos estáveis nas interpretações hidrogeológicas é possível devido suas propriedades e modelo de fracionamento. Esses elementos possuem pequenas massas atômicas e, por essa razão, ínfimas alterações na proporção entre os isótopos resultam diferenciações facilmente mensuráveis. As alterações nas proporções dos isótopos são decorrentes de reações físicas e/ou químicas responsáveis pelo fracionamento isotópico.

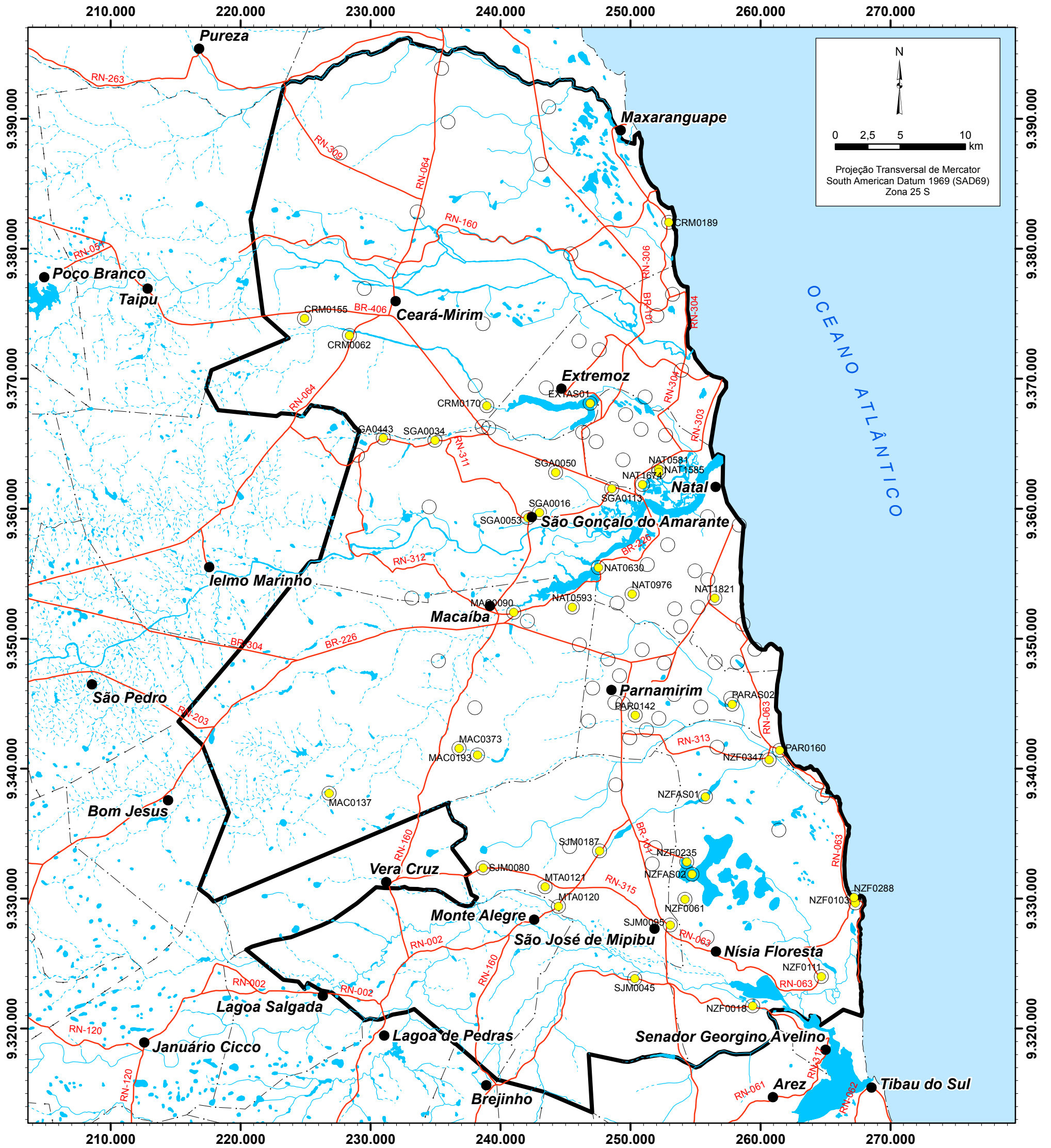
No caso dos isótopos ambientais analisados, por exemplo, uma molécula de água contendo o isótopo de  $^{18}\text{O}$  e  $^2\text{H}$  é mais pesada (maior massa atômica) que uma molécula que contenha  $^{16}\text{O}$  e  $^1\text{H}$ . Essa variação na massa atômica favorece que processos físicos naturais presentes no ciclo hidrológico, como a evaporação e a precipitação (condensação), promovam o relativo acúmulo (enriquecimento) ou perda (empobrecimento) de um isótopo durante as mudanças do estado físico das águas.

Na evaporação, a fase vapor tende acumular relativamente mais  $^{16}\text{O}$  (mais leve) e, conseqüentemente, a fase líquida em evaporação terá o enriquecimento relativo em  $^{18}\text{O}$ . Nas precipitações pluviométricas, a situação de fracionamento se inverte, as chuvas mais próximas do ponto de geração das massas úmidas tendem a ser relativamente mais enriquecidas em  $^{18}\text{O}$ , já que sua massa atômica favorece que as moléculas de água contendo  $^{18}\text{O}$ , precipitem prioritariamente que as moléculas com  $^{16}\text{O}$ .

O fracionamento isotópico de oxigênio e hidrogênio confere às águas uma característica específica das razões isotópicas, denominada de assinatura isotópica, que permite diferenciar as águas em função dos processos físicos que foram submetidas no ciclo hidrológico.

A **Tabela 8.19** apresenta a identificação de cada ponto de amostragem, a posição geográfica, a indicação da origem das águas coletadas, os resultados das razões isotópicas de hidrogênio e oxigênio e as medições de condutividade elétrica obtidas em campo na ocasião da coleta das amostras.

Conforme discutido anteriormente, as razões iônicas representam o enriquecimento ou o empobrecimento de um isótopo relativamente ao outro. Os resultados mais negativos de  $\delta^{18}\text{O}$  e de  $\delta^2\text{H}$  indicam empobrecimento de  $^{18}\text{O}$  e  $^2\text{H}$ , respectivamente. A seguir será apresentada uma análise estatística simplificada dos resultados das razões iônicas, em função da origem das águas coletadas.



Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM

Localização da área de estudo



**Rede de Monitoramento - (Fev/Mar 2012)**

- Isótopos
- Hidroquímico

**Convenção Cartográfica**

- Sedes municipais
- Estradas pavimentadas
- Lagos, lagoas, lagoas ou açudes
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Limites municipais
- Área de estudo

**Figura 8.36 Distribuição global das amostras de isótopos na Região Metropolitana de Natal**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL





No Sistema Aquífero Barreiras foram amostrados 26 poços, abrangendo diferentes profundidades de captação, sendo 11 poços explotando níveis mais profundos (Barreiras Profundo), em geral acima de 50 m, 8 poços com seções filtrantes no intervalo de 10 a 50 m (Barreiras Raso) e 7 poços cacimbas (amazonas). Os resultados de  $\delta^{18}\text{O}$  no SAB variaram de -3,15‰ a 0,16‰ e média de -2,49‰ e os resultados de  $\delta^2\text{H}$  variaram de -10,90‰ a -0,77‰ e média de -6,33‰.

A rede de monitoramento contemplou 3 poços mistos que captam águas do SAB e também das rochas carbonáticas. Nesses poços, as razões isotópicas apresentaram as seguintes variações: de -2,89‰ a -2,10‰ e média de -2,45‰ para  $\delta^{18}\text{O}$  e -10,35‰ a -7,06‰ com valor médio de -9,15‰ para  $\delta^2\text{H}$ .

As águas superficiais foram amostradas em 7 locais, sendo 3 nascentes e 4 lagoas (Extremoz, Jiqui, Pium e Bonfim). Nesses locais as razões isotópicas apresentaram maior variação, com resultados de  $\delta^{18}\text{O}$ , variando de -3,73‰ a 2,54‰ com média de 1,24‰ e de  $\delta^2\text{H}$  variando de -10,49‰ a 22,82‰ e média de 1,02‰.

Nos demais aquíferos (Rochas Carbonáticas, Cristalino e Açú) foram selecionados poucos pontos e, desse modo, não será discutida a estatísticas dos resultados, muito embora as razões isotópicas desses aquíferos serão incluídas nas discussões sobre a dinâmica de fluxo e das eventuais interações do SAB com essas unidades hidrogeológicas.

O gráfico de “ $\delta^{18}\text{O}$  vs  $\delta\text{D}$  VSMOW” (**Figura 8.27**) apresenta a distribuição dos resultados das razões isotópicas, diferenciados por origem e a representação das retas meteóricas Mundial (RMM) e do Estado do Ceará (RMC). A equação da RMM é  $\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$  e a equação da RMC é  $\delta^2\text{H} = 8,10 \delta^{18}\text{O} + 9,44$ .

A distribuição dos pontos ao longo das retas meteóricas demonstra a amplitude dos resultados isotópicos que variaram de -3,73‰ a 2,54‰ ( $\delta^{18}\text{O}$ ) e de -14,65‰ a 22,82‰ ( $\delta^2\text{H}$ ). Entretanto, apesar da grande amplitude, existem agrupamentos que permitem traçar algumas considerações acerca do entendimento do fluxo subterrâneo e interpretações sobre origens, recargas e correlações entre corpos hídricos.

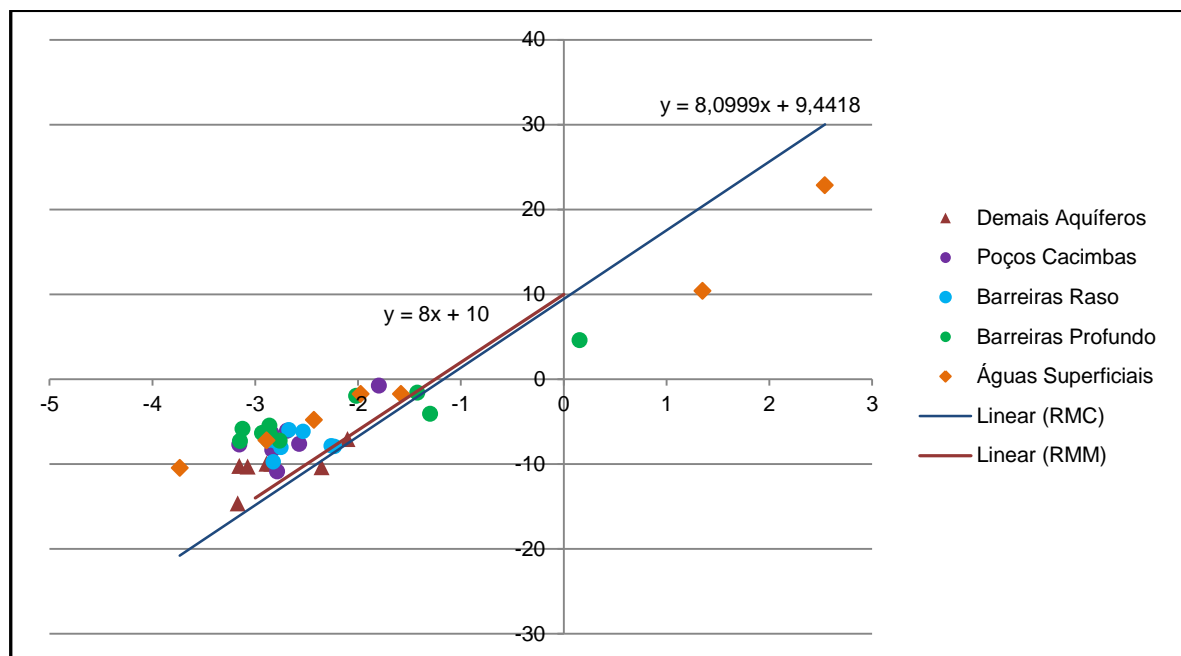
O agrupamento de pontos com valores menos negativos ( $\delta^{18}\text{O}$  de -1,30‰ a -2,02‰), relativamente mais enriquecidos em  $^{18}\text{O}$ , representam predominantemente poços próximos à região costeira (CRM0189, NAT0581, NAT1585, NAT1674, SGA0113).

**Tabela 8.19. Resultados das análises isotópicas**

ID	CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	$\delta^{18}\text{O}$ VSMOW	$\delta^2\text{H}$ VSMOW	Origem	Coord. E	Coord. S
NAT0630	52	-3,73	-10,49	ÁGUAS SUPERFICIAIS	247.519	9.355.476
CRM0062	580	-3,17	-14,65	R. CARBONÁTICAS	228.364	9.373.336
CRM0155	1.825	-3,16	-10,24	AÇU	224.902	9.374.642
NZF0111	181	-3,15	-7,32	BARREIRAS PROFUNDO	264.670	9.324.008
NZF0347	51	-3,15	-7,71	CACIMBA	260.628	9.340.631
PAR0142	173	-3,12	-5,86	BARREIRAS PROFUNDO	250.347	9.344.112
SGA0034	351	-3,07	-10,33	AÇU	234.937	9.365.266
NAT1821	211	-2,93	-6,37	BARREIRAS PROFUNDO	256.478	9.353.126
MAC0373	185	-2,89	-7,24	ÁGUAS SUPERFICIAIS	236.800	9.341.557
NAT0593	65	-2,89	-6,33	BARREIRAS PROFUNDO	245.505	9.352.430
SGA0053	2.203	-2,89	-10,00	MISTO	242.089	9.359.306
SJM0045	283	-2,87	-7,23	BARREIRAS RASO	250.311	9.323.856
PAR0160	55	-2,86	-5,51	BARREIRAS PROFUNDO	261.467	9.341.404
SGA0050	143	-2,86	-6,56	BARREIRAS PROFUNDO	244.220	9.362.794
MAC0137	1.211	-2,84	-9,99	CRISTALINO	226.800	9.338.100
NZF0235	113	-2,84	-6,36	CACIMBA	254.316	9.332.835
SGA0443	578	-2,83	-8,36	CACIMBA	230.925	9.365.397
MAC0193	95	-2,82	-9,74	BARREIRAS RASO	238.217	9.341.058
SJM0187	57	-2,80	-7,35	BARREIRAS RASO	247.607	9.333.668
MTA0120	101	-2,79	-10,90	CACIMBA	244.410	9.329.358
NZF0103	110	-2,76	-7,25	CACIMBA	267.263	9.329.626
SGA0016	204	-2,75	-8,07	BARREIRAS RASO	242.980	9.359.702
NZF0288	287	-2,69	-6,08	CACIMBA	267.188	9.330.090
SJM0095	295	-2,67	-5,99	BARREIRAS RASO	253.048	9.327.966
NAT0976	159	-2,57	-6,64	CACIMBA	250.107	9.353.446
NZF0018	292	-2,53	-6,16	BARREIRAS RASO	259.383	9.321.740
PARAS 02	39	-2,43	-4,80	ÁGUAS SUPERFICIAIS	257.761	9.345.478
CRM0170	162	-2,35	-10,39	MISTO	238.926	9.367.918
SJM0080	218	-2,26	-7,86	BARREIRAS RASO	238.652	9.332.368
MTA0121	149	-2,23	-7,94	BARREIRAS RASO	243.407	9.330.916
MAC0090	531	-2,10	-7,06	MISTO	239.860	9.350.964
NAT0581	358	-2,02	-1,99	BARREIRAS PROFUNDO	252.168	9.363.054
NAT1585	313	-1,97	-1,77	ÁGUAS SUPERFICIAIS	252.148	9.362.802
NAT1674	777	-1,80	-0,77	CACIMBA	250.911	9.361.864
NZFFAS 01	77	-1,58	-1,74	ÁGUAS SUPERFICIAIS	255.749	9.337.834
CRM0189	80	-1,42	-1,60	BARREIRAS PROFUNDO	252.930	9.382.042
SGA0113	327	-1,30	-4,08	BARREIRAS PROFUNDO	248.540	9.361.544
NZF0061	221	0,16	-4,57	BARREIRAS PROFUNDO	254.178	9.329.948
EXTAS 01	441	1,35	10,38	ÁGUAS SUPERFICIAIS	246.880	9.368.113
NZFFAS 02	169	2,54	22,82	ÁGUAS SUPERFICIAIS	254.718	9.331.886

O agrupamento de razões isotópicas com resultados intermediários representa a grande maioria das amostras analisadas. Cerca de 50% das amostras apresentam  $\delta^{18}\text{O}$  entre -2,50‰ a -3,00‰. Nesse intervalo, com exceção a duas amostras, todas as demais são águas do SAB, indicando um possível padrão de assinatura isotópica do SAB. Conforme será discutido a seguir, dentro desse intervalo é possível identificar variações que levam a algumas interpretações acerca do fluxo subterrâneo desse sistema aquífero.

Os poços denominados “Barreiras Profundo” (NAT0593, NAT1821, NZF0111, NZF0103, PAR0142, PAR0160 e SGA0050) são relativamente empobrecidos em  $^{18}\text{O}$ , apresentando variação de  $\delta^{18}\text{O}$  entre -2,76‰ e -2,93‰. Dentre as amostras do SAB (**Figura 8.37**), os poços profundos aparecem predominantemente em torno do valor -3,00‰ ( $\delta^{18}\text{O}$ ). As exceções existentes serão discutidas oportunamente adiante.



**Figura 8.37. Gráfico dos resultados de  $\delta^{18}\text{O}$  vs  $\delta^2\text{H}$  VSMOW**

Os poços cacimbas e os denominados “Barreiras Raso”, de maneira geral, possuem a tendência de empobrecimento em  $^{18}\text{O}$  de leste para oeste. As exceções dessa tendência geral são poços situados em áreas de descarga que, mesmo posicionados próximos à costa, apresentam relativo empobrecimento de  $^{18}\text{O}$  (NZF235 e NZF0288).

Do exposto acima se pode inferir que o fracionamento isotópico ocorre com o empobrecimento de  $^{18}\text{O}$  em direção ao interior. Desse modo, os fluxos regionais provenientes das recargas que ocorrem na região dos “tabuleiros” são relativamente mais pobres nesse isótopo, evidenciado pela assinatura isotópica detectada nos poços “Barreiras Profundo” e nas áreas de descargas. E os fluxos

mais rasos, variam sua assinatura isotópica, em função, principalmente, da distância em relação à costa.

Vale lembrar que o litoral leste do Rio Grande do Norte sofre a influência principalmente dos sistemas hidrometeorológicos da Zona de Convergência Intertropical - ZCIT e Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS e de efeitos locais de ilhas de calor e alternância de variações de temperatura entre as águas do mar e do continente (SEMOPI, 2009) que propiciam a ocorrência de chuvas provenientes do oceano, com as maiores precipitações nas áreas costeiras, diminuindo o volume e a intensidade em direção ao interior, chegando a condições semiáridas a oeste da RMN.

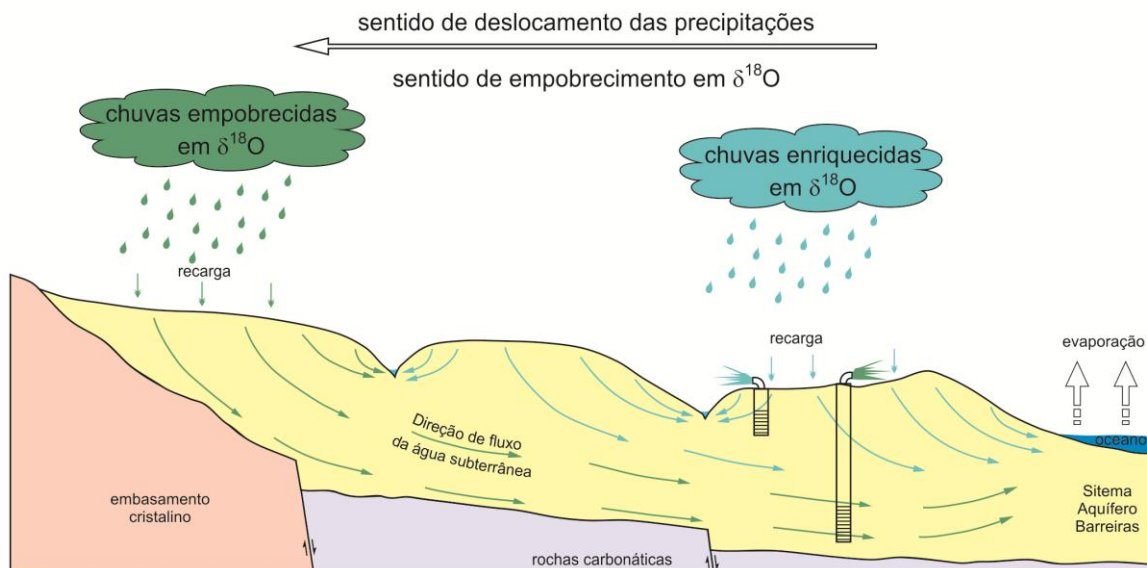
A avaliação dos isótopos ambientais, associado ao padrão hidrometeorológico da RMN confirma o modelo conceitual de fracionamento isotópico no qual as chuvas mais próximas às áreas de formação das massas úmidas serão relativamente enriquecidas em  $^{18}\text{O}$ , empobrecendo essa razão iônica à medida que migra em direção ao oeste.

A interpretação acima também se confirma ao avaliar o grupo de resultados de maior fracionamento dessa campanha. As amostras dos aquíferos das Rochas Carbonáticas e Açú estão entre esses resultados, apresentando  $\delta^{18}\text{O}$  de -3,07‰ (SGA0034), -3,16‰ (CRM0155) e -3,17‰ (CRM0062). As recargas desses aquíferos ocorrem a oeste da RMN, sendo que as razões isotópicas detectadas são compatíveis com o modelo conceitual de fracionamento discutido.

Ainda que alguns poços do “Barreiras Profundo” também tenham razões isotópicas nessa mesma magnitude, não refletem necessariamente misturas com as águas desse aquífero. A interpretação adotada é que algumas recargas do SAB em regiões no limite oeste desse sistema aquífero podem conter assinatura isotópica semelhante.

A **Figura 8.38** ilustra esquematicamente o fracionamento isotópico associado às precipitações e, conseqüentemente às recargas do SAB na RMN, interpretado a partir das assinaturas isotópicas obtidas nas amostras analisadas, confirmando o modelo conceitual hidrogeológico do SAB.

Além da avaliação do fluxo subterrâneo de caráter regional, algumas interpretações de âmbito local devem ser destacadas e serão discutidas a seguir.



**Figura 8.38. Modelo de fracionamento isotópico e do fluxo subterrâneo do SAB**

Nas análises realizadas, foram detectadas três razões iônicas positivas com valores de  $\delta^{18}\text{O}$  de 1,35‰ (EXTAS01), 2,54‰ (NZFAS02) e 0,16‰ (NZF0061) nas amostras coletadas, respectivamente, na lagoa de Extremoz, na lagoa do Bonfim e em um poço profundo nas imediações da lagoa do Bonfim. Esses resultados correspondem ao intenso enriquecimento de  $^{18}\text{O}$  nessas águas, possivelmente relacionado à forte influência da evaporação nessas lagoas, sobretudo na lagoa do Bonfim. Essa assinatura isotópica permite inferir que, apesar de mantidas pela contribuição das águas subterrâneas, a circulação de água nas lagoas é suficientemente pequena para que a evaporação possa provocar o fracionamento isotópico bastante diferenciado das águas subterrâneas do entorno.

A assinatura isotópica encontrada no poço NZF0061, possivelmente configura uma contribuição das águas da lagoa do Bonfim, atraídas pelo bombeamento. Essa conectividade com a lagoa pode estar relacionada a um condicionamento estrutural, já que seria pouco provável que a lagoa estivesse na zona de captura desse poço, devido à distância e ao posicionamento entre a lagoa do Bonfim e o poço.

O fracionamento existente na lagoa do Bonfim diferencia tão intensamente a assinatura isotópica em relação às assinaturas identificadas no SAB que impedem as interpretações acerca de quais fluxos do SAB são responsáveis pela manutenção dos níveis da lagoa.

As demais análises de água superficiais, apesar de apresentarem assinaturas isotópicas bastante diversificadas, em geral, tiveram correlação ao padrão fracionamento e ao modelo de relação com as águas subterrâneas locais. Nesses



casos podem ser incluídos os pontos MAC0373 (-2,89‰), NAT1585 (-1,97‰) e PARAS02 (-2,43‰) que correspondem, respectivamente, a duas nascentes e à lagoa do Jiqui e que possuem razões isotópicas compatíveis com os resultados obtidos para as águas do SAB e com as assinaturas detectadas em amostras de poços em áreas próximas. Esses corpos hídricos superficiais, de acordo com as razões isotópicas, são mantidos pela contribuição das águas subterrâneas do SAB.

A amostra coletada na lagoa do Pium (NZFAS01) apresentou  $\delta^{18}\text{O}$  de -1,58‰, sendo relativamente enriquecida em  $^{18}\text{O}$ . Essa assinatura isotópica pode refletir a contribuição que essa lagoa recebe de fluxo superficial proveniente do rio homônimo. Entretanto, essa característica é atípica às condições encontradas nas demais lagoas da região e mesmo com o modelo conceitual de alimentação dessa lagoa discutido em estudos anteriores. Lucena *et al.* (2004) evidenciaram uma ampla relação entre mananciais subterrâneos do SAB e águas superficiais, calculando contribuições de água subterrânea à margem direita da lagoa do Pium, da ordem de 224 m<sup>3</sup>/h.

A amostra coletada no ponto NAT0630 apresenta uma assinatura isotópica bastante anômala, com  $\delta^{18}\text{O}$  de -3,73‰. Esse local é uma nascente na base de uma duna, de considerável vazão, situada às margens do rio Jundiáí. Esse é o resultado mais empobrecido em  $^{18}\text{O}$ , entre todas as amostras. Assinaturas isotópicas similares seriam encontradas nas águas dos aquíferos Jandaíra e Açú, cujas recargas ocorrem em regiões a oeste da RMN ou em fluxos muito profundos do aquífero Barreiras.

Em análise à assinatura isotópica da NAT0630, discute-se que a localização da nascente e o valor de condutividade elétrica de suas águas descartam qualquer possibilidade de correlação com os aquíferos Jandaíra ou Açú. Entretanto, a correlação com fluxos profundos do SAB poderia ser explicada por um condicionamento estrutural dessa surgência, interceptando equipotenciais de cargas hidráulicas bastante elevadas, correlacionadas às linhas de fluxo provenientes de áreas de recarga situadas no limite oeste do SAB.

Deve-se ressaltar, entretanto, que a avaliação isotópica realizada neste estudo é inédita na RMN para essa escala e abrangência e, desse modo, as interpretações alcançadas devem ser consideradas como de caráter preliminar, devendo ser confirmadas e/ou revisadas à luz de futuros conhecimentos com escala mais detalhada.

As correlações das razões isotópicas com as condutividades elétricas mostraram algumas tendências relacionadas aos aquíferos Jandaíra e Açú, nos quais as condutividades elétricas são mais elevadas e o fracionamento isotópico

empobrecimento em  $^{18}\text{O}$ . Entretanto, não foi evidenciada uma correlação bem definida entre as razões isotópicas do SAB e a condutividade elétrica. Talvez, em um estudo de detalhe nas zonas urbanas de Natal e Parnamirim que contam com uma dinâmica de fluxo subterrâneo sob influência das recargas urbanas, essas correlações poderiam ser evidenciadas e favorecer as interpretações acerca da dinâmica entre os fluxos naturais e urbanos.

As avaliações isotópicas ora desenvolvidas, ainda que preliminares, alcançaram resultados bastante consistentes para a interpretação sobre a dinâmica de fluxo subterrâneo do SAB, para a determinação das tendências de assinatura isotópicas dos aquíferos existentes na RMN, bem como para a compreensão de algumas interações entre fluxos subterrâneos e superficiais.

No sentido de evoluir com a caracterização isotópica das águas subterrâneas na RMN e refinar os conhecimentos hidrogeológicos a partir desses dados, sugere-se a implementação de um programa de monitoramento específico ao tema, incluindo uma rede dedicada à determinação da Reta Meteórica Local do Estado do Rio Grande do Norte. Complementa-se ainda que, em decorrência das diferenças climáticas entre a região costeira e o semiárido, no interior do Estado, pode-se prever o monitoramento para a determinação de mais de uma reta meteórica local, considerando as diferenciações climáticas.

## **9 RECARGA URBANA NA RMN E SEUS IMPACTOS NOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS**

A ocupação urbana possui um significativo potencial de impactar a qualidade e a quantidade dos fluxos hídricos. As alterações aos fluxos hídricos superficiais são aparentes e com acesso facilitado às avaliações e, até mesmo, às aplicações de eventuais medidas mitigadoras. As águas subterrâneas não possuem essas facilidades e, por isso, muitas vezes estão em franco processo de degradação sem que isso possa ser notado.

Diversas atividades, infraestruturas e fatores físicos naturais existentes em um aglomerado urbano podem provocar, influenciar ou potencializar um processo de degradação de um aquífero. Por exemplo, as impermeabilizações dos terrenos provocadas pelos arruamentos e edificações diminuem a parcela de água que naturalmente infiltraria para recarregar o aquífero naquela região. O adensamento de poços motivado pela crescente demanda de uma cidade em expansão, já poderia ser uma ameaça à quantidade, o qual, associado à diminuição da recarga pela impermeabilização, torna ainda mais crítico o potencial de superexploração. Em contrapartida, as fugas de água das redes de abastecimento contribuem com a recarga do aquífero, assim como os vazamentos das redes de esgoto ou a infiltração através de fossas.

As degradações aos aquíferos nas áreas urbanas, desse modo, serão motivadas pelas retiradas de volumes acima das reservas explotáveis do aquífero, pela diminuição das taxas de recarga natural e/ou pelo aporte de volumes de água incorporando cargas contaminantes. Assim como nas condições naturais do ciclo hidrológico, nas quais os fluxos hídricos estão em constante movimento, realizando um balanço de volumes que se movimentam de um corpo hídrico para outro, de um estado físico para outro, nas regiões sob influência antrópica, os balanços dos volumes hídricos também estão presentes, porém com a influência de entradas e saídas de água provocadas pelas intervenções humanas.

A recarga urbana representa uma parcela de entrada de um dado volume de água no aquífero, situada na área de influência da urbanização, cuja origem é decorrente das ações antrópicas e dos modelos de uso e ocupação do solo. As componentes da recarga urbana que serão avaliadas neste estudo são as contribuições de água a partir das fugas das redes do suprimento e das infiltrações provenientes do esgotamento sanitário, além das recargas pelas infiltrações do sistema de drenagem urbana.

Os estudos ora apresentados objetivaram calcular os volumes de contribuição de cada componente da recarga urbana e avaliar os possíveis impactos dessa recarga no aquífero Barreiras, bem como efetuar simulações sobre cenários

futuros nas seguintes condições: i) redução das perdas da rede pública de água na recarga do aquífero; e ii) redução da recarga pela construção de redes públicas de esgoto em substituição às fossas sépticas *in situ*, impermeabilização de vias e coleta de galeria de águas pluviais. As simulações dos cenários futuros foram realizadas através de modelo numérico do aquífero Barreiras, desenvolvido através do aplicativo computacional Visual MODFLOW, versão 2010 (GUIGUER; FRANZ, 1996).

A parcela da recarga urbana proveniente das fugas das redes de distribuição de água está relacionada ao suprimento de água para o abastecimento às demandas dos diversos usos das sedes municipais. No Capítulo 3 deste relatório foram discutidas detalhadamente as infraestruturas, as diversas fontes de captação de água, os volumes captados e calculadas as estimativas de perdas a partir dos sistemas de captação e distribuição de água.

A parte da recarga proveniente do sistema de drenagem urbana foi discutida no Capítulo 4, no qual foram apresentadas as metodologias de cálculo para a estimativa do volume de aporte de água infiltrado a partir das infraestruturas de coleta, afastamento e disposição das águas pluviais nas áreas urbanas. Deve-se destacar que a chamada recarga natural na zona urbana, que representa a parcela de água aportada ao aquífero nas áreas permeáveis das sedes urbanas, também será considerada como parte da recarga pela drenagem urbana.

A recarga urbana provocada pelo esgotamento sanitário foi discutida no Capítulo 5, no qual foram apresentadas as infraestruturas existentes para a coleta e tratamento dos esgotos sanitários na RMN, as taxas de cobertura das redes coletoras e das demais alternativas de disposição final dos esgotos, bem como o método de cálculo dessa parcela da recarga.

Qualquer tipo de recarga, por ser um volume de água adicionado ao aquífero, certamente interfere na quantidade de água armazenada e, em geral, influencia positivamente em relação à manutenção dos níveis piezométricos e recuperação das reservas do manancial subterrâneo. As recargas urbanas, no entanto, possuem qualidade resultante das atividades antrópicas. Das parcelas da recarga urbana citadas acima, existem aportes com qualidade de água potável, associados à recarga pelo suprimento e pela infiltração das chuvas nas áreas permeáveis da cidade, porém, a recarga proveniente do esgotamento sanitário representa ameaça à qualidade das águas subterrâneas. Muito embora a recarga proveniente dos sistemas de drenagem urbana deveriam também representar um volume de água com boa qualidade, a existência de ligações clandestinas de esgoto nesses sistemas de drenagem provoca a diminuição da qualidade dessa parcela da recarga.

Essa discussão sobre a influência na qualidade do aquífero também será abordada nesse estudo, sobretudo em termos conceituais e a partir de algumas estimativas possíveis. As discussões sobre as influências das recargas urbanas em áreas já degradadas do aquífero na região de Natal e Parnamirim, bem como as simulações de cenários de redução do bombeamento e da extração de água em áreas contaminadas serão realizadas em fases futuras desses estudos, utilizando-se os resultados dos monitoramentos analíticos.

A partir da caracterização dos sistemas e infraestruturas existentes nos municípios da RMN foi estimada a recarga urbana existente em toda a área de estudo. O fluxograma apresentado na **Figura 9.1** ilustra os valores mais representativos do cálculo das parcelas da recarga urbana, resumindo esquematicamente as interações entre os fluxos hídricos que compõem a recarga. A **Tabela 9.1** apresenta os quadros das memórias de cálculo e os dados utilizados na determinação da recarga urbana, separadamente para cada município da RMN.

Conforme discutido no Capítulo 2 sobre o uso e ocupação do solo, os níveis de desenvolvimento urbano, o modelo de ocupação do território e o adensamento demográfico da sede municipal variam significativamente dentre os municípios da RMN. A recarga urbana calculada para toda a área totaliza uma contribuição anual de 163 milhões m<sup>3</sup>, representando um valor conceitualmente definido, em função da origem dos aportes estarem relacionados ao suprimento, drenagem urbana e esgotamento sanitário. Entretanto, ressalta-se que, para a maioria dos municípios da RMN, as recargas urbanas calculadas não podem ser atribuídas como contribuições ao aquífero exclusivamente em suas sedes urbanas. A seguir serão apresentadas algumas considerações que esclarecem essa afirmação.

Deve-se destacar que a elaboração do modelo numérico requer que as recargas sejam setorizadas para permitir a distinção entre as diferentes regiões da área de interesse. Nos cálculos da recarga pelo método hidrológico, as componentes da recarga urbana adotadas foram as perdas da rede de abastecimento e o esgotamento sanitário. Neste capítulo, visando adequar a metodologia de aplicação do modelo numérico, as recargas pela drenagem urbana foram dimensionadas para setorizar a contribuição total existente nas sedes urbanas.

Entretanto, algumas características da ocupação, do processo de abastecimento público de água e o baixo nível de desenvolvimento urbano de alguns municípios não permitiram a distinção e a setorização das parcelas da recarga urbana apenas para sedes municipais. Por essa razão e, considerando a escala de trabalho deste estudo, que não é compatível com uma abordagem de detalhe, as sedes urbanas com área inferior a 10 km<sup>2</sup> não foram regionalizadas no modelo.



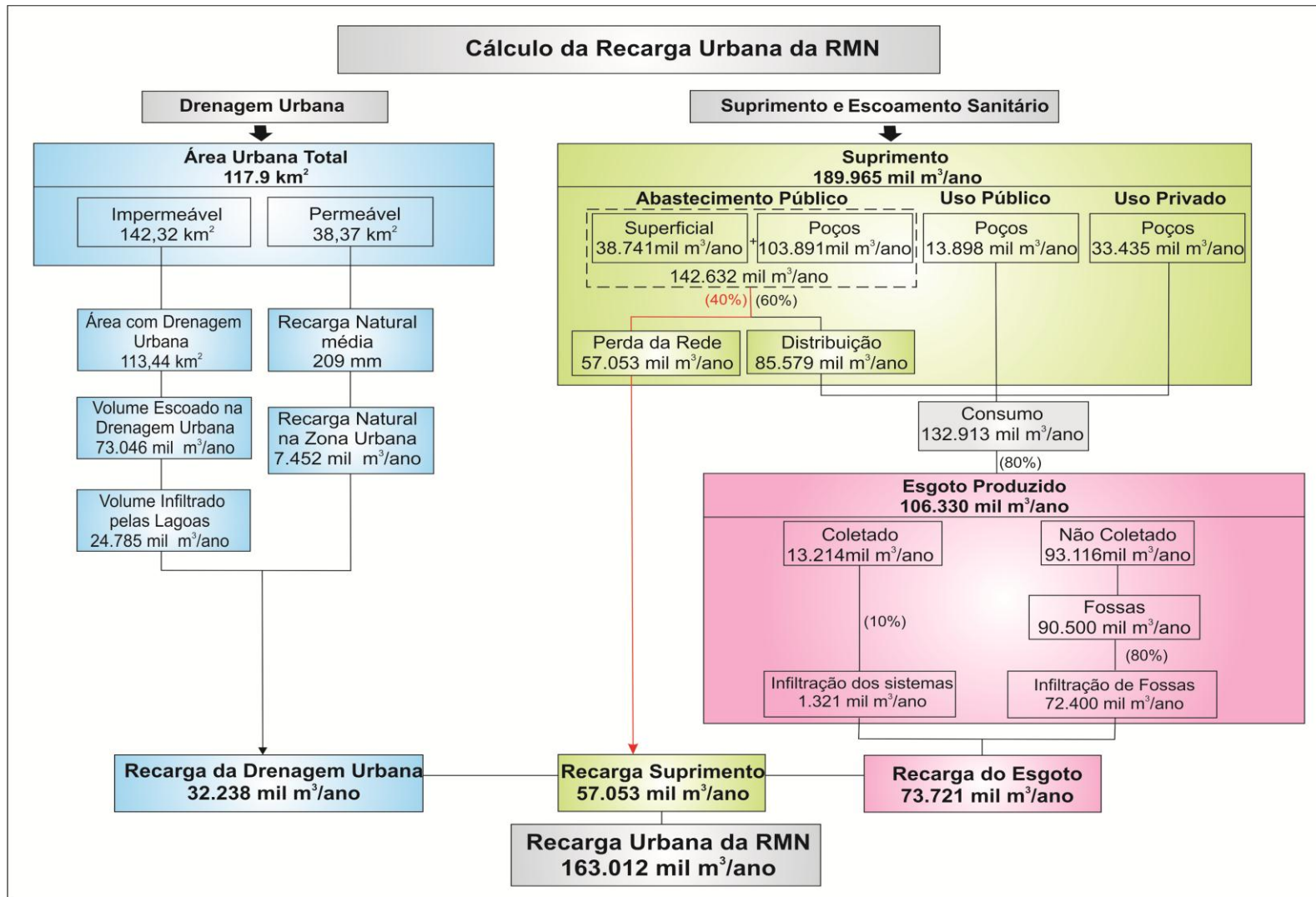


Figura 9.1. Fluxograma dos cálculos da recarga urbana na RMN

Tabela 9.1 - Memória de Cálculo da Recarga Urbana na RMN

Quadro 1 - Cálculo da Recarga Urbana pelo Sumprimento							
Município	S1 - Poços Abast. Púb.	S2 - Água Sup. Abast. Púb.	S3 - Total Abast. Pub.	S4 - Poços Privados	S5 - Poços Públicos Div.	S6 - Total Suprimento	S7 - Perdas (Recarga Sup.)
	m³/ano	m³/ano	m³/ano	m³/ano	m³/ano	m³/ano	m³/ano
	S1	S2	S1+S2	S4	S5	S3+S4+S5	S3*0,4
Ceará-Mirim	5.540.700	0	5.540.700	3.686.865	2.297.675	11.525.240	2.216.280
Extremoz	3.723.365	0	3.723.365	2.949.200	455.520	7.128.085	1.489.346
Macaíba	1.937.785	1.180.215	3.118.000	1.813.685	1.027.475	5.959.160	1.247.200
Monte Alegre	589.475	60.925	650.400	1.026.745	70.080	1.747.225	260.160
Natal	65.296.675	37.500.000	102.796.675	14.140.100	5.417.695	122.354.470	41.118.670
Nísia Floresta	1.624.980	0	1.624.980	1.201.080	1.803.465	4.629.525	649.992
Parnamirim	19.157.025	0	19.157.025	2.522.515	1.485.550	23.165.090	7.662.810
São Gonçalo do Amarante	4.020.840	0	4.020.840	4.285.465	443.110	8.749.415	1.608.336
São José de Mipibu	1.999.835	0	1.999.835	1.809.670	897.535	4.707.040	799.934
<b>Total</b>	<b>103.890.680</b>	<b>38.741.140</b>	<b>142.631.820</b>	<b>33.435.325</b>	<b>13.898.105</b>	<b>189.965.250</b>	<b>57.052.728</b>

Quadro 4 - Recarga Urbana	
Município	Recarga Urbana Total
	m³/ano
	S7+E9+D11
Ceará-Mirim	7.662.990
Extremoz	5.126.613
Macaíba	4.757.685
Monte Alegre	1.167.742
Natal	111.533.322
Nísia Floresta	3.276.624
Parnamirim	21.197.778
São Gonçalo do Amarante	4.951.630
São José de Mipibu	3.337.464
<b>Total</b>	<b>163.011.846</b>

Quadro 2 - Cálculo da Recarga Urbana pelo Esgotamento Sanitário									
Município	E1 - Consumo	E2 - Esgoto Produzido	E3 - Esgoto Coletado	E4 - Infiltração dos Sistemas	E5 - Esgoto Não Coletado	E6 - Fossas	E7 - Esgoto Fossas	E8 - Infiltração Fossas	E9 - Recarga Esgot. Sanitário
	m³/ano	m³/ano	m³/ano	m³/ano	m³/ano	-	m³/ano	m³/ano	m³/ano
	S6-S7	E1*0,8	E3	E3*0,1	E2-E3	E6	E5*E6	E7*0,8	E4+E8
Ceará-Mirim	9.308.960	7.447.168	615.000	61.500	6.832.168	0,94	6.392.269	5.113.815	5.175.315
Extremoz	5.638.739	4.510.991	0	0	4.510.991	0,97	4.367.054	3.493.643	3.493.643
Macaíba	4.711.960	3.769.568	21.000	2.100	3.748.568	0,95	3.556.731	2.845.385	2.847.485
Monte Alegre	1.487.065	1.189.652	27.000	2.700	1.162.652	0,96	1.116.102	892.882	895.582
Natal	81.235.800	64.988.640	10.740.000	1.074.000	54.248.640	0,97	52.858.731	42.286.985	43.360.985
Nísia Floresta	3.979.533	3.183.626	0	0	3.183.626	0,98	3.104.539	2.483.632	2.483.632
Parnamirim	15.502.280	12.401.824	5.000	500	12.396.824	0,99	12.300.969	9.840.776	9.841.276
São Gonçalo do Amarante	7.141.079	5.712.863	1.799.000	179.900	3.913.863	0,97	3.789.242	3.031.394	3.211.294
São José de Mipibu	3.907.106	3.125.685	7.000	700	3.118.685	0,97	3.014.288	2.411.430	2.412.130
<b>Total</b>	<b>132.912.522</b>	<b>106.330.018</b>	<b>13.214.000</b>	<b>1.321.400</b>	<b>93.116.018</b>	<b>0,97</b>	<b>90.499.925</b>	<b>72.399.940</b>	<b>73.721.340</b>

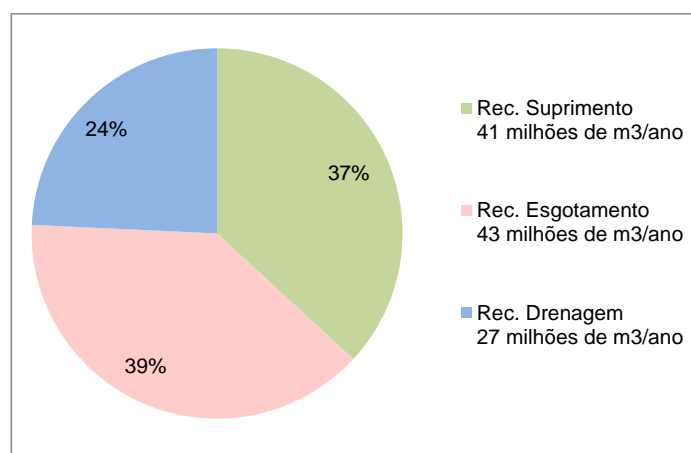
Quadro 3 - Cálculo da Recarga Urbana pela Drenagem Urbana											
Município	D1- Área Total	D2 - Área Urbana	D3 Pluviosidade	D4 - Coefic. de Deflúvio	D5 - Área Sist. Drenagem	D6 - Escoam. Urbano	D7 - Infiltração Lagoas	D8 - Área Permeável	D9 - Recarga Natural	D10 - Infil. Área Perm.	D11 - Rec. Dren. Urbana
	km²	km²	mm/ano	-	km²	m³/ano	m³/ano	km²	mm/ano	m³/ano	m³/ano
	D1	D2	D3	D4	D5	D3*D4*D5	D7	D8	D9	D8*D9	D7+D10
Ceará-Mirim	740	4,5	1.118	0,30	2,25	754.650	226.395	0,90	50	45.000	271.395
Extremoz	126	1,3	1.385	0,30	0,26	108.030	86.424	0,26	220	57.200	143.624
Macaíba	513	22,1	1.091	0,30	0,00	0	0	6,63	100	663.000	663.000
Monte Alegre	200	1,2	1.050	0,30	0,00	0	0	0,24	50	12.000	12.000
Natal	168	108,6	1.550	0,42	104,13	67.788.630	22.275.267	21,72	220	4.778.400	27.053.667
Nísia Floresta	306	1,3	1.585	0,30	0,00	0	0	0,65	220	143.000	143.000
Parnamirim	120	34,0	1.539	0,42	6,80	4.395.384	2.197.692	6,80	220	1.496.000	3.693.692
São Gonçalo do Amarante	251	3,0	1.385	0,30	0,00	0	0	0,60	220	132.000	132.000
São José de Mipibu	294	1,9	1.166	0,30	0,00	0	0	0,57	220	125.400	125.400
<b>Total</b>	<b>2.717</b>	<b>177,9</b>			<b>113,44</b>	<b>73.046.694</b>	<b>24.785.778</b>	<b>38,37</b>		<b>7.452.000</b>	<b>32.237.778</b>

Os municípios de Ceará-Mirim, Extremoz, Monte Alegre, Nísia Floresta, São Gonçalo do Amarante e São José de Mipibu possuem algumas das características descritas acima. Desse modo, as recargas urbanas desses municípios devem ser avaliadas como contribuições provenientes de atividades urbanas dispersas em toda área do município. Os valores calculados não são representativos de um aporte de recarga somente na sede desses municípios, porém, esses resultados inéditos serão utilizados no estabelecimento das estratégias de manejo da água subterrânea nas fases seguintes desses estudos, bem como poderão representar dados regionais para futuros estudos de detalhe, principalmente voltados à elaboração dos planos de saneamento.

Apesar das limitações discutidas acima, a metodologia aplicada para calcular a recarga urbana buscou segregar ao máximo os dados, visando considerar apenas as parcelas que influenciariam esse aporte. Nesse sentido, por exemplo, foram excluídas do suprimento, para o cálculo da recarga urbana, as captações com a finalidade de irrigação rural.

Os municípios de Natal, Parnamirim e Macaíba concentram em suas sedes toda a ocupação urbana, em áreas de 108, 34 e 22 km<sup>2</sup>, respectivamente, sendo que os dois primeiros nem contam com áreas destinadas à ocupação rural. Nesses municípios os valores de recarga urbana representam volumes infiltrados e acrescidos ao aquífero Barreiras a partir das áreas de suas sedes e, desse modo, são representativos nas avaliações sob as influências dessas interações da urbanização com a dinâmica do aquífero.

No município de Natal as parcelas da recarga urbana estão distribuídas conforme demonstrado na **Figura 9.2** abaixo e totalizam 112 milhões de m<sup>3</sup>/ano. Esse volume é 31% superior à exploração realizada pelos poços existentes nesse município. Esse saldo entre as retiradas e os aportes pode explicar que, mesmo com o elevado adensamento de quase 1.700 poços operando, não há indicações sobre a queda dos níveis piezométricos do aquífero Barreiras nesse local.

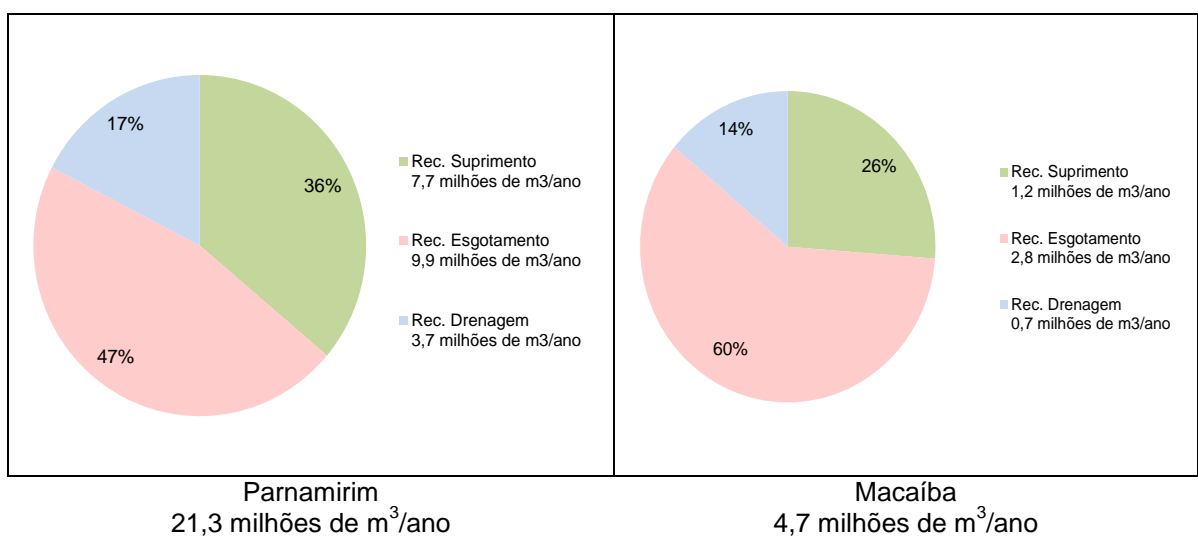


**Figura 9.2. Contribuições da recarga urbana no município de Natal**

Se em relação à quantidade existe uma condição equilibrada, em relação à qualidade o cenário não é confortável. A recarga proveniente do esgotamento sanitário representa 39% de todo o volume aportado e, ainda, um percentual dos 27 milhões de m<sup>3</sup>/ano provenientes das drenagens urbanas também carregam um volume desconhecido de esgoto. Essas taxas de infiltração de esgoto podem explicar as concentrações de nitrato encontradas no aquífero Barreiras em praticamente toda a região urbana.

Destaca-se também a importância do modelo de drenagem urbana utilizando as lagoas de retenção para a dissipação dos escoamentos. Os aportes desse sistema de drenagem são significativos e, talvez, sejam maiores que os calculados, já que o volume de aporte estimado para as bacias de drenagem fechadas foi de apenas 10% do escoamento total. Essa prática de manejo das águas pluviais mostra-se necessária para uma região com tais cifras de exploração da água subterrânea. No entanto, para a utilização desse modelo deve-se garantir a eliminação dos descartes irregulares de esgotos nos sistemas de drenagens, bem como melhorar a eficiência, urbanização e os aspectos construtivos de diversas lagoas. Esse sistema de drenagem pode ser considerado um grande aliado da manutenção das reservas do aquífero Barreiras em Natal, porém, devido aos problemas já discutidos, provavelmente está atuando como um vilão do manancial subterrâneo, contribuindo com a contaminação do aquífero.

Em Parnamirim e Macaíba os aportes de recarga urbana representam volumes muito próximos aos explorados pelos poços nesses municípios, com uma variação inferior a 10% entre as entradas e as retiradas. Apesar do equilíbrio quantitativo, as contribuições por esgoto são significativas, sobretudo em Macaíba, que o esgotamento sanitário representa mais de 50% de toda a recarga (Figura 9.3).



**Figura 9.3. Contribuição da recarga urbana em Parnamirim e Macaíba**

Os dados de recarga urbana calculados nesta fase do trabalho, juntamente com os dados relativos às recargas naturais, os parâmetros hidrogeológicos e o mapa potenciométrico discutidos e apresentados no relatório parcial 04 foram utilizados no desenvolvimento de um modelo numérico de fluxo do aquífero Barreiras para toda a RMN. Esse modelo permitiu a simulação de cenários hipotéticos futuros que serão discutidos a seguir.

Os dados de desenvolvimento do modelo tais como as condições de contorno, estabelecimento dos parâmetros hidrodinâmicos, caracterização da grade do modelo e da definição dos estratos para a compartimentação tridimensional, entre outros de interesse para a elaboração e calibração do modelo, serão demonstrados no Capítulo 10, no qual será discutido o balanço hidrogeológico do aquífero Barreiras. No presente relatório serão apresentados os resultados extraídos da simulação realizada para os cenários de interesse, bem como o resultado do modelo com calibração do cenário atual.

A **Figura 9.4** apresenta as taxas de recarga consideradas no desenvolvimento do modelo numérico de fluxo do aquífero Barreiras. Conforme discutido anteriormente sobre a representatividade das taxas de recarga urbana calculadas e da escala de desenvolvimento do trabalho, foram atribuídas recargas urbanas somente nos municípios de Natal, Parnamirim e Macaíba. Nas demais áreas da RMN foram aplicadas taxas de recarga natural.

As taxas de recarga natural foram baseadas nos estudos de recarga apresentados no relatório Capítulo 12, do Volume 1, deste relatório, sendo uma ponderação dos resultados dos cálculos dos métodos climatológico e hidrológico.

As recargas urbanas foram baseadas nos cálculos ora apresentados e distribuídas igualmente nas áreas das sedes urbanas para os municípios de Parnamirim e Macaíba e em Natal foram estabelecidas duas taxas de recargas, considerando a presença ou não de esgotamento sanitário, visando permitir uma avaliação mais criteriosa das contribuições de esgoto na dinâmica do aquífero. Desse modo, nas áreas com a presença total ou parcial de esgotamento sanitário foi atribuída uma parcela menor do volume de contribuição de esgoto.

Os resultados do modelo numérico que serão apresentados e discutidos simulam o sistema físico de água subterrânea, por meio do código tridimensional modular MODFLOW, elaborado por McDonald e Harbaugh (1988) com pré e pós processamento realizado pelo software Visual MODFLOW, versão 2010 (GUIGUER; FRANZ, 1996), rodado em regime estacionário.

A calibração do modelo para o cenário atual foi efetuada com as ferramentas específicas do software, bem como através da confirmação dos resultados do



modelo em comparação com os mapas potenciométricos existentes e com os parâmetros hidrodinâmicos conhecidos.

A calibração realizada pelo método quantitativo, baseado tanto no balanço de massa correspondente às entradas e saídas de água, apresentou discrepância menor do que 1%, e, pelo método qualitativo, referente à correlação de resíduos de carga (média normalizada), calculado com base nas diferenças entre as cargas hidráulicas calculadas e observadas, foi inferior a 10%. Essas taxas de calibração são consideradas de alto desempenho na elaboração de modelos numéricos.

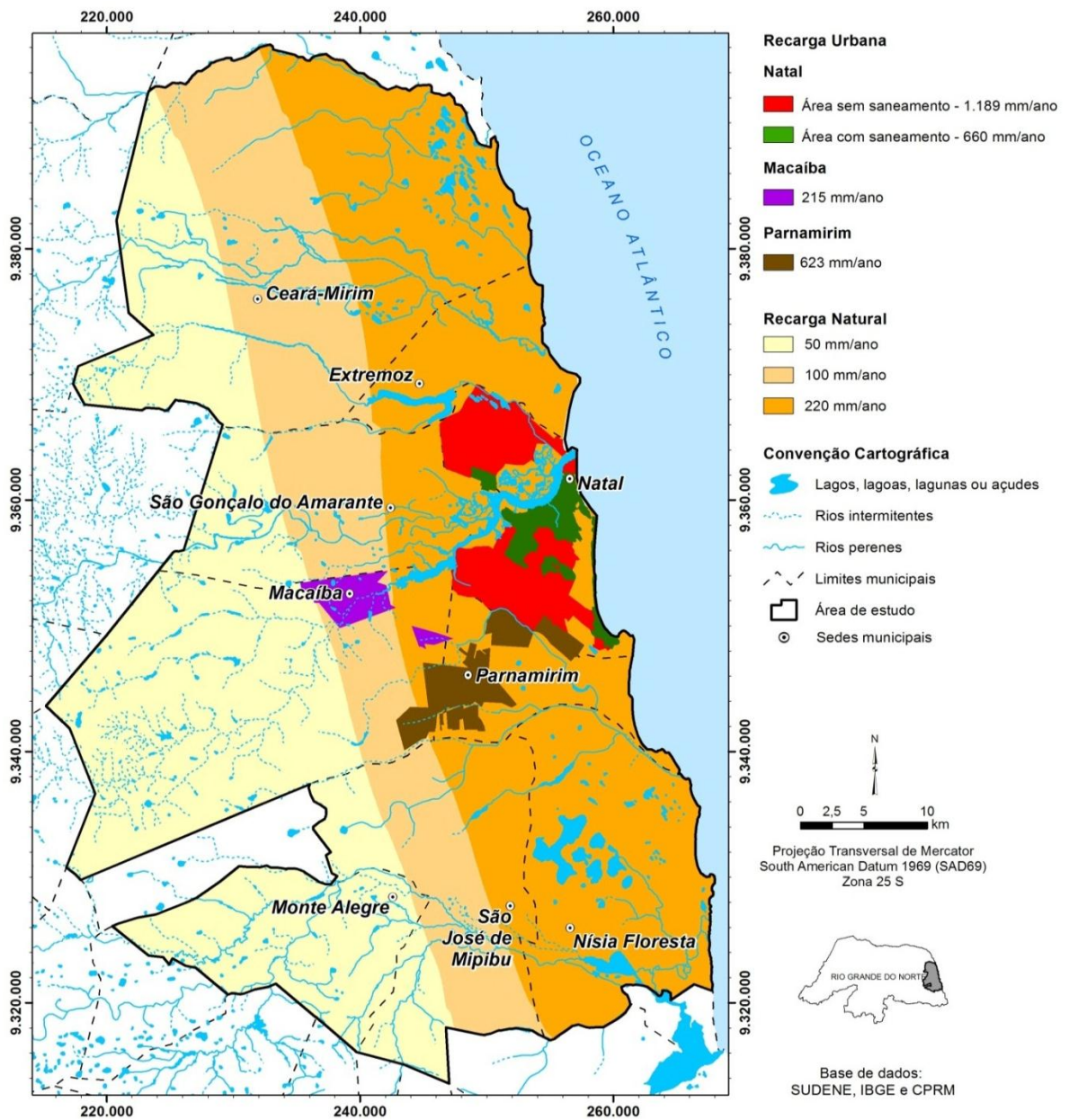
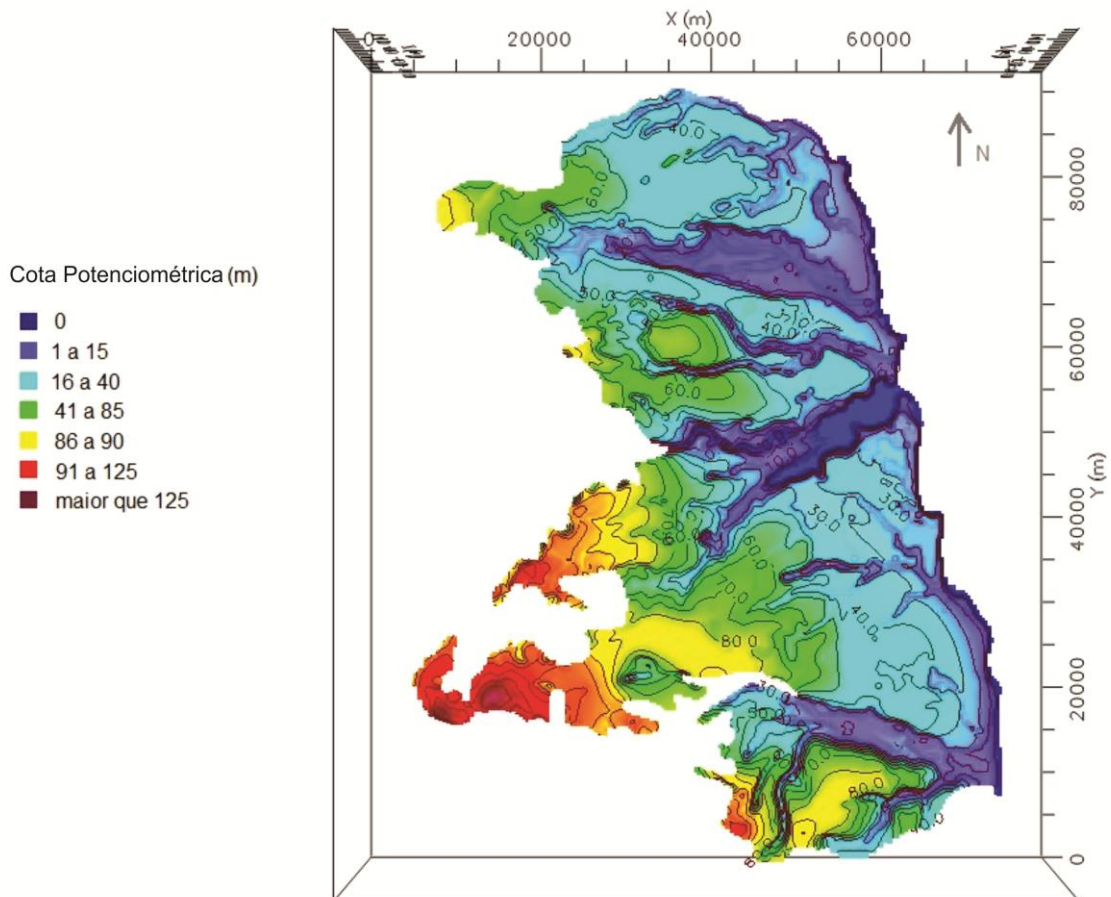


Figura 9.4. Taxas de recarga aplicadas no modelo numérico de fluxo

A **Figura 9.5** apresenta o mapa potenciométrico da condição atual, considerando as taxas de recarga apresentadas anteriormente, as condições de contorno estabelecidas e a exploração de cerca de 3.500 poços inseridos no modelo numérico utilizando os dados do cadastro de poços consistido neste trabalho. A área modelada numericamente corresponde à área de ocorrência do aquífero Barreiras na RMN.



**Figura 9.5. Mapa potenciométrico do modelo numérico de fluxo na RMN – Cenário Atual**

O resultado é demonstrado na potencimetria do aquífero Barreiras em condições de níveis dinâmicos para os locais com a presença de poços e de níveis estáticos para as áreas sem a interferência de bombeamentos. Esse cenário, modelo em regime estacionário, pode ser considerado como uma fotografia da condição de equilíbrio entre as entradas e saídas dimensionadas atualmente para a RMN.

O resultado permite evidenciar as áreas de recarga a oeste e nas regiões interflúvios, bem como os fluxos em direção às áreas de descargas, situadas principalmente nas bacias de drenagem que atravessam a RMN com direção leste-oeste e as frentes de escoamento difuso com exutório marinho como, por exemplo, na região da Lagoa do Bonfim e na Zona Sul de Natal.

Os níveis potenciométricos atuais mostram correlação com as áreas de descarga, mesmo em regiões intensamente adensadas com poços, como é o caso de Natal e Parnamirim, sugerindo ausência de quedas dos níveis ou de superexploração das águas subterrâneas.

A partir do modelo numérico calibrado para a condição atual de fluxo, foram realizadas as simulações de interesse para a avaliação da influência da recarga urbana nos municípios de Natal, Parnamirim e Macaíba, sendo definidos os seguintes cenários para simulação:

- Cenário 1 – Redução das perdas da rede pública de água na recarga do aquífero;
- Cenário 2 – Redução da recarga pela construção de redes públicas de esgoto em substituição das fossas 'in situ';
- Cenário 3 – Redução de recarga devido à menor infiltração da drenagem urbana;
- Cenário 4 – Redução das perdas da rede de abastecimento público, a infiltração de esgoto e a infiltração da drenagem urbana, simultaneamente;

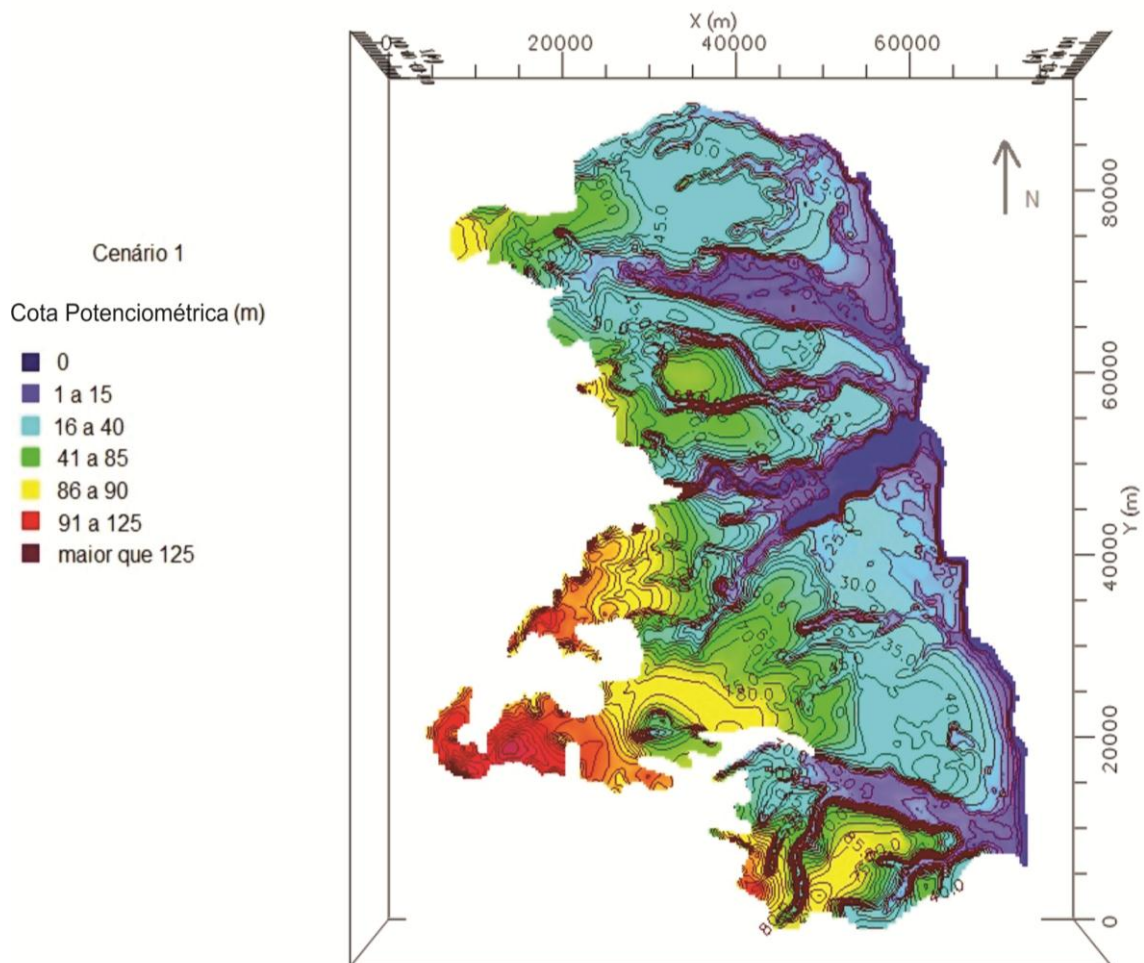
Para responder o Cenário 1, foram diminuídos os valores de perda da rede de abastecimento público em 50% nas sedes dos municípios de Macaíba, Natal e Parnamirim. Essa diminuição representa que as perdas dos sistemas de captação e distribuição de água reduziriam de 40% para 20%, significando a manutenção de um aporte de aproximadamente 25 milhões de m<sup>3</sup>/ano. A redução foi simulada nessa taxa, pois seria irreal simular perdas inferiores na rede de distribuição. As contribuições da recarga pelas perdas do suprimento é uma condição comum da ocupação urbana.

Em Natal essa redução representaria cerca de 20 milhões de m<sup>3</sup>/ano a menos na recarga urbana, praticamente igualando o saldo entre aportes e retiradas.

A **Figura 9.6** apresenta o mapa potenciométrico resultante da simulação do Cenário 1, no qual pode-se observar alterações nas linhas equipotenciais nas regiões de Natal e Parnamirim. Os rebaixamentos de nível ocorreram em uma média de 5 m, sendo que para as espessuras do aquífero Barreiras isso é representativo. De qualquer modo, já seria esperado algum rebaixamento devido aos desequilíbrios provocados entre as retiradas e os aportes.

No entanto, dois fatores relevantes devem ser ponderados sobre os efeitos na qualidade das águas. A redução da recarga urbana apenas na parcela do suprimento significa aumentar a proporção das demais parcelas da recarga

urbana (esgotamento e drenagem) de 65% para 79%. Considerando que essas duas parcelas contribuem com esgotos para o aquífero, deve-se esperar uma degradação mais acentuada da qualidade das águas subterrâneas.



**Figura 9.6. Mapa potenciométrico do modelo numérico de fluxo na RMN – Cenário 1**

O segundo fator relevante à qualidade é que as variações de carga hidráulica ocorreram, sobretudo, nas zonas Leste e Sul de Natal. Essas variações poderiam propiciar maior contribuição de montante, proveniente das áreas de recarga, mas também poderia ser compensada com a atração de águas marinhas. O resultado mostrado na **Figura 9.6**, ilustrado pelo aumento da coloração roxa (região destacada), significa queda dos níveis muito próximos à linha de costa e poderia causar efeitos de cunha salina.

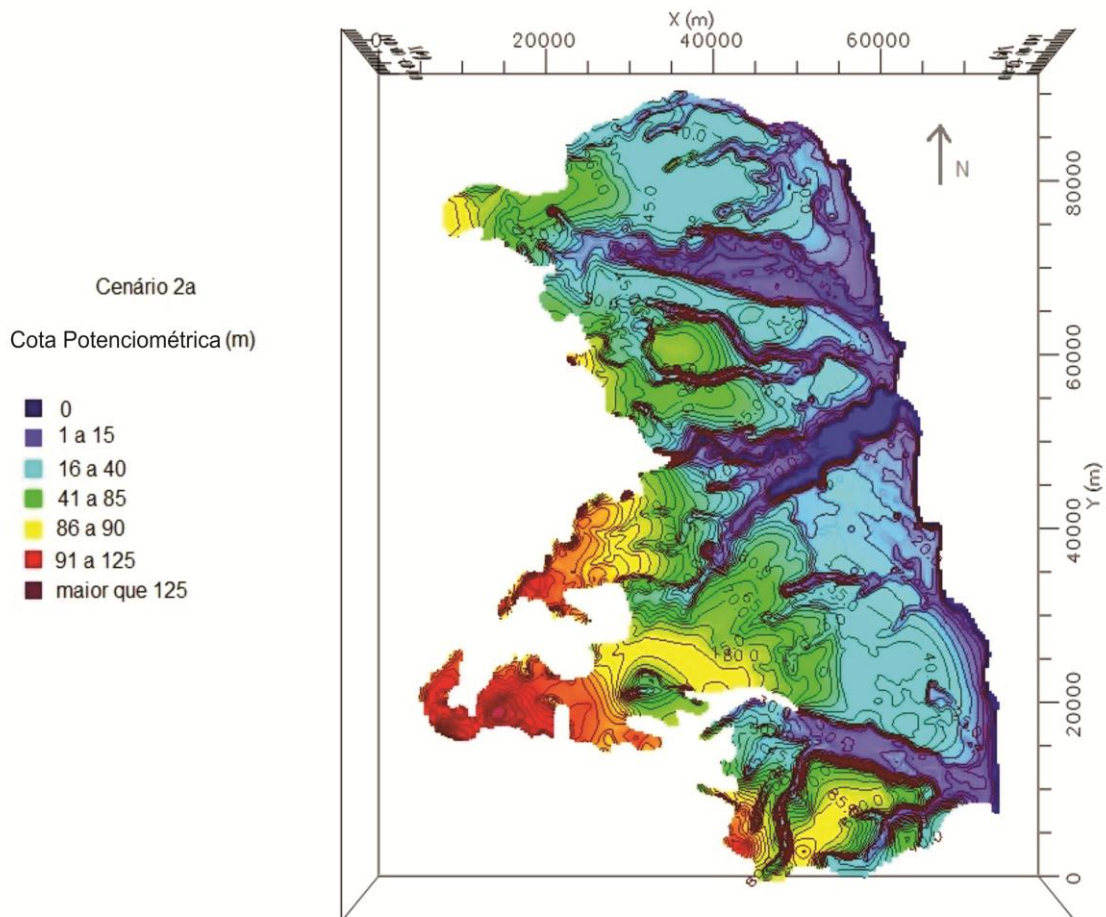
Para responder o Cenário 2, duas situações foram criadas: a) redução na infiltração de esgoto em 50%; e b) redução na infiltração de esgoto em 80%. Também nesse caso a redução não foi feita em 100% do volume, visto que não seria uma condição real da existência de sistemas de coleta, afastamento e tratamento de esgotos.



As reduções simuladas representam diminuir para 28 (2a) e 11 milhões de m<sup>3</sup>/ano (2b) os aportes de esgoto provenientes do esgotamento sanitário de Natal, Macaíba e Parnamirim, atualmente em 56 milhões de m<sup>3</sup>/ano.

A **Figura 9.7** apresenta o mapa potenciométrico resultante da simulação do cenário 2a e, assim como no Cenário 1 ocorreram rebaixamentos nas zonas Leste e Sul de Natal e pequenas variações próximo a Parnamirim. Nesse caso, no entanto, os rebaixamentos foram menores, com variações médias de 2 m, mostrando apenas um afastamento da linha de costa da cota potenciométrica de 20 m.

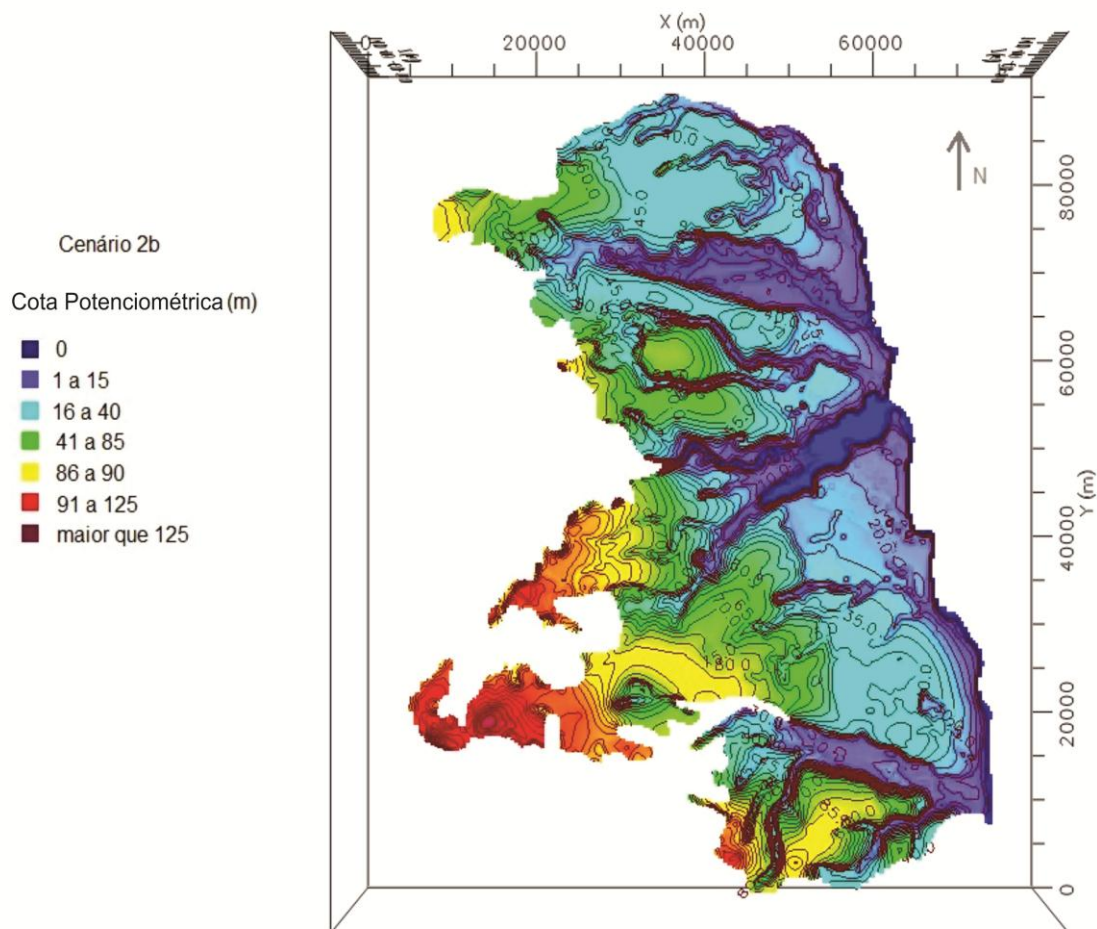
Em relação à qualidade das águas, no entanto, esse cenário significaria um passo importante na diminuição de carga contaminante para o aquífero. As pequenas variações de carga, provavelmente não propiciariam, nesse caso, intrusões salinas.



**Figura 9.7.** Mapa potenciométrico do modelo numérico de fluxo na RMN – Cenário 2a



A **Figura 9.8** representa o resultado da simulação 2b e acentua a tendência de queda dos níveis verificada no cenário 2a e também representa uma maior queda dos níveis, em relação ao cenário 1, já que, às reduções de esgoto nesse cenário, correspondem a um volume 100% superior que as reduções das perdas da rede simuladas no cenário 1. Essa variação pode ser observada, no município de Natal, pela mudança no contorno da equipotencial de 20 m, situada em locais que, no cenário atual, está a equipotencial 30 m. As quedas dos níveis, nesse caso, podem atingir até 10 m e, nos três municípios de destaque as retiradas superariam as recargas urbanas.

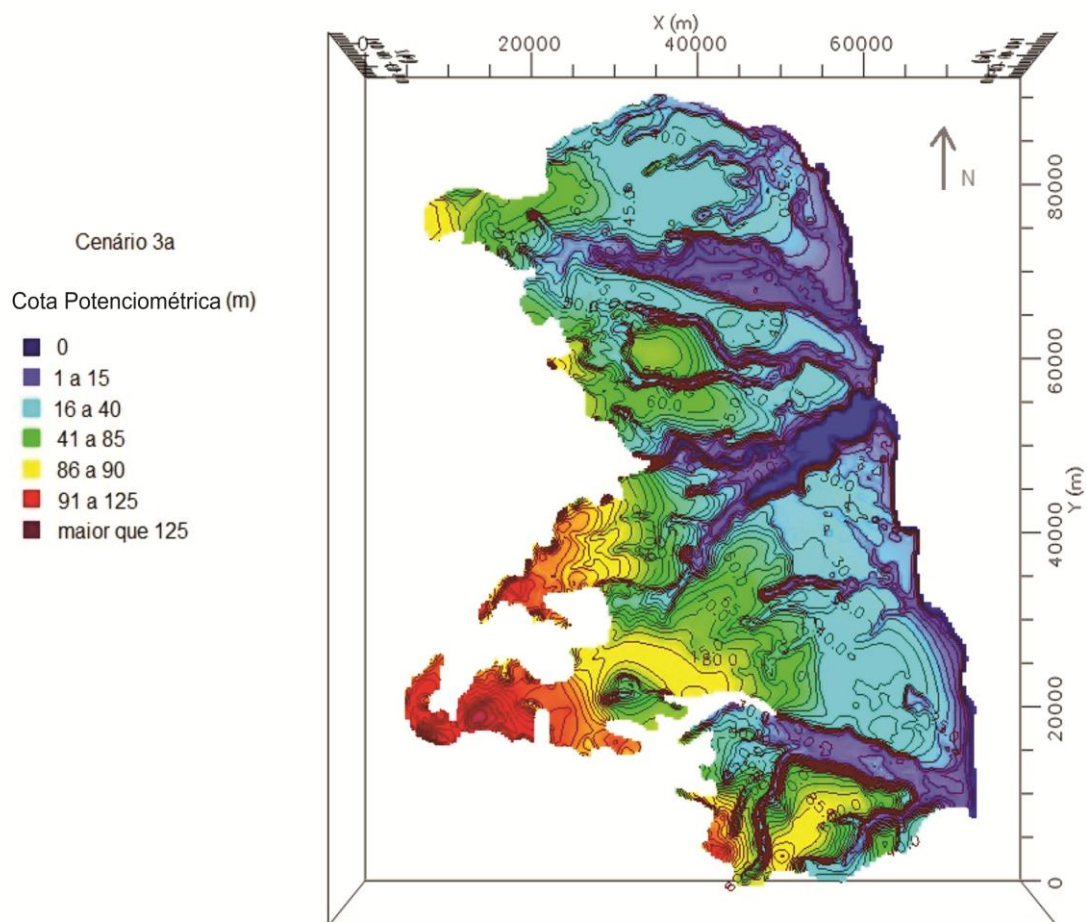


**Figura 9.8. Mapa potenciométrico do modelo numérico de fluxo na RMN – Cenário 2b**

Entretanto, esse cenário representaria a condição ideal, pois diminuiria fortemente a parcela mais contaminante de aporte da recarga urbana. Lembrando que, provavelmente, também refletiria em melhorar a qualidade das águas infiltradas pela drenagem urbana, pois as ligações clandestinas de esgoto para os sistemas de águas pluviais seriam eliminadas. Em relação à qualidade das águas subterrâneas, esse cenário poderia provocar intrusões salinas nas áreas próximas à costa, nas regiões Norte e Leste de Natal.

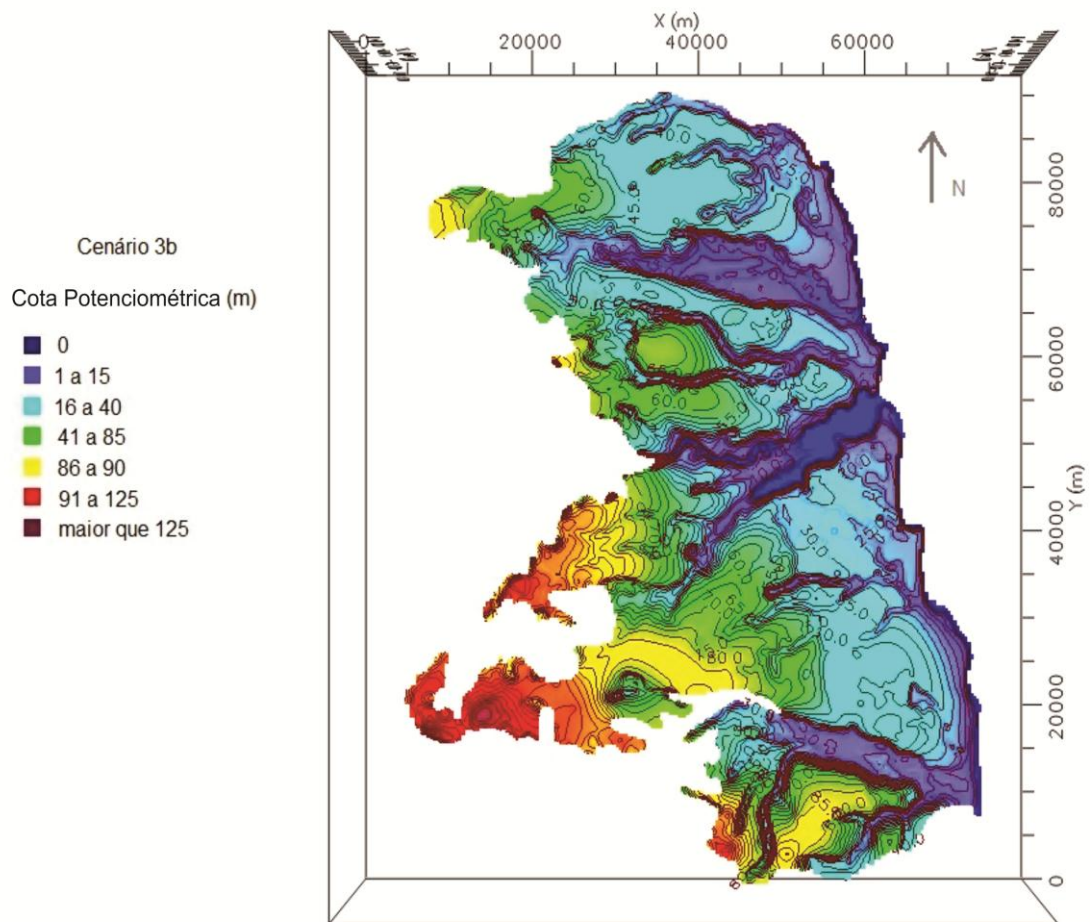
Para responder o Cenário 3, duas situações também foram criadas: a) redução da infiltração da drenagem urbana em 50%; e b) redução da infiltração da drenagem urbana em 80%. Essas reduções seriam da ordem de 15 (3a) e 25 milhões de m<sup>3</sup>/ano (3b) na recarga urbana desses municípios simulados.

A **Figura 9.9** apresenta o mapa potenciométrico resultante da simulação do cenário 3a, no qual podem ser verificadas variações menores nos rebaixamentos, já que a parcela de contribuição da recarga pela drenagem urbana é menor. Esse cenário não traz maiores implicações, em relação ao cenário atual, quanto à quantidade nem qualidade.



**Figura 9.9.** Mapa potenciométrico do modelo numérico de fluxo na RMN – Cenário 3a

A **Figura 9.10** mostra o resultado do cenário 3b acentuando as variações registradas no cenário 3a, assemelhando-se ao resultado obtido na simulação do cenário 1. Em relação à qualidade é difícil prever se a parcela de recarga pela drenagem urbana diminuída retiraria um considerável aporte de contaminantes ou se prejudicaria a diluição da parcela de esgoto, ainda aportada nessa simulação. De qualquer modo, teria a mesma ressalva feita ao cenário 1, influenciando os rebaixamentos na zonas leste e sul de Natal.



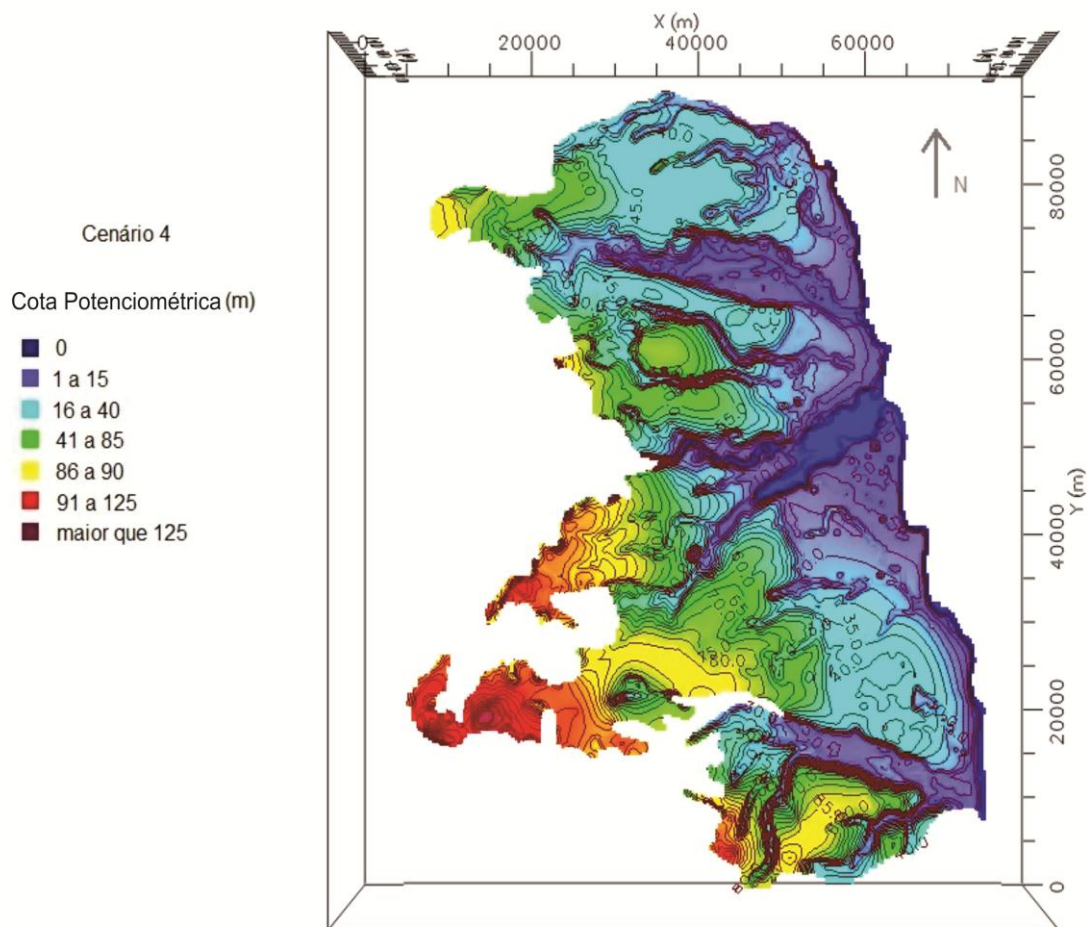
**Figura. 9.10. Mapa potenciométrico do modelo numérico de fluxo na RMN – Cenário 3b**

Para responder o Cenário 4, foi realizado a redução das perdas da rede de abastecimento público em 50%, da infiltração de esgoto em 80% e da infiltração da drenagem urbana em 80%, simultaneamente.

A **Figura 9.11** apresenta o mapa potenciométrico resultante da simulação do cenário 4, no qual podem ser observados expressivos rebaixamentos, em alguns locais da ordem de 25 m. Nesse caso, seria muito provável a ocorrência de intrusões salinas na região costeira de toda a cidade de Natal e rebaixamentos nas regiões interiores, por exemplo, na zona oeste de Natal e em Parnamirim.

Não seria possível, nem adequado, pensar no manejo das questões relativas ao suprimento, esgotamento sanitário e drenagem urbana, sem, no entanto, controlar as questões relativas à exploração das águas subterrâneas nesses municípios. Muito embora, esses municípios sejam dependentes desses recursos, a exploração da água subterrânea ocorre em sua grande maioria de maneira irregular, sob o aspecto legal, e tecnicamente inadequado em muitos casos. O universo de poços clandestinos e construídos inadequadamente é numeroso, sendo inevitável o controle e a fiscalização, paralelamente às ações de gestão

pública sobre diminuição das perdas da rede de distribuição e da ampliação do esgotamento sanitário.



**Figura 9.11. Mapa potenciométrico do modelo numérico de fluxo na RMN – Cenário 4**

Os resultados parciais ora apresentados serão reconsiderados a luz do conhecimento sobre os resultados dos monitoramentos analíticos, discutidos e considerados nas fases seguintes desses estudos, nas quais serão apresentadas estratégias de manejo das águas subterrâneas na RMN.

## **10 BALANÇO HIDROGEOLÓGICO DA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL**

O balanço hidrogeológico foi elaborado a partir do conhecimento da recarga natural dos aquíferos, recarga urbana, usos e demandas, visando avaliar o nível de comprometimento dos recursos exploráveis do Sistema Aquífero Barreiras, bem como permitir o prognóstico da oferta do recurso hídrico subterrâneo que poderá ser disponibilizada para o futuro no âmbito dos municípios da Região Metropolitana de Natal.

Os cálculos relacionados aos balanços de volumes de água subterrânea que estão em movimento e/ou reservados nos aquíferos, invariavelmente, contam com as limitações inerentes às quantificações e às avaliações hidrogeológicas, dadas pela inacessibilidade direta às observações e que condicionam a necessidade de extrapolações das informações conhecidas. Essa característica das avaliações hidrogeológicas leva à necessidade de utilizar diferentes metodologias para o mesmo objetivo, visando à validação dos resultados alcançados.

As metodologias dos estudos hidrogeológicos buscam diminuir as limitações por meio do estabelecimento de modelos conceituais que visam reproduzir os principais mecanismos controladores das condições existentes em um dado ambiente subterrâneo, buscando a máxima aproximação às condições reais, balizadas pelas informações obtidas em campo e em laboratório. As condições dos modelos conceituais, em alguns casos, podem ser simuladas em aplicativos computacionais que tentam, a partir de cálculos matemáticos mais complexos, refinar a aproximação da realidade para as condições modeladas.

Neste estudo, os cálculos do balanço hidrogeológico foram realizados analítica e numericamente, tendo, em ambos os casos, as premissas definidas a partir do modelo hidrogeológico conceitual estabelecido para o SAB na RMN. Os cálculos da recarga natural do SAB e da recarga urbana também foram obtidos por diferentes aproximações, em atendimento às necessidades específicas dos cálculos analíticos e da modelação numérica.

O modelo hidrogeológico conceitual estabelece que os sedimentos eólicos (dunas), as coberturas recentes colúvio-eluvionares e o aquífero Barreiras, constituem um sistema hidráulico único que foi designado de Sistema Aquífero Barreiras e que se comporta como um sistema aquífero predominantemente livre e, localmente, semiconfinado. A diversidade de comportamento é atribuída às variações faciológicas da sequência sedimentar da formação Barreiras e também por condicionamento estrutural.



As condutividades hidráulicas variam da ordem de  $4 \times 10^{-2}$  a  $1 \times 10^{-3}$  m/s, nas camadas tipicamente arenosas (granulometria média a grossa) da parte inferior do aquífero Barreiras, à  $2 \times 10^{-5}$  m/s associados às sequências sedimentares de granulometria mais fina (arenitos finos argiloso e siltosos) da parte superior e condutividades de aproximadamente  $2 \times 10^{-7}$  m/s associadas aos níveis semiconfinantes (argilitos). Valores de condutividades hidráulicas compatíveis aos descritos acima foram utilizados no desenvolvimento do modelo numérico de fluxo do SAB.

O fluxo subterrâneo regional está orientado na direção de oeste para leste com inflexões para os vales dos principais rios, conferindo uma condição de efluência desses cursos d'água superficiais em relação ao aquífero. Nas regiões de interflúvios, próximas a costa, ocorrem fluxos difusos de águas superficiais e sistemas lagunares com forte interação com as águas subterrâneas.

As áreas de recarga do SAB estão situadas predominantemente na região dos chamados tabuleiros e as áreas de descarga estão associadas aos principais rios e ao mar. Deve-se, no entanto, destacar o importante papel das dunas na recarga do SAB que, mesmo situadas na região costeira, tipicamente áreas de descarga do aquífero, contribuem fortemente com a recarga do SAB nessas regiões. Essa característica provocada pelas dunas possui um papel importante quando associado à ocupação urbana, pois do mesmo modo que facilitam a migração das águas pluviais ao SAB, também favorecem a migração dos efluentes sanitários proveniente da utilização de fossas e/ou de vazamentos dos sistemas de coleta e tratamento de esgotos.

As potencialidades hídricas do SAB são favorecidas principalmente pelo condicionamento estrutural da bacia sedimentar na qual foram depositados os sedimentos da formação Barreiras e também pela ocorrência dos sedimentos arenosos mais grossos. A compartimentação estrutural propiciou o aumento das espessuras do SAB no sentido de oeste para leste, podendo atingir espessuras superiores a 100 m na parte oriental da área de estudo.

Os limites inferiores do SAB são o embasamento cristalino, principalmente na região oeste e sudoeste da área, e as rochas carbonáticas cretáceas (Jandaíra e Arenito Calcífero) nas demais regiões da RMN.

A partir dessas compreensões sobre o sistema hidrogeológico de interesse, da caracterização dos parâmetros hidráulicos do SAB, dos dados sobre os poços existentes e do levantamento sobre as infraestruturas de saneamento básico (suprimento de água, esgotamento sanitário e drenagem urbana) foram calculados os volumes das componentes relevantes ao balanço hidrogeológico.

As retiradas de água do SAB realizadas por meio da exploração dos poços foram calculadas através dos dados de vazão de exploração, aplicando-se regimes de operação arbitrados, conforme descrito no Capítulo 12 do Volume 1 deste relatório. Os cálculos efetuados determinaram um volume explorado do SAB de  $166,8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ , correspondendo às retiradas de água do aquífero (termo em inglês – *withdrawn*) e à disponibilidade das infraestruturas hídricas instaladas na RMN para a captação das águas subterrâneas.

Além do volume proveniente das captações subterrâneas, a RMN ainda faz usos de captações de água superficial para o abastecimento público que totalizam  $38,7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ , conforme dados disponibilizados pela CAERN. Desse modo, o suprimento total na RMN é de  $205,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ , sendo que a água subterrânea corresponde a 81% desse volume.

A demanda de água atual na RMN, calculada em bases teóricas conforme demonstrado no capítulo específico a esse tema, é de  $257,8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ , considerando dados principalmente do censo de 2010 (IBGE, 2010). A diferença com o volume de suprimento não representa uma demanda não atendida, mas provavelmente uma valoração superestimada das demandas para a irrigação, conforme será discutido a seguir.

As demandas atuais maiores que o suprimento, no caso, para os municípios de Ceará-Mirim, Macaíba, Nísia Floresta, São Gonçalo do Amarante e São José de Mipibu, não representam uma condição de efetiva carência de água pela população dessas localidades, mas provavelmente estimativas superestimadas do uso na irrigação. Conforme discutido nos capítulos específicos à demanda e às propostas de manejo, os dados relativos ao uso de água na irrigação não estão disponíveis e a demanda foi obtida a partir de dados teóricos sobre o potencial consumo de água por cultura irrigável. De qualquer modo, essas diferenças não comprometem as análises de atendimento às futuras demandas de água na RMN.

As projeções das demandas de água na RMN para os anos de 2015, 2020 e 2030 também foram calculadas e representam, respectivamente,  $276,4 \times 10^6$ ,  $297,5 \times 10^6$  e  $352,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ . A **Tabela 10.1** apresenta o suprimento e as demandas atuais e futuras calculados para os municípios da RMN.

A representatividade do volume de água subterrânea explorada, em relação à potencialidade hídrica do SAB, e a avaliação da capacidade de atendimento às demandas futuras por água subterrânea serão discutidas a seguir.

**Tabela 10.1. Suprimento de água e as demandas atual e futura na RMN**

Município	Suprimento		Demanda			
	Subt.	Sup.	2010*	2015	2020	2030
	x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /ano		x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>			
Ceará-Mirim	14,7	0,0	49,6	51,6	53,7	60,8
Extremoz	9,6	0,0	7,2	7,7	8,2	13,5
Macaíba	7,6	1,2	31,0	32,8	34,7	38,4
Monte Alegre	1,7	0,1	3,9	4,0	4,3	4,6
Natal	84,8	37,5	80,2	85,4	90,7	102,5
Nísia Floresta	8,4	0,0	10,2	10,6	11,1	12,4
Parnamirim	24,0	0,0	23,9	29,9	37,8	58,3
S. G. Amarante	10,3	0,0	26,4	28,0	29,7	33,1
S. J. de Mipibu	5,7	0,0	25,4	26,4	27,4	28,9
<b>RMN</b>	<b>166,8</b>	<b>38,8</b>	<b>257,8</b>	<b>276,4</b>	<b>297,5</b>	<b>352,5</b>

Subt. – Suprimento proveniente de captações de água subterrânea para quaisquer finalidades.

Sup. – Suprimento proveniente de captações de água superficial para o abastecimento público.

\* As demandas atuais podem ocorrer em volumes maiores que o suprimento em decorrência das incertezas associadas ao uso na irrigação, conforme discutido neste relatório.

As águas subterrâneas que constituem as reservas existentes no SAB são provenientes das recargas dadas pela infiltração das chuvas. Na superfície da RMN precipita-se uma lâmina de água média de 1.259 mm/ano, representando um volume de 2.657x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ano (**Tabela 10.2**), sendo que apenas uma parcela desse volume conseguirá atingir o aquífero e, desse modo, constituir a recarga natural.

As metodologias de cálculo e a conceituação da recarga e da reserva reguladora foram apresentadas no capítulo específico, no qual definiu pela adoção do método hidrológico, como o mais representativo das condições estabelecidas no modelo conceitual. A **Tabela 10.2** apresenta os valores da reserva reguladora do SAB que foram utilizados no cálculo da recarga e que permitiram estabelecer a potencialidade relacionada a esse manancial de água subterrânea. A reserva reguladora total do SAB na RMN é de 478,4x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ano.

Nas áreas urbanas, a recarga natural do aquífero é influenciada pela impermeabilização da superfície e pelos sistemas de coleta e afastamento de águas pluviais, em geral diminuindo a capacidade de infiltração das chuvas e, conseqüentemente, diminuindo a recarga. Em contrapartida, as infraestruturas de abastecimento de água, os sistemas de esgotamento sanitário e o uso de fossas na destinação dos esgotos propiciam a chamada recarga urbana que, em geral, representam um importante aporte de água ao aquífero.

**Tabela 10.2. Dados do balanço hidrogeológico do SAB na Região Metropolitana de Natal**

Município	Z.C.	A	P		RR	W	Ru	WsRu	R
		km <sup>2</sup>	mm/ano	x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /ano	x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /ano				
Ceará-Mirim	Z.1	96,6	990	96					
	Z.2	417,4	1.385	578					
	<b>Total</b>	<b>514,0</b>	<b>-</b>	<b>674</b>	<b>121,3</b>	<b>14,7</b>	<b>7,4</b>	<b>7,3</b>	<b>128,6</b>
Extremoz	Z.2	121,0	1.385	168					
	<b>Total</b>	<b>121,0</b>	<b>-</b>	<b>168</b>	<b>30,2</b>	<b>9,6</b>	<b>5,0</b>	<b>4,6</b>	<b>34,8</b>
Macaíba	Z.1	184,1	990	182					
	Z.2	71,9	1.385	100					
	<b>Total</b>	<b>256,0</b>	<b>-</b>	<b>282</b>	<b>50,7</b>	<b>7,6</b>	<b>4,1</b>	<b>3,5</b>	<b>54,2</b>
Monte Alegre	Z.1	126,0	990	125					
	<b>Total</b>	<b>126,0</b>	<b>-</b>	<b>125</b>	<b>22,5</b>	<b>1,7</b>	<b>1,2</b>	<b>0,5</b>	<b>23,0</b>
Natal	Z.2	168,0	1.385	233					
	<b>Total</b>	<b>168,0</b>	<b>-</b>	<b>233</b>	<b>41,9</b>	<b>84,8</b>	<b>84,5</b>	<b>0,3</b>	<b>42,2</b>
Nísia Floresta	Z.2	290,0	1.385	402					
	<b>Total</b>	<b>290,0</b>	<b>-</b>	<b>402</b>	<b>72,3</b>	<b>8,4</b>	<b>3,1</b>	<b>5,3</b>	<b>77,6</b>
Parnamirim	Z.2	116,0	1.385	161					
	<b>Total</b>	<b>116,0</b>	<b>-</b>	<b>161</b>	<b>28,9</b>	<b>24,0</b>	<b>17,5</b>	<b>6,5</b>	<b>35,4</b>
S. G. Amarante	Z.1	119,9	990	119					
	Z.2	109,1	1.385	151					
	<b>Total</b>	<b>229,0</b>	<b>-</b>	<b>270</b>	<b>48,6</b>	<b>10,3</b>	<b>4,8</b>	<b>5,5</b>	<b>54,1</b>
S. J. de Mipibu	Z.1	144,3	990	143					
	Z.2	145,7	1.385	202					
	<b>Total</b>	<b>290,0</b>	<b>-</b>	<b>345</b>	<b>62,0</b>	<b>5,7</b>	<b>3,2</b>	<b>2,5</b>	<b>64,5</b>
<b>RMN</b>	<b>Total</b>	<b>2.110,0</b>	<b>1.259</b>	<b>2.657</b>	<b>478,4</b>	<b>166,8</b>	<b>130,8</b>	<b>36,0</b>	<b>514,4</b>

ZC: Zonas climáticas; A: área do SAB por município em cada zona climática e área total do SAB; P: precipitação; RR: reserva reguladora; W: retirada de água subterrânea no SAB (volume explotado); Ru: recarga urbana; WsRu: retirada subtraída a recarga urbana; R: recarga.

A **Tabela 10.2** apresenta os volumes calculados para a recarga urbana ( $R_u$ ), totalizando um expressivo aporte de água ao aquífero de  $130,8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ , situado nas sedes urbanas, principalmente em Natal e Parnamirim.

Nas sedes urbanas também se concentram as maiores taxas de exploração, devido às elevadas demandas e densidades de poços. As retiradas de água do aquífero ( $W$ ), que correspondem ao volume de água explorada pelos poços em operação na RMN, totalizam  $166,8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ .

O cálculo da diferença entre as retiradas e a recarga urbana ( $W_s R_u$ ) determinou um volume de  $36 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ , correspondente ao saldo dessa movimentação de água influenciada pela ação antrópica. A recarga urbana ( $R_u$ ), em volume, supre expressivos 78% das retiradas de água do SAB.

Deve-se ressaltar que o volume de recarga urbana demonstrado na **Tabela 10.2** corresponde aos aportes provenientes das perdas da rede de abastecimento de água e do esgotamento sanitário, sobretudo da destinação dos esgotos por meio de fossas. Na elaboração do modelo numérico o cálculo da recarga nas áreas urbanas incluiu também a parcela de água proveniente da drenagem urbana, devido ao processo de utilização do aplicativo computacional, conforme será discutido adiante.

A recarga total calculada para o SAB na RMN é de  $514,4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$  e representa o volume de água anualmente aportado ao sistema aquífero pela infiltração das precipitações pluviométricas, já considerando o saldo entre as retiradas e a recarga urbana. Desse modo, pode-se resumir que da precipitação ( $1.259 \text{ mm/ano}$ ), infiltra-se  $244 \text{ mm/ano}$  como recarga total, representando uma eficiência de 19%.

A avaliação sobre a potencialidade de o SAB suprir as demandas futuras da RMN invariavelmente se depara com a necessidade em se determinar o volume máximo que poderá ser explorado. A esse limite de exploração dá-se a denominação de vazão segura (do inglês *safe yield*) que deve ser embasada nos conceitos de sustentabilidade (UNITED NATIONS, 1987) e determinada considerando critérios técnicos (hidrogeológicos), políticos, econômicos, sociais e legais.

Os dados apresentados na **Tabela 10.3** permitem avaliar o nível de comprometimento da potencialidade do SAB para o atendimento às demandas, em comparação à recarga total.



**Tabela 10.3. Avaliação do comprometimento da potencialidade do SAB a RMN\***

Município	R	W		WsRu		Demandas Futuras			
						2020		2030	
Ceará-Mirim	128,6	14,7	11,4%	7,3	5,7%	53,7	41,8%	60,8	47,3%
Extremoz	34,8	9,6	27,6%	4,6	13,2%	8,2	23,6%	13,5	38,8%
Macaíba	54,2	7,6	14,0%	3,5	6,5%	34,7	64,0%	38,4	70,8%
Monte Alegre	23,0	1,7	7,4%	0,5	2,2%	4,3	18,7%	4,6	20,0%
Natal	42,2	84,8	200,9%	0,3	0,7%	90,7	214,9%	102,5	242,9%
Nísia Floresta	77,6	8,4	10,8%	5,3	6,8%	11,1	14,3%	12,4	16,0%
Parnamirim	35,4	24,0	67,8%	6,5	18,4%	37,8	106,8%	58,3	164,7%
S. G. Amarante	54,1	10,3	19,0%	5,5	10,2%	29,7	54,9%	33,1	61,2%
S. J. de Mipibu	64,5	5,7	8,8%	2,5	3,9%	27,4	42,5%	28,9	44,8%
<b>RMN</b>	<b>514,4</b>	<b>166,8</b>	<b>32,4%</b>	<b>36,0</b>	<b>7,0%</b>	<b>297,5</b>	<b>57,8%</b>	<b>352,5</b>	<b>68,5%</b>

(\*) Todos os valores estão expressos em  $\times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano, a exceção dos percentuais.

R: recarga; W: retirada de água subterrânea no SAB (volume explorado); WsRu: retirada subtraída a recarga urbana.

A recarga urbana, atualmente, exerce um papel fundamental na quantidade de água explorável do SAB. A análise da **Tabela 10.3** permite verificar que o saldo entre as retiradas e a recarga urbana (WsRu) corresponde a 7% da recarga total, ou seja, o comprometimento da potencialidade do SAB ainda é bastante reduzido, dado ao volume de recarga urbana aportado atualmente. A eliminação da recarga urbana elevaria o comprometimento da potencialidade do SAB para níveis em torno dos 32%, considerando o cenário atual de exploração e potencialidade.

Em relação às futuras demandas, mesmo considerando que todo o volume seria suprido através da captação de água subterrânea, o comprometimento da recarga seria de 58% em 2020 e de 69% em 2030, indicando que a potencialidade do SAB poderia suprir confortavelmente as demandas futuras. Entretanto, essa avaliação simplificada deve sofrer as seguintes ressalvas:

- As recargas urbanas correspondem a 25% da recarga total calculada e, desse modo, reduções na recarga urbana relacionadas com aumento na eficiência do abastecimento de água e com a ampliação da cobertura do esgotamento sanitário comprometeriam uma parcela do recurso explorável;
- O aspecto qualitativo das águas subterrâneas, sobretudo, em uma grande área do município de Natal e em parte do município de Parnamirim compromete, pelo menos para o consumo humano, um volume significativo do recurso explorável nesses locais;

- As regionalizações tanto das demandas quanto das potencialidades do SAB provocam cenários de relativa abundância em algumas localidades e de carência em outras;
- A reserva explotável não está homogeneamente distribuída no SAB, de modo que as áreas com as maiores potencialidades devem ser protegidas para garantir a integridade à qualidade e quantidade desse recurso.

A análise da **Tabela 10.3** por município demonstra que, a exceção de Natal e Parnamirim, todos os demais possuem potencialidades do SAB superiores às projeções das demandas para os próximos 20 anos, sendo que o maior nível de comprometimento em 2030 seria para Macaíba com 71% da recarga total.

As demandas projetadas para 2030 representariam, em Natal, volumes 2,5 vezes superiores à recarga total calculada nesse município e, em Parnamirim, seriam volumes 1,6 vezes superiores à recarga local. Essas comparações servem para caracterizar o dimensionamento das demandas frente às potencialidades locais e demonstrar que independentemente de outros fatores que serão discutidos a seguir, esses municípios necessitariam de buscar fontes de recursos hídricos no entorno para o suprimento de suas demandas.

A avaliação do cenário encontrado no município de Natal reflete o dilema da região sobre a oferta de água subterrânea. A análise puramente numérica aponta que praticamente toda a retirada ( $W$ ) provém da recarga urbana ( $R_u$ ), teoricamente, restando explotável a parcela referente a recarga ( $R$ ), de  $42,3 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano. O dilema está na dependência da recarga urbana que se for eliminada ou fortemente diminuída tende a gerar um problema de superexplotação em Natal e, a sua manutenção representa o comprometimento qualitativo do SAB, já que 51% da recarga urbana são provenientes da infiltração de esgoto.

Destaca-se também que a aparente oferta de  $42,3 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano, na prática não ocorre, pelo menos com a finalidade de abastecimento humano, já que uma grande parcela do aquífero em Natal está contaminada por nitrato.

O cenário existente em Natal que se repete também em Parnamirim em menor proporção, certamente será o cenário de todos os municípios da RMN no futuro, caso não seja modificada a gestão do uso da água subterrânea e ampliada a cobertura de esgotamento sanitário. A solução para esse cenário, entretanto, não é possível de maneira isolada, pois, na mesma trajetória de melhoria dos indicadores de saneamento básico, diminuindo a recarga urbana, deve-se controlar a quantidade de poços e os volumes explotados para que não ocorra a superexplotação.

O desenvolvimento do modelo numérico do fluxo das águas subterrâneas do SAB na RMN também permitiu alcançar as mesmas avaliações discutidas anteriormente, bem como validar o balanço hidrogeológico obtido analiticamente, já que os volumes das massas de água foram compatíveis em ambos os métodos. No **Apêndice I** estão apresentados detalhadamente os dados utilizados no desenvolvimento do modelo numérico.

A enorme contribuição do modelo numérico ao estudo foi possibilitar as projeções dos cenários em resposta às alterações nas taxas das recargas urbanas, simulando situações equivalentes à ampliação dos sistemas de esgotamento sanitário e ao aumento na eficiência da distribuição de água (diminuição das perdas da rede). Essas simulações foram apresentadas e discutidas no capítulo específico à recarga urbana.

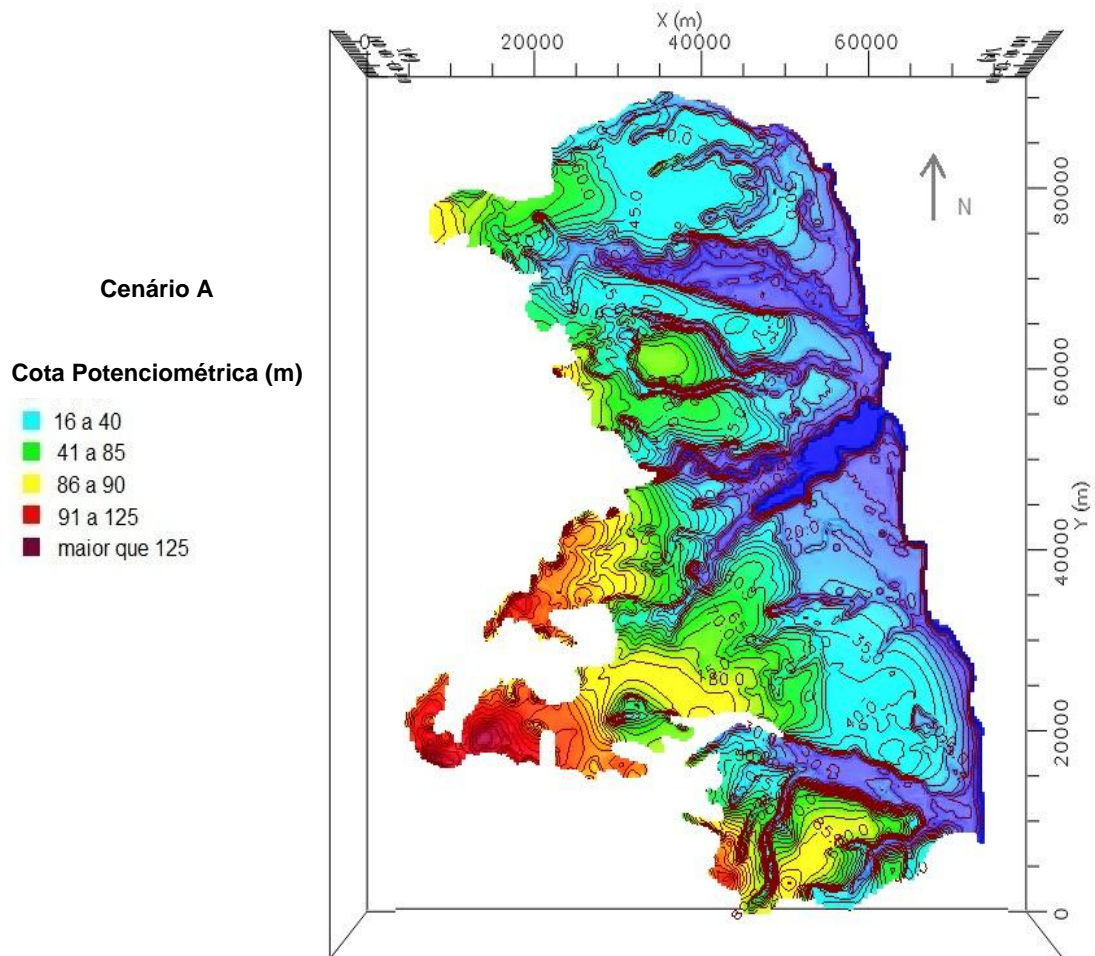
O resultado das simulações da diminuição das taxas de recarga urbana ressaltou um cenário ainda pouco discutido na região, relacionado às recargas pelo sistema de drenagem urbana. As feições geomorfológicas dos cordões dunares ocupados pela urbanização favoreceu a implantação de bacias de drenagem fechadas, nas quais a destinação das águas pluviais coletadas ocorre por infiltração em lagoas de retenção.

As infiltrações do sistema de drenagem urbana foram estimadas em  $22,3 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano, significando um aporte de 26% em relação ao volume explorado na cidade. Essa percepção não teria sido possível através do método analítico de cálculo do balanço hidrogeológico, visto que aborda diferentemente o cálculo das recargas.

Diante do potencial de contribuição à recarga verificado no sistema de drenagem urbana foi realizada uma simulação (Cenário A) projetando reduções significativas da recarga urbana (esgotamento sanitário e perdas da rede de abastecimento) e ampliando em 100% as taxas de infiltração das lagoas. O resultado é que esses sistemas de drenagem em bacias fechadas, desde que adequadamente projetados e operados, podem, tecnicamente, compensar a diminuição da recarga urbana, evitando a superexploração.

A **Figura 10.1** ilustra o mapa potenciométrico resultante da simulação para o Cenário A com redução de 85% das perdas da rede de distribuição de água existentes atualmente e de 90% das infiltrações provenientes do esgotamento sanitário, projetando a ampliação em 100% das infiltrações por lagoas nos municípios de Natal e Parnamirim. Essa simulação representa projetar uma recarga urbana de  $12 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano e um volume de infiltração das lagoas de cerca de  $50 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano.

A **Figura 10.1** mostra que os gradientes nas faixas litorâneas das zonas norte, leste e sul mantem desníveis de 5 a 15 m em relação aos níveis dos exutórios (mar e estuário do rio Potengi), demonstrando no cenário simulado que não seriam esperados problemas relacionados com a intrusão de cunhas salinas. Vale salientar que as reduções da recarga urbana foram bastante significativas, conforme será discutido no Cenário B e a infiltração da drenagem urbana projetada na simulação é inferior a 30% do volume precipitado em Natal.



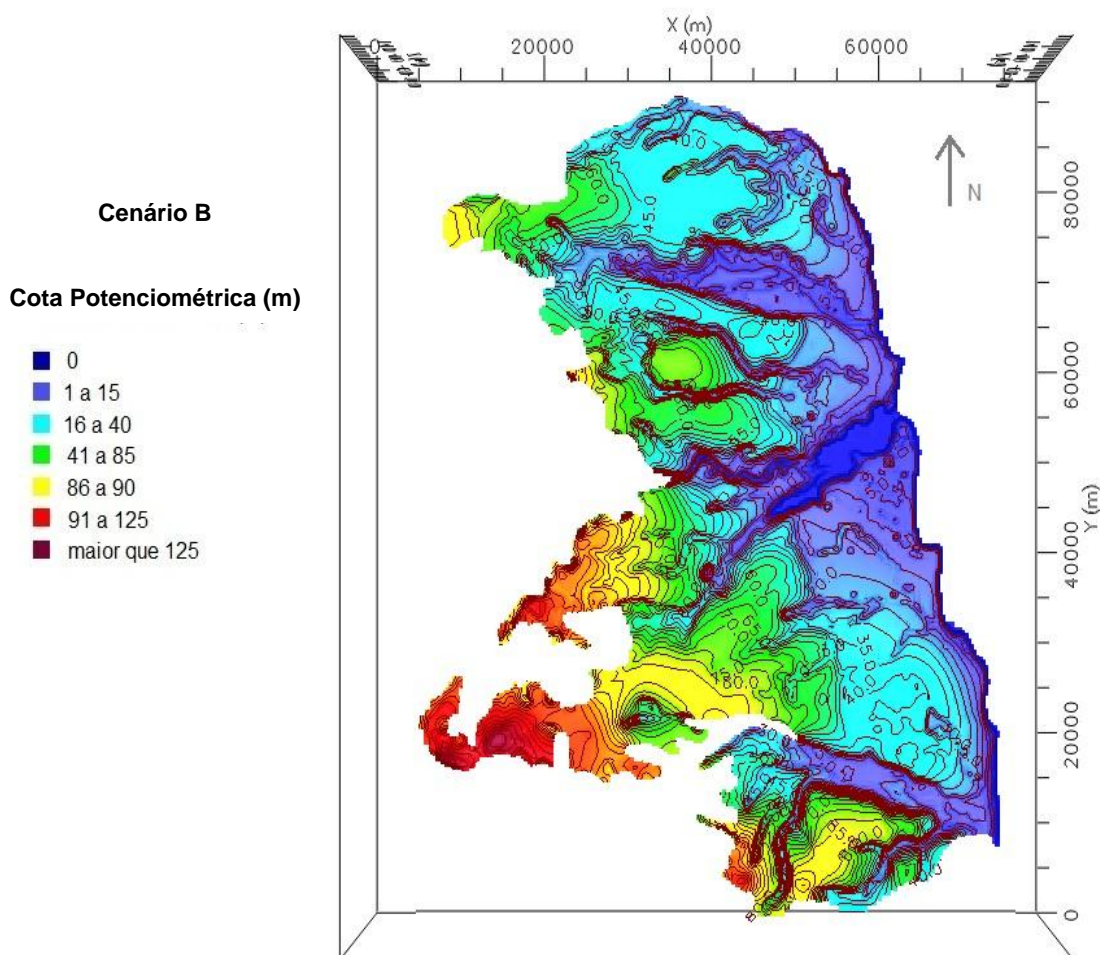
**Figura 10.1. Simulação de redução da recarga urbana e ampliação da recarga pela drenagem urbana (lagoas de infiltração) em Natal e Parnamirim**

A discussão sobre o controle da superexploração, através do aumento de infiltração dos sistemas de drenagem urbana, pode ser observada comparativamente com a **Figura 10.2** (Cenário B) que ilustra o mesmo cenário de redução da recarga urbana, porém sem alterar o volume de infiltração das lagoas e com a **Figura 10.3** que mostra o mapa potenciométrico das condições atuais.

A **Figura 10.2** ilustra o mapa potenciométrico resultante da simulação para o Cenário B com redução de 85% das perdas da rede de distribuição de água

existentes atualmente e de 90% das infiltrações provenientes do esgotamento sanitário, projetando uma recarga urbana de  $12 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano. Esses valores são compatíveis com níveis de eficiência do atendimento dos serviços de saneamento básico (abastecimento de água e esgotamento sanitário) compatíveis com indicadores de países desenvolvidos. Essa simulação projeta perdas nas redes de distribuição de água de 6% e eficiência de coleta e tratamento de esgoto de 95% do volume total de esgoto produzido.

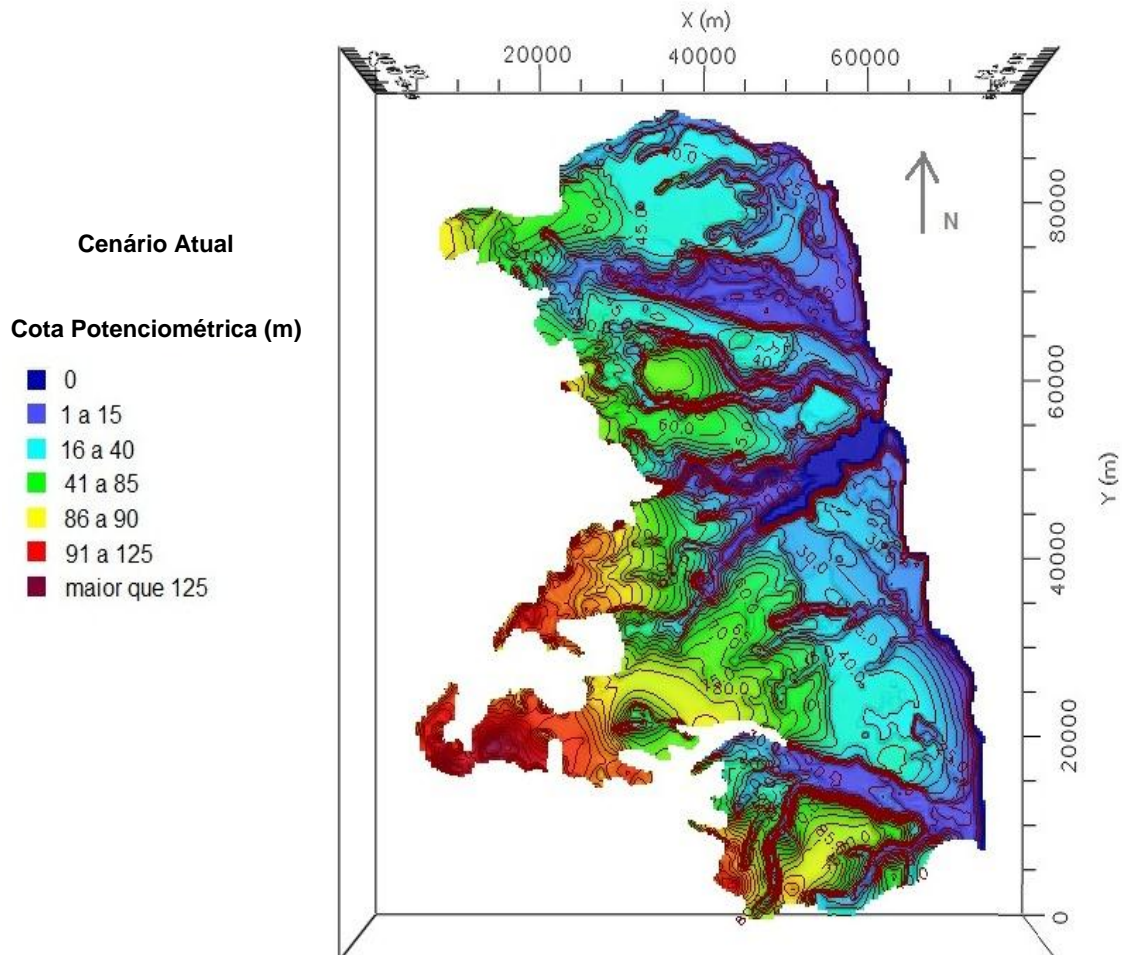
A simulação da **Figura 10.2** mostra uma intensa redução dos níveis potenciométricos do SAB, sobretudo na zona norte, leste e sul de Natal, mas com alguns reflexos de redução também próximos à Parnamirim e Macaíba. Nessa simulação as depleções máximas das cargas hidráulicas poderão atingir em torno de 20 m, podendo propiciar a ocorrência de intrusão salina na faixa litorânea de Natal e a diminuição da vazão de poços nesse município. Esse cenário é o mesmo discutido no capítulo de recarga urbana como Cenário 4.



**Figura 10.2. Simulação de redução da recarga urbana em Natal e Parnamirim**



A **Figura 10.3** demonstra o mapa potenciométrico das condições atuais de fluxo subterrâneo do SAB, considerando os níveis de exploração dos poços, a recarga urbana e a recarga natural do SAB nos padrões discutidos anteriormente neste capítulo. O contorno das linhas equipotenciais são compatíveis com o modelo hidrogeológico conceitual e com os mapas potenciométricos elaborados no presente estudo e discutidos no Capítulo 2 deste relatório.



**Figura 10.3. Modelo numérico das condições atuais de fluxo do SAB na RMN**

A comparação do mapa potenciométrico atual com a simulação do Cenário A, demonstra que na simulação “A” ocorrem diminuições dos níveis potenciométricos nas zonas norte, sul e leste de Natal, porém da ordem de 10 m e não de 20 m como ocorre com o Cenário B. Ressalta-se também que foram mantidas as explorações nos mesmos patamares atuais e, conforme já discutido, as reduções das recargas urbanas (melhorias dos indicadores de saneamento) devem ser acompanhadas de incremento na efetividade da gestão e da fiscalização do uso das águas subterrâneas. Deve-se salientar que a grande maioria dos poços da RMN não possui outorga de uso dos recursos hídricos, configurando risco à eficiência da gestão do recurso, à quantidade e à qualidade das águas

subterrâneas. No capítulo relativo às estratégias de manejo das águas subterrâneas serão apresentadas discussões complementares sobre esse tema.

Em complementação à avaliação do aumento da recarga pelo sistema de drenagem urbana, ressalta-se que essa é uma alternativa viável de compensação à redução das recargas urbanas e também ao processo de impermeabilização do solo inerente à urbanização, porém deve ser aplicada com padrões diferentes dos atuais.

Em avaliação aos sistemas de drenagem urbana verificou-se que as lagoas de infiltração recebem expressivos volumes de esgoto clandestinamente, além da disposição de resíduos sólidos, provocando à diminuição da eficiência de infiltração das lagoas e, sobretudo, propiciando a infiltração de águas contaminadas ao aquífero, agravando o processo de degradação das águas subterrâneas. Esse cenário, definitivamente, não é compatível com a solução avaliada de incrementar a recarga nas áreas urbanas por meio de bacias fechadas de drenagem das águas pluviais.

A avaliação de aumentar a recarga com a ampliação do uso de lagoas de infiltração deve ser planejada com base em estudos específicos, previstos e controlados pelos Planos Diretores e Planos de Saneamento e, sobretudo, o gerenciamento desses sistemas de drenagem urbana devem se pautar minimamente pelas medidas de avaliação da capacidade de infiltração de cada lagoa, da limpeza e conservação dessas infraestruturas do sistema de drenagem urbana e de controle do lançamento clandestino de esgotos nesses sistemas.

As discussões apresentadas neste capítulo, baseadas no balanço hidrogeológico e na avaliação da potencialidade do SAB ao atendimento às demandas de água permitem sintetizar que a água subterrânea é a principal fonte de abastecimento do recurso água à RMN com a positiva perspectiva de que poderá continuar sendo, inclusive ao pleno atendimento às demandas projetadas até 2030, desde que haja efetividade na gestão, na fiscalização e no controle do uso desses recursos hídricos, bem como do uso e da ocupação do solo e dos diversos serviços públicos de saneamento básico, de forma integrada, envolvendo os usuários e a sociedade de forma participativa.

Ressalta-se ainda que a disponibilidade do SAB na RMN, se definida uma vazão segura de exploração adequadamente gerenciada, representa uma fonte renovável de recurso hídrico, uma vez que possui a capacidade de ser reposta anualmente pelas chuvas precipitadas na região e que recarregam esse sistema aquífero, tornando-o sustentável.

