

GOVERNO DO RIO GRANDE DO NORTE

**SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS**

PROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E CONVIVÊNCIA  
COM O SEMIÁRIDO POTIGUAR

**Contrato nº 029/2010**



***ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO  
DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO LITORAL SUL À REGIÃO METROPOLITANA  
DE NATAL (BLOCO LITORAL SUL)***

*Relatório Final*  
***Volume 1 - Avaliação Hidrogeológica***

*Julho/2012*



**Governo do Estado do Rio Grande do Norte**

Rosalba Ciarlini

Governadora

**Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos - SEMARH**

Antônio Gilberto de Oliveira Jales

Secretário

**Programa de Desenvolvimento Sustentável e Convivência com o Semiárido  
Potiguar – PSP/RN**

Ieda Maria de Melo Cortez

Coordenadora

**Coordenadoria de Gestão de Recursos Hídricos – COGERH/RN**

Joana D'Arc Freire de Medeiros

Coordenadora



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

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

## **Mobilização Social:**

Lyana Gomes de Melo Fonseca (COGERH/SEMARH-RN)  
Marlise Paiva da Silva (COGERH/SEMARH-RN)  
Sueli Paulo Teixeira Costa (COGERH/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  
Altair Tadeu Alexandre  
Ana Cecília Hardt  
André Souza Cabral  
Andressa Araújo  
Antônio Carlos Lima Pereira  
Bruno Cesar Saraiva Dantas  
Bruno Pirilo Conicelli  
Cícero André de Araújo Neto  
Claudete Rodrigues de Souza  
Daniel Delatim Simonato  
Eduardo Pereira da Silva Junior  
Elaine Cristina da Cunha  
Elvio Saviato Junior  
Emanuel S. P. L'Apicciarella

Frederico Presotto  
Juliana F. da Silva Cabral  
Janete Monteiro de Souza  
Janny Juliana de Macêdo  
Jorge Ramón Penaranda Salgado  
Leandro José Gaspar de Faria  
Lidjia Bruna Siqueira da Silva  
Marcelo Freitas Marques  
Marcio Costa Abreu  
Marco Battaini  
Maria Anísia de Castro Pereira  
Mateus Delatim Simonato  
Maurício Prado Alves  
Rejanne Alves da Silva França  
Tereza Cristina Campos Falcão





**GOVERNO DO RIO GRANDE DO NORTE  
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS**

**ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO  
MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO LITORAL SUL À  
REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL (BLOCO LITORAL SUL)**

**RELATÓRIO FINAL**

**VOLUME 1  
AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA**

**PROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E  
CONVIVÊNCIA COM O SEMIÁRIDO POTIGUAR  
CONTRATO Nº029/2010**

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <b>Relatório Final<br/>Volume 1</b> | <b>Servmar Serviços Técnicos Ambientais Ltda.<br/>Julho, 2012.</b> |
|-------------------------------------|--|



Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte – SEMARH

Rua Dona Maria, 1884 – Capim Macio

CEP: 59.082-430 – Natal - RN

Tel: (84) 3232-2400 – Fax: (84) 3232-2411

Endereço eletrônico: <http://www.semarh.rn.gov.br>

Equipe:

Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos – SEMARH

Programa de Desenvolvimento Sustentável e Convivência com o Semiárido Potiguar – PSP

Elaboração e execução:

SERVMAR Serviços Técnicos Ambientais Ltda.

Av. Ceci, 2206 – Planalto Paulista

São Paulo – SP

CEP: 04.065-004

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 do Litoral Sul à Região Metropolitana de Natal (Bloco Litoral Sul).

Volume 1 – Avaliação Hidrogeológica

Natal: PSP/SEMARH, 2012

1. Recursos Hídricos
2. Aquífero Barreiras
  - I. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos
  - II. SERVMAR Serviços Técnicos Ambientais Ltda.



## SUMÁRIO

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 1     | INTRODUÇÃO.....  | 1   |
| 2     | ÁREA DE ESTUDO .....   | 3   |
| 3     | LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE DADOS BIBLIOGRÁFICOS E CARTOGRÁFICOS.....                              | 5   |
| 3.1   | Revisão Bibliográfica sobre Hidrogeologia .....  | 10  |
| 4     | ESTUDOS CLIMATOLÓGICOS E AVALIAÇÃO HIDROLÓGICA .....   | 16  |
| 4.1   | Estudos Climatológicos .....   | 16  |
| 4.1.1 | Disponibilidade de dados climatológicos e pluviométricos.....                                    | 16  |
| 4.1.2 | Climatologia.....  | 22  |
| 4.1.3 | Pluviometria.....  | 25  |
| 4.2   | Balanço hídrico climatológico do BLS .....   | 36  |
| 4.3   | Avaliação hidrológica.....   | 50  |
| 4.3.1 | Rede hidrográfica da área de estudo .....  | 50  |
| 4.3.2 | Disponibilidade de dados fluviométricos .....  | 53  |
| 4.3.3 | Monitoramento das vazões – seleção das seções.....   | 66  |
| 4.3.4 | Monitoramento das vazões – caracterização das bacias hidrográficas das seções selecionadas ..... | 78  |
| 4.3.5 | Monitoramento das vazões – Resultados e Discussões.....  | 82  |
| 4.3.6 | Avaliação da disponibilidade hídrica .....   | 108 |
| 4.3.7 | Considerações gerais sobre a avaliação hidrológica .....   | 113 |
| 5     | PROSPECÇÃO GEOFÍSICA.....  | 114 |
| 5.1   | Modelo geoeletrico .....   | 117 |
| 5.2   | Interpretação das sondagens elétricas.....   | 117 |
| 6     | CONSTRUÇÃO DE POÇOS EXPLORATÓRIOS E POÇOS DE OBSERVAÇÃO .....                                    | 135 |
| 6.1   | Construção de poços exploratórios e poços de observação .....                                    | 135 |
| 6.2   | Testes de aquífero e avaliação dos parâmetros hidrodinâmicos do SAB no BLS.....                  | 139 |
| 6.2.1 | Teste nº 1 – Distrito de Patané (Arez).....  | 145 |
| 6.2.2 | Teste nº 2 - Fazenda Carrapato (Tibau do Sul) .....  | 151 |
| 6.2.3 | Teste nº 3 - Vila Operária da Usina Vale Verde (Baía Formosa) .....                              | 157 |
| 6.2.4 | Considerações sobre os resultados dos parâmetros hidrodinâmicos e síntese dos resultados .....   | 162 |
| 7     | CADASTRO DE POÇOS.....   | 164 |
| 8     | MAPA GEOLÓGICO DO BLOCO LITORAL sul .....  | 180 |
| 8.1   | Geologia Regional .....  | 180 |
| 8.2   | Compartimentação tectono-estrutural do BLS .....   | 184 |
| 8.3   | Geologia local .....   | 186 |
| 9     | NIVELAMENTO TOPOGRÁFICO .....  | 194 |
| 9.1   | Equipamentos e softwares utilizados .....  | 195 |
| 9.2   | Estações GPS de referência .....   | 197 |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 9.3    | Aquisição dos dados (georreferenciamento dos pontos) .....   | 197 |
| 9.4    | Coordenadas das estações de referência .....   | 199 |
| 9.5    | Cotas topográficas e coordenadas dos pontos georreferenciados .....  | 199 |
| 10     | MONITORAMENTO DOS NÍVEIS DE ÁGUA.....  | 203 |
| 11     | MAPA POTENCIOMÉTRICO E FLUXO SUBTERRÂNEO .....   | 208 |
| 11.1   | Campanhas de medição do nível potenciométrico e avaliação das variações de carga.....  | 208 |
| 11.2   | Caracterização do fluxo subterrâneo e zonas de recarga e descarga das águas subterrâneas do SAB .....  | 218 |
| 11.3   | Relações hidráulicas entre as águas subterrâneas e superficiais.....   | 224 |
| 11.4   | Limitações apresentadas na caracterização do fluxo subterrâneo e variações de carga do Sistema Aquífero Barreiras no Bloco Litoral Sul ..... | 225 |
| 12     | RECARGA, RESERVAS, POTENCIALIDADES E RECURSOS EXPLOTÁVEIS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS .....   | 226 |
| 12.1   | Recursos hídricos subterrâneos do BLS .....  | 226 |
| 12.1.1 | Condicionamento climático .....  | 227 |
| 12.1.2 | Geologia e os aspectos estruturais envolvidos .....  | 228 |
| 12.1.3 | Caracterização, uso e potencialidades das unidades do sistema hidrogeológico do Bloco Litoral Sul.....                                       | 233 |
| 12.1.4 | Potencialidade dos aquíferos e exploração das águas subterrâneas nos municípios do Bloco Litoral Sul.....                                    | 238 |
| 12.2   | Parâmetros hidráulicos do Sistema Aquífero Barreiras.....  | 241 |
| 12.2.1 | Dimensões, litologia e estrutura do Sistema Aquífero Barreiras no BLS .....  | 243 |
| 12.2.2 | Parâmetros hidrodinâmicos do Sistema Aquífero Barreiras .....  | 261 |
| 12.3   | Reservas .....   | 275 |
| 12.3.1 | Reservas reguladoras (RR).....   | 275 |
| 12.3.2 | Reservas permanentes (RP) .....  | 277 |
| 12.4   | Disponibilidades de água subterrânea .....   | 279 |
| 12.5   | Recarga urbana.....  | 279 |
| 12.6   | Recarga das águas subterrâneas .....   | 280 |
| 12.6.1 | Método climatológico.....  | 281 |
| 12.6.2 | Aplicação da lei de Darcy ao meio poroso saturado .....  | 283 |
| 12.6.3 | Método da flutuação do nível d'água .....  | 284 |
| 12.6.4 | Abordagem sobre as técnicas na avaliação da recarga e avaliação dos resultados .....   | 285 |
| 12.7   | Potencialidades e recursos explotáveis .....   | 289 |
| 13     | MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL DO BLS .....  | 291 |
| 14     | MAPA HIDROGEOLÓGICO DO BLS .....   | 296 |



## FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 2.1. Localização do Bloco Litoral Sul .....   | 4  |
| Figura 3.1. Síntese dos principais estudos do Bloco Litoral Sul .....  | 9  |
| Figura 3.2. Unidades aquíferas do Bloco Litoral Sul.....   | 11 |
| Figura 4.1. Localização das estações climatológicas do BLS e suas vizinhanças .....  | 17 |
| Figura 4.2. Localização dos postos pluviométricos no BLS e nas suas vizinhanças .....  | 20 |
| Figura 4.3. Média mensal da temperatura média da estação LDC Bioenergia Ltda, no período de 1971 a 1996.....                           | 24 |
| Figura 4.4. Média mensal da evaporação do tanque Classe “A” da estação LDC Bioenergia Ltda, no período de 1971 a 1996.....             | 24 |
| Figura 4.5. Média mensal da umidade relativa do ar da estação LDC Bioenergia Ltda, no período de 1971 a 1996.....                      | 25 |
| Figura 4.6. Média mensal da velocidade do vento da estação LDC Bioenergia Ltda, no período de 1971 a 1996.....                         | 25 |
| Figura 4.7. Distribuição espacial dos postos pluviométricos utilizados na caracterização espacial e temporal da área do BLS .....      | 27 |
| Figura 4.8. Variação espacial da precipitação média anual da área do BLS e do seu entorno .....  | 29 |
| Figura 4.9. Precipitação pluviométrica média mensal dos Postos do BLS .....  | 31 |
| Figura 4.10. Precipitação total e média anual do posto de Canguaretama .....   | 32 |
| Figura 4.11. Precipitação total e média anual do posto da Destilaria Vale Verde (Baía Formosa).....                                    | 32 |
| Figura 4.12. Precipitação total e média anual do posto da Base Física da EMPARN (Canguaretama).....                                    | 33 |
| Figura 4.13. Precipitação total e média anual do posto de Goianinha .....  | 33 |
| Figura 4.14. Polígonos de Thiessen dos postos da área do BLS .....   | 35 |
| Figura 4.15. Precipitação média mensal de Thiessen dos postos do BLS .....   | 36 |
| Figura 4.16. Tipos de solos existentes no BLS (adaptado de EMBRAPA, 2006).....   | 39 |
| Figura 4.17. Declividade do terreno no BLS (gerado a partir do modelo digital de elevação - Embrapa, 2005) .....                       | 40 |
| Figura 4.18. Áreas com diferentes potenciais de escoamento superficial que podem sugerir diferentes potenciais de recarga no BLS ..... | 41 |
| Figura 4.19. Zoneamento pluviométrico para cálculo do balanço hídrico no BLS .....   | 42 |
| Figura 4.20. Evapotranspiração potencial e real estimadas para a classe 7–zona 3.....  | 47 |
| Figura 4.21. Recarga e deficiência hídrica estimadas para a classe 7–zona 3.....   | 47 |
| Figura 4.22. Recarga potencial estimada pelo método hidroclimatológico para o Sistema Aquífero Barreiras no Bloco Litoral Sul .....    | 49 |
| Figura 4.23. Bacias hidrográficas que drenam o BLS .....   | 51 |
| Figura 4.24. Localização das estações fluviométricas do BLS e nas suas vizinhanças .....   | 55 |
| Figura 4.25. Localização das seções fluviométricas visitadas no BLS .....  | 67 |
| Figura 4.26. Bacias hidrográficas das seções monitoradas no Bloco Litoral Sul .....  | 79 |
| Figura 4.27. Ilustração do método da Meia Seção .....  | 83 |
| Figura 4.28. Perfis transversais da seção Tra 01 na bacia Trairi .....   | 86 |
| Figura 4.29. Perfis transversais da seção Tra 02 na bacia Trairi .....   | 87 |
| Figura 4.30. Hidrograma das vazões medidas na bacia Trairi .....   | 87 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 4.31. Espacialização dos pontos de interferência outorgados na bacia do rio Trairi .  | 89  |
| Figura 4.32. Perfis transversais das seções da bacia hidrográfica Jacu .....   | 92  |
| Figura 4.33. Hidrograma das vazões medidas na bacia Jacu .....   | 93  |
| Figura 4.34. Espacialização dos pontos de interferência outorgados na bacia do rio Jacu .  | 94  |
| Figura 4.35. Perfis transversais das seções da bacia hidrográfica Catu .....   | 96  |
| Figura 4.36. Hidrograma das vazões medidas na bacia Catu .....   | 97  |
| Figura 4.37. Espacialização dos pontos de interferência outorgados na bacia do rio Catu .  | 98  |
| Figura 4.38. Perfis transversais das seções da bacia hidrográfica Curimataú .....  | 101 |
| Figura 4.39. Hidrograma das vazões medidas na bacia Curimataú .....  | 102 |
| Figura 4.40. Espacialização dos pontos de interferência outorgados na bacia do rio Curimataú .....   | 103 |
| Figura 4.41. Perfis transversais das seções da bacia hidrográfica Guaju .....  | 105 |
| Figura 4.42. Hidrograma das vazões medidas na bacia Guaju .....  | 106 |
| Figura 4.43. Espacialização dos pontos de interferência outorgados na bacia Guaju .....  | 107 |
| Figura 4.44. Curva de permanência das vazões na estação de Dom Marcolino .....   | 109 |
| Figura 4.45. Curva de permanência das vazões na estação de Pedro Velho .....   | 109 |
| Figura 4.46. Curva de permanência das vazões na estação Sítio Choar .....  | 110 |
| Figura 4.47. Curva de permanência das vazões na estação Monte Alegre .....   | 110 |
| Figura 5.1. Localização das sondagens elétricas verticais no Bloco Litoral Sul .....   | 116 |
| Figura 5.2. Perfil litológico do poço de propriedade da CAERN, na localidade de Bica-São José de Mipibu (coordenadas 252918E e 9327905N) ..... | 119 |
| Figura 5.3. Sondagem elétrica de calibração 1 .....  | 120 |
| Figura 5.4. Perfil litológico do poço tubular situado no loteamento Sonho Verde em Parnamirim (coordenadas 250072E e 9341890N) .....           | 120 |
| Figura 5.5. Segunda sondagem elétrica de calibração .....  | 121 |
| Figura 5.6. Sondagem elétrica PTS1 .....   | 122 |
| Figura 5.7. Sondagem elétrica PTS2 .....   | 123 |
| Figura 5.8. Sondagem elétrica PTS3 .....   | 124 |
| Figura 5.9. Sondagem elétrica PTS4 .....   | 125 |
| Figura 5.10. Sondagem elétrica PTS5 .....  | 126 |
| Figura 5.11. Sondagem elétrica PTS6 .....  | 127 |
| Figura 5.12. Sondagem elétrica PTS7 .....  | 128 |
| Figura 5.13. Sondagem elétrica PTS08 .....   | 129 |
| Figura 5.14. Sondagem elétrica PTS9 .....  | 130 |
| Figura 5.15. Sondagem elétrica PTS10 .....   | 131 |
| Figura 5.16. Sondagem elétrica PTS11 .....   | 132 |
| Figura 5.17. Sondagem elétrica PTS12 .....   | 133 |
| Figura 6.1. Localização dos poços instalados e utilizados nos testes de bombeamento no BLS .....   | 136 |
| Figura 6.2. Localização dos testes de aquíferos executados no BLS .....  | 140 |
| Figura 6.3. Monitoramento do nível d'água no poço AZR0139 (PB) .....   | 142 |
| Figura 6.4. Monitoramento do nível d'água no poço piezômetro AZR0140 (PO-01) .....   | 142 |
| Figura 6.5. Monitoramento do nível d'água no piezômetro AZR0141 (PO-02) .....  | 143 |



|  |     |
|--|-----|
| Figura 6.6. Monitoramento do nível d'água no poço TBS0149 (PB) .....   | 143 |
| Figura 6.7. Monitoramento do nível d'água no piezômetro TBS0150 (PO-01) .....  | 143 |
| Figura 6.8. Monitoramento do nível d'água no piezômetro TBS0151 (PO-02) .....  | 144 |
| Figura 6.9. Monitoramento do nível d'água no poço BFS0052 (PB) .....   | 144 |
| Figura 6.10. Monitoramento do nível d'água no piezômetro BFS0053 (PO-01) .....   | 144 |
| Figura 6.11. Monitoramento do nível d'água no piezômetro BFS0054 (PO-02) .....   | 145 |
| Figura 6.12. Perfil litológico e construtivo do poço bombeado AZR0139 .....  | 146 |
| Figura 6.13. Perfil litológico e construtivo do piezômetro AZR0140 .....   | 147 |
| Figura 6.14. Perfil litológico e construtivo do piezômetro AZR0141 .....   | 148 |
| Figura 6.15. Correlação entre o perfil do poço bombeado e piezômetros no local do Teste 1 .....                                | 150 |
| Figura 6.16. Método de Neuman aplicado aos dados de rebaixamento do poço observado .....                                       | 151 |
| Figura 6.17. Perfil litológico e construtivo do poço bombeado TBS0149 .....  | 152 |
| Figura 6.18. Perfil litológico e construtivo do piezômetro TBS0150 .....   | 153 |
| Figura 6.19. Perfil litológico e construtivo do piezômetro TBS0151 .....   | 154 |
| Figura 6.20. Correlação de perfis dos poços no local do Teste 2 .....  | 156 |
| Figura 6.21. Aplicação do método de Cooper Jacob aos dados de rebaixamento do poço de observação 01 - TBS0150 .....            | 157 |
| Figura 6.22. Perfil litológico e construtivo do poço bombeado BFS0052 .....  | 158 |
| Figura 6.23. Perfil litológico e construtivo do piezômetro BFS0053 (PO-01) .....   | 159 |
| Figura 6.24. Perfil litológico e construtivo do piezômetro BFS0054 (PO-02) .....   | 160 |
| Figura 6.25. Correlação de perfis dos poços no local do Teste 3 .....  | 161 |
| Figura 6.26. Aplicação do método de Neuman aos dados de rebaixamento do piezômetro BFS0053 (PO-01) .....                       | 162 |
| Figura 7.1. Gráfico referente a informações de dados de origem .....   | 166 |
| Figura 7.2. Cadastro de poços do Bloco Litoral Sul .....   | 167 |
| Figura 7.3. Distribuição dos tipos de fontes de captação por município .....   | 170 |
| Figura 7.4. Tipos de poços do Bloco Litoral Sul .....  | 172 |
| Figura 7.5. Quantidade de fontes por tipos de uso .....  | 173 |
| Figura 7.6. Tipificação do uso da água subterrânea por município .....   | 174 |
| Figura 7.7. Localização dos poços com perfil litológico do Bloco Litoral Sul .....   | 176 |
| Figura 7.8. Poços outorgados por município do BLS .....  | 177 |
| Figura 7.9. Tipificação do uso da água subterrânea por município do BLS (poços outorgados) .....                               | 178 |
| Figura 7.10. Distribuição dos volumes outorgados por tipo de uso no BLS .....  | 179 |
| Figura 8.1. Compartimentações geotectônicas do Estado do Rio Grande do Norte (adaptado de CPRM, 2003) .....                    | 180 |
| Figura 8.2. Bacia Costeira PE/PB/RN e suas principais compartimentações (adaptado de Lima Filho, 1999) .....                   | 181 |
| Figura 8.3. Mapa geológico do Bloco Litoral Sul (adaptado de CPRM, 2006) .....   | 193 |
| Figura 9.1. Nivelamento topográfico da rede de monitoramento quantitativo no Bloco Litoral Sul .....                           | 202 |
| Figura 10.1. Cargas hidráulicas obtidas nas duas campanhas da rede de monitoramento de nível d'água do Bloco Litoral Sul ..... | 207 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 11.1. Precipitação mensal nos postos inseridos no BLS no período das medições de níveis d'água.....  | 218 |
| Figura 11.2. Mapas potenciométricos das duas campanhas de monitoramento de nível d'água do SAB no BLS ..... | 220 |
| Figura 11.3. Mapa potenciométrico do Sistema Aquífero Barreiras no Bloco Litoral Sul (maio/2012).....       | 221 |
| Figura 11.4. Zonas de recarga e descarga do Sistema Aquífero Barreiras no BLS .....                         | 223 |
| Figura 12.1. Localização das seções hidrogeológicas AA', BB' e CC' no Bloco Litoral Sul                     | 229 |
| Figura 12.2. Seção hidrogeológica AA' .....   | 230 |
| Figura 12.3. Seção hidrogeológica BB' .....   | 231 |
| Figura 12.4. Seção hidrogeológica CC' .....   | 232 |
| Figura 12.5. Localização dos poços e piezômetros utilizados nas avaliações hidrogeológicas no BLS .....     | 242 |
| Figura 12.6. Espessuras do Sistema Aquífero Barreiras (SAB) no Bloco Litoral Sul .....                      | 245 |
| Figura 12.7. Zona de espessuras do Sistema Aquífero Barreiras (SAB) no Bloco Litoral Sul .....              | 246 |
| Figura 12.8. Zonas de espessura saturada do SAB no Bloco Litoral Sul .....                                  | 247 |
| Figura 12.9. Localização das seções hidrogeológicas aa', bb' e cc' no Bloco Litoral Sul ..                  | 248 |
| Figura. 12.10. Seção hidrogeológica aa' .....   | 249 |
| Figura 12.11. Seção hidrogeológica bb' .....  | 250 |
| Figura 12.12. Seção hidrogeológica cc' .....  | 251 |
| Figura 12.13. Perfil litológico em S. Georgino Avelino (poço PS-215 – NE: 45,4 m) .....                     | 253 |
| Figura 12.14. Perfil litológico no município de Arez (poço PS-188 - NE: 32,18 m) .....                      | 255 |
| Figura 12.15. Perfil litológico no município de Arez (poço PS-1298 - NE: 24,41 m) .....                     | 255 |
| Figura 12.16. Perfil litológico em Tibau do Sul (poço P-2/Sibaúma – NE: 20,35 m) .....                      | 256 |
| Figura 12.17. Perfil litológico em Goianinha (poço PT-12-Goi – NE: 11,44 m) .....                           | 258 |
| Figura 12.18. Perfil litológico em Canguaretama (poço P-10 – NE: 31,16 m) .....                             | 259 |
| Figura 12.19. Perfil litológico em Canguaretama (poço PS-0751 – NE: 25,55 m).....                           | 260 |
| Figura 12.20. Perfil litológico no município Baía Formosa (poço PS-1335 - NE: 22,6 m) ..                    | 261 |
| Figura 12.21. Diagrama de dispersão “T(y)/T(x)” com tendência linear .....                                  | 265 |
| Figura 12.22. Zonas de Transmissividade do SAB no Bloco Litoral Sul.....                                    | 267 |
| Figura 12.23. Zonas de condutividade hidráulica do SAB no Bloco Litoral Sul .....                           | 268 |
| Figura 12.24. Taxas potenciais de recarga no Bloco Litoral Sul.....   | 282 |
| Figura 13.1. Modelo hidrogeológico conceitual do SAB no Bloco Litoral Sul .....                             | 292 |
| Figura 14.1. Mapa hidrogeológico do Bloco Litoral Sul .....   | 300 |



**TABELAS**

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 2.1. Perfil dos municípios do Bloco Litoral Sul em 2010 .....  | 3   |
| Tabela 3.1. Instituições contatadas para obtenção de dados de interesse .....                                   | 5   |
| Tabela 3.2. Unidades aquíferas do BLS .....   | 10  |
| Tabela 3.3. Recursos Hídricos do aquífero Dunas no BLS .....  | 12  |
| Tabela 3.4. Recursos Hídricos do aquífero Barreiras no BLS .....  | 13  |
| Tabela 4.1. Estações climatológicas do Bloco Litoral Sul e do seu entorno.....                                  | 18  |
| Tabela 4.2. Parâmetros climatológicos médios da estação Filial Estivas (1970 – 1996) .....                      | 18  |
| Tabela 4.3. Parâmetros climáticos médios da estação de Natal-UFRN (1961 – 2010) .....                           | 19  |
| Tabela 4.4. Relação dos postos pluviométricos existentes no BLS e seu entorno .....                             | 21  |
| Tabela 4.5. Precipitação média mensal e anual dos postos pluviométricos representativos da área de estudo ..... | 28  |
| Tabela 4.6. Área dos polígonos de Thiessen para cada posto pluviométrico do BLS.....                            | 34  |
| Tabela 4.7. Precipitação média mensal e anual dos postos do BLS por Thiessen (mm).....                          | 36  |
| Tabela 4.8. Coeficientes de escoamento superficial aplicados no balanço hídrico .....                           | 38  |
| Tabela 4.9. Classes com diferentes taxas potenciais de escoamento superficial .....                             | 38  |
| Tabela 4.10. Dados climáticos utilizados para o balanço hídrico em cada zona.....                               | 44  |
| Tabela 4.11. Resultados do balanço hídrico obtidos para as diferentes classes definidas no BLS .....            | 46  |
| Tabela 4.12. Estações fluviométricas instaladas na faixa leste do RN e adjacências.....                         | 54  |
| Tabela 4.13. Vazões médias observadas na estação Dom Marcolino ( $m^3/s$ ).....                                 | 56  |
| Tabela 4.14. Vazões médias observadas na estação Ceará-Mirim ( $m^3/s$ ) .....                                  | 57  |
| Tabela 4.15. Vazões médias observadas na estação Telha ( $m^3/s$ ) .....  | 59  |
| Tabela 4.16. Vazões médias observadas na estação Monte Alegre ( $m^3/s$ ) .....                                 | 61  |
| Tabela 4.17. Vazões médias observadas na estação Sítio Choar ( $m^3/s$ ).....                                   | 63  |
| Tabela 4.18. Vazões médias observadas na estação Pedro Velho ( $m^3/s$ ) .....                                  | 64  |
| Tabela 4.19. Localização das seções de medição de vazões na bacia Trairi .....                                  | 68  |
| Tabela 4.20. Localização das seções de medição de vazões na bacia do rio Jacu.....                              | 70  |
| Tabela 4.21. Localização das seções de medição de vazões na bacia do rio Catu.....                              | 72  |
| Tabela 4.22. Localização das seções de medição de vazões na bacia do rio Curimataú....                          | 76  |
| Tabela 4.23. Localização das seções de medição de vazões na bacia do rio Guaju.....                             | 78  |
| Tabela 4.24. Características físicas das bacias hidrográficas nas seções.....                                   | 78  |
| Tabela 4.25. Dados do monitoramento de vazões nas seções do BLS .....   | 84  |
| Tabela 4.26. Vazões de permanência ( $m^3/s$ ).....   | 108 |
| Tabela 4.27. Cálculo das vazões com 90% de garantia para a bacia hidrográfica Trairi ...                        | 111 |
| Tabela 4.28. Cálculo das vazões com 90% de garantia para a bacia hidrográfica Jacu....                          | 112 |
| Tabela 4.29. Cálculo das vazões com 90% de garantia para a bacia hidrográfica Catu....                          | 112 |
| Tabela 4.30. Cálculo das vazões com 90% de garantia para a bacia hidrográfica Curimataú .....                   | 112 |
| Tabela 4.31. Cálculo das vazões com 90% de garantia para a bacia hidrográfica Guaju..                           | 113 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabela 5.1. Pontos de sondagens elétricas no BLS .....   | 115 |
| Tabela 5.2. Principais litologias e estimativa dos respectivos valores de resistividade e espessura .....  | 121 |
| Tabela 5.3. Modelo inverso proposto de “resistividades ( $\rho$ ) x espessuras (h)” para a SEV PTS1 .....  | 122 |
| Tabela 5.4. Modelo inverso proposto de “resistividades ( $\rho$ ) x espessuras (h)” para a SEV PTS2 .....  | 124 |
| Tabela 5.5. Modelo inverso proposto de “resistividades ( $\rho$ ) x espessuras (h)” para a SEV PTS03 .....   | 125 |
| Tabela 5.6. Modelo inverso proposto de “resistividades ( $\rho$ ) x espessuras (h)” para a SEV PTS4 .....  | 126 |
| Tabela 5.7. Modelo inverso proposto de “resistividades ( $\rho$ ) x espessuras (h)” para a SEV PTS5 .....  | 127 |
| Tabela 5.8. Modelo inverso proposto de “resistividades ( $\rho$ ) x espessuras (h)” para a SEV PTS6 .....  | 128 |
| Tabela 5.9. Modelo inverso proposto de “resistividades ( $\rho$ ) x espessuras (h)” para a SEV PTS7 .....  | 129 |
| Tabela 5.10. Modelo inverso proposto de “resistividades ( $\rho$ ) x espessuras (h)” para a SEV PTS08 .....  | 130 |
| Tabela 5.11. Modelo inverso proposto de “resistividades ( $\rho$ ) x espessuras (h)” para a SEV PTS9 .....   | 131 |
| Tabela 5.12. Modelo inverso proposto de “resistividades ( $\rho$ ) x espessuras (h)” para a SEV PTS10 .....  | 132 |
| Tabela 5.13. Modelo inverso proposto de “resistividades ( $\rho$ ) x espessuras (h)” para a SEV PTS11 .....  | 133 |
| Tabela 5.14. Modelo inverso proposto de “resistividades ( $\rho$ ) x espessuras (h)” para a SEV PTS12 .....  | 133 |
| Tabela 6.1. Resumo dos resultados dos testes de bombeamento .....  | 141 |
| Tabela 6.2. Resumo dos parâmetros hidrodinâmicos obtidos nos testes de aquífero do Sistema Aquífero Barreiras realizados no BLS .....              | 163 |
| Tabela 7.1. Vazão média dos poços por finalidade de uso ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) .....  | 175 |
| Tabela 8.1. Unidades litoestratigráficas do BLS .....  | 187 |
| Tabela 8.2. Dados dos perfis de poços que atingem o embasamento cristalino .....   | 188 |
| Tabela 8.3. Características da espessura da formação Barreiras .....   | 190 |
| Tabela 8.4. Espessura das dunas e paleodunas (m) .....   | 191 |
| Tabela 9.1. Estações da RBMC utilizadas como referência .....  | 196 |
| Tabela 9.2. Coordenadas geodésicas da estação de referência .....  | 199 |
| Tabela 9.3. Erro das coordenadas da estação de referência .....  | 199 |
| Tabela 9.4. Dados do levantamento topográfico no BLS .....   | 200 |
| Tabela 10.1. Rede de monitoramento quantitativa, níveis d’água e cargas hidráulicas das duas campanhas no BLS .....                                | 204 |
| Tabela 11.1. Pontos utilizados na elaboração do mapa potenciométrico referente à 1ª campanha de monitoramento de nível d’água (jan-fev/2012) ..... | 209 |
| Tabela 11.2. Pontos utilizados na elaboração do mapa potenciométrico referente à 2ª campanha de monitoramento de nível d’água (mai/2012) .....     | 213 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabela 11.3. Variação da carga hidráulica entre as duas campanhas de monitoramento .                       | 216 |
| Tabela 11.4. Precipitação mensal nos postos inseridos no BLS no período das medições de níveis d'água..... | 217 |
| Tabela 11.5. Vazão do fluxo subterrâneo do SAB no BLS .....  | 222 |
| Tabela 12.1. Dados utilizados na definição do regime de operação dos poços .....                           | 234 |
| Tabela 12.2. Características das unidades hidrogeológicas nos municípios do BLS .....                      | 235 |
| Tabela 12.3. Transmissividade e vazão específica do SAB no BLS .....                                       | 265 |
| Tabela 12.4. Parâmetros hidráulicos do SAB em Senador Georgino Avelino .....                               | 269 |
| Tabela 12.5. Parâmetros hidráulicos do SAB no município de Arez .....                                      | 270 |
| Tabela 12.6. Parâmetros hidráulicos do SAB no município de Tibau do Sul .....                              | 271 |
| Tabela 12.7. Parâmetros hidráulicos do SAB no município de Goianinha .....                                 | 272 |
| Tabela 12.8. Parâmetros hidráulicos do SAB no município de Canguaretama .....                              | 273 |
| Tabela 12.9. Parâmetros hidráulicos do SAB no município de Baía Formosa .....                              | 274 |
| Tabela 12.10. Reservas reguladoras e reservas permanentes do SAB nos municípios do BLS .....               | 278 |
| Tabela 12.11. Recursos explotados no SAB nas sedes municipais e recarga urbana .....                       | 280 |
| Tabela 12.12. Recarga estimada nos municípios do BLS pelo método climatológico .....                       | 283 |
| Tabela 12.13. Recarga das águas subterrâneas do SAB pelo método da variação de carga .....                 | 287 |
| Tabela 12.14. Síntese dos valores obtidos para recarga com aplicação de diferentes técnicas.....           | 288 |
| Tabela 12.15. Potencialidade e recurso explotável de águas subterrâneas no BLS.....                        | 289 |



## FOTOS

|  |     |
|--|-----|
| Fotos 1 e 2. Seção Tra 03 eliminada do monitoramento de vazões.....  | 68  |
| Fotos 3 e 4. Seção de medição no rio Trairi na BR-101 (Tra 01) .....   | 68  |
| Fotos 5 e 6. Seção de medição no rio Baldum na BR-101 (Tra 02) .....   | 69  |
| Fotos 7 e 8. Seção Jac 06 eliminada do monitoramento no riacho das Pedras .....  | 69  |
| Fotos 9, 10 e 11. Seções excluídas do monitoramento de vazões na bacia do rio Jacu (Jac 07-BR-101, Jac 08 e Jac 09, respectivamente) ..... | 70  |
| Fotos 12 e 13. Seção de medição no riacho das Pedras (Jac 02) .....  | 70  |
| Fotos 14 e 15. Seção de medição no rio Jacu (Jac 03).....  | 71  |
| Fotos 16 e 17. Seção de medição no rio Jacu na BR-101 (Jac 04) .....   | 71  |
| Fotos 18 e 19. Seção de medição riacho Salto (Jac 01) .....  | 71  |
| Fotos 20 e 21. Seção de medição rio Guaríba em Goianinha (Jac 05) .....  | 71  |
| Fotos 22 e 23. Seção Cat 04 no rio Angelim excluída do monitoramento de vazões .....   | 72  |
| Fotos 24 e 25. Seção Cat 01 no rio Catu na BR-101 .....  | 72  |
| Fotos 26 e 27. Seção Cat 02 no rio Catu na comunidade Catu da Tarumã .....   | 73  |
| Fotos 28 e 29. Seção Cat 03 no afluente pela margem esquerda do rio Catu .....   | 73  |
| Fotos 30 e 31. Seção Cur 07 no rio Levada na BR-101 eliminada na triagem.....  | 74  |
| Fotos 32 e 33. Seção de medição no riacho Nascente (Cur 01) .....  | 74  |
| Fotos 34 e 35. Seção de medição no rio Piquiri na RN 269 (Cur 02) .....  | 74  |
| Fotos 36 e 37. Seção de medição no riacho Espinha na BR-101 (Cur 03) .....   | 75  |
| Fotos 38 e 39. Seção de medição no rio Pituaçu na BR-101 (Cur 04) .....  | 75  |
| Fotos 40 e 41. Seção de medição no rio Guaratuba na RN 062 (Cur 05) .....  | 75  |
| Fotos 42 e 43. Seções do rio Guaju (Gua 04) e (Gua 05) eliminadas na triagem .....   | 76  |
| Fotos 44 e 45. Seções no rio Pau Brasil (Gua 06) e (Gua 07) eliminadas na triagem .....  | 77  |
| Fotos 46 e 47. Seção de medição na nascente do rio Guaju (Gua 01) .....  | 77  |
| Fotos 48 e 49. Seção de medição no rio Guaju na BR-101 (Gua 02) .....  | 77  |
| Fotos 50 e 51. Seção de medição no rio Guaju em Sagi (Gua 03) .....  | 77  |
| Foto 52. Nivelamento topográfico com GPS Geodésico em poço tubular.....  | 195 |
| Foto 53. Destaque da sinalização do entalhe do nivelamento topográfico.....  | 195 |
| Foto 54. Marca de sinalização do entalhe do nivelamento topográfico .....  | 195 |
| Foto 55. GPS utilizado durante a aquisição dos pontos .....  | 196 |

## **VOLUMES**

Volume 1 – Avaliação Hidrogeológica

Volume 2 – Avaliação da Influência das Atividades Antrópicas Impactantes nas Águas Subterrâneas

Volume 3 – Estratégias de Manejo de Uso Sustentável das Águas Subterrâneas

Volume 4 - Apêndices

## 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 do Litoral Sul à Região Metropolitana de Natal (Bloco Litoral Sul), contratado pela Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMARH (Contrato N° 029/2010).

As atividades relativas aos estudos hidrogeológicos foram desenvolvidas de novembro de 2010 a junho de 2012, cujos resultados, apresentados em relatórios parciais, foram aprovados e compilados neste relatório final, elaborado em quatro volumes.

Este Volume 1, “Avaliação Hidrogeológica”, apresenta as atividades executadas, os dados obtidos, as discussões, as interpretações e os resultados alcançados sobre os seguintes temas:

*Revisão Bibliográfica:* compila o levantamento de dados bibliográficos e cartográficos existentes sobre o BLS, apresentando e discutindo os principais resultados alcançados em estudos, pesquisas e relatórios técnicos, principalmente sobre a hidrogeologia, geologia e tectônica da área de estudo.

*Estudos Climatológicos e Avaliação Hidrológica:* organiza e seleciona os dados climatológicos levantados em diversos bancos de dados disponíveis, a partir dos quais foi calculado o balanço hídrico climatológico e efetuado um estudo de recarga, bem como apresenta a avaliação hidrológica das bacias hidrográficas do BLS, a partir de dados existentes e dos monitoramentos de vazões realizados neste estudo.

*Cadastro de Poços:* apresenta os dados e as estatísticas das informações registradas no cadastro de poços elaborado neste estudo que compila dados de 687 poços, a maioria tubulares, incluindo também cacimbas e piezômetros.

*Construção de poços tubulares:* apresenta os perfis construtivos e litológicos dos poços exploratórios e piezômetros (poços de observação), construídos com a finalidade de executar testes de aquíferos, demonstrando e discutindo a metodologia de perfuração, materiais e procedimentos.

*Testes de Aquífero:* descreve a metodologia e os procedimentos executivos dos ensaios de bombeamento prolongados, apresenta os dados medidos em campo e as metodologias utilizadas nas interpretações dos testes e discute os parâmetros hidráulicos do aquífero, obtidos como resultado desses ensaios de campo.



*Nivelamento Topográfico:* apresenta a metodologia utilizada na medição das cotas topográficas e no tratamento dos dados coletados com uso de GPS Geodésico nos 80 pontos da rede de monitoramento de nível de água.

*Monitoramento dos Níveis de Água:* apresenta a rede de monitoramento dos níveis de água, demonstra e ilustra o procedimento de medição do nível de água, apresenta os resultados medidos em campo e o cálculo das cargas hidráulicas monitoradas.

*Mapa Potenciométrico e Fluxo Subterrâneo:* apresenta os dados utilizados na elaboração dos mapas potenciométricos, a interpretação sobre os fluxos subterrâneos do Sistema Aquífero Barreiras (SAB) no BLS, a identificação das áreas de recarga e descarga do SAB, bem como as interações dos fluxos subterrâneos com os corpos hídricos superficiais.

*Recarga, Reservas, Potencialidades e Recursos Explotáveis as Águas Subterrâneas:* apresenta e discute as metodologias utilizadas nos cálculos desses parâmetros quantitativos do SAB no BLS, bem como as interpretações alcançadas a partir do dimensionamento dos recursos hídricos avaliados.

*Modelo Hidrogeológico Conceitual:* a partir da análise e compreensão dos dados existentes sobre características físicas, parâmetros hidráulicos e o comportamento de fluxo das águas subterrâneas é apresentado e discutido o modelo conceitual hidrogeológico do SAB no BLS.

*Mapa Hidrogeológico do BLS:* consiste na representação cartográfica de todo entendimento sobre a hidrogeologia do BLS, incluindo a caracterização, discussão e interpretação da dinâmica das águas subterrâneas e o dos aquíferos existentes.

## 2 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo abrange o Bloco Litoral Sul (BLS) e situa-se na microrregião do Litoral Oriental do Estado do Rio Grande do Norte. A **Figura 2.1** apresenta a área estudada, que possui uma superfície de 975 km<sup>2</sup> e inclui os municípios de Arez, Senador Georgino Avelino, Goianinha, Canguaretama, Vila Flor, Tibau do Sul e Baía Formosa.

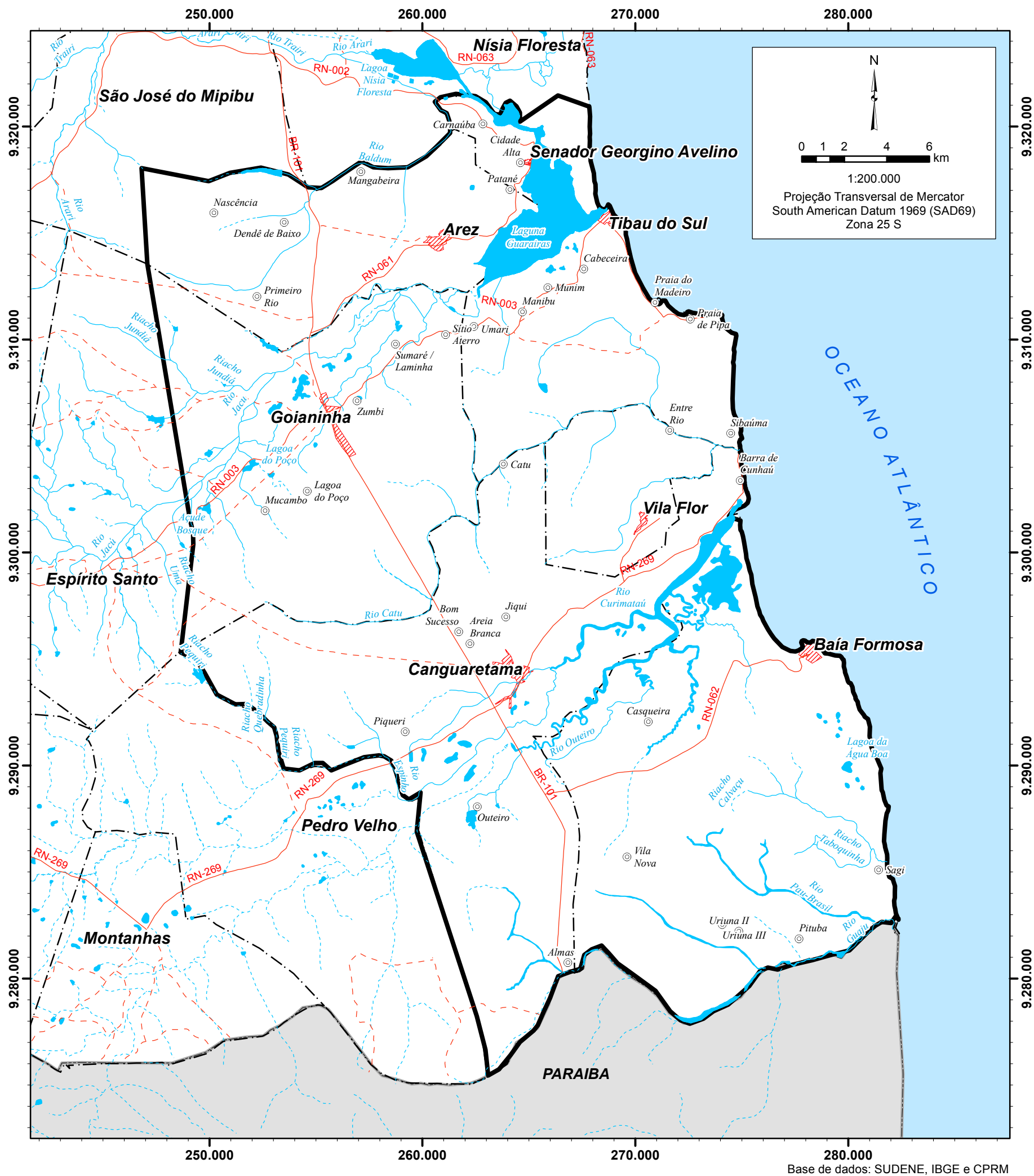
O Bloco Litoral Sul é delimitado a leste pelo Oceano Atlântico, a oeste, pelos municípios vizinhos de Espírito Santo e Pedro Velho, ao norte, pelos municípios de Nísia Floresta e São José do Mipibu e, ao sul, pelo Estado da Paraíba.

A principal via de acesso à área estudada é uma das rodovias mais importantes do Brasil, a BR-101, que corta o BLS e permite a entrada na região pelos limites norte e sul. Os municípios são cortados por rodovias estaduais, com destaque à RN002 que dá acesso aos municípios de Arez e Senador Georgino Avelino; a RN003 que segue para Tibau do Sul; a RN269 que permite acesso à sede de Vila Flor e a RN062 que liga a BR-101 à sede municipal de Baía Formosa.

A população do BLS totaliza cerca de 93.000 habitantes (IBGE, 2010), sendo que 70% são residentes nas sedes municipais. Os municípios de Canguaretama e Goianinha são os mais populosos e, juntos, possuem 56% da população total do BLS (**Tabela 2.1**). O município de Baía Formosa é o mais extenso, abrangendo cerca de 27% da área de estudo.

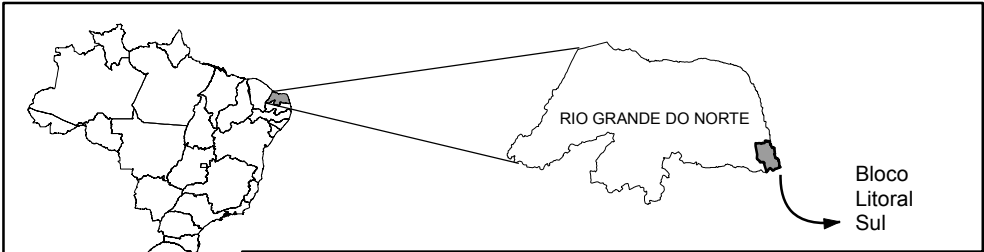
| Tabela 2.1. Perfil dos municípios do Bloco Litoral Sul em 2010 |                         |                                 |                 |                         |                 |
|--|-------------------------|---------------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|
| Município  | Área (km <sup>2</sup> ) | Área da sede (km <sup>2</sup> ) | População total | População urbana (sede) | População rural |
| Arez   | 115,5                   | 0,64                            | 12.924          | 8.069                   | 4.855           |
| Baía Formosa   | 245,7                   | 0,48                            | 8.573           | 7.128                   | 1.445           |
| Canguaretama   | 245,4                   | 1,27                            | 30.916          | 20.235                  | 10.681          |
| Goianinha  | 192,3                   | 1,05                            | 22.481          | 15.477                  | 7.004           |
| S. G. Avelino  | 25,9                    | 0,57                            | 3.924           | 3.881                   | 43              |
| Tibau do Sul   | 101,8                   | 0,79                            | 11.205          | 6.681                   | 4.524           |
| Vila Flor  | 47,7                    | 0,45                            | 2.872           | 2.784                   | 88              |
| <b>Total BLS</b>   | <b>974,3</b>            | <b>5,25</b>                     | <b>92.895</b>   | <b>64.255</b>           | <b>28.640</b>   |

Fonte: IBGE, 2010



**Convenção Cartográfica**

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



**Figura 2.1. Localização do Bloco Litoral Sul**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO  
MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO LITORAL SUL  
DA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL (BLS)

Elaborado por: Servmar Serviços Técnicos Ambientais



Julho de 2012

### 3 LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE DADOS BIBLIOGRÁFICOS E CARTOGRÁFICOS

O levantamento de dados bibliográficos e cartográficos correspondeu à fase de formação do conhecimento que serviu de base para o desenvolvimento das atividades e dos resultados alcançados nesse estudo.

A base do conhecimento acerca da geologia, hidrogeologia e hidrogeoquímica da área de estudo, os dados climáticos, hidrológicos, de análises químicas, das fichas de poços, dados de parâmetros hidrodinâmicos, entre outros, necessários à compreensão e caracterização da área de interesse foram obtidos em diversas fontes de informações, existentes nos órgãos públicos, nas instituições de pesquisa e ensino, em banco de informações publicamente disponíveis e em banco de dados de empresas privadas.

Essa seção apresenta a síntese dos principais estudos, produtos cartográficos, projetos de pesquisas e trabalhos diversos, bem como as fontes consultadas para obtenção dos dados de interesse. O conteúdo técnico que embasa a trajetória de desenvolvimento desse estudo, no entanto, é apresentado nas seções específicas aos temas de climatologia, hidrologia, geologia, hidrogeologia, infraestrutura hídrica e uso e ocupação.

Os dados relativos à infraestrutura hídrica, principalmente o cadastro de poços, foram obtidos por meio de levantamentos em localidades bastante dispersas, em formatos variados, sendo a grande maioria em documentos físicos. O trabalho de consistência, digitalização e compilação dos dados relativos aos poços permitiu a construção de um banco de dados unificado, disponibilizado em plataforma ACCESS.

A **Tabela 3.1** demonstra as principais instituições consultadas para a obtenção dos dados de interesse, bem como o modo de acesso às informações, tipos de dados consultados e a aplicabilidade dos dados ao projeto.

| Tabela 3.1. Instituições contatadas para obtenção de dados de interesse |  |                   |  |
|---|--|-------------------|--|
| Instituição   | Principais Dados Obtidos   | Modo de Pesquisa  | Objetivos  |
| SEMARH  | Localização de fontes de captação, perfis construtivos e litológicos de poços tubulares, dados de análises físico-químicas, trabalhos técnicos | Visita técnica    | <ul style="list-style-type: none"><li>➤ Entendimento da geologia, estrutural, geometria e hidroquímica dos aquíferos.</li><li>➤ Avaliação preliminar da demanda por recursos hídricos.</li><li>➤ Reconhecimento de áreas com ocorrência de contaminação, principalmente por nitrato.</li></ul> |
| IBGE  | Dados socioeconômicos dos municípios inseridos na área de estudo.  | Sítio na internet | <ul style="list-style-type: none"><li>➤ Aspectos socioeconômicos dos municípios;</li><li>➤ Avaliação preliminar da demanda por recursos hídricos.</li></ul>  |



**Tabela 3.1. Instituições contatadas para obtenção de dados de interesse - continuação**

| Instituição                    | Principais Dados Obtidos  | Modo de Pesquisa                            | Objetivos  |
|--------------------------------|---|---|--|
| CAERN                          | Localização de fontes de captação, perfis construtivos e litológicos de poços tubulares, dados de análises físico-químicas, trabalhos técnicos, dados fluviométricos, infraestrutura              | Visita técnica                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Entendimento da geologia, estrutural, geometria e hidroquímica dos aquíferos.</li> <li>➤ Avaliação preliminar da demanda por recursos hídricos.</li> <li>➤ Reconhecimento de áreas com ocorrência de contaminação.</li> </ul>                             |
| CPRM                           | Localização das fontes de captação, geologia, estrutural e dados de análises físico-químicas  | Sítio na internet                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Avaliação preliminar da demanda por recursos hídricos.</li> <li>➤ Hidroquímica da água subterrânea.</li> </ul>  |
| IDEMA                          | Mapa de uso e ocupação do solo, imagens de satélite e relação de empreendimentos na área de estudo, EIA-RIMA  | Visita técnica                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Entendimento da ocupação urbana.</li> <li>➤ Detalhamento da geologia e hidrogeologia.</li> </ul>  |
| EMPARN                         | Dados climatológicos  | Visita técnica                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Caracterização climatológica da área de estudo.</li> </ul>  |
| INMET                          | Dados climatológicos e fluviométricos   | Sítio na internet                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Caracterização climatológica da área de estudo.</li> </ul>  |
| EMBRAPA                        | Modelo digital de terreno   | Sítio na internet                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Elaboração da carta topográfica e entendimento da fisiografia da área</li> </ul>  |
| UFRN                           | Teses e publicações que abordam sobre as características físicas da área, com ênfase em geologia e estrutural, hidrogeologia, hidrologia, hidroquímica e outros temas de interesse para o projeto | Visita técnica e busca no sítio na internet | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Entendimento da geologia, estrutural, geometria e hidroquímica dos aquíferos.</li> <li>➤ Avaliação preliminar da demanda por recursos hídricos.</li> <li>➤ Reconhecimento de áreas com ocorrência de contaminação, principalmente por nitrato.</li> </ul> |
| Periódicos                     | Publicações de trabalhos técnicos e científicos   | Sítios na internet                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Entendimento da geologia, estrutural, geometria e hidroquímica dos aquíferos.</li> <li>➤ Avaliação preliminar da demanda por recursos hídricos.</li> <li>➤ Reconhecimento de áreas com ocorrência de contaminação, principalmente por nitrato.</li> </ul> |
| FUNASA                         | Localização de fontes de captação, perfis construtivos e litológicos de poços tubulares, dados de análises físico-químicas.   | Visitas técnicas                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Entendimento da geologia, estrutural, geometria e hidroquímica dos aquíferos;</li> <li>➤ Avaliação preliminar da demanda por recursos hídricos;</li> <li>➤ Reconhecimento de áreas com ocorrência de contaminação, principalmente por nitrato.</li> </ul> |
| Empresas Perfuradoras Privadas | Perfis construtivos e litológicos de poços tubulares, dados de análises físico-químicas.  | Visitas técnicas                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Entendimento da geologia, estrutural, geometria e hidroquímica dos aquíferos;</li> <li>➤ Avaliação preliminar da demanda por recursos hídricos;</li> <li>➤ Reconhecimento de áreas com ocorrência de contaminação, principalmente por nitrato.</li> </ul> |
| Prefeituras                    | Dados socioeconômicos, plano diretores, mapas de infraestrutura básica  | Visitas técnicas                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Aspectos socioeconômicos dos municípios;</li> <li>➤ Planos diretores dos municípios, bem como a legislação e ordenamento urbanístico e ambiental;</li> <li>➤ Mapas de infraestrutura (redes de esgoto, abastecimento e drenagem).</li> </ul>              |

O volume de dados obtidos, relativos ao Bloco Litoral Sul, perfaz mais de 2.000 itens entre fichas de poços, relatórios técnicos, artigos, arquivos eletrônicos diversos, laudos analíticos, entre outros. Todas as fichas de poços e os laudos analíticos que, em número, constituem a maioria dos documentos adquiridos tiveram seus dados digitalizados e inseridos em plataforma Access.

A seguir são relacionados alguns dos trabalhos disponibilizados, considerados como os mais relevantes para o projeto e que serviram como principais referências.

Estudo Hidrogeológico Regional Detalhado do Estado do Rio Grande do Norte (IPT, 1982): estudo de referência para entendimento da geologia e hidrogeologia da área de estudo. Foram analisadas as informações litoestratigráficas, compartimentação tectono-estrutural, os sistemas aquíferos inseridos na área de estudo, suas características hidrodinâmicas e hidroquímicas e suas potencialidades.

Caracterização Geológica, Estratigráfica e Litológica da Bacia de Pernambuco-Paraíba (FEIJÓ, 1994): referência para entendimento das correlações estratigráficas e composição das formações pertencentes à referida bacia sedimentar.

Mapeamento Geológico-Geofísico na Costa Leste do Rio Grande do Norte: Área Entre os Municípios de Goianinha e Canguaretama (RN), (ACCIOLY, 1995): permitiu a avaliação e compreensão do contexto tectono-estrutural, através da análise de dados de superfície e subsuperfície.

Plano Estadual de Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte, (SERHID, 1998): este relatório engloba diversos temas de interesse para o projeto e forneceu informações para os estudos climatológicos, hidrográficos, geológico e hidrogeológico. Serviu também como referência para a avaliação de estimativa de demandas apresentadas neste relatório.

Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Norte, escala 1:500.000, (CPRM, 2006): mapa geológico elaborado pela CPRM, que serviu de referência inicial para o projeto, a partir do qual foram realizadas as interpretações e refinamentos necessários para a elaboração do mapa geológico apresentado neste projeto.

Quantificação da Oferta Hídrica, Elaboração do Plano de Gestão Integrada e Estudo de Alternativas de Reforço do Sistema Salto Una-Timbó na Bacia do Rio Jacu no Rio Grande do Norte (SERHID, 2006).

A seguir são listados outros trabalhos que também foram obtidos e que contribuíram com dados e informações complementares para a elaboração deste relatório:

Novos Subsídios para a Elucidação do Episódio “Barreiras” no Rio Grande do Norte, José Salim, Carlos José de Souza, Geraldo da Costa Barros Muniz e Murilo Rodolfo de Lima, 1975.

Geologia, Tectônica e recursos Minerais do Brasil, Textos, Mapas e SIG, CPRM, 2003.

Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água subterrânea do Estado do Rio Grande do Norte. Relatórios de diagnósticos dos municípios da região do Bloco Litoral Sul (BLS), CPRM, 2005.

Geomorfologia e Tectônica da Formação Barreiras no Estado da Paraíba, Revista do Instituto de Geociências, USP, 2006.

Deformação Rúptil em Depósitos da Formação Barreiras na Porção Leste da Bacia Potiguar. Francisco Cézar Costa Nogueira, Francisco Hilário Rego Bezerra e David Lopes de Castro, 2006.

Mapeamento da Zona Costeira Protegida por Arenitos de Praia (*Beachrocks*) em Nísia Floresta-RN. Programa de Pós Graduação em Geodinâmica e Geofísica. Antônio Vicente Ferreira Júnior, 2005.

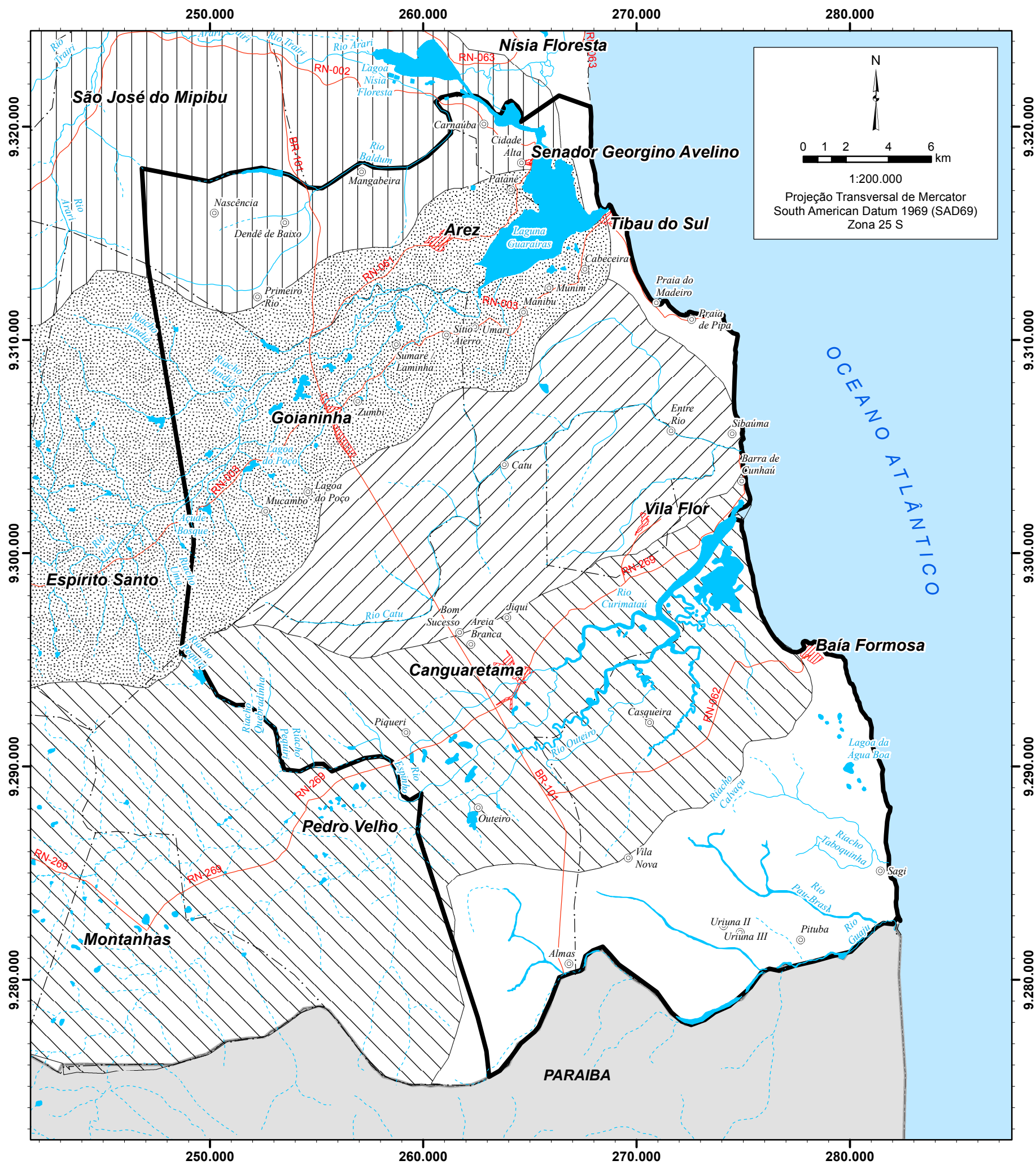
Diagnóstico Geoambiental com Uso do Geoprocessamento Visando a Determinação de Potencialidades de Uso do Solo Para a Área Estuarina Do Rio Curimataú – Canguaretama (RN). Dissertação de Mestrado de Rodrigo Cysneiros Fernandes, 200.

Mapeamento Geológico, Geomorfológico e Geoambiental da Região de Goianinha/Tibau do Sul (Complexo Estuarino – Lagunar Jacu – Guaraíras), Litoral Sul Oriental do RN. Monografia de graduação em geologia de Flávia Taone de Melo, 1998. Departamento de Geologia – UFRN.

Estudo Temporal dos Aspectos Geoambientais na Região do Complexo Lagunar Nísia Floresta – Papeba – Guaraíras. Municípios de Arez, Sen. Georgino Avelino e Tibau do Sul, com Vista a Elaboração de Mapa de Vulnerabilidade Ambiental. 115p. Monografia de graduação em geologia de Liliane Carla Nóbrega, 2003. Departamento de Geologia – UFRN.

As áreas de abrangências dos estudos técnicos, relatórios e trabalhos acadêmicos citados são apresentadas na **Figura 3.1**.





Referências Bibliográficas

- Estudos técnicos - EIA-RIMAs**
- Bacia do Rio Trairi**
- Aspectos morfológicos do complexo lagunar Nísia Floresta-Papeba-Guarairas, região costeira sul oriental (MELO, 2000)
- Estudo multitemporal dos aspectos geoambientais na região do complexo lagunar estuarino Nísia Floresta-Papeba-Guarairas, municípios de Arez, Sen. Georgino Avelino e Tibau do Sul/RN, com vista a elaboração de mapa de vulnerabilidade ambiental (NÓBREGA, 2003).
- Mapeamento da zona costeira protegida por arenitos de praia em Nísia Floresta (FERREIRA JÚNIOR, 2005)
- Bacia do Rio Jacu**
- Quantificação da oferta hídrica, elaboração do plano de gestão integrada e estudo de alternativas de reforço do sistema Salto Una-Timbó na bacia do rio Jacu no Rio Grande do Norte (SERHID, 2006)
- Bacia do Rio Curimataú**
- Diagnóstico geoambiental com uso do geoprocessamento visando a determinação de potencialidades de uso do solo para a área estuarina do Rio Curimataú-Canguaretama/RN (FERNANDES, 2005).

- Bacia do Rio Catu**
- Mapeamento geológico-geofísico na costa leste do RN: área entre Goianinha e Canguaretama (ACIOLLY, 1995).
- Toda a área de estudo**
- Estudo hidrogeológico regional detalhado do Estado do Rio Grande do Norte (IPT, 1982).
- Plano estadual de recursos hídricos do Rio Grande do Norte (SERHID, 1998).
- Cadastramento de fontes de captação no Estado do Rio Grande do Norte (CPRM, 2005).
- Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Norte, escala 1:500.000 (CPRM, 2006).
- Avaliação geológica, estratigráfica e litológica da bacia de Pernambuco-Paraíba (FEIJO, 2007)
- Mapa de uso e ocupação do solo (IDEMA, 1996)

Convenção Cartográfica

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

Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM



Figura 3.1. Síntese dos principais estudos do Bloco Litoral Sul

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO LITORAL SUL DA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL (BLS)

Elaborado por: Servmar Serviços Técnicos Ambientais



Julho de 2012

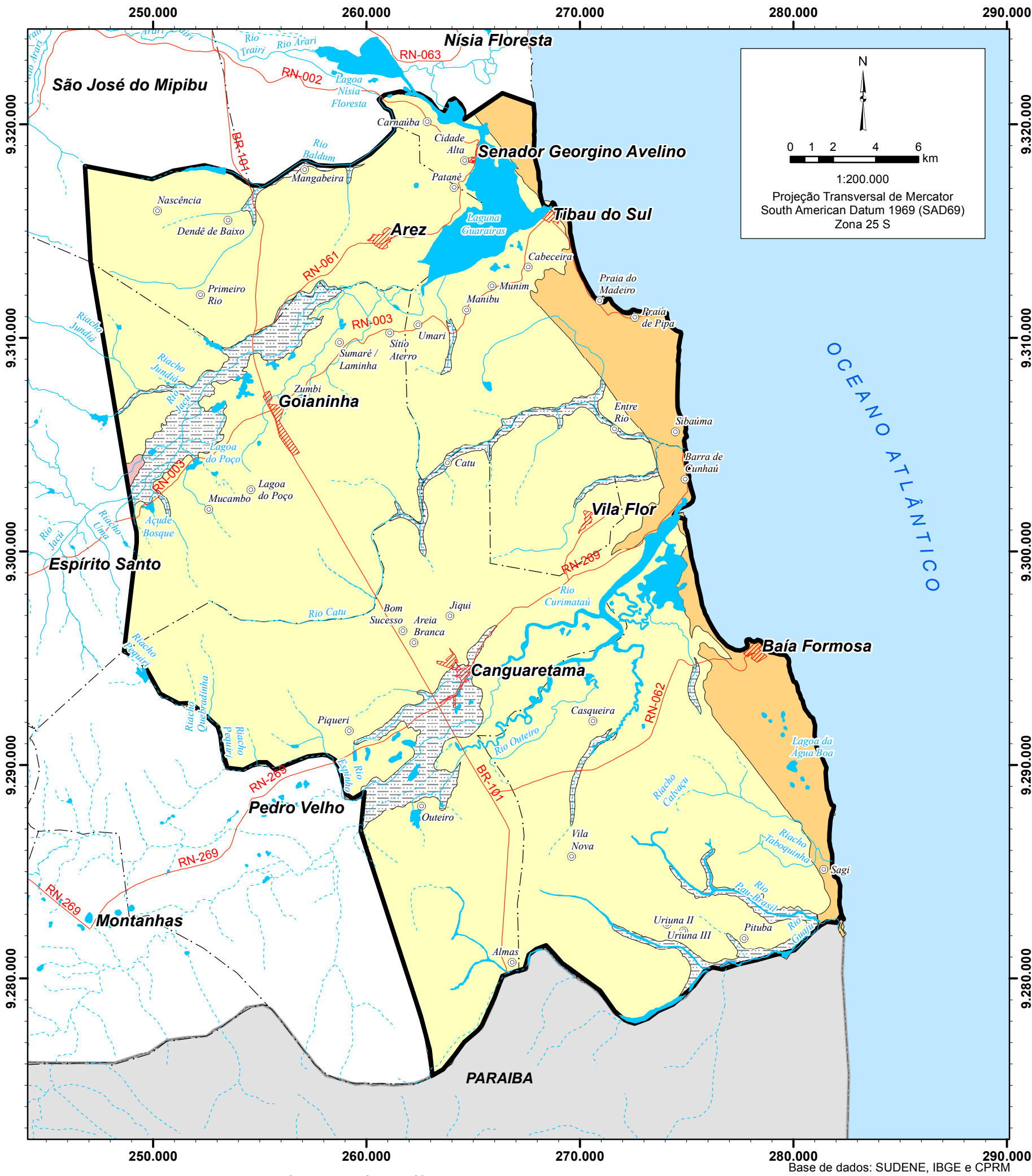


### 3.1 Revisão Bibliográfica sobre Hidrogeologia

A revisão sobre a hidrogeologia do BLS apresenta uma caracterização geral das unidades aquíferas inseridas na área de estudo, baseadas nas referências bibliográficas disponíveis. Posteriormente, nos capítulos 12 e 13 – Volume 1, são retomadas as discussões acerca da hidrogeologia da área, considerando-se as interpretações dos resultados alcançados durante a execução do presente estudo e que culminou na concepção do modelo hidrogeológico do BLS (Capítulo 13 – Volume 1). A discussão sobre a geologia e o contexto tectônico, cujo entendimento foi de fundamental importância na caracterização da hidrogeologia do BLS, é apresentada no Capítulo 8 (Volume 1) deste relatório.

A **Figura 3.2** apresenta as unidades aquíferas identificadas na área de estudo, cujas características são resumidamente apresentadas na **Tabela 3.2** e, a seguir, são feitas considerações acerca das unidades hidrogeológicas.

| <b>Tabela 3.2. Unidades aquíferas do BLS</b> |  |
|--|--|
| Dunas  | Composta pelos sedimentos predominantemente arenosos eólicos inconsolidados das dunas e paleodunas, com ocorrência restrita no setor oriental da área de estudo.   |
| Aluvionar                                    | Composta por sedimentos predominantemente arenosos, inconsolidados e de ocorrência restrita aos vales dos rios Jacu, Catu, Curimataú e Guaju.  |
| Barreiras                                    | De natureza siliciclástica intersticial, associado à formação Barreiras, ocorrendo de maneira ampla por toda a área de estudo.   |
| Rochas carbonáticas                          | Não aflorante na área de estudo, composta por arenitos calcíferos e carbonatos cretáceos, de natureza cárstico-fissural (carbonato) e intersticial (arenito), com exposição pontual em superfície do carbonato ao sul de Canguaretama. |
| Cristalino                                   | Restrito a porção ocidental da área de estudo, constituído por rochas ígneas e metamórficas pré-cambrianas do embasamento cristalino, de natureza fissural.  |



Unidades Aquíferas

- Aluvial
- Dunas
- Barreiras
- Cristalino

Convenção Cartográfica

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

Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM

Localização da área de estudo



Figura 3.2. Unidades aquíferas do Bloco Litoral Sul

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO LITORAL SUL DA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL (BLS)

Elaborado por: Servmar Serviços Técnicos Ambientais



Julho de 2012

### Aquífero Dunas

Os sedimentos eólicos quaternários das dunas e paleodunas formam o aquífero Dunas, de caráter siliciclástico poroso intersticial, essencialmente livre, e de potencialidade limitada em função das pequenas dimensões e descontinuidade espacial. Sua constituição litológica é dominada por areias quartzosas, finas a médias, de coloração esbranquiçada, amarelada ou avermelhada, em geral bem selecionadas (SERHID, 1998).

No âmbito do Bloco Litoral Sul o aquífero Dunas ocorre ao longo de toda a linha da costa se dispondo na forma de campos e cordões de dunas principalmente fixas em faixas com larguras superiores a 3 km, orientadas na direção NW-SE, e espessuras de até 50 m. As informações sobre as propriedades aquíferas das dunas no Bloco Litoral Sul são apresentadas na **Tabela 3.3**.

| <b>Tabela 3.3. Recursos Hídricos do aquífero Dunas no BLS</b> |                                       |  |                                       |               |   |                     |
|---|---------------------------------------|--|---------------------------------------|---------------|---|---------------------|
| Bacia Hidrográfica  | Área de Ocorrência (km <sup>2</sup> ) | Disponibilidade (hm <sup>3</sup> /ano) | Potencialidade (hm <sup>3</sup> /ano) | Espessura (m) | Vazão média dos Poços (m <sup>3</sup> /h) | Resíduo Seco (mg/L) |
| Jacu  | 3,8                                   | 0,00                                   | 0,08                                  | 5 a 50        | 1   | < 250               |
| Catu  | 22,2                                  | 0,00                                   | 0,01                                  | 5 a 50        | 1   | < 250               |
| Curimataú   | -                                     | -                                      | -                                     | 5 a 50        | -   | -                   |
| Guaju   | -                                     | -                                      | -                                     | 5 a 50        | -   | -                   |
| F.L.L.E.D.*   | -                                     | -                                      | -                                     | 5 a 50        | 1   | < 250               |

\*Faixa Litorânea Leste de Escoamento Difuso

Fonte: SERHID, 1998

A baixa potencialidade hidrogeológica do aquífero Dunas é indicada através da pequena profundidade média dos poços, de 5 m, vazão média de 1 m<sup>3</sup>/h e águas de excelente qualidade físico-química, com resíduo seco inferior a 250 mg/L.

### Aquífero Aluvionar

Os sedimentos aluviais quaternários de rios e riachos formam o aquífero Aluvionar, de caráter siliciclástico poroso intersticial, essencialmente livre, embora em geral apresente potencialidade limitada em função das pequenas dimensões e descontinuidade espacial.

Na área estudada o aquífero Aluvial ocorre ao longo do leito e margens dos rios e riachos, principalmente dos rios Jacu, Curimataú, Catu e Guaju. Os dados desse aquífero são escassos, com informações disponíveis apenas em na bacia do rio Jacu que indicam espessuras máximas de 8 m e largura de 100 m para esse aquífero. As vazões de captação dos poços variam entre 3 e 6 m<sup>3</sup>/h.

### Aquífero Barreiras

O aquífero Barreiras, de caráter poroso intersticial, é constituído pelas rochas sedimentares terció-quaternárias da formação Barreiras, possui elevado potencial hidrogeológico no âmbito do litoral oriental, constituindo-se no principal aquífero em termos de exploração no Bloco Litoral Sul. É a unidade aquífera espacialmente mais abrangente, repousando ora sobre as rochas carbonáticas cretáceas, ora sobre o embasamento cristalino. Aflora na porção central e ocidental da área de estudo e é recoberto pelos depósitos de dunas e paleodunas no setor oriental, ao longo da linha de costa.

Esse aquífero apresenta uma geometria tabular, com estratos praticamente horizontais e espessuras variadas, sendo composto por arenitos finos a grossos, com níveis conglomeráticos, matriz siltica-argilosa, contendo intercalações de siltitos e argilitos, as quais conferem grandes variações laterais de fácies, influenciando nas condições de recarga, armazenamento, circulação, condutividade hidráulica e vulnerabilidade do aquífero. Essas características foram amplamente conduzidas pelo controle tectono-estrutural da área. A espessura do aquífero Barreiras diminui de leste para oeste, com espessura média de aproximadamente 58 metros, que podem superar 100 metros na linha de costa.

De um modo geral o aquífero Barreiras pode se constituir como um aquífero livre ou semiconfinado, dependendo da presença de camadas semiconfinantes menos permeáveis na porção superior, que determinam um efetivo semiconfinamento aos estratos inferiores do aquífero. Esses aspectos são amplamente discutidos nos Capítulos 6, 12 e 13 deste relatório.

Na **Tabela 3.4** a seguir estão indicados valores de parâmetros regionais em bacias hidrográficas englobadas na área de estudo.

| <b>Tabela 3.4. Recursos Hídricos do aquífero Barreiras no BLS</b> |  |   |  |                      |  |                            |
|---|--|---|--|----------------------|--|----------------------------|
| <b>Bacia Hidrográfica</b>   | <b>Área de ocorrência (km<sup>2</sup>)</b> | <b>Disponibilidade (hm<sup>3</sup>/ano)</b> | <b>Potencialidade (hm<sup>3</sup>/ano)</b> | <b>Espessura (m)</b> | <b>Vazão média dos poços (m<sup>3</sup>/h)</b> | <b>Resíduo seco (mg/L)</b> |
| Jacu  | 627,5                                      | 15,58                                       | 110,42                                     | 30 a 100             | 5 a 120  | 250 a 500                  |
| Catu  | 192,9                                      | 1,31  | 18,33                                      | 30 a 100             | 10 a 120                                       | < 250                      |
| Curimataú   | 432,4                                      | 8,98  | 129,49                                     | 30 a 100             | 5 a 80   | 250 a 500                  |
| Guaju   | -  | -   | -  | -                    | -  | -                          |
| F.L.L.E.D.*   | -  | -   | -  | 40 a 100             | 10 a 100                                       | < 250                      |

\*Faixa Litorânea Leste de Escoamento Difuso

Fonte: SERHID, 1998

Os valores regionais de transmissividade definidos para o aquífero Barreiras são da ordem de  $15 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s (SERHID, 1998). Nos Capítulos 6 e 12 são conduzidas avaliações pormenorizadas com respeito aos parâmetros litológicos, dimensionais, hidrodinâmicos, hidráulicos e potencialidades do aquífero Barreiras.

### Aquífero das Rochas Carbonáticas

Essas rochas constituem o substrato do aquífero Barreiras e aumentam de espessura de oeste para leste, com os maiores pacotes preenchendo os *grabens* inseridos nesse trecho. É considerado por SERHID (1998) como um aquífero, devido às produtividades insignificantes obtidas em poços perfurados na Região Metropolitana de Natal, onde essas rochas possuem espessura de até 280 metros.

No entanto, pode apresentar alguma potencialidade quando associado a uma porosidade secundária, associada a zonas de fratura resultantes da reativação terciária de falhamentos do embasamento (SERHID, 1998).

### Aquífero Cristalino

O aquífero Cristalino (ou aquífero Fissural) forma o arcabouço geológico/hidrogeológico das demais unidades hidrogeológicas sedimentares. Em grande parte da área, ocorre subjacente/não aflorante, suportando estratigraficamente as unidades sedimentares cretáceas, terciárias e quaternárias, aflorando apenas no limite oeste.

Não apresenta dados, informações nem conhecimentos hidrogeológicos suficientes na área de estudo, valendo, entretanto, registrar sua ocorrência dentro do entendimento hidrogeológico da área. Em geral, trata-se de uma unidade aquífera reconhecidamente de baixíssima potencialidade hidrogeológica e de importância restrita localmente à sua área de exploração, apresentando poços com baixas vazões, em média de 3.000 l/h, vazão específica média de 0,52 m<sup>3</sup>/h/m, e salinidade média no setor agreste do estado da ordem de 3.145 mg/L (SERHID, 1998).

### Potencialidades dos aquíferos

O aquífero Dunas apresenta limitação em termos de potencialidade, em função do seu aspecto dimensional, embora se trate de um aquífero poroso intergranular e mais permeável que o aquífero Barreiras, além de apresentar águas essencialmente doces. Contudo, em situações locais e isoladas de sua ocorrência, e para atendimento de pequenas demandas pontuais, o aquífero Dunas pode ser explorado por poços rasos (em geral com profundidades inferiores a 10 metros), sendo, entretanto, bastante vulnerável à contaminação e de baixa potencialidade dado o seu contexto estrutural e dimensional reduzidos.

O aquífero Dunas, entretanto, em situações geológicas, estratigráficas, estruturais e hidráulicas específicas, forma com o aquífero Barreiras um sistema hidráulico interconectado. Nesse caso, o aquífero Dunas funciona como uma unidade hidráulica de transferência de águas de chuva, através da qual percolam



verticalmente as águas que otimizam e favorecem a recarga e renovação das reservas do aquífero Barreiras subjacente, especialmente quando a interface entre o Dunas e o Barreiras não apresenta aquitarde, mantendo o sistema livre. Na presença de aquitarde quando o Barreiras apresenta-se semiconfinado, o aquífero Dunas pode alimentá-lo por drenança vertical descendente, tendo em vista que em geral o aquífero Dunas apresenta maior carga potenciométrica que o Barreiras, favorecendo esse processo.

Dentre as unidades aquíferas existentes no Bloco Litoral Sul, o aquífero Barreiras é o mais importante em termos de maior acessibilidade como sistema aflorante, relativamente mais raso, com águas de excelente qualidade natural, sendo economicamente mais viável para exploração de águas subterrâneas.

A compartimentação estrutural que controlou a geometria e espessura da formação Barreiras influencia de maneira decisiva na potencialidade do aquífero Barreiras no BLS. As maiores potencialidades ocorrem na linha de costa e na porção central da área, principalmente onde está sotoposto aos sedimentos das dunas e paleodunas, onde a taxa de recarga estimada nesse trabalho ultrapassa 400 mm/ano, otimizando dessa maneira a renovação das reservas, e determinando a ocorrência de águas subterrâneas doces e potáveis. Nesses locais a formação Barreiras apresenta as maiores espessuras, que ultrapassam 100 metros e é predominantemente arenoso, em especial na porção inferior, conferindo-lhe esse alto potencial.

A contribuição desse aquífero permite a perenização dos principais cursos d'água, mediante a descarga subterrânea ao longo dos vales (na forma de fontes naturais ou olheiros), que caracterizam o fluxo de base.

A alta potencialidade provavelmente contribui também para uma exploração sustentável do aquífero, possibilitando que se estabeleça o equilíbrio da interface água doce/água salgada, evitando e prevenindo o avanço de cunhas salinas em locais com exploração contínua do aquífero, como nas sedes municipais e grandes distritos inseridos nesse contexto.

As potencialidades do aquífero das Rochas Carbonáticas ainda são pouco conhecidas, entretanto, a captação em conjunto com o aquífero Barreiras (captações mistas), principalmente onde ocorre influência de porosidade secundária, através de sistemas de fraturas, representa um cenário positivo para captação das águas nessa unidade.

## 4 ESTUDOS CLIMATOLÓGICOS E AVALIAÇÃO HIDROLÓGICA

Este capítulo foi elaborado em atendimento ao item 4.1.5 dos Termos de Referência (TDR) deste estudo e teve como objetivos a caracterização climatológica e a avaliação hidrológica da área de estudo.

As avaliações climatológica e hidrológica do BLS contribuíram para o entendimento da dinâmica do SAB, destacando-se: a avaliação da relação entre as águas superficiais e subterrâneas discutida em outros capítulos ao longo deste relatório; permitiu uma estimativa de recarga do SAB pelo método climatológico, a qual foi comparada com recargas obtidas por outras técnicas (Capítulo 12); auxiliou na interpretação do zoneamento hidroquímico (Capítulo 9 do Volume 2) e na proposta de classificação das águas subterrâneas, conforme a Resolução 396/CONAMA (Capítulo 2 do Volume 3 deste relatório).

### 4.1 Estudos Climatológicos

A caracterização climatológica foi realizada através da interpretação de dados existentes disponíveis de pluviometria, temperatura, umidade relativa do ar, índice global de radiação e velocidade dos ventos, e da avaliação da evapotranspiração potencial e real, sendo que serão abordados separadamente os dados pluviométricos dos demais parâmetros climatológicos.

Estes estudos climatológicos permitiram também o desenvolvimento de uma avaliação para a estimativa do balanço hídrico climatológico do BLS, determinando-se os excedentes e déficits hídricos, bem como a indicação das taxas potenciais de infiltração das águas pluviais que recarregam o Sistema Aquífero Barreiras - SAB.

#### 4.1.1 Disponibilidade de dados

##### Climatológicos

Existem quatro estações meteorológicas na área de estudo e nas suas vizinhanças, conforme mostra a **Figura 4.1** e **Tabela 4.1**, sendo uma automática, denominada de Plataforma de Coleta de Dados meteorológicos – PCD, de responsabilidade do Instituto de Gestão das Águas do Estado do Rio Grande do Norte - IGARN, localizada na Estação de Captação da Adutora Monsenhor Expedito de propriedade da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte – CAERN às margens da lagoa do Bonfim no município de Nísia Floresta, e três convencionais, sendo uma localizada na Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, em Natal, operada pela UFRN e instalada pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, uma localizada no Aeroporto Internacional Augusto Severo em Parnamirim, operada



Ao analisar os dados da PCD operada pelo IGARN, foi observado que existem muitas lacunas temporais (falhas), existindo mais falhas do que dados, não sendo recomendável realizar o preenchimento das falhas, impossibilitando a formação de uma série contínua e, portanto, as informações não foram utilizadas para a análise da climatologia da região.

**Tabela 4.1. Estações climatológicas do Bloco Litoral Sul e do seu entorno**

| Nº | Nome                                | Município      | Nacional | SUDENE | Lat.    | Long.    | Período com dados | Situação | Responsável    |
|----|-------------------------------------|----------------|----------|--------|---------|----------|-------------------|----------|----------------|
| 1  | Aeroporto A. Severo                 | Parnamirim     | 535034   | 82599  | -5,9000 | -35,2500 | 07/1946 a 05/2012 | Operando | DEPV           |
| 2  | LDC Bioenergia S.A – filial Estivas | Arez           | 635061   |        | -6,2312 | -35,2079 | 04/1970 a 12/1996 | Extinta  | LDC BIOENERGIA |
| 3  | Lagoa do Bonfim                     | Nísia Floresta |          |        | -6,0416 | -35,2266 | 03/2002 a 06/2006 | Extinta  | IGARN          |
| 4  | Natal                               | Natal          | 535008   | 82598  | -5,9167 | -35,2000 | 01/1948 a 05/2012 | Operando | INMET          |

Com relação à série histórica dos dados climáticos da estação Aeroporto Augusto Severo, apesar de estar cadastrada no banco de dados HIDROWEB da Agência Nacional de Águas – ANA, não existem dados armazenados no banco, desta forma, das estações listadas na **Tabela 4.1**, foi possível ter acesso aos dados médios mensais dos seguintes parâmetros: temperaturas máxima e máxima absoluta, mínima e mínima absoluta e média, umidade relativa, nebulosidade, velocidade do vento, insolação e evaporação do Tubo de Piché somente para as estações da LDC BIOENERGIA Ltda – filial Estivas e Natal (UFRN), com exceção dos parâmetros de nebulosidade e insolação para a estação LDC BIOENERGIA Ltda – filial Estivas, conforme listados nas **Tabelas 4.2 e 4.3**.

**Tabela 4.2. Parâmetros climatológicos médios da estação Filial Estivas (1970 – 1996)**

| Parâmetro                      | Jan   | Fev   | Mar   | Abr   | Mai  | Jun  | Jul  | Ago   | Set   | Out   | Nov   | Dez   | Ano    |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Temperatura Máxima (°C)        | 31,6  | 31,5  | 31,5  | 30,9  | 30,5 | 29,6 | 28,9 | 29,4  | 28,8  | 30,8  | 31,2  | 31,5  | 30,5   |
| Temperatura Mínima (°C)        | 20,3  | 20,5  | 21,3  | 21,5  | 21,1 | 20,7 | 19,7 | 19,5  | 19,9  | 19,5  | 20,1  | 20,1  | 20,3   |
| Temperatura Máx. Abs. (°C)     | 34,4  | 34,0  | 34,8  | 34,2  | 33,8 | 34,2 | 32,2 | 32,0  | 33,0  | 33,4  | 33,2  | 33,8  | 33,6   |
| Temperatura Mín. Abs. (°C)     | 15,4  | 17,0  | 16,2  | 17,4  | 17,4 | 16,6 | 16,2 | 15,8  | 14,0  | 14,2  | 16,2  | 16,0  | 16,0   |
| Temperatura Média (°C)         | 25,8  | 25,9  | 26,1  | 25,9  | 25,5 | 24,8 | 24   | 24,1  | 24,5  | 24,9  | 25,4  | 25,6  | 25,2   |
| Umidade Relativa (%)           | 84,0  | 85,0  | 87,0  | 88,0  | 88,0 | 89,0 | 89,0 | 87,0  | 84,0  | 83,0  | 83,0  | 84,0  | 85,9   |
| Evaporação <sup>(1)</sup> (mm) | 172,4 | 139,2 | 133,9 | 105,5 | 97,8 | 88,8 | 90,3 | 121,7 | 138,8 | 173,6 | 167,6 | 174,6 | 1604,2 |
| Velocidade do Vento (km/h)     | 1,8   | 1,8   | 1,4   | 1,2   | 1,1  | 1,2  | 1,5  | 1,7   | 1,9   | 1,9   | 2     | 1,9   | 1,6    |

Fonte: SERHID, 1998

(1) – Tanque “Classe A”

**Tabela 4.3. Parâmetros climáticos médios da estação de Natal-UFRN (1961 – 2010)**

| Parâmetro                      | Jan   | Fev   | Mar   | Abr   | Mai   | Jun   | Jul   | Ago   | Set   | Out   | Nov   | Dez   | Ano     |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| Temperatura Máxima (°C)        | 30,1  | 30,3  | 30,2  | 29,8  | 29,2  | 28,2  | 27,7  | 27,8  | 28,5  | 29,2  | 29,5  | 29,8  | 29,2    |
| Temperatura Mínima (°C)        | 24,2  | 24,1  | 23,6  | 22,7  | 22,0  | 20,9  | 20,3  | 20,3  | 21,9  | 23,3  | 24,0  | 24,3  | 22,6    |
| Temperatura Máx. Abs. (°C)     | 32,7  | 36,8  | 32,4  | 31,6  | 31,6  | 30,2  | 30,6  | 30,0  | 31,8  | 32,5  | 32,7  | 32,3  | 32,1    |
| Temperatura Mín. Abs. (°C)     | 19,9  | 19,6  | 17,9  | 17,7  | 17,9  | 14,8  | 16,1  | 16,6  | 17,2  | 17,3  | 18,4  | 19,6  | 17,8    |
| Temperatura Média (°C)         | 27,2  | 27,3  | 27,3  | 26,7  | 26,0  | 24,9  | 24,4  | 24,5  | 25,5  | 26,3  | 26,7  | 27,0  | 26,2    |
| Umidade Relativa (%)           | 76,0  | 76,0  | 77,0  | 80,0  | 81,0  | 82,0  | 80,0  | 78,0  | 76,0  | 74,0  | 74,0  | 74,0  | 77,0    |
| Nebulosidade (0-10)            | 5,5   | 5,9   | 5,9   | 6,3   | 6,1   | 5,9   | 5,7   | 5,1   | 4,6   | 4,6   | 5,1   | 5,3   | 5,5     |
| Evaporação <sup>1</sup> (mm) – | 197,7 | 178,0 | 168,2 | 132,7 | 121,1 | 106,1 | 115,0 | 138,9 | 174,0 | 212,6 | 209,0 | 208,1 | 1.961,4 |
| Insolação (horas)              | 273,5 | 233,2 | 230,6 | 204,7 | 210,8 | 195,5 | 217,1 | 245,7 | 261,7 | 297,2 | 290,7 | 295,9 | 2.956,6 |
| Velocidade do Vento (km/h)     | 4,4   | 4,3   | 3,8   | 3,7   | 4,4   | 4,1   | 4,8   | 5,0   | 5,4   | 5,2   | 5,2   | 4,9   | 4,6     |

Fonte: SERHID, 1998

1 – Tubo de Piché

### Pluviométricos

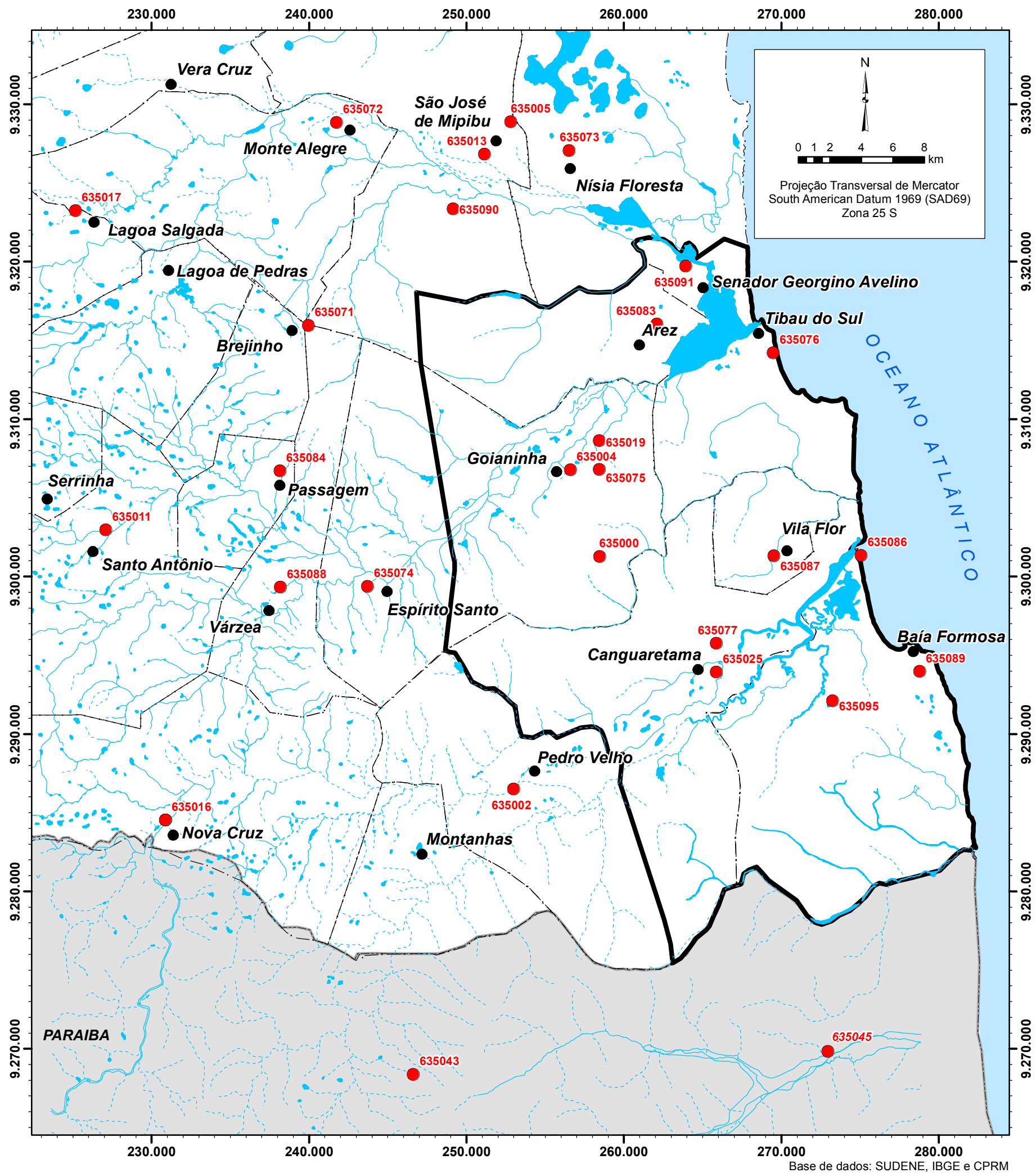
Com relação a dados pluviométricos a situação é mais confortável, pois existem cadastrados, na área de estudo e no seu entorno, 29 (vinte e nove) postos pluviométricos (**Figura 4.2 e Tabela 4.4**). Dos 29 postos, 13 (treze) encontram-se dentro da área de estudo.

Com relação ao acesso a série histórica dos dados pluviométricos, a situação foi bastante diferente aos dados climáticos, pois foi possível ter acesso aos dados diários de todos os postos da **Tabela 4.4**, acessando o banco de dados da ANA, denominado de HIDROWEB, e complementando a série histórica com os dados atualizados através do banco de dados da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte – EMPARN.

Os totais de precipitação pluviométrica mensais e anuais, as médias mensais e anual e a precipitação pluviométrica máxima e mínima de cada mês e a anual, de todos os postos da **Tabela 4.4**, encontram-se no **Apêndice A**.

Avaliando as séries históricas dos 29 (vinte e nove) postos, constante no **Apêndice A**, verifica-se que existem muitas falhas e até mesmo verdadeira descontinuidade de dados nos postos instalados a partir da década de 1990, o que compromete o uso destes dados na caracterização do regime de chuvas da região do BLS.





Convenção Cartográfica

- Sedes municipais
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- .-.- Limites municipais
- ▭ Área de estudo
- Postos pluviométricos

Localização da área de estudo



**Figura 4.2. Localização dos postos pluviométricos no BLS e nas suas vizinhanças**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO LITORAL SUL DA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL (BLS)

Elaborado por: Servmar Serviços Técnicos Ambientais

Julho de 2012

**Tabela 4.4. Relação dos postos pluviométricos existentes no BLS e seu entorno**

| No | Nome                  | Município          | Código Nacional | Código SUDENE | Latitude | Longitude | Período c/ dados |         | Situação | Responsável |
|----|-----------------------|--------------------|-----------------|---------------|----------|-----------|------------------|---------|----------|-------------|
|    |                       |                    |                 |               |          |           | Inicial          | Final   |          |             |
| 1  | Arez                  | Arez               | 635083          |               | -6,1833  | -35,1500  | 04/2004          | 02/2012 | Operando | EMPARN      |
| 2  | Baía Formosa          | Baía Formosa       | 635089          |               | -6,3833  | -35,0000  | 01/2004          | 04/2012 | Operando | EMPARN      |
| 3  | Barra de Cunhau       | Canguaretama       | 635086          |               | -6,3167  | -35,0333  | 03/2006          | 03/2012 | Operando | EMPARN      |
| 4  | Base Física da EMPARN | Canguaretama       | 635077          |               | -6,3667  | -35,1167  | 01/1990          | 12/2011 | Operando | EMPARN      |
| 5  | Brejinho              | Brejinho           | 635071          | 3829333       | -6,1833  | -35,3500  | 02/1992          | 08/2010 | Operando | EMPARN      |
| 6  | Canguaretama          | Canguaretama       | 635025          | 3829779       | -6,3833  | -35,1167  | 01/1911          | 12/1989 | Extinto  | DNOCS       |
| 7  | CENTERN               | São José de Mipibu | 635090          |               | -6,1167  | -35,2667  | 04/2004          | 10/2011 | Operando | EMPARN      |
| 8  | Destilaria Vale Verde | Baía Formosa       | 635095          |               | -6,4000  | -35,0500  | 09/1997          | 03/2011 | Operando | EMPARN      |
| 9  | Engenho Olho D'água   | São José do Mipibu | 635013          |               | -6,0853  | -35,2486  | 01/1970          | 02/2012 | Operando | ANA         |
| 10 | Espírito Santo        | Espírito Santo     | 635074          | 3829639       | -6,3333  | -35,3167  | 03/1992          | 04/2011 | Operando | EMPARN      |
| 11 | Goianinha             | Goianinha          | 635000          | 3829665       | -6,3167  | -35,1833  | 06/1964          | 12/1970 | Extinto  | SUDENE      |
| 12 | Goianinha             | Goianinha          | 635004          | 3829562       | -6,2667  | -35,2000  | 07/1962          | 12/1976 | Extinto  | SUDENE      |
| 13 | Goianinha             | Goianinha          | 635019          |               | -6,2500  | -35,1833  | 05/1986          | 05/1986 | Extinto  | DNOS        |
| 14 | Goianinha             | Goianinha          | 635075          | 3829565       | -6,2667  | -35,1833  | 03/1992          | 01/2012 | Operando | EMPARN      |
| 15 | Jacaraú               | Jacaraú            | 635043          | 3839345       | -6,6136  | -35,2917  | 07/1962          | 04/1993 | Operando | AESA        |
| 16 | Jundiá                | Jundiá             | 635084          |               | -6,2667  | -35,3667  | 06/2005          | 01/2011 | Operando | EMPARN      |
| 17 | Lagoa Salgada         | Lagoa Salgada      | 635017          | 3829205       | -6,1167  | -35,4833  | 07/1962          | 09/2011 | Operando | EMPARN      |
| 18 | Mataraca              | Mataraca           | 635045          |               | -6,6014  | -35,0536  | 07/1962          | 07/1987 | Operando | AESA        |
| 19 | Monte Alegre          | Monte Alegre       | 635072          | 3829135       | -6,0667  | -35,3333  | 03/1992          | 11/2011 | Operando | EMPARN      |
| 20 | Nísia Floresta        | Nísia Floresta     | 635073          | 3829182       | -6,0833  | -35,2000  | 03/1992          | 01/2012 | Operando | EMPARN      |
| 21 | Nova Cruz             | Nova Cruz          | 635016          | 3829915       | -6,4667  | -35,4333  | 01/1911          | 02/2012 | Operando | EMPARN      |
| 22 | Nova Cruz             | Nova Cruz          | 635015          |               | -6,4667  | -35,4333  | 10/1913          | 12/1930 | Extinto  | INMET       |
| 23 | Pedro Velho           | Pedro Velho        | 635002          | 3829954       | -6,4500  | -35,2333  | 10/1910          | 07/2011 | Operando | EMPARN      |
| 24 | Santo Antônio         | Santo Antônio      | 635011          | 3829607       | -6,3000  | -35,4667  | 01/1911          | 08/2011 | Operando | EMPARN      |
| 25 | Senador G. Avelino    | Senador G. Avelino | 635091          |               | -6,1500  | -35,1333  | 04/2004          | 12/2012 | Operando | EMPARN      |
| 26 | Tibau do Sul          | Tibau do Sul       | 635076          | 3829386       | -6,2000  | -35,0833  | 03/1992          | 06/2011 | Operando | EMPARN      |
| 27 | Várzea                | Várzea             | 635088          |               | -6,3333  | -35,3667  | 04/2004          | 12/2011 | Operando | EMPARN      |
| 28 | Vila Flor             | Vila Flor          | 635087          |               | -6,3167  | -35,0833  | 05/2005          | 10/2011 | Operando | EMPARN      |
| 29 | São José de Mipibu    | São José de Mipibu | 635005          | 3829155       | -6,0667  | -35,2333  | 01/1911          | 05/1988 | Extinto  | DNOCS       |

#### 4.1.2 Climatologia

O clima predominante no território potiguar é quente e estável, de elevadas temperaturas e reduzidas amplitudes térmicas, com acentuada taxa de insolação, elevada evapotranspiração potencial e regime pluviométrico com grande variabilidade temporal e espacial.

Os principais condicionadores meteorológicos que regulam o regime pluviométrico no Nordeste do Brasil são: a Zona de Convergência Intertropical – ZCIT; as Frentes Frias (FF); as Perturbações de Ondas de Leste (ZIL); os Vórtices Ciclônicos da Atmosfera Superior (VCAS); as Brisas Terrestres e Marítimas; e a Oscilações de 30-60 dias.

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é formada pela confluência dos ventos alísios do hemisfério norte (alísios de nordeste) e os do hemisfério sul (alísios de sudeste), que resulta em movimentos ascendentes de ar com alto teor de vapor d'água, dando origem as nuvens. A ZCIT é o sistema meteorológico mais importante na determinação das chuvas no setor norte do Nordeste do Brasil. Climatologicamente a ZCIT oscila entre 12°N (agosto e setembro) e 4°S (março e abril) e, quando se localiza em sua posição mais ao sul, é responsável pelas chuvas ocorridas na região, nos meses de fevereiro, março e abril.

As Frentes Frias (FF) organizam e incrementam a precipitação convectiva a oeste e sudoeste do NE entre os meses de novembro e janeiro. Essas frentes são bandas de nuvens organizadas que se formam na região de confluência entre uma massa de ar frio (mais densa) com uma massa de ar quente (menos densa). A massa de ar frio penetra por baixo da quente, como uma cunha, fazendo com que o ar quente e úmido suba, formando as nuvens e, conseqüentemente, as chuvas.

As Perturbações de Ondas de Leste (ZIL) são, em geral, de pequenas amplitudes, observadas nos ventos alísios, e atuam num período que vai de maio a agosto. Este sistema provoca chuvas principalmente na Zona da Mata que se estende desde o Recôncavo Baiano até o litoral do Rio Grande do Norte.

Os Vórtices Ciclônicos da Atmosfera Superior (VCAS) atuam, preferencialmente, nos meses de novembro a fevereiro. A atuação dos VCAS ocorre de forma muito irregular, podendo produzir tanto chuvas intensas como estiagens (os chamados veranicos). As chuvas ocorrem nas bandas de nebulosidade que circundam o seu centro, enquanto que, neste centro, o movimento subsidente inibe a formação de nuvens.

As Brisas Terrestres e Marítimas ocorre em função da diferença de aquecimento entre os oceanos e o continente. O ar sobe sobre nas áreas mais aquecidas e

desce nas mais frias. Esta circulação do ar produz chuvas no litoral leste do Nordeste. Um fator importante na modulação das brisas na região tropical é a atuação dos ventos alísios que sopram, preferencialmente, do quadrante nordeste-sudeste.

As Oscilações de 30-60 dias são pulsos de energia que se move de oeste para leste, contornando o globo terrestre num período entre 30 a 60 dias, com falta de chuvas na sua fase positiva, e chuvas na sua fase negativa. Sua atuação pode produzir veranicos prolongados ou chuvas de alguma intensidade sobre a região Nordeste.

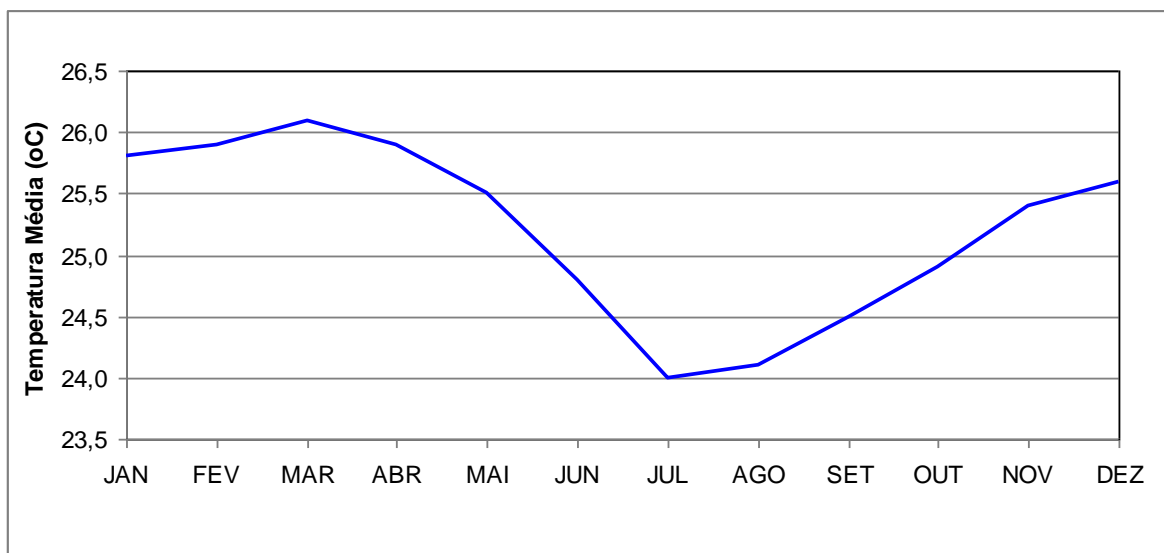
O litoral potiguar, em particular o litoral leste/meridional, sofre a ação direta da zona de Convergência Intertropical-ZCIT, com chuvas de outono nos meses de março, abril e maio; e das ondas de leste, caracterizadas pela sua capacidade de causar precipitações acentuadas ao longo de sua trajetória, principalmente nos meses de junho, julho e agosto (FADE-UFPE, 2006).

Considerando a disponibilidade de dados climatológicos, descritos nas **Tabelas 4.2 e 4.3** e a espacialização das estações, conforme a **Figura 4.1**, observa-se que a estação LDC Bioenergia Ltda (Usina estivas), se encontra localizada dentro da área de estudo e a estação de Natal (UFRN), fora da mesma.

Para caracterizar o clima da área de estudo BLS, foi utilizado como representativo os dados da estação climatológica da LDC Bioenergia Ltda – filial Estivas. O PERH (SERHID, 1998), utilizando os parâmetros desta estação e a metodologia de Thornthwaite e Mather, classificou o clima como C2WA'a', definido como úmido e sub-úmido, com moderado excesso de água, megatérmico e com baixa variação estacional.

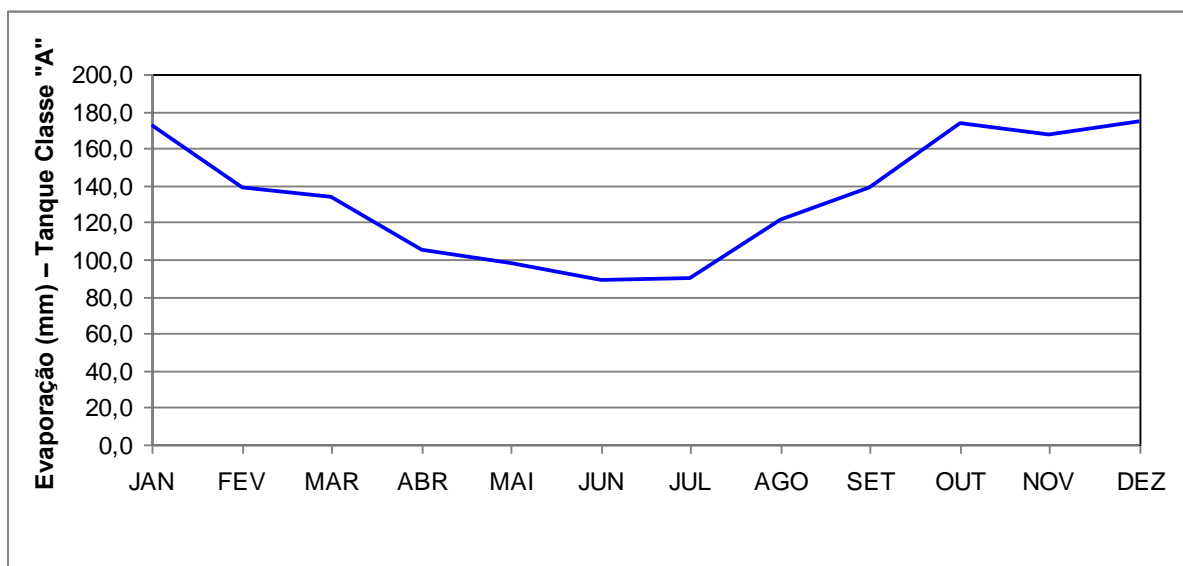
Com os dados da **Tabela 4.2**, foram elaborados os gráficos apresentados nas **Figuras 4.3 a 4.6**, que mostram as médias mensais de temperatura média, evaporação do Tanque Classe "A", umidade relativa do ar e velocidade do vento da estação de LDC Bioenergia Ltda – filial Estivas.

Os dados da estação climatológica da LDC Bioenergia Ltda - Filial Estivas (**Tabela 4.2 e Figura 4.3**) mostram que a região apresenta temperaturas média mensal elevadas o ano todo e baixa amplitude térmica, garantindo uma temperatura média anual de 25,2°C no período estudado (1971 a 1996). A temperatura média decresce a partir de maio a julho, atingindo o menor valor de 24,0°C em julho. A partir de agosto tende a subir até abril com pico em março, com maior média de 26,1°C.



**Figura 4.3. Média mensal da temperatura média da estação LDC Bioenergia Ltda, no período de 1971 a 1996**

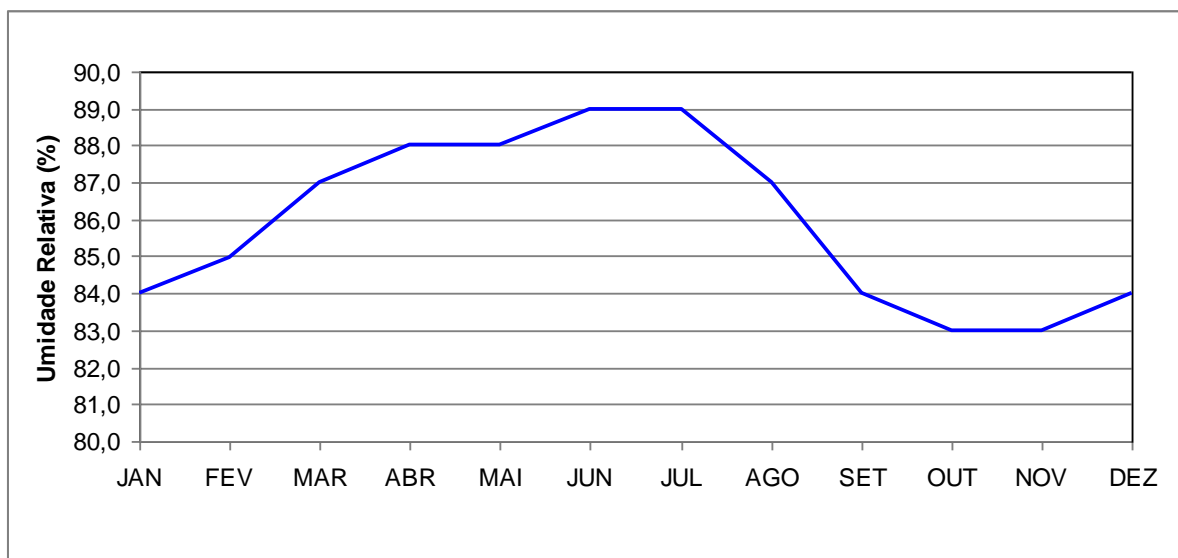
A evaporação total anual média é de 1.604,2 mm, sendo mais intensa nos meses de dezembro e janeiro, com valores de 174,6 e 172,4 mm respectivamente (**Tabela 4.2 e Figura 4.4**).



**Figura 4.4. Média mensal da evaporação do tanque Classe "A" da estação LDC Bioenergia Ltda, no período de 1971 a 1996**

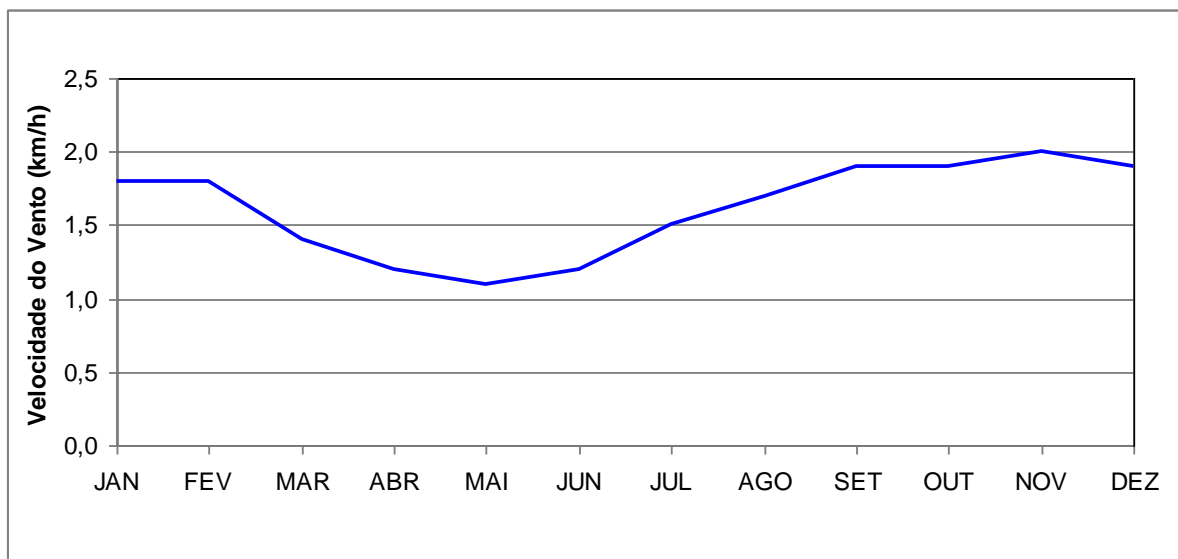
Em relação à umidade relativa do ar, a média anual é de 85,9% (**Tabela 4.2 e Figura 4.5**), com o maior valor no mês de junho e julho, ambos de 89%, e menores valores nos meses de outubro e novembro igual a 83%, ficando sempre acima dos 80%.





**Figura 4.5. Média mensal da umidade relativa do ar da estação LDC Bioenergia Ltda, no período de 1971 a 1996**

A velocidade média anual dos ventos é de 1,6 km/h, atingindo o maior valor de 2,0 km/h no mês de novembro e o menor de 1,1 km/h no mês de maio, **Tabela 4.2 e Figura 4.6.**



**Figura 4.6. Média mensal da velocidade do vento da estação LDC Bioenergia Ltda, no período de 1971 a 1996**

#### 4.1.3 Pluviometria

Para caracterizar o regime pluviométrico da área de estudo, foram identificados 29 (vinte e nove) postos pluviométricos (**Figura 4.2 e Tabela 4.4**). Destes, foram selecionados os postos que apresentam série histórica de dados diários com no

mínimo 15 (quinze) anos de registros, o que permite identificar a representatividade da variabilidade interanual e intra-anual das precipitações, bem como a variação espacial da precipitação pluviométrica média anual de longo período da área de estudo.

A análise dos dados disponíveis dos 29 (vinte e nove) postos pluviométricos existentes, conforme o critério descrito acima, possibilitou apenas a utilização de 12 (doze) postos, conforme **Figura 4.7** e **Tabela 4.5**, dos quais, 02 (dois) estão localizados no estado da Paraíba. No entanto, não foi possível usar o mesmo período de tempo, para calcular a normal climatológica. Desta forma usou-se a série histórica completa de cada posto independente do período de observação para calcular a precipitação média anual de longo período na bacia e sua variação espacial. Isso demonstra um grande problema de descontinuidade na obtenção dos dados, necessitando de um grande esforço do Estado, para melhorar o histórico dos dados de precipitação pluviométrica monitorados.

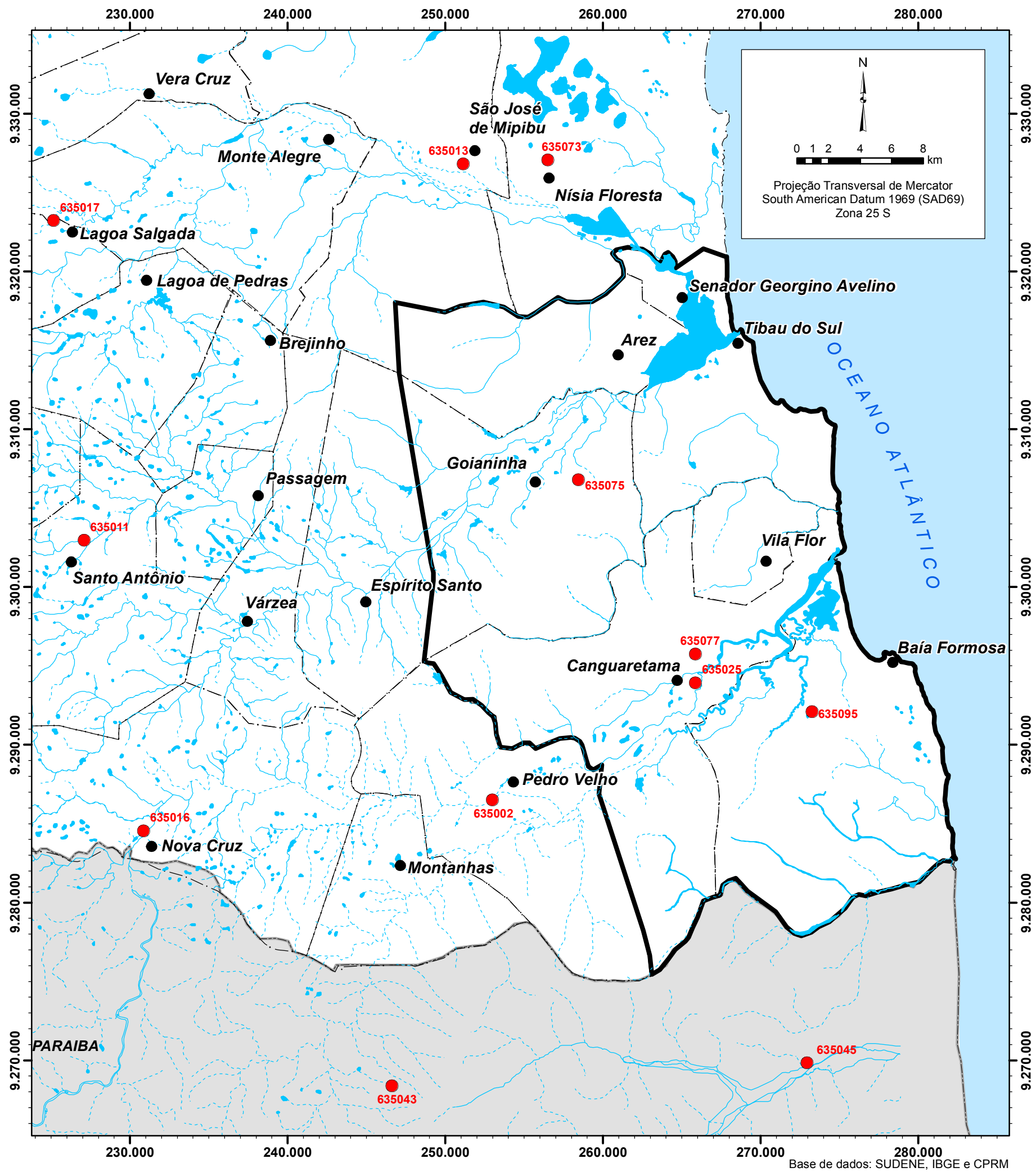
#### Variabilidade espacial das precipitações pluviométricas

A partir dos dados das séries históricas disponíveis na **Tabela 4.5**, foi elaborado o mapa de precipitação média anual para o BLS, demonstrando as isoietas delineadas pelo método de krigagem, resultando na variação espacial da pluviosidade média anual de longo período, conforme **Figura 4.8**.

Observa-se nitidamente na **Figura 4.8**, a diminuição da precipitação pluviométrica do litoral para o interior, o que mostra a atuação da influência dos sistemas meteorológicos de ondas de leste, que atuam em uma faixa estreita ao longo do litoral leste do RN em conjunto com a ação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). A diminuição da precipitação para o interior do Estado deve-se ao fato de só atuar nesta região a ZCIT, não tendo sido observado variação no sentido de norte para sul ao longo da faixa litorânea (de Nísia Floresta para Baía Formosa).

Analisando a **Figura 4.8** observa-se que na área do estudo (BLS) as chuvas médias anuais variam de 1.000,0 mm na borda oeste a mais de 1.500,0 mm na faixa litorânea leste.

A precipitação média anual dos postos inseridos no BLS é: Base Física da EMPARN (Canguaretama) – 1.420,9 mm; Canguaretama – 1.362,9 mm; Usina Vale Verde (Baía Formosa) – 1.839,6 mm; e Goianinha – 1.164,2 mm.



Convenção Cartográfica

- Sedes municipais
- Estradas pavimentadas
- Rios intermitentes
- ~ Rios perenes
- Lago, lagoas, lagunas ou açudes
- /- Limites municipais
- Área de estudo
- Posto pluviométrico

Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM

Localização da área de estudo



**Figura 4.7. Distribuição espacial dos postos pluviométricos utilizados na caracterização espacial e temporal do BLS**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO LITORAL SUL DA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL (BLS)

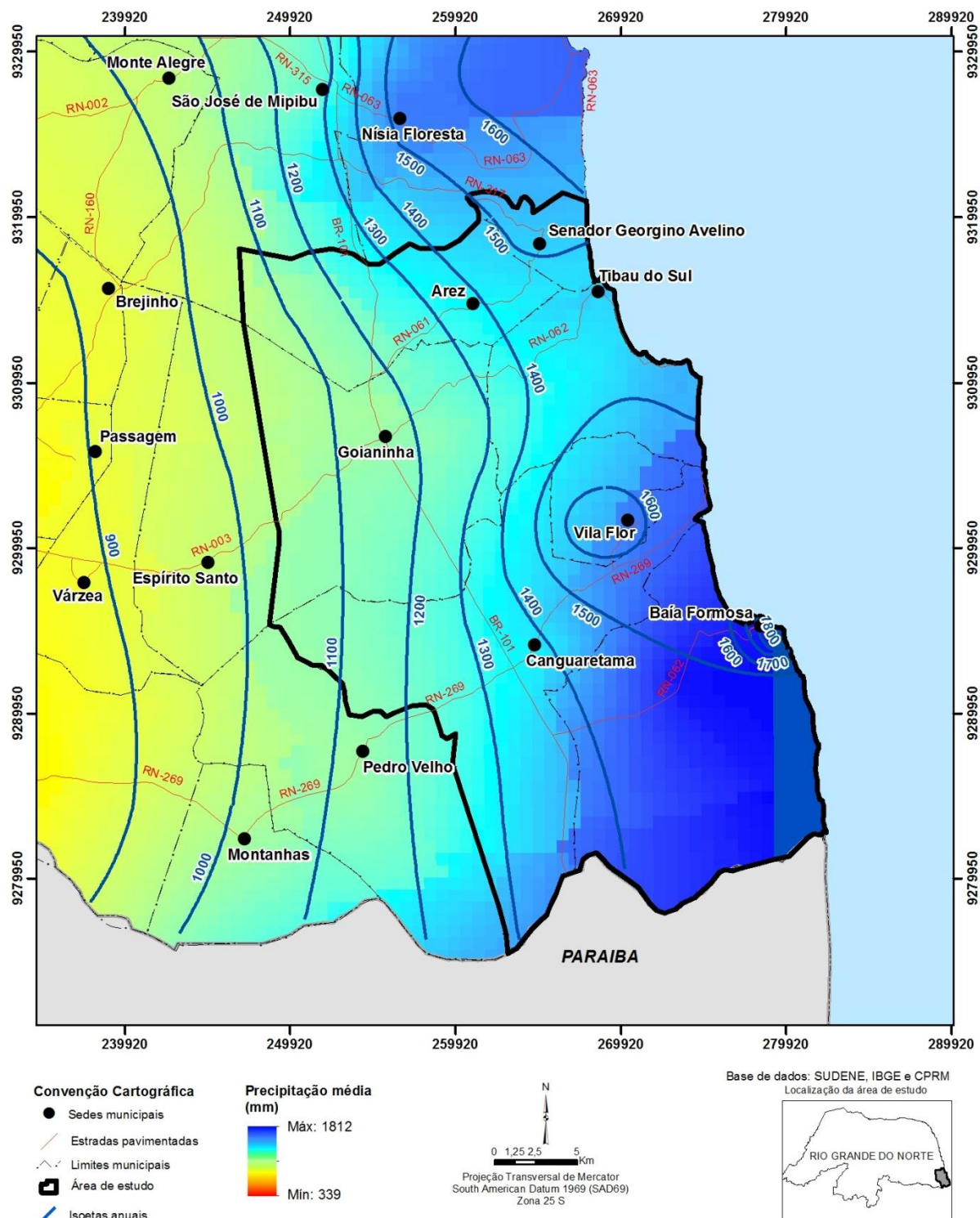
Elaborado por: Servmar Serviços Técnicos Ambientais



Julho de 2012

**Tabela 4.5. Precipitação média mensal e anual dos postos pluviométricos representativos da área de estudo**

| Nº | Nome                  | Município          | Jan   | Fev   | Mar   | Abr   | Mai   | Jun   | Jul   | Ago   | Set  | Out  | Nov  | Dez  | Total  |
|----|-----------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|--------|
| 1  | Base Física da EMPARN | Canguaretama       | 106,0 | 108,0 | 153,9 | 222,1 | 219,2 | 277,6 | 186,5 | 101,7 | 42,4 | 11,8 | 14,6 | 38,2 | 1420,9 |
| 2  | Canguaretama          | Canguaretama       | 62,0  | 102,0 | 171,8 | 205,8 | 199,7 | 214,9 | 163,8 | 92,8  | 51,2 | 23,4 | 26,7 | 35,1 | 1362,9 |
| 3  | Destilaria Vale Verde | Baía Formosa       | 121,4 | 103,8 | 178,5 | 231,8 | 272,0 | 341,5 | 233,0 | 140,3 | 52,9 | 23,8 | 16,3 | 47,3 | 1839,6 |
| 4  | Engenho Olho D'água   | São José do Mipibu | 67,1  | 98,6  | 156,4 | 185,2 | 180,0 | 189,5 | 166,9 | 83,4  | 39,5 | 23,0 | 24,8 | 35,1 | 1248,9 |
| 5  | Goianinha             | Goianinha          | 83,5  | 87,6  | 133,5 | 179,9 | 144,2 | 199,1 | 137,0 | 65,6  | 32,2 | 4,7  | 8,5  | 29,1 | 1164,2 |
| 6  | Jacaraú               | Jacaraú            | 60,0  | 62,1  | 109,7 | 139,6 | 132,7 | 173,2 | 150,5 | 97,4  | 36,8 | 13,7 | 18,7 | 23,1 | 1092,0 |
| 7  | Lagoa Salgada         | Lagoa Salgada      | 50,7  | 65,7  | 97,8  | 127,4 | 117,7 | 144,7 | 93,2  | 45,4  | 18,2 | 3,1  | 5,8  | 13,3 | 891,7  |
| 8  | Mataraca              | Mataraca           | 99,3  | 124,7 | 183,2 | 224,3 | 231,2 | 242,9 | 211,2 | 116,1 | 75,4 | 28,9 | 30,5 | 39,2 | 1709,7 |
| 9  | Nísia Floresta        | Nísia Floresta     | 96,0  | 111,2 | 186,0 | 237,3 | 199,2 | 283,5 | 205,6 | 128,5 | 48,8 | 23,3 | 24,3 | 43,2 | 1591,4 |
| 10 | Nova Cruz             | Nova Cruz          | 44,0  | 63,8  | 111,8 | 130,7 | 109,3 | 111,1 | 83,8  | 43,9  | 19,7 | 9,3  | 11,0 | 12,6 | 752,6  |
| 11 | Pedro Velho           | Pedro Velho        | 64,2  | 94,0  | 149,5 | 175,6 | 154,1 | 186,4 | 158,8 | 72,8  | 40,3 | 14,1 | 20,5 | 27,3 | 1117,7 |
| 12 | Santo Antônio         | Santo Antônio      | 40,4  | 66,7  | 109,2 | 139,3 | 128,3 | 125,2 | 103,8 | 48,7  | 17,7 | 6,3  | 6,1  | 12,2 | 805,1  |



**Figura 4.8. Variação espacial da precipitação média anual da área do BLS e do seu entorno**



### Variabilidade temporal das precipitações pluviométricas

Para avaliar a variação temporal mensal da precipitação pluviométrica durante o ano hidrológico na área do BLS, foram utilizados somente os 04 (quatro) postos pluviométricos inseridos na área de estudo. Observa-se na **Figura 4.9**, que o período chuvoso tem início no mês de fevereiro e se estende até agosto, com dois meses de picos de precipitação pluviométrica, em abril e em junho. No restante dos meses as precipitações da região diminuem significativamente, sendo praticamente zero.

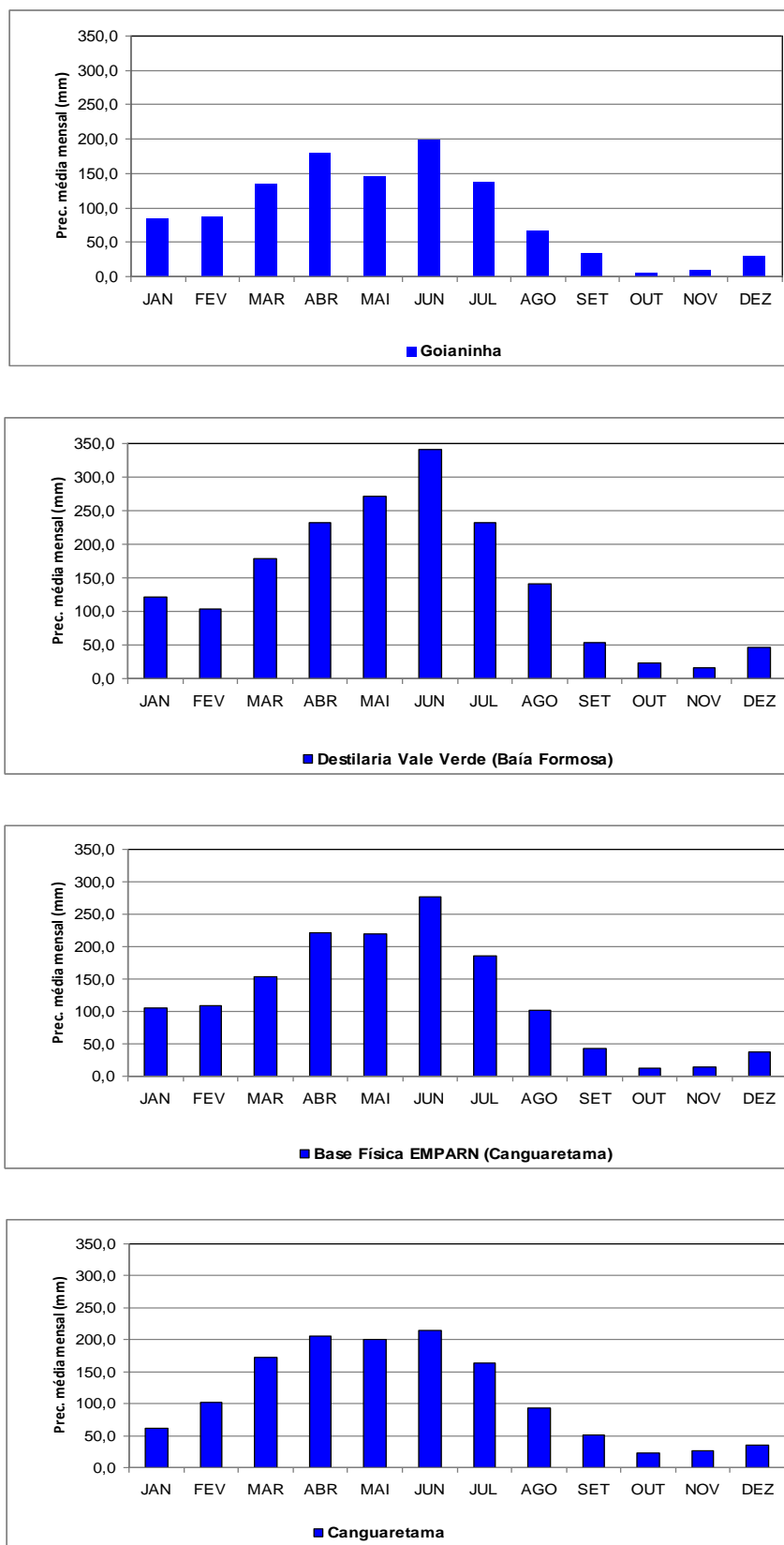
O posto localizado no município de Baía Formosa (Destilaria Vale Verde) apresenta uma precipitação média anual de 1.839,6 mm, sendo junho o mês mais chuvoso com uma precipitação média mensal de 341,5 mm e novembro o mês mais seco, com chuva média mensal de 16,3 mm.

O posto localizado no município de Canguaretama (Base Física da EMPARN) apresenta uma precipitação média anual de 1.420,9 mm, com a maior média ocorrendo no mês de junho (277,6 mm) e a menor em outubro (11,8 mm).

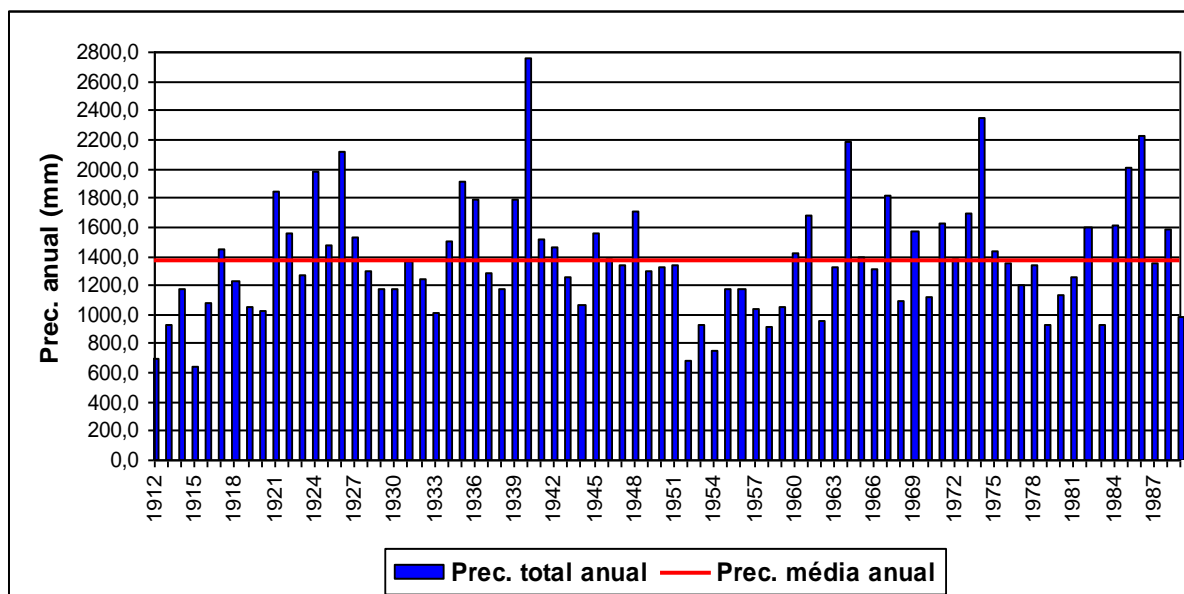
O posto localizado no município de Canguaretama (sede) apresenta uma precipitação média anual de longo período de 1.362,9 mm. A maior precipitação média mensal ocorre no mês de junho (214,9 mm) e o menor em outubro (23,4 mm).

O posto localizado no município de Goianinha apresenta uma precipitação média anual de longo período de 1.164,2 mm, com a maior média ocorrendo no mês junho (199,1 mm) e a menor no mês de outubro (4,7 mm).

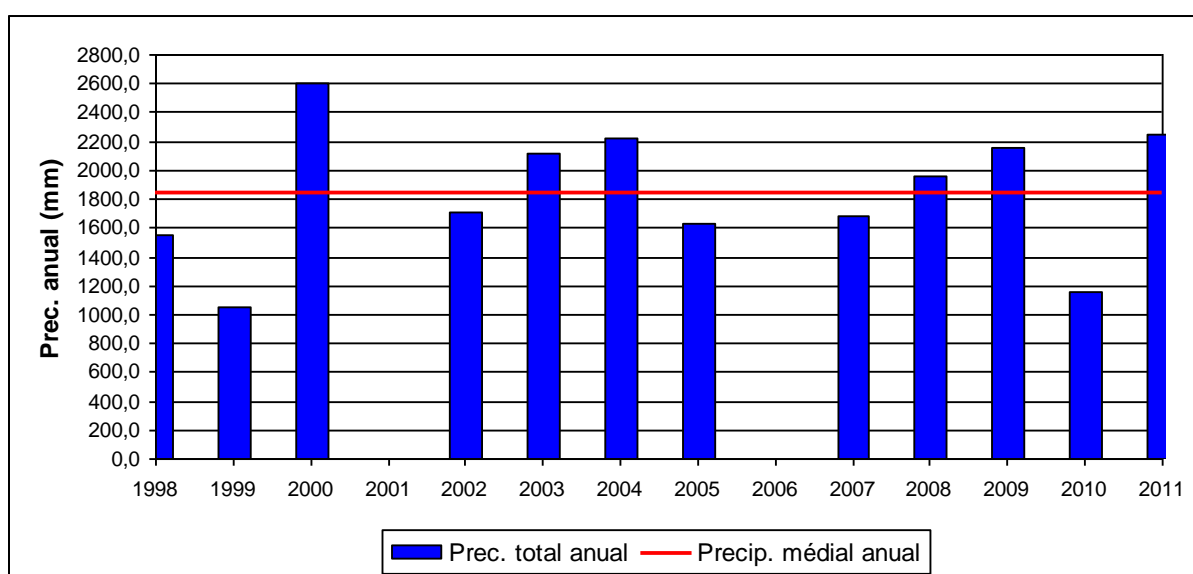
No que se refere à variabilidade interanual das precipitações dos postos que estão dentro da área de estudo (**Figuras 4.10 a 4.13**), observa-se que no posto pluviométrico de Canguaretama, a precipitação anual variou de 641,8 mm no ano de 1915 a 2.759,5 mm no ano de 1940. Observa-se ainda que na década de 50 as precipitações ficaram abaixo da média em praticamente todos os anos.



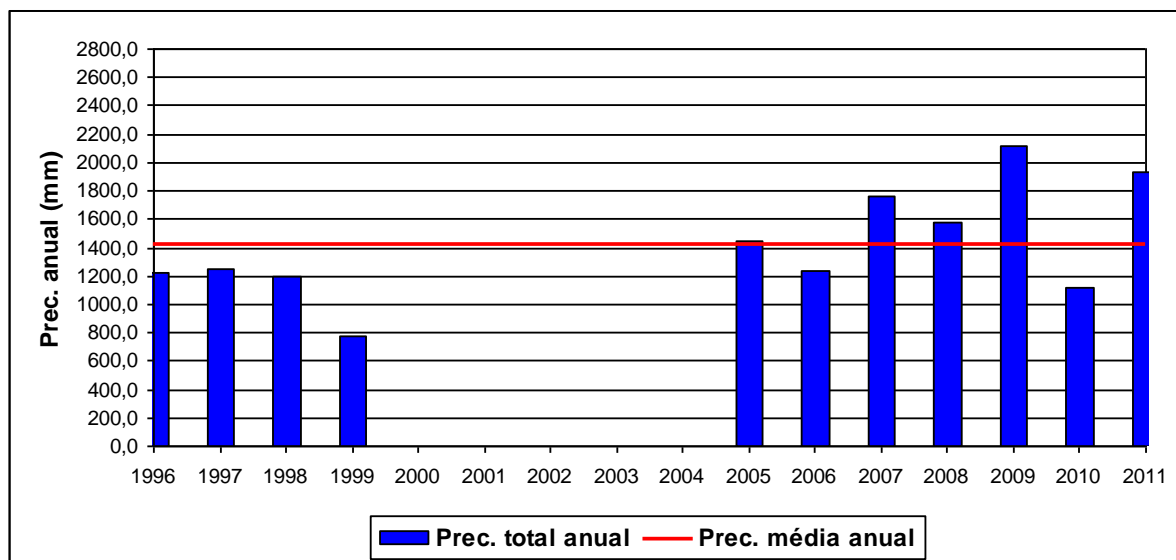
**Figura 4.9. Precipitação pluviométrica média mensal dos Postos do BLS**



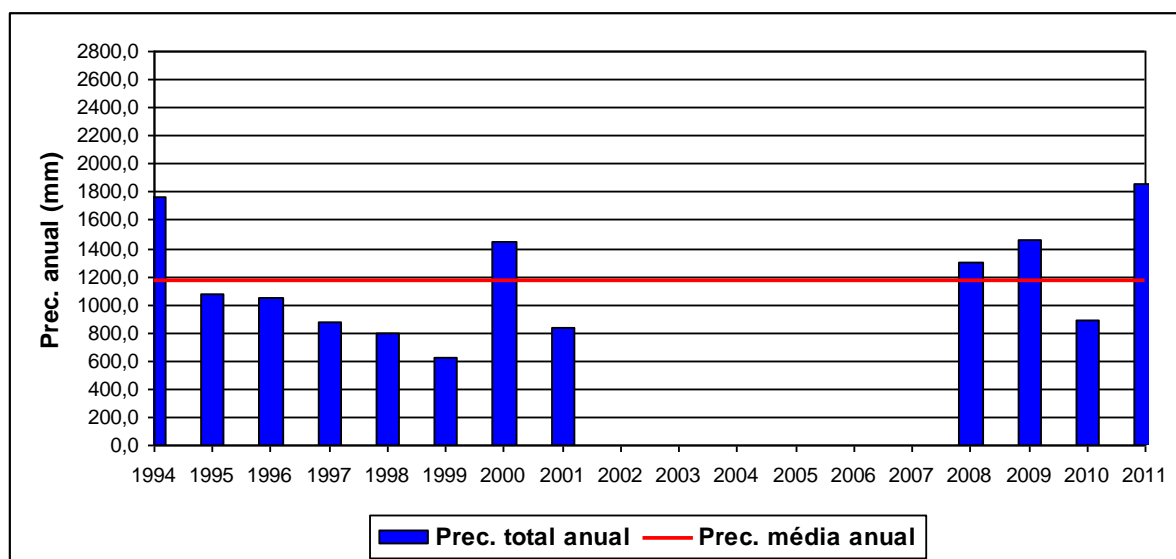
**Figura 4.10. Precipitação total e média anual do posto de Canguaretama**



**Figura 4.11. Precipitação total e média anual do posto da Destilaria Vale Verde (Baía Formosa)**



**Figura 4.12. Precipitação total e média anual do posto da Base Física da EMPARN (Canguaretama)**



**Figura 4.13. Precipitação total e média anual do posto de Goianinha**

### Chuva média na área estudada

Entende-se por precipitação média espacial, a lâmina de altura de água uniformemente distribuída sobre toda a área da bacia de contribuição, durante certo intervalo de tempo. No presente estudo efetuou-se o cálculo da precipitação média espacial para a área de estudo utilizando o método de Thiessen, por ser o mais utilizado nos estudos hidrológicos.

Neste método, a precipitação média é calculada pelo somatório da média ponderada entre a precipitação  $P_i$  de cada posto e o peso a ele atribuído  $A_i$ , de acordo com a expressão abaixo:

$$h = \frac{\sum P_i A_i}{\sum A_i}$$

Onde:

$h$ : é a precipitação média;

$P_i$  é a precipitação média de cada posto pluviométrico;

$A_i$  é a área de influência do posto  $i$ .

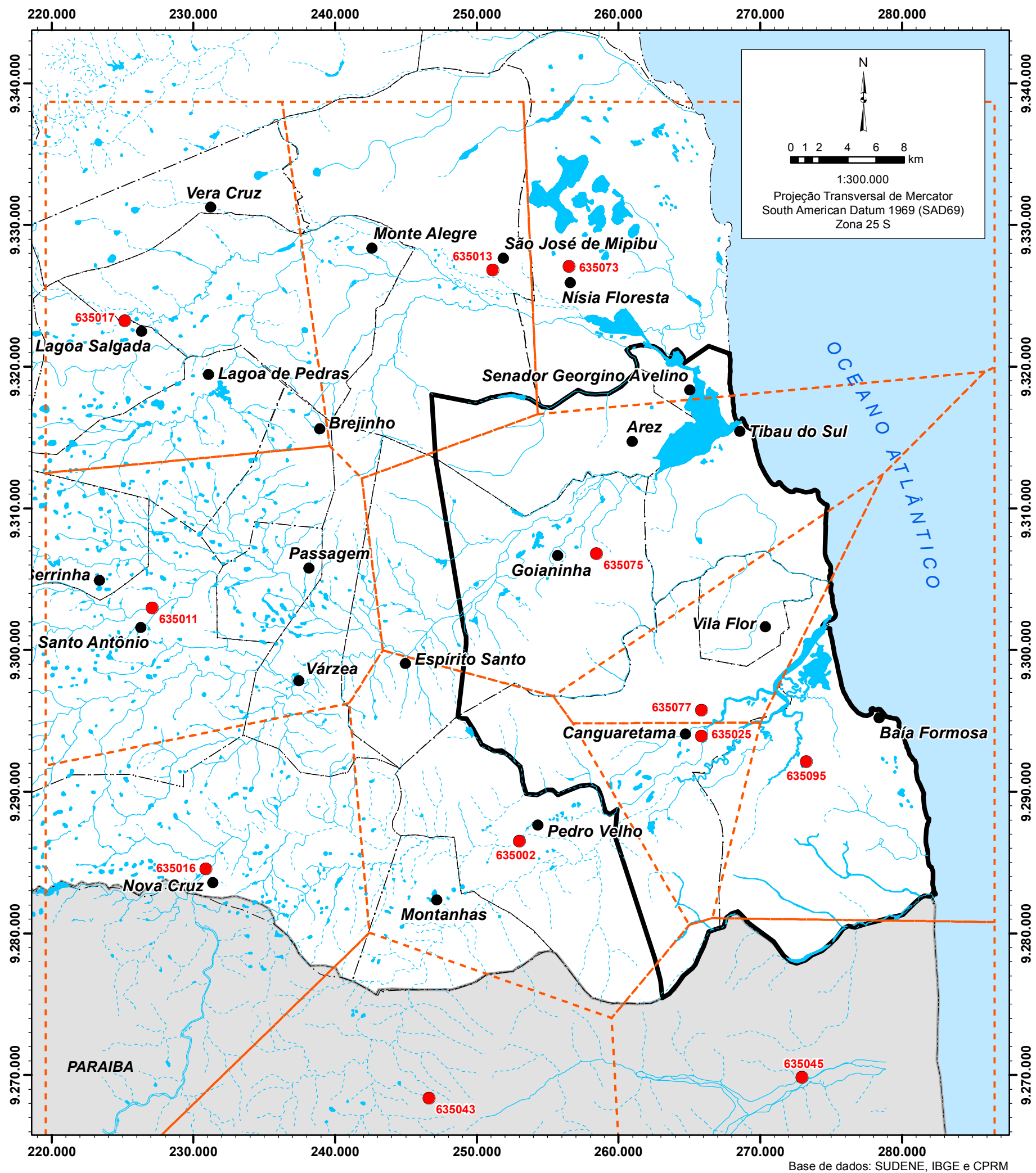
O traçado dos polígonos de Thiessen e o cálculo das respectivas áreas de influência de cada posto pluviométrico foram efetuados com o programa ArcGis e o cálculo da precipitação pluviométrica média mensal e anual da área do BLS foi realizado com os dados dos postos contidos na **Tabela 4.5**.

A **Figura 4.14**, mostra o traçado dos polígonos de Thiessen e a **Tabela 4.6** as áreas de influências e os coeficientes de cada posto utilizado para calcular a precipitação pluviométrica média na região de estudo BLS.

| <b>Tabela 4.6. Área dos polígonos de Thiessen para cada posto pluviométrico do BLS</b> |                       |                    |             |              |                         |                             |
|--|-----------------------|--------------------|-------------|--------------|-------------------------|-----------------------------|
| <b>Nº</b>  | <b>Posto</b>          | <b>Município</b>   | <b>Lat.</b> | <b>Long.</b> | <b>Área<sup>1</sup></b> | <b>Thiessen<sup>2</sup></b> |
| 1  | Destilaria Vale Verde | Baía Formosa       | -6,4000     | -35,0500     | 211,18                  | 0,2173                      |
| 2  | Pedro Velho           | Pedro Velho        | -6,4500     | -35,2333     | 74,79                   | 0,0770                      |
| 3  | Engenho Olho D'água   | São José do Mipibu | -6,0853     | -35,2486     | 17,68                   | 0,0182                      |
| 4  | Mataraca              | Mataraca           | -6,6014     | -35,0536     | 25,47                   | 0,0262                      |
| 5  | Canguaretama          | Canguaretama       | -6,3833     | -35,1167     | 104,82                  | 0,1078                      |
| 6  | Base Física da EMPARN | Canguaretama       | -6,3667     | -35,1167     | 138,32                  | 0,1423                      |
| 7  | Nísia Floresta        | Nísia Floresta     | -6,0833     | -35,2000     | 29,88                   | 0,0307                      |
| 8  | Goianinha             | Goianinha          | -6,2667     | -35,1833     | 369,83                  | 0,3805                      |
| Área Total   |                       |                    |             |              | 971,98                  | 1,0000                      |

1- Área de contribuição da bacia ao posto em Km<sup>2</sup>; 2- Coeficiente de Thiessen.





Convenção Cartográfica

- Sedes municipais
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Lagoas, lagoas, lagunas ou açudes
- Limites municipais
- Área de estudo
- Posto pluviométrico
- Polígonos de Thiessen

Localização da área de estudo



Figura 4.14. Polígonos de Thiessen dos postos pluviométricos do BLS

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO LITORAL SUL DA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL (BLS)

Elaborado por: Servmar Serviços Técnicos Ambientais

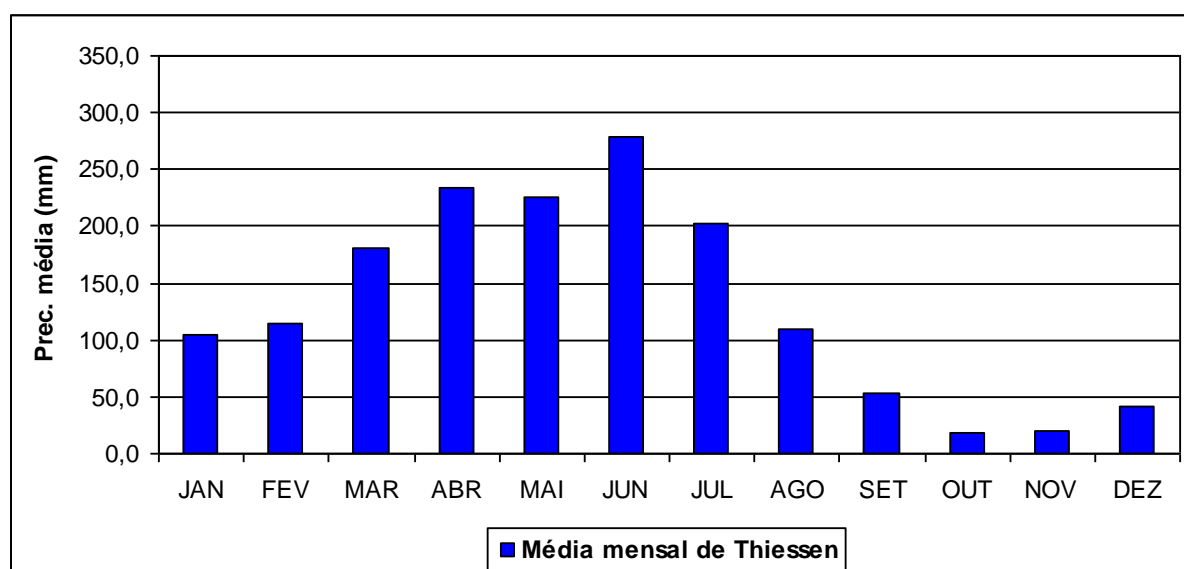


Julho de 2012

A **Tabela 4.7** e a **Figura 4.15** mostra a precipitação média mensal e anual obtida por Thiessen da área BLS. Observa-se que precipitação média anual na área de estudo é de 1.625,6 mm com um pico de precipitação em junho no valor de 279,1 mm e o outro em abril no valor de 233,9 mm.

| Tabela 4.7. Precipitação média mensal e anual dos postos do BLS por Thiessen (mm) |              |     |              |     |              |
|---|--------------|-----|--------------|-----|--------------|
| Mês   | Média Mensal | Mês | Média Mensal | Mês | Média Mensal |
| Jan   | 104,5        | Mai | 225,8        | Set | 52,5         |
| Fev   | 115,0        | Jun | 279,1        | Out | 18,0         |
| Mar   | 180,5        | Jul | 202,5        | Nov | 19,5         |
| Abr   | 233,9        | Ago | 109,7        | Dez | 41,1         |

**Precipitação Média Anual – 1.625,6**



**Figura 4.15. Precipitação média mensal de Thiessen dos postos do BLS**

## 4.2 Balanço hídrico climatológico do BLS

O cálculo do balanço hídrico na estimativa da recarga é bastante difundido devido aos trabalhos e simplificações adotados por Thornthwaite e Matter (1955), o qual avalia a recarga direta através dos cálculos das entradas (precipitação) e saídas (escoamento superficial e evapotranspiração) de água ao longo do tempo no perfil de solo. O balanço hídrico proposto por Thornthwaite e Matter (1955) é definido pela equação demonstrada a seguir.

Equação de Thornthwaite e Matter (1955):

$$P = ESC + \Delta ARM + ETR + R$$

Onde: P é a precipitação (mm); ESC é o escoamento superficial (mm), ETR é a evapotranspiração real (mm),  $\Delta ARM$  é a variação no armazenamento de água na zona não saturada (mm) e R é a recarga (mm).

Embora seja um método fácil e de ampla aplicação devido a sua simplicidade, sua precisão é bastante baixa, com muitos erros na avaliação da evapotranspiração e do escoamento superficial (LERNER *et al.* 1990).

Esta metodologia foi modificada, segundo as técnicas desenvolvidas pelo LAMO-CEPAS – IGc/USP, que avaliou também as características de escoamento superficial, baseado em tipo de solo e na declividade do terreno (MALDANER, 2010).

O escoamento superficial está intrinsecamente associado ao tipo de cobertura do terreno, ao grau de saturação dessa cobertura e à sua declividade. Quanto maior o teor de argila dos estratos que compõem o terreno, o seu grau de saturação e a sua declividade, maior será o escoamento superficial. Em contrapartida, baixas declividades, estratos predominantemente arenosos e baixo grau de saturação favorecem uma alta infiltração e, conseqüentemente, menor escoamento superficial.

A avaliação do coeficiente de escoamento superficial na área de estudo foi realizada através de uma adaptação do método proposto por Fenn *et al.* (1975). Para isso, foi realizado o levantamento de tipo de solos existentes na área, elaborado o modelo de declividade do terreno e definidas as estações secas e chuvosas.

O mapa de tipo de solos (**Figura 4.16**) foi obtido do relatório de Solos do Nordeste (EMBRAPA, 2006) na escala 1:500.000. Predominam na área solos compostos por areias quartzosas e os sedimentos eólicos das dunas (areias quartzosas marinhas) e paleodunas, estas duas últimas restritas a linha de costa. Também ocorrem aluviões nos trechos médios dos rios Jacu, Catu e Curimataú. No trecho inferior da bacia do rio Curimataú ocorrem extensos depósitos de mangues. Há ocorrências restritas de latossolo e planossolo na porção oeste e noroeste da área de estudo.

Os solos descritos acima foram enquadrados em três classes principais, com base no coeficiente de escoamento superficial:

- Arenosos (areias quartzosas, aluviões e latossolos)
- Argilosos (planossolos, mangues)
- Dunas e paleodunas

Para cada uma dessas classes foi associado um coeficiente de escoamento superficial diferente, conforme proposto por Fenn *et al.* (1975), sendo maior para os

solos argilosos e menor para os solos arenosos. Para os depósitos de dunas e paleodunas, foram adotados os menores coeficientes admitindo-se que nesses sedimentos o escoamento superficial é mínimo (**Tabela 4.8**).

| <b>Tabela 4.8. Coeficientes de escoamento superficial aplicados no balanço hídrico</b> |                                   |                     |                      |
|--|-----------------------------------|---------------------|----------------------|
| <b>Tipo de solo</b>  | <b>Declividade do terreno (%)</b> | <b>Coeficientes</b> |                      |
|  |                                   | <b>Estação seca</b> | <b>Estação úmida</b> |
| <b>Arenoso</b>   | < 3                               | 0,19                | 0,35                 |
|  | 3 - 7                             | 0,37                | 0,53                 |
|  | > 7                               | 0,50                | 0,60                 |
| <b>Argiloso</b>  | < 3                               | 0,35                | 0,45                 |
|  | 3 - 7                             | 0,47                | 0,58                 |
|  | > 7                               | 0,60                | 0,65                 |

Fonte: Fenn *et al.* 1975

O mapa de declividade foi gerado a partir do modelo digital de terreno da área de estudo, obtido na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2012). Foram definidos três intervalos de declividades (< 3%, 3% a 7% e > 7%), os quais foram associados a diferentes coeficientes de escoamento superficial (**Figura 4.17**). O relevo em forma de tabuleiro resulta no predomínio de baixas declividades, com exceção de trechos restritos nas encostas dos principais vales e no domínio das dunas, onde a declividade pode ultrapassar 3% (**Figura 4.17**).

Do cruzamento dos mapas de tipos de solos e de declividade do terreno foi gerado um novo produto onde foram identificadas 7 classes de áreas com diferentes taxas de escoamento superficial (**Tabela 4.9** e **Figura 4.18**). Para as áreas de ocorrência das dunas e paleodunas, independentemente da declividade do terreno, admitiu-se que não há escoamento superficial significativo, devido às características dessas unidades.

| <b>Tabela 4.9. Classes com diferentes taxas potenciais de escoamento superficial</b> |                     |                        |
|--|---------------------|------------------------|
| <b>Classificação</b>   | <b>Tipo de Solo</b> | <b>Declividade (%)</b> |
| Classe 1   | arenoso             | < 3                    |
| Classe 2   |                     | 3 a 7                  |
| Classe 3   |                     | > 7                    |
| Classe 4   | argiloso            | < 3                    |
| Classe 5   |                     | 3 a 7                  |
| Classe 6   |                     | > 7                    |
| Classe 7   | Dunas ou paleodunas | -                      |



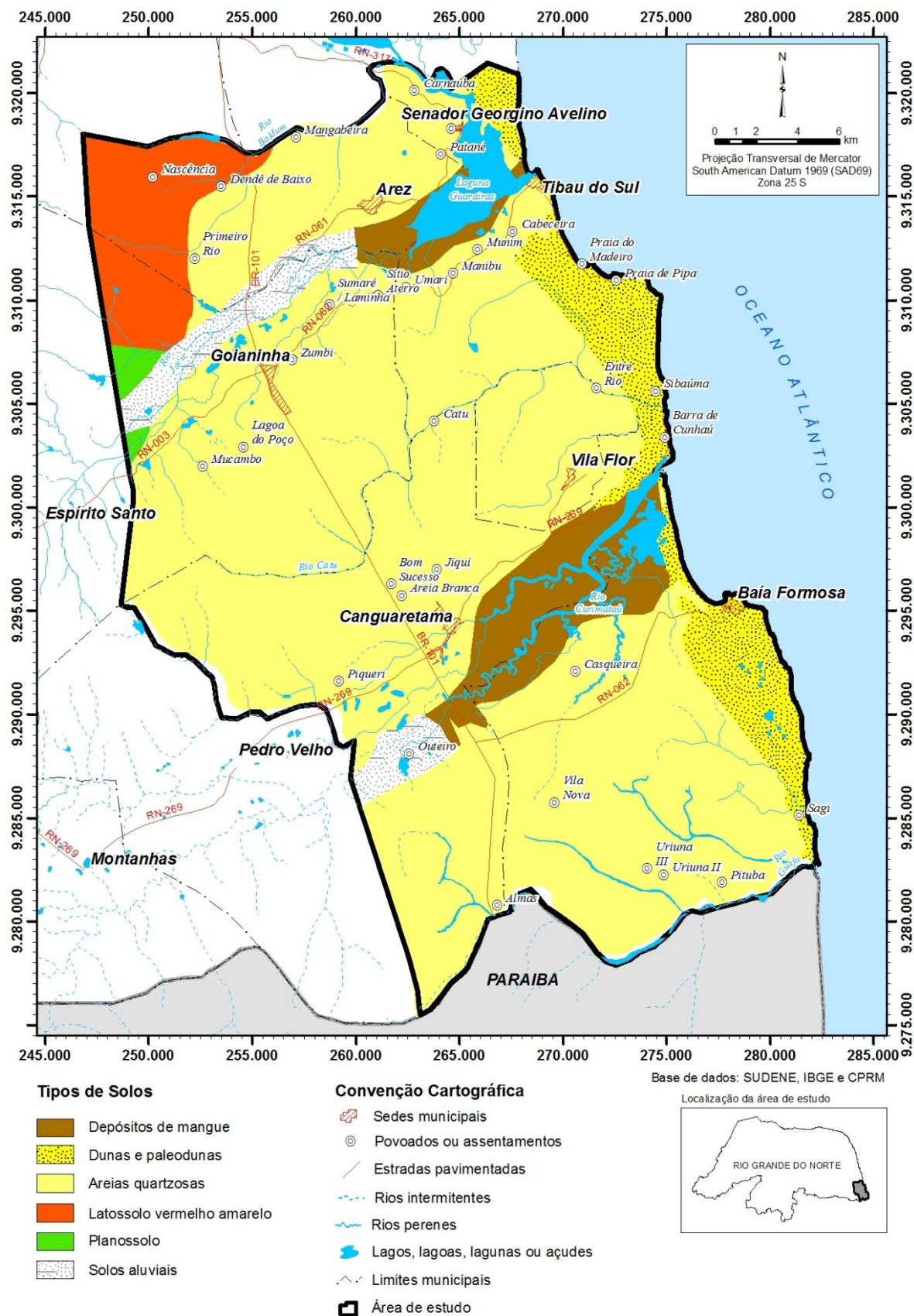
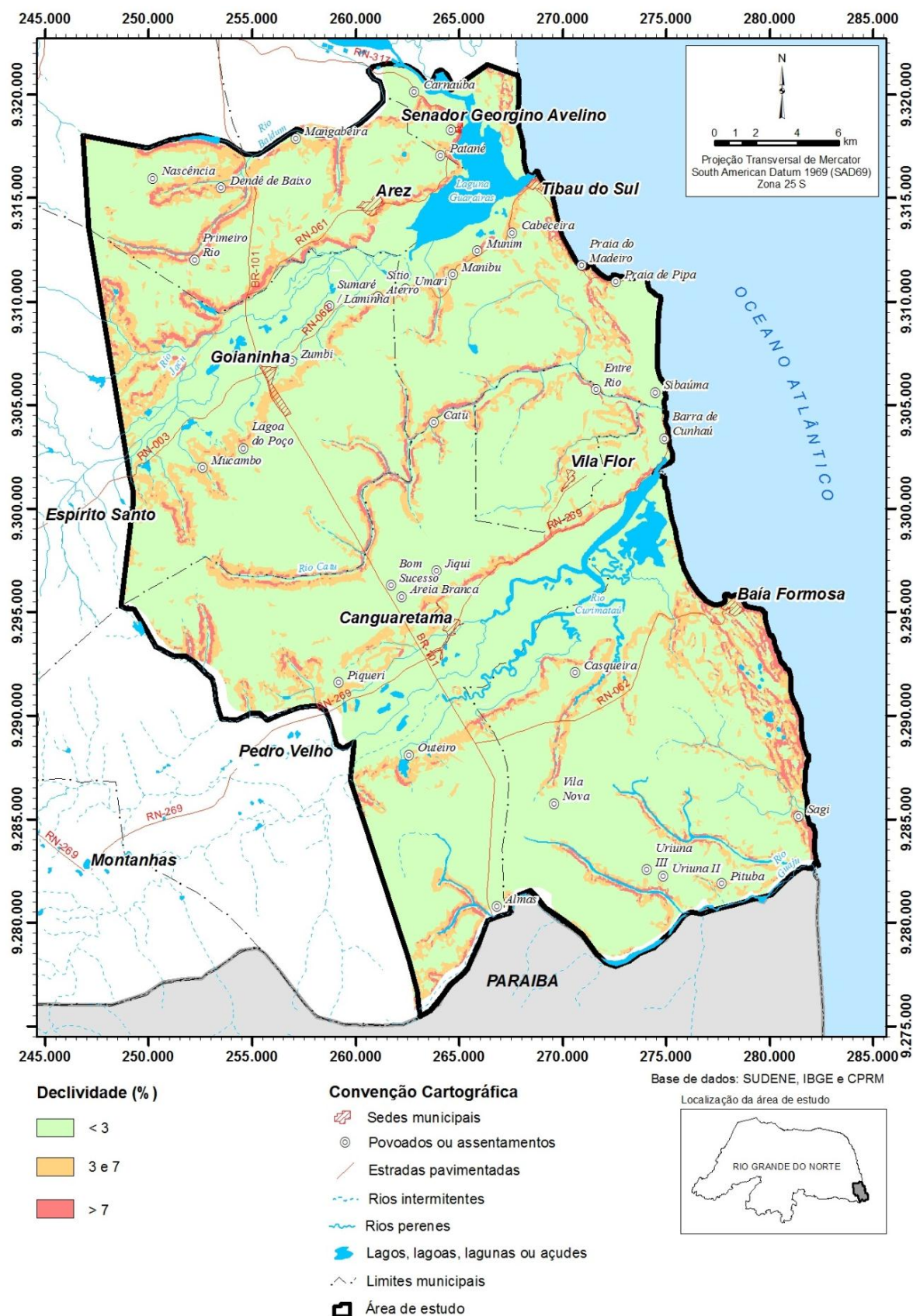
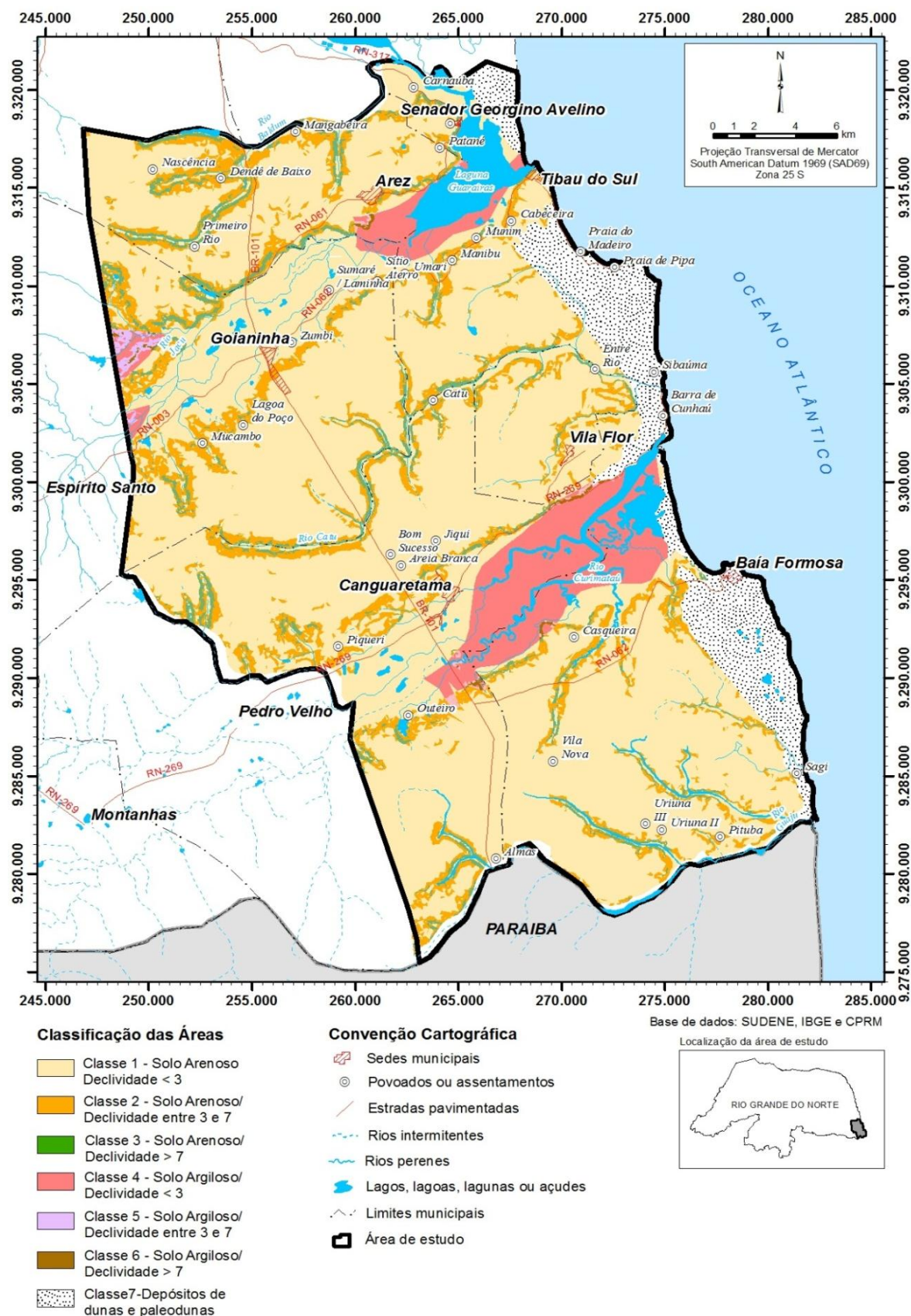


Figura 4.16. Tipos de solos existentes no BLS (adaptado de EMBRAPA, 2006)





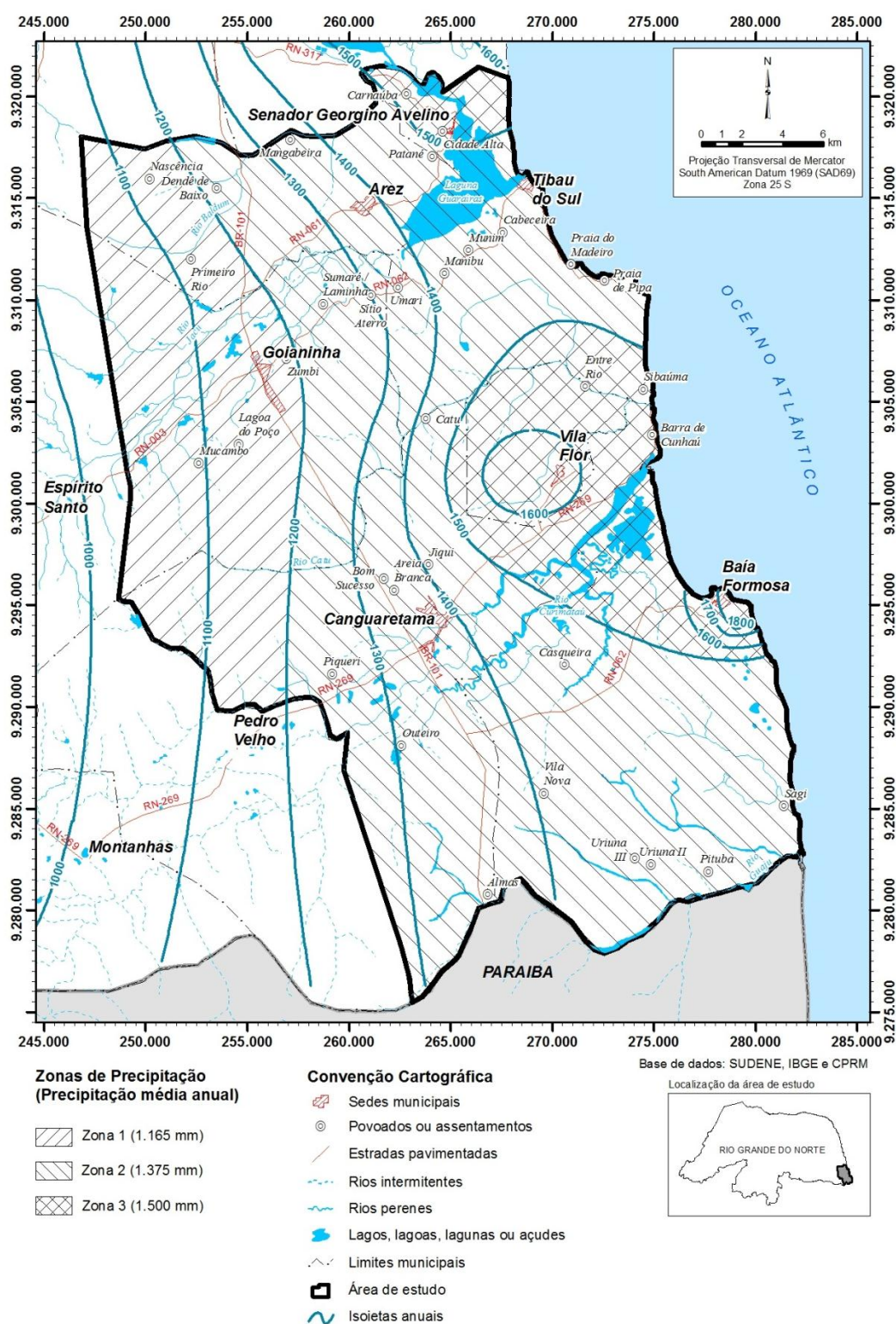
**Figura 4.17. Declividade do terreno no BLS (gerado a partir do modelo digital de elevação - Embrapa, 2005)**



**Figura 4.18. Áreas com diferentes potenciais de escoamento superficial que podem sugerir diferentes potenciais de recarga no BLS**



Devido à extensão da área de estudo e à variação do volume de precipitação, optou-se por dividi-la em zonas climáticas, conforme demonstra a **Figura 4.19** a seguir.



**Figura 4.19. Zoneamento pluviométrico para cálculo do balanço hídrico no BLS**

A metodologia adotada no cálculo do balanço hídrico delimitou 3 (três) zonas de precipitação pluviométrica (**Figura 4.19**), denominadas de zonas 1, 2 e 3, caracterizadas por:

- zona 1 – com precipitação pluviométrica média de 1.165 mm/ano, situada no setor ocidental da área de estudo, abrangendo parcialmente os municípios de Arez, Goianinha e Canguaretama;
- zona 2 – com precipitação média de 1.375 mm/ano, nas partes nordeste, central e sul do BLS, nos municípios de Tibau do Sul, Arez, Canguaretama e Baía Formosa;
- zona 3 – na parte centro-leste, com precipitação média de 1.500 mm/ano, nos municípios de Vila Flor, Baía Formosa e Senador Georgino Avelino.

Os valores médios mensais de chuva e temperatura obtidos para as zonas climáticas definidas no BLS (**Tabela 4.10**) foram utilizados como dados de entrada para a equação do balanço hídrico.

O armazenamento (ARM) foi calculado com base nas simplificações propostas por Pereira (2005), segundo a equação:

$$ARM_{\eta} = ARM_{n-1} \exp \left[ \frac{(P - ETP)_{\eta}}{CAD} \right]$$

onde *ETP* é a evapotranspiração potencial (mm) e *CAD* é a capacidade de água disponível no solo, em milímetros, adotado como 100 mm para o BLS, devido as características do solo e do predomínio de uma vegetação com raízes pouco profundas (em especial nas áreas agrícolas, onde predomina o cultivo de cana-de-açúcar, coco e outras culturas com as mesmas características). O armazenamento é calculado para um período determinando, sendo que neste estudo foram adotados cálculos mensais e, assim, *n* representa o mês de interesse do cálculo e, *n-1*, o mês anterior.

Para os meses onde  $P - ETP > 0$ , mas com valores insuficientes para que o ARM atinja o valor da *CAD*, aplica-se a seguinte equação:

$$ARM_{\eta} = ARM_{n-1} \exp(P - ETP)_{\eta}$$

**Tabela 4.10. Dados climáticos utilizados para o balanço hídrico em cada zona**

| <b>Precipitação media (mm)</b> |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                | jan   | fev   | mar   | abr   | mai   | jun   | jul   | ago   | set   | out   | nov   | dez   | anual |
| Zona 1                         | 60    | 75    | 150   | 185   | 180   | 215   | 145   | 80    | 35    | 10    | 10    | 20    | 1.165 |
| Zona 2                         | 55    | 75    | 145   | 225   | 230   | 290   | 175   | 105   | 35    | 10    | 10    | 20    | 1.375 |
| Zona 3                         | 45    | 75    | 150   | 260   | 245   | 330   | 185   | 130   | 40    | 10    | 10    | 20    | 1.500 |
| <b>Temperatura média (°C)</b>  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                                | jan   | fev   | mar   | abr   | mai   | jun   | jul   | ago   | set   | out   | nov   | dez   | anual |
| Zona 1                         | 26,65 | 26,10 | 26,45 | 26,15 | 25,60 | 24,75 | 24,00 | 24,15 | 24,70 | 25,40 | 25,75 | 26,10 | 25,48 |
| Zona 2                         | 26,65 | 26,10 | 26,40 | 26,10 | 25,60 | 24,80 | 23,95 | 24,15 | 24,65 | 25,40 | 25,80 | 26,20 | 25,48 |
| Zona 3                         | 26,60 | 26,15 | 26,50 | 26,15 | 25,65 | 24,85 | 24,10 | 24,20 | 24,75 | 25,40 | 25,90 | 26,35 | 25,55 |



A evapotranspiração potencial (ETP) foi calculada através do método proposto por Thornthwaite (1948), cuja aplicação é adequada em projetos de pesquisa e gestão (BLACK, 2007). A equação empírica é dada por:

$$ETP = 16b \left( 10 \frac{T}{I} \right)^a, 0^\circ C \leq T \leq 26^\circ C$$

onde T é a temperatura média mensal ( $^\circ C$ ), I é o índice de calor disponível para a região, o expoente a é a função cúbica de I calculado a partir da soma dos índices de calor dos 12 meses e b é um fator de correção referente ao período de insolação durante o dia que varia em função da latitude do local de estudo. O cálculo de I, a e b é realizado a partir das seguintes equações:

$$I = \sum_{\eta=1}^{12} (0,2T_{\eta})^{1,514}, T_x > 0^\circ C$$

$$a = 6,75 \times 10^{-7} I^3 - 7,71 \times 10^{-5} I^2 + 1,7912 \times 10^{-2} I + 0,49239$$

$$b = \left( \frac{ND}{30} \right) \times \left( \frac{N}{12} \right)$$

onde ND é o número de dias no mês e N o fotoperíodo em horas.

Caso a temperatura média mensal seja acima de  $26^\circ C$  a ETP deve ser calculada pela equação apresentada por Willmott *et al.* (1985) baseada nas tabelas de Thornthwaite (1948):

$$ETP = -415,85 + 32,24 - 0,43T^2, T > 26^\circ C$$

A evapotranspiração real (ETR) foi obtida através das seguintes equações:

$$ETR = ETP \text{ (se } P - ESC - ETP > 0)$$

ou

$$ETR = P - ESC - \Delta ARM \text{ (se } P - ESC - ETP < 0)$$

Por fim, a recarga foi obtida aplicando-se as equações abaixo:

$$R = P - ESC - \Delta ARM \text{ (se } \Delta ARM \geq 0)$$

ou

$$R = 0, \text{ (se } \Delta ARM < 0)$$

Através das equações acima foram obtidos os resultados de evapotranspirações potencial e real, o armazenamento de água no solo, a deficiência hídrica e o escoamento superficial para cada uma das classes apresentadas na **Tabela 4.9**, e os resultados aplicados à equação do balanço hídrico, obtendo-se os valores potenciais de recarga indicados na **Tabela 4.11**.

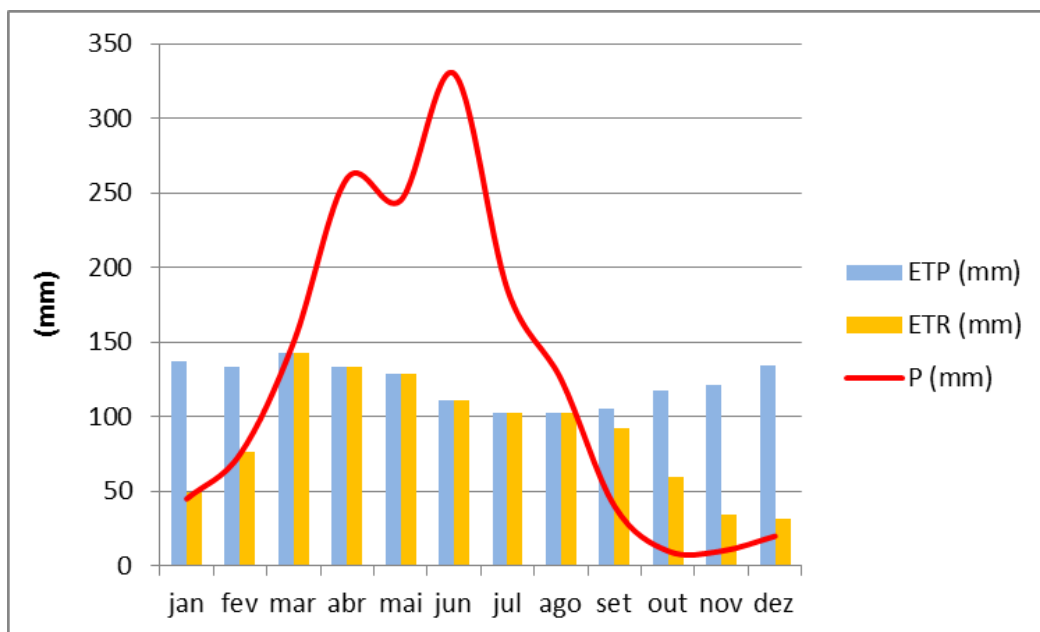
| Tabela 4.11. Resultados do balanço hídrico obtidos para as diferentes classes definidas no BLS |  |        |        |
|--|--|--------|--------|
| (mm/ano)   | Zona 1   | Zona 2 | Zona 3 |
|  | Classe 1 (Solo arenoso e declividade < 3%)         |        |        |
| Precipitação   | 1.165  | 1.375  | 1.500  |
| Evapotranspiração  | 805  | 960    | 976    |
| Escoamento   | 361  | 432    | 471    |
| Recarga  | < 5  | 91     | 138    |
|  | Classe 2 (Solo arenoso e declividade > 3% e < 7%)  |        |        |
| Precipitação   | 1.165  | 1.375  | 1.500  |
| Evapotranspiração  | 594  | 670    | 711    |
| Escoamento   | 571  | 679    | 740    |
| Recarga  | < 5  | 25     | 44     |
|  | Classe 3 (Solo arenoso e declividade > 7%)         |        |        |
| Precipitação   | 1.165  | 1.375  | 1.500  |
| Evapotranspiração  | 495  | 576    | 610    |
| Escoamento   | 670  | 5      | 865    |
| Recarga  | < 5  | 5      | 21     |
|  | Classe 4 (Solo argiloso e declividade < 3%)        |        |        |
| Precipitação   | 1.165  | -      | -      |
| Evapotranspiração  | 693  |        |        |
| Escoamento   | 495  |        |        |
| Recarga  | < 5  |        |        |
|  | Classe 5 (Solo argiloso e declividade > 3% e < 7%) |        |        |
| Precipitação   | 1.165  | -      | -      |
| Evapotranspiração  | 521  |        |        |
| Escoamento   | 644  |        |        |
| Recarga  | < 5  |        |        |
|  | Classe 6 (Solo argiloso e declividade > 7%)        |        |        |
| Precipitação   | 1.165  | -      | -      |
| Evapotranspiração  | 422  |        |        |
| Escoamento   | 743  |        |        |
| Recarga  | < 5  |        |        |
|  | Classe 7 (area de dunas)                           |        |        |
| Precipitação   | -  | 1.375  | 1.500  |
| Evapotranspiração  |  | 1.097  | 1.066  |
| Escoamento   |  | 14     | 15     |
| Recarga  |  | 267    | 419    |

Verifica-se que a evapotranspiração real varia em função da zona climática e também das características do solo e da topografia sendo, de forma geral, maior nas zonas climáticas com maior precipitação, em solos arenosos e áreas de menor declividade (**Tabela 4.11**). O escoamento superficial é maior nas áreas onde predominam solos argilosos e as maiores declividades. A recarga é maior nas zonas com maior precipitação média, predominância de solos arenosos e declividades inferiores a 3%.

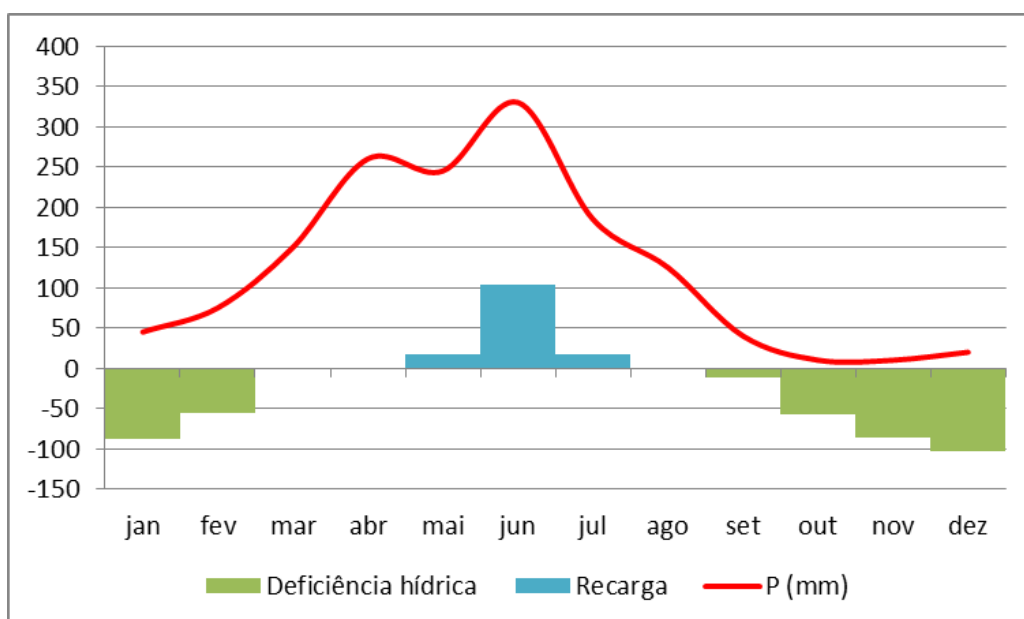
Os resultados obtidos indicam que a evapotranspiração real é igual à evapotranspiração potencial no período de chuvas, enquanto que na estiagem o menor volume de chuvas resulta em uma evapotranspiração real menor que a

potencial, conforme demonstrado na **Figura 4.20** que representa o balanço hídrico da classe 7, inserida na zona climática 3, e, de maneira geral, reflete o comportamento desses parâmetros para todo o BLS.

As recargas ocorrem entre os meses de maio e julho, com maior taxa estimada para o mês de junho, coincidente com os meses mais chuvosos. Nos meses de março e abril há contribuição do excedente hídrico para o armazenamento de água no solo e nos demais meses (agosto a fevereiro) ocorre uma deficiência hídrica, com perda da água armazenada no solo (**Figura 4.21**).



**Figura 4.20. Evapotranspiração potencial e real estimadas para a classe 7–zona 3**



**Figura 4.21. Recarga e deficiência hídrica estimadas para a classe 7–zona 3**

As estimativas obtidas pelo balanço hídrico indicam maiores taxas de recarga ao longo da linha de costa do Litoral Sul (limite leste da área de estudo). Os maiores valores de recarga estão associados ao domínio das dunas e paleodunas (Classe 7), onde praticamente todo excedente hídrico se infiltra (baixa taxa de escoamento superficial). A taxa de recarga estimada nas áreas de ocorrência das dunas e paleodunas são superiores a 200 mm/ano (**Figura 4.22**), podendo alcançar até 400 mm (**Tabela 4.11**). Estudos realizados pelo IPT (1982), já demonstravam esse alto potencial de recarga no domínio das dunas na região metropolitana de Natal.

Esses depósitos de dunas e paleodunas ocorrem ao longo de praticamente toda a linha de costa no Litoral Sul e estão sobrepostos aos sedimentos da formação Barreiras. Verifica-se a ocorrência de lagoas interdunares que representam áreas pontuais de descarga desse sistema (aquífero Dunas) e que ocorrem principalmente nas estações chuvosas. A outra parcela da recarga que não retorna a superfície é que irá efetivamente contribuir para a recarga do aquífero Barreiras.

A alta taxa de infiltração nos domínios das dunas provavelmente contribui para a recarga do SAB nesses locais através da transferência das águas das chuvas por drenança vertical descendente das dunas para a formação Barreiras. Essa recarga deve ter importante influência para a exploração sustentável do SAB, possibilitando que se estabeleça o equilíbrio da interface água doce/água salgada, evitando e prevenindo o avanço de cunhas salinas em locais com exploração contínua do aquífero, como nas sedes municipais e grandes distritos inseridos nesse contexto.

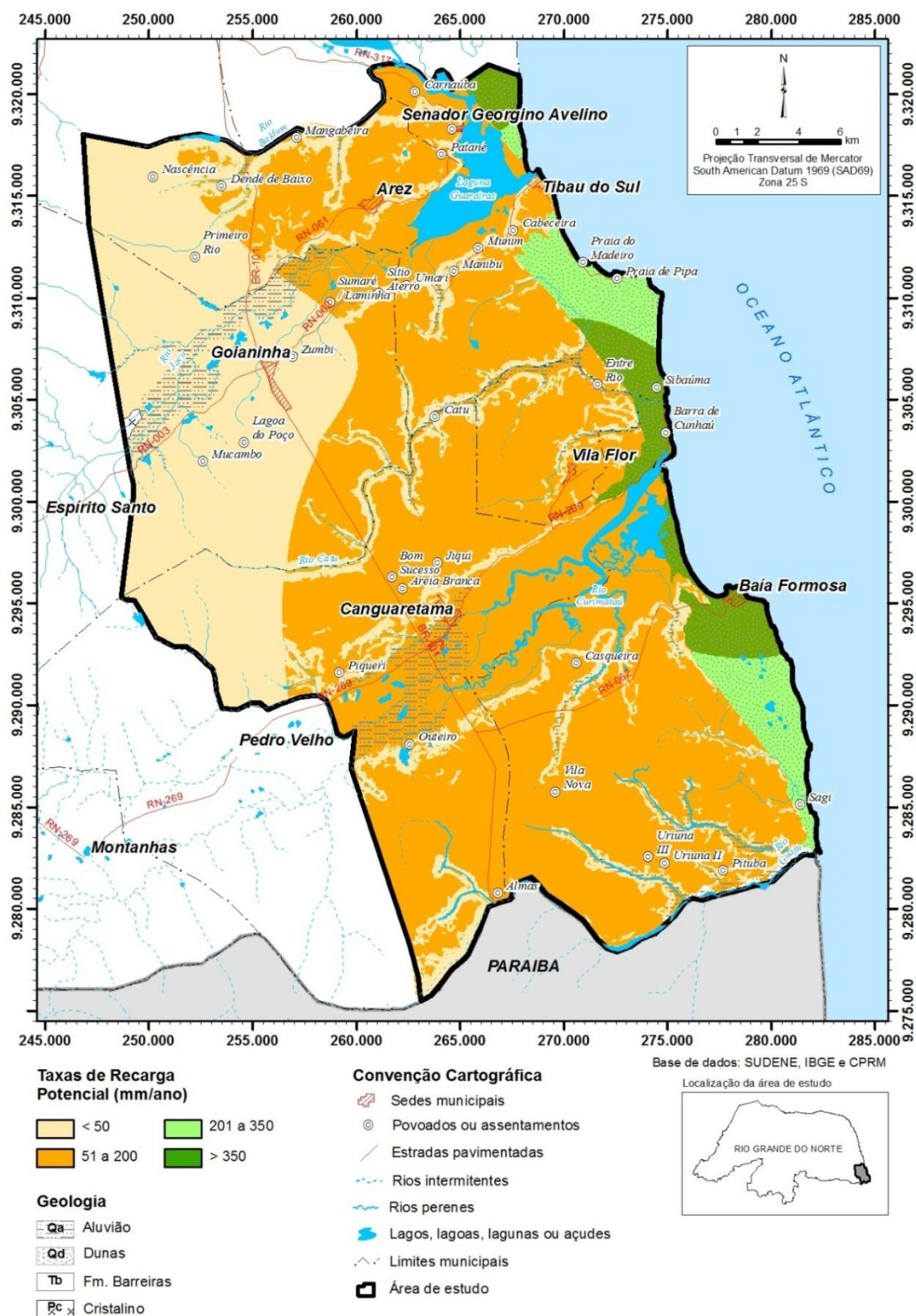
Esses locais de ocorrência das dunas e paleodunas coincidem também com as maiores espessuras dos sedimentos da formação Barreiras na área de estudo (ver capítulos 8 e 12 deste relatório), que somada a alta taxa de recarga estimada, indicam uma alta potencialidade do SAB nesses locais, a qual foi verificada também nos estudos de reservas e potencialidades, apresentados no Capítulo 12.

As taxas de recarga estimadas tendem a diminuir de leste para oeste, em função da diminuição das precipitações, com taxas avaliadas entre 50 mm e 150 mm na porção central e taxas inferiores a 50 mm ocorrendo no setor ocidental da área de estudo, próximo ao limite da própria bacia sedimentar.

A perenização dos cursos d'água na área de ocorrência do SAB é um importante indicador da contribuição das águas subterrâneas para manutenção desses cursos, mediante a descarga subterrânea ao longo dos vales (na forma de fontes naturais ou olheiros), que caracterizam o fluxo de base.

Os resultados alcançados pelo balanço hidroclimatológico apontam para uma recarga natural estimada da ordem de 124 mm/ano (aproximadamente  $120,5 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano) para o SAB, com taxas de infiltração variando entre 5 e 15%, com uma média de 10% para todo o BLS.

Ressalta-se que, apesar de amplamente utilizada, essa metodologia pode incorrer em grandes imprecisões e, por isso, os resultados obtidos foram comparados com outros valores de recarga obtidos por diferentes técnicas, permitindo uma melhor avaliação da recarga do SAB no BLS. Essa discussão é detalhadamente apresentada no capítulo 12 deste relatório.



**Figura 4.22. Recarga potencial estimada pelo método hidroclimatológico para o Sistema Aquífero Barreiras no Bloco Litoral Sul**



### 4.3 Avaliação hidrológica

A avaliação hidrológica foi elaborada com base em estudos existentes e através do monitoramento das vazões em diferentes seções dos rios Trairi, Jacu, Catu, Curimataú e Guaju (conforme previsto no item 4.1.6 do TDR). A seguir são discutidas as principais características das bacias hidrográficas inseridas no BLS e feita a análise dos deflúvios superficiais dos rios já citados com base nas medições realizadas.

#### 4.3.1 Rede hidrográfica da área de estudo

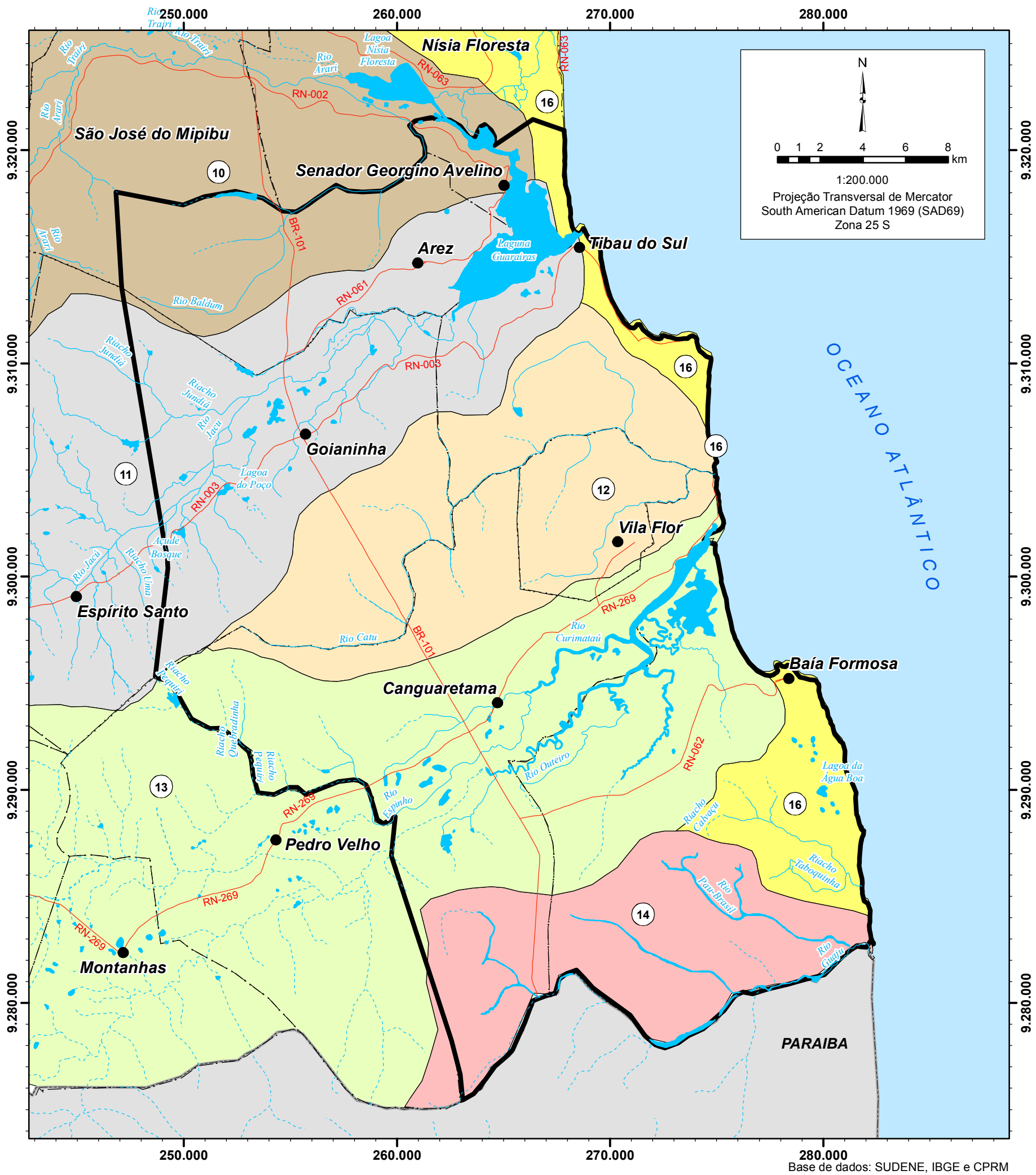
Bacia hidrográfica é uma área de captação natural de água da precipitação, definida topograficamente, drenada por um curso d'água ou um sistema conectado de cursos de água, onde todo o escoamento converge para um único ponto de saída, seu exutório. A bacia hidrográfica compõe-se basicamente de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos d'água que confluem para uma única saída.

De modo geral, a bacia hidrográfica pode ser entendida como um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório, considerando-se como perdas intermediárias os volumes evaporados e transpirados, os interceptados e também os infiltrados profundamente. Assim, o principal papel da bacia hidrográfica é transformar uma entrada de água concentrada no tempo (precipitação) em uma saída de água de forma mais distribuída no tempo (escoamento).

A área de estudo engloba parte dos baixos cursos das bacias dos rios Trairi, Jacu, Catu, Curimataú e Guaju, além de trechos da Faixa Litorânea Leste de Escoamento Difuso (16-6, 16-7 e 16-8), conforme **Figura 4.23**.

#### Bacia do rio Trairi

O Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH (SERHID, 1998) denominou esta bacia como a de número 10. Apresenta uma área de contribuição dentro do estado do Rio Grande do Norte de 2.867,4 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 5,40% da área do Estado. Esta bacia tem o rio principal denominado de Trairi e nasce no município de Jaçanã, portanto de acordo com a legislação vigente, as águas que escoam superficialmente tem domínio do estado do Rio Grande do Norte. Conforme demonstra **Figura 4.23**, essa bacia está localizada na parte central do litoral leste do estado do Rio Grande do Norte, tendo sua nascente na região semiárida no município de Jaçanã e sua foz na lagoa de Guaraíra no município de Senador Georgino Avelino.



Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM

Convenção Cartográfica

- Sedes municipais
- Estradas pavimentadas
- Rios intermitentes
- ~ Rios perenes
- Lagoas, lagoas, lagoas ou açudes
- / \ Limites municipais
- Área de estudo

Bacias Hidrográficas

- 10 - Bacia do rio Trairi
- 11 - Bacia do rio Jacu
- 12 - Bacia do rio Catu
- 13 - Bacia do rio Curimatau
- 14 - Bacia do rio Guaju
- 16 - Bacia leste de escoamento difuso

Localização da área de estudo



Figura 4.23. Bacias hidrográficas que drenam o BLS

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO  
MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO LITORAL SUL  
DA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL (BLS)

Elaborado por: Servmar Serviços Técnicos Ambientais



Julho de 2012

A bacia hidrográfica do rio Trairi possui uma forma alongada de montante para jusante com a direção da rede de drenagem no sentido de oeste para leste. A bacia tem seus divisores topográficos pela margem esquerda do rio principal com as bacias Piranhas-Açu, Potengi, Pirangi e Faixa Litorânea Leste de Escoamento Difuso – FLLED, denominada de 16-6 e pela margem direita com a bacia Jacu e sua foz no Oceano Atlântico.

O relevo é composto por uma estreita faixa de dunas fixas e uma planície flúvio-marinha que, para montante, transforma-se em planície fluvial, as quais são envolvidas por relevos tabulares, pouco dissecados, relacionados aos tabuleiros costeiros.

Foram cadastrados 63 açudes na bacia no PERH (SERHID, 1998), com volume de acumulação de 92.567.400 m<sup>3</sup>. Os principais açudes, em capacidade de acumulação são o Trairi, o Santa Cruz do Trairi e o Inharé, localizados fora da área de estudo.

#### Bacia do rio Jacu

Esta bacia foi identificada na divisão hidrográfica do Estado, de acordo com o PERH (SERHID, 1998), como a de número 11 e apresenta uma área dentro do estado do Rio grande do Norte de 1.805,5 km<sup>2</sup>, correspondendo a 3,40% da área do Estado. Está localizada na porção central mais a sul de Natal, tendo sua nascente no estado da Paraíba, na região semiárida e sua foz na lagoa de Guaraíra no litoral leste do Rio Grande do Norte, no município de Arez, conforme **Figura 4.23**, portanto de acordo com a legislação vigente as águas superficiais deste rio são de domínio da União. Apresenta uma forma alongada no sentido de sudoeste para leste, com os divisores topográficos pela margem esquerda do rio principal com as bacias Trairi e FLLED 16-6 e pela margem direita com as bacias Curimataú, Catu e FLLED 16-7.

#### Bacia do rio Catu

Na divisão hidrográfica do Estado esta bacia é identificada como a de número 12, conforme o PERH (SERHID, 1998), com uma área de contribuição de 208,50 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 0,40% da área do Estado. A norte os divisores topográficos são com as bacias Jacu e FLLED 16-7, a oeste com a bacia Jacu, a sul com a bacia Curimataú e a leste com o Oceano Atlântico, tendo sua nascente no município de Canguaretama e sua foz no município de Tibau do Sul no Oceano Atlântico, conforme **Figura 4.23**. Esta bacia apresenta uma forma alongada no sentido de oeste para Leste e tem todas as suas águas de domínio do Estado.

O relevo tabular predomina nos trechos superior e médio da bacia, enquanto que no trecho inferior ocorre o relevo dominado pelas dunas fixas, conforme PERH (SERHID, 1998).

### Bacia do rio Curimataú

Esta bacia foi identificada na divisão hidrográfica do Estado como a de número 13, com uma área de contribuição dentro do Estado do Rio Grande do Norte de 830,50 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 1,60% da área do Estado, de acordo o PERH (SERHID, 1998). Esta bacia tem seu rio principal nascendo no estado da Paraíba e desaguando no Oceano Atlântico, no município de Baía Formosa. Desta forma de acordo com a legislação vigente as águas superficiais que drenam esse rio são de domínio da União.

Os divisores topográficos a norte são com as bacias Jacu e Catu, a sul com a bacia Guaju e com as bacias da Paraíba (médio Paraíba, Mamanguape e Camaratuba), a oeste com a bacia Jacu e a leste com o Oceano Atlântico no município de Baía Formosa, conforme **Figura 4.23**. Apresenta uma forma alongada no sentido de sudoeste para leste.

A geomorfologia caracteriza-se por um relevo tabular, pertence aos tabuleiros costeiros, sendo entrecortada, no sentido leste-oeste, pela planície fluvial formada pelos rios Curimataú e Pequiri, a qual se estende até o litoral, pertencente à faixa costeira.

Na sua foz desenvolve-se um importante depósito de mangue, que adentra aproximadamente 10 km no continente e é amplamente utilizado pela carcinicultura.

### Bacia do rio Guaju

Esta bacia foi identificada na divisão hidrográfica do Estado, como a de número 14, conforme o PERH (SERHID, 1998), com uma área de contribuição dentro do Estado de 150,60 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 0,60% da área do Estado. Esta bacia tem seu rio principal nascendo no estado da Paraíba e sua foz no oceano atlântico no município de Baía Formosa. Como o rio principal atravessa mais de um Estado o domínio de suas águas superficiais é da União.

Apresenta divisores topográficos a norte com a bacia Curimataú, a sul com a bacia Camaratuba no estado da Paraíba, a oeste com a bacia Curimataú e a leste com o Oceano atlântico no município de Baía Formosa, conforme **Figura 4.23**. Apresenta uma forma alongada no sentido de oeste para Leste.

#### 4.3.2 Disponibilidade de dados fluviométricos

O acervo de dados fluviométricos na região são tradicionalmente muito mais escassos. Historicamente, o objetivo primordial da coleta de dados fluviométricos no Brasil esteve associado à avaliação dos potenciais hidroenergéticos em rios

perenes, de forma que, as bacias da região leste do Nordeste, entre elas a faixa leste do Rio Grande do Norte, não despertarem grande interesse, face o baixo potencial hidroenergético das mesmas. Em consequência, estas bacias possuem uma baixa densidade de estações fluviométricas.

No estado do Rio Grande do Norte, a ANA é o único órgão responsável pelo monitoramento sistemático dos dados fluviométricos. Portanto, para ter acesso a série histórica desses dados, foi consultado o banco de dados HIDROWEB da ANA, onde foram identificadas apenas 06 (seis) estações, ao longo de todo o Litoral Leste do Estado do Rio Grande do Norte e áreas adjacentes, das quais nenhuma delas se localizam dentro da área de estudo (BLS), conforme mostra **Figura 4.24**.

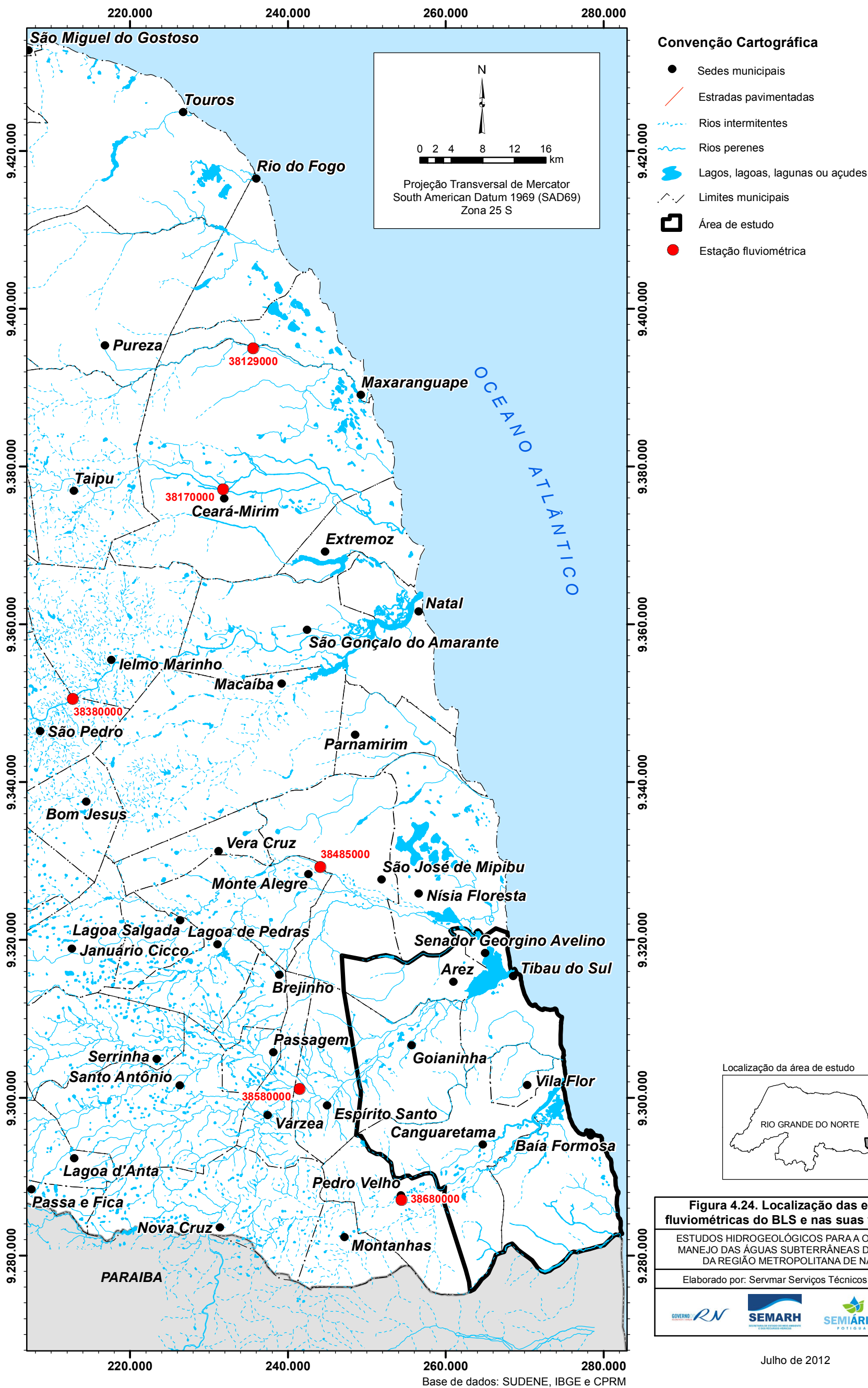
Na **Tabela 4.12** estão listadas todas as seis estações fluviométricas, contendo o período com dados, município, código e o órgão responsável pela operação.

| <b>Tabela 4.12. Estações fluviométricas instaladas na faixa leste do RN e adjacências</b> |                |               |              |                  |                 |                  |                    |                 |
|---|----------------|---------------|--------------|------------------|-----------------|------------------|--------------------|-----------------|
| <b>No</b>   | <b>Cód Nac</b> | <b>Nome</b>   | <b>Rio</b>   | <b>Município</b> | <b>Latitude</b> | <b>Longitude</b> | <b>Período</b>     | <b>Situação</b> |
| 1   | 38129000       | Dom Marcolino | Maxaranguape | Ceará-Mirim      | -5,4669         | -35,3882         | 11/1999<br>04/2012 | Operando        |
| 2   | 38170000       | Ceará-Mirim   | Ceará-Mirim  | Ceará-Mirim      | -5,6300         | -35,4214         | 6/1969<br>11/2008  | Operando        |
| 3   | 38380000       | Telha         | Potengi      | Ielmo Marinho    | -5,8694         | -35,5942         | 09/1972<br>03/2007 | Operando        |
| 4   | 38485000       | Monte Alegre  | Trairi       | Monte Alegre     | -6,0631         | -35,3119         | 07/1977<br>12/2008 | Operando        |
| 5   | 38580000       | Sítio Choar   | Jacu         | Várzea           | -6,3172         | -35,3367         | 01/2000<br>12/2008 | Operando        |
| 6   | 38680000       | Pedro Velho   | Curimataú    | Pedro Velho      | -6,4450         | -35,2206         | 01/1975<br>12/2008 | Operando        |

Cód Nac: Código Nacional; Período: período com dados disponíveis de monitoramento.

As **Tabelas 4.13 a 4.18** mostram os valores médios mensais das vazões observadas nas estações de Dom Marcolino, Ceará-Mirim, Telha, Monte Alegre, Sítio Choar e Pedro Velho, respectivamente.





| Tabela 4.13. Vazões médias observadas na estação Dom Marcolino (m³/s) |              |             |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |
|---|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Ano   | Jan          | Fev         | Mar          | Abr          | Mai          | Jun          | Jul          | Ago          | Set          | Out          | Nov          | Dez          |
| 2000  | 1,630        | 1,764       |              |              | 2,931        | 4,732        | 6,233        | 3,591        | 2,582        | 2,191        | 2,028        | 2,066        |
| 2001  | 1,928        | 1,764       | 1,980        | 2,913        | 1,950        | 2,885        | 2,566        | 2,196        | 2,028        | 1,730        | 1,664        | 1,680        |
| 2002  | 2,321        | 1,852       | 2,956        | 2,672        | 2,204        | 3,333        | 2,560        | 2,986        | 2,161        | 2,231        | 2,080        | 2,283        |
| 2003  | 2,122        | 2,573       | 4,099        | 2,972        | 2,412        | 2,936        | 2,616        | 2,207        | 2,074        | 1,759        | 1,649        | 1,627        |
| 2004  | 4,897        | 3,612       | 3,003        | 3,250        | 3,421        | 13,500       | 12,551       |              |              | 1,894        | 1,817        | 1,866        |
| 2005  | 1,814        | 1,743       | 3,157        | 2,151        | 5,483        | 11,901       | 6,702        | 2,523        | 2,799        | 2,043        | 1,952        | 1,665        |
| 2006  | 1,632        | 1,543       | 2,002        | 3,174        | 2,327        | 3,542        | 2,389        |              | 1,719        | 1,412        | 1,500        | 1,328        |
| 2007  | 1,523        | 1,808       | 1,688        | 2,003        | 2,077        | 4,104        | 2,092        | 1,852        | 1,729        | 1,221        | 1,186        | 1,759        |
| 2008  | 1,308        | 1,374       | 2,084        | 6,048        | 4,235        | 5,928        | 6,507        | 4,902        | 3,235        | 2,590        | 2,233        |              |
| <b>Média</b>  | <b>2,576</b> | <b>2,51</b> | <b>2,946</b> | <b>3,313</b> | <b>4,722</b> | <b>7,502</b> | <b>6,345</b> | <b>3,122</b> | <b>2,602</b> | <b>2,309</b> | <b>2,197</b> | <b>2,206</b> |

**Tabela 4.14. Vazões médias observadas na estação Ceará-Mirim (m³/s)**

| Ano  | Jan    | Fev    | Mar    | Abr     | Mai    | Jun    | Jul    | Ago   | Set   | Out    | Nov    | Dez    |
|------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 1969 |        |        |        |         |        |        | 0,555  | 0,940 | 0,197 | 0,080  | 0,059  | 0,041  |
| 1970 | 0,037  | 0,027  | 0,070  | 0,094   | 0,074  | 0,140  | 0,085  | 0,193 | 0,087 | 0,062  | 0,047  | 0,040  |
| 1971 | 0,082  | 0,098  | 0,093  | 0,354   | 1,540  | 0,842  | 0,479  | 0,803 | 0,145 | 0,135  | 0,109  | 0,010  |
| 1972 | 0,008  | 0,011  | 0,014  | 0,027   | 0,224  | 0,050  | 0,103  | 0,054 | 0,039 | 0,010  | 0,010  | 0,009  |
| 1973 | 0,016  | 0,146  | 4,030  | 8,200   | 7,460  | 7,390  | 2,750  | 0,144 | 0,087 | 0,054  | 0,010  | 0,010  |
| 1974 | 2,420  | 0,127  | 5,350  | 103,000 | 42,500 | 13,400 | 20,200 | 0,454 | 0,950 | 0,507  | 3,050  | 3,850  |
| 1975 | 1,750  | 3,160  | 3,030  | 2,820   | 3,250  | 3,630  | 2,340  | 1,780 | 1,550 | 1,420  | 1,330  | 1,190  |
| 1976 | 1,400  | 1,480  | 1,760  | 1,960   | 1,800  | 1,490  | 1,240  | 0,885 | 0,456 | 0,362  | 0,316  | 0,328  |
| 1977 | 0,463  | 0,548  | 0,535  | 2,300   | 3,420  | 8,170  | 7,070  | 3,710 | 2,600 | 2,320  | 2,270  | 2,330  |
| 1978 | 2,210  | 2,040  | 7,950  | 1,020   | 0,865  | 0,545  | 0,433  | 0,324 | 0,142 | 0,110  | 0,104  | 0,108  |
| 1979 | 0,109  | 0,107  | 0,119  | 0,114   | 0,115  | 0,120  | 0,107  | 0,104 | 0,121 | 0,105  | 0,105  | 0,107  |
| 1980 | 1,530  | 0,976  | 1,120  | 0,920   | 0,191  | 0,229  | 0,285  | 0,131 | 0,339 | 0,268  | 0,138  | 0,110  |
| 1981 | 0,097  | 0,841  | 4,000  | 42,400  | 1,190  | 1,020  | 0,713  | 4,580 | 4,620 | 3,960  | 3,800  | 4,390  |
| 1982 | 4,690  | 4,800  | 0,405  | 0,131   | 0,301  | 0,818  | 0,680  | 3,690 | 1,780 | 1,530  | 1,500  | 1,440  |
| 1983 | 1,570  | 1,990  | 2,020  | 1,580   | 1,200  | 0,110  | 0,065  | 0,499 | 2,650 | 0,793  | 0,096  | 1,260  |
| 1984 | 2,440  | 1,240  | 3,130  | 1,220   | 15,600 | 1,280  | 0,326  | 3,860 | 5,070 | 11,100 | 12,500 | 10,600 |
| 1985 | 14,800 | 25,600 | 68,800 | 142,000 | 48,600 | 4,240  | 5,700  | 2,930 | 3,240 | 1,630  | 5,630  | 7,670  |
| 1986 | 1,438  | 2,551  | 19,847 | 64,470  | 25,672 | 30,066 | 14,815 | 1,897 | 1,543 | 1,660  | 1,593  | 1,490  |
| 1987 | 1,636  | 1,616  | 5,411  | 6,481   | 0,972  | 3,708  | 3,377  | 1,766 | 1,628 | 1,230  | 1,057  | 1,504  |
| 1988 | 1,575  | 1,533  | 1,544  | 3,150   | 4,190  | 1,943  | 4,540  | 1,889 | 1,591 | 1,007  | 0,997  | 0,934  |

| Tabela 4.14. Vazões médias observadas na estação Ceará-Mirim (m³/s) – (continuação) |              |              |              |               |              |              |              |              |              |              |              |              |
|---|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Ano   | Jan          | Fev          | Mar          | Abr           | Mai          | Jun          | Jul          | Ago          | Set          | Out          | Nov          | Dez          |
| 1989  | 0,934        | 0,996        | 1,103        | 30,630        | 25,111       | 17,386       |              |              |              |              |              |              |
| 1990  |              |              |              |               |              |              |              |              |              |              |              |              |
| 1991  |              |              |              |               |              |              |              |              |              |              |              |              |
| 1992  |              |              |              |               |              |              |              |              |              |              |              |              |
| 1993  | 0,670        | 0,670        | 0,670        | 0,762         | 0,796        | 0,670        | 0,670        | 0,670        | 0,671        | 0,652        | 0,612        | 0,612        |
| 1994  | 0,847        | 0,969        | 0,786        | 1,007         | 1,053        | 25,502       | 8,971        | 2,885        | 2,489        | 3,123        | 3,150        | 3,150        |
| 1995  | 3,150        | 6,412        | 6,257        | 11,73         | 13,375       | 6,273        | 13,176       | 9,224        | 5,801        | 4,387        | 4,370        | 4,220        |
| 1996  | 2,099        | 1,183        | 1,670        | 2,341         | 2,501        | 2,401        | 2,368        | 2,368        | 3,067        | 2,561        | 3,114        | 3,150        |
| 1997  | 3,150        | 3,459        | 3,243        | 4,941         | 3,498        | 2,629        | 0,888        | 0,125        | 0,272        | 0,407        | 0,452        | 1,122        |
| 1998  | 0,560        | 0,129        | 0,023        | 0,034         | 0,062        | 0,079        | 10,888       | 4,717        | 0,644        | 0,891        | 1,177        | 1,308        |
| 1999  |              |              |              |               | 0,809        | 0,501        | 0,171        | 0,107        | 0,061        | 0,061        | 0,076        | 0,055        |
| 2000  | 0,087        | 0,164        | 0,209        | 0,258         | 0,437        | 4,315        | 18,227       | 4,722        | 2,313        | 0,824        | 1,647        | 2,354        |
| 2001  | 1,840        | 1,933        | 5,802        | 2,722         | 1,317        | 1,933        | 1,976        | 1,399        | 1,260        | 1,036        | 0,787        | 0,481        |
| 2002  | 0,896        | 0,733        | 2,125        | 1,695         | 0,887        | 0,824        | 0,286        | 0,335        | 0,311        | 0,223        | 0,223        | 0,443        |
| 2003  | 0,597        | 1,116        | 1,108        | 0,396         | 0,260        | 0,407        | 0,257        | 0,200        | 0,272        | 0,288        | 0,377        | 0,376        |
| 2004  | 22,496       | 70,258       | 6,253        | 5,355         | 6,516        | 11,104       | 18,343       | 4,135        | 3,731        | 3,392        | 3,420        | 3,644        |
| 2005  | 12,851       | 19,557       | 16,446       | 1,576         | 2,713        | 8,196        | 8,226        | 1,820        | 1,668        | 1,160        | 0,873        | 2,290        |
| 2006  | 2,740        | 2,279        | 2,390        | 2,279         | 0,882        | 0,013        | 0,140        | 0,547        | 0,448        | 0,981        | 1,232        | 1,223        |
| 2007  | 1,442        |              | 0,701        |               |              |              |              |              |              |              |              |              |
| 2008  |              |              |              |               |              |              | 23,831       | 56,99        | 6,020        | 2,672        | 1,231        |              |
| <b>Média</b>  | <b>2,724</b> | <b>4,811</b> | <b>5,236</b> | <b>13,575</b> | <b>6,452</b> | <b>4,748</b> | <b>4,980</b> | <b>3,454</b> | <b>1,653</b> | <b>1,457</b> | <b>1,642</b> | <b>1,819</b> |

**Tabela 4.15. Vazões médias observadas na estação Telha (m³/s)**

| Ano  | Jan   | Fev    | Mar    | Abr     | Mai    | Jun    | Jul    | Ago   | Set   | Out   | Nov   | Dez |
|------|-------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-----|
| 1972 |       |        |        |         |        |        |        |       | 0,025 | 0     | 0     | 0   |
| 1973 | 0     | 0,165  | 11,300 | 16,100  | 5,800  | 4,730  | 1,350  | 0,240 | 0,041 | 0,001 | 0     | 0   |
| 1974 | 5,150 | 8,210  | 90,40  |         |        | 4,970  | 37,700 | 1,510 | 0,327 | 0,126 | 0,010 | 0   |
| 1975 | 0     | 0      | 3,330  | 3,050   | 1,250  | 0,278  | 4,020  | 0,283 | 0     | 0     | 0     | 0   |
| 1976 | 0     | 3,200  | 3,810  | 2,370   | 0      | 0,070  | 0,032  | 0,019 | 0     | 0     | 0     | 0   |
| 1977 | 0     | 0      | 0      | 47,900  | 22,500 | 10,500 | 6,140  | 1,700 | 0,111 | 0,012 | 0     | 0   |
| 1978 | 0     | 0      | 2,580  | 1,640   | 0,880  | 0,010  | 0,523  | 0,024 | 0     | 0     | 0     | 0   |
| 1979 | 0     | 0,114  | 1,120  | 0,004   | 1,130  | 0,366  | 0,051  | 0,002 | 0     | 0     | 0     | 0   |
| 1980 | 0     | 8,610  | 3,430  | 0,571   | 0,109  | 0,025  | 0,006  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0   |
| 1981 | 0     | 0      | 55,700 | 20,600  | 1,080  | 0,218  | 0,006  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0   |
| 1982 | 0     | 0      | 0      | 0,245   | 1,390  | 0,345  | 0,216  | 0,052 | 0,003 | 0     | 0     | 0   |
| 1983 | 0     | 0      | 0      |         | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     | 0     | 0     | 0   |
| 1984 | 0     | 0      | 0      | 23,200  | 11,400 | 1,270  | 0,149  | 0,112 | 0,107 | 0,053 | 0,007 | 0   |
| 1985 | 0     | 14,900 | 24,200 | 113,000 | 21,500 | 2,280  | 2,480  | 1,310 | 0,028 | 0     | 0     | 0   |
| 1986 | 0     | 2,600  | 10,700 | 29,300  | 3,000  | 12,200 | 4,500  | 1,000 | 0,500 | 0,100 | 0,300 | 0   |
| 1987 | 0     | 0      | 0      | 2,760   | 0,278  | 0,538  | 0,747  | 0,023 | 0     | 0     | 0     | 0   |
| 1988 | 0     | 0      | 0,622  | 1,910   | 10,200 | 0,180  | 0,493  | 0,466 | 0,001 | 0     | 0     | 0   |
| 1989 | 0     | 0      | 0,029  | 51,500  | 14,900 | 1,310  | 8,670  | 0,073 | 0     | 0     | 0     | 0   |
| 1990 | 0     | 0      | 0      | 0       | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     | 0     | 0     | 0   |



| Tabela 4.15. Vazões médias observadas na estação Telha (m³/s) – (continuação) |              |              |              |               |              |              |              |              |              |              |              |              |
|---|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Ano   | Jan          | Fev          | Mar          | Abr           | Mai          | Jun          | Jul          | Ago          | Set          | Out          | Nov          | Dez          |
| 1991  | 0            | 0            | 0            | 0             | 0            | 0,189        | 0,073        | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| 1992  | 0            | 0            | 0            | 6,710         | 0,310        | 0,044        | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| 1993  | 0            | 0            | 0            | 0             | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| 1994  | 0            | 0            | 0            | 7,730         | 3,520        | 9,390        | 15,700       | 0,499        | 0,017        | 0            | 0            | 0            |
| 1995  | 0            | 0            | 0            | 0             | 2,760        | 7,930        | 1,630        | 0,105        | 0            | 0            | 0            | 0            |
| 1996  | 0            | 0            | 0            | 14,600        | 0,536        | 0,583        | 0,023        | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| 1997  |              |              |              | 2,312         | 3,013        | 0,243        |              | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| 1998  | 0            | 0            | 0            | 0             | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| 1999  | 0            | 0            | 0            | 0             | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| 2000  | 0            | 0            | 0            | 0,722         | 0,016        | 0,433        | 14,753       | 2,109        | 0,002        | 0            | 0            | 0            |
| 2001  | 0            | 0            | 0            | 0,532         | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| 2002  | 0,093        | 0            | 0            | 0             | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| 2003  |              |              |              |               |              |              |              |              |              |              |              |              |
| 2004  | 34,700       | 60,202       | 3,372        | 1,163         | 1,622        | 2,228        | 4,424        | 0,521        | 0,106        | 0,005        | 0,014        | 0            |
| 2005  | 0,280        | 0,355        | 0,269        | 0,143         | 1,855        | 12,680       | 3,531        |              |              |              |              |              |
| 2006  | 0,663        | 0,122        | 1,102        | 4,286         | 15,825       | 5,043        | 3,824        | 4,187        | 5,037        | 4,872        | 5,206        | 5,194        |
| 2007  | 5,563        | 1,320        |              |               |              |              |              |              |              |              |              |              |
| <b>Média</b>  | <b>1,408</b> | <b>3,024</b> | <b>6,624</b> | <b>11,366</b> | <b>3,902</b> | <b>2,365</b> | <b>3,470</b> | <b>0,445</b> | <b>0,191</b> | <b>0,157</b> | <b>0,168</b> | <b>0,157</b> |

| Tabela 4.16. Vazões médias observadas na estação Monte Alegre (m³/s) |       |       |        |        |        |        |       |       |       |       |       |       |
|--|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ano  | Jan   | Fev   | Mar    | Abr    | Mai    | Jun    | Jul   | Ago   | Set   | Out   | Nov   | Dez   |
| 1977   |       |       |        |        |        |        |       | 3,130 | 0,585 | 0,336 | 0,256 | 0,242 |
| 1978   | 0,181 | 0,473 | 0,706  | 1,640  | 6,720  | 2,340  | 7,040 | 2,720 | 0,361 | 0,183 | 0,277 | 0,282 |
| 1979   | 0,093 | 0,456 | 0,373  | 0,333  | 1,060  | 0,738  | 0,335 | 0,083 | 0,088 | 0,084 | 0,282 | 2,030 |
| 1980   | 1,730 | 1,030 | 0,292  | 0,113  | 0,153  | 0,359  | 0,235 | 0,074 | 0,044 | 0,042 | 0,116 | 0,105 |
| 1981   | 0,135 | 0,327 | 64,500 | 58,700 | 2,860  | 2,320  | 1,910 | 0,351 | 0,212 | 0,181 | 0,179 | 0,215 |
| 1982   | 0,041 | 0,048 | 0,051  | 0,047  | 0,189  | 0,323  | 0,466 | 0,220 | 0,113 | 0,074 | 0,057 | 0,061 |
| 1983   | 0,048 | 0,085 | 0,099  | 0,168  | 0,182  | 0,160  | 0,180 | 0,115 | 0,079 | 0,016 | 0     | 0     |
| 1984   | 0     | 0     | 2,660  | 12,000 | 25,500 | 0,874  | 0,648 | 0,251 | 0,583 | 0,007 | 0,004 | 0,013 |
| 1985   | 0,042 | 8,740 | 18,500 | 87,400 | 38,300 | 1,360  | 6,780 | 1,530 | 0,152 | 0,075 | 0,068 | 0,067 |
| 1986   | 0,056 | 0,627 | 16,473 | 18,828 | 10,370 | 9,229  | 5,341 | 1,754 | 0,534 | 0,254 | 0,270 | 0,193 |
| 1987   | 0,128 | 0,290 | 0,528  | 4,660  | 0,657  | 0,989  | 2,769 | 0,479 | 0,194 | 0,131 | 0,109 | 0,095 |
| 1988   | 0,161 | 1,186 | 1,188  | 1,091  | 4,010  | 0,901  | 3,601 | 3,377 | 1,202 | 0,114 | 0,075 | 0,224 |
| 1989   | 0,199 | 0,040 | 0,195  | 12,817 | 7,716  | 1,361  | 2,363 | 1,120 | 0,562 | 0,449 | 0,391 | 0,550 |
| 1990   | 0,341 | 0,462 | 0,301  | 0,519  | 1,030  | 2,011  | 0,259 | 1,101 | 0,064 | 0,080 | 0,035 | 0,014 |
| 1991   | 0,035 | 0,385 | 0,597  | 0,686  | 0,380  | 0,920  | 0,186 | 0,052 | 0,014 | 0,035 | 0,090 | 0,035 |
| 1992   | 0,071 | 1,191 | 2,211  | 8,808  | 0,906  | 2,364  | 1,127 | 0,625 | 0,180 | 0,239 | 0,193 | 0,160 |
| 1993   | 0,242 | 0,123 | 0,290  | 0,194  | 0,081  | 0,140  | 0,666 | 0,085 | 0,043 | 0,054 | 0,028 |       |
| 1994   |       | 0,531 | 0,258  | 2,169  | 5,757  | 21,363 | 23,23 | 2,286 | 0,542 | 0,109 | 0,082 | 0,102 |

**Tabela 4.16. Vazões médias observadas na estação Monte Alegre (m³/s) – (continuação)**

| Ano          | Jan          | Fev          | Mar          | Abr          | Mai          | Jun          | Jul          | Ago          | Set          | Out          | Nov          | Dez          |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1995         | 0,081        | 0,104        | 0,169        | 1,376        | 2,826        | 1,153        | 8,477        | 1,122        | 0,197        | 0,082        | 0,036        | 0,024        |
| 1996         | 0,056        | 0,024        | 1,695        | 10,980       | 8,540        | 0,972        | 0,329        | 0,269        | 0,112        | 0,560        | 0,483        | 0,037        |
| 1997         | 0,040        | 0,119        | 0,146        | 7,454        | 3,373        | 0,412        |              | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| 1998         |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |
| 1999         |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |
| 2000         | 4,423        | 4,856        | 0,672        | 5,775        | 1,148        |              | 20,475       | 8,460        |              |              | 0,251        | 0,348        |
| 2001         |              | 0            |              | 0,347        |              | 0,479        | 0,422        | 0,127        |              | 0            |              |              |
| 2002         | 0,288        | 0,440        | 0,483        | 0,253        | 0,265        | 1,174        | 0,873        | 1,199        | 0,200        | 0,036        | 1,308        | 1,778        |
| 2003         | 1,543        | 2,220        |              | 0,970        | 0,214        | 0,837        | 0,529        | 0,548        | 0,289        | 0,072        | 0,037        | 1,996        |
| 2004         |              |              | 45,894       | 12,546       |              |              | 2,672        | 1,384        |              | 0,556        | 0,409        | 0,254        |
| 2005         | 0,242        | 0,251        | 0,193        | 0,321        |              |              | 4,164        | 0,637        | 0,197        | 0,045        | 0,011        | 0,004        |
| 2006         | 0            | 0,008        | 0,078        | 0,154        |              |              |              |              |              | 0,011        | 0,015        | 0,027        |
| 2007         | 0,154        | 0,073        | 0,270        | 0,869        | 1,442        | 20,283       | 1,910        | 0,282        | 0,060        | 0            | 0,001        | 0            |
| 2008         |              |              |              | 0,263        | 0,293        |              | 7,908        | 8,608        | 2,148        | 0,216        | 0,023        |              |
| <b>Média</b> | <b>0,413</b> | <b>0,892</b> | <b>6,108</b> | <b>8,672</b> | <b>4,959</b> | <b>3,044</b> | <b>3,885</b> | <b>1,448</b> | <b>0,337</b> | <b>0,139</b> | <b>0,175</b> | <b>0,328</b> |

**Tabela 4.17. Vazões médias observadas na estação Sítio Choar (m³/s)**

| Ano          | Jan      | Fev          | Mar          | Abr          | Mai          | Jun          | Jul         | Ago          | Set          | Out          | Nov      | Dez      |
|--------------|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|----------|----------|
| 2000         |          |              | 0,883        | 5,660        | 2,855        | 5,062        | 40,752      | 10,745       | 2,724        | 0,062        |          |          |
| 2001         |          |              |              |              | 0,092        | 0,261        | 0,170       |              |              |              |          |          |
| 2002         |          |              |              |              |              |              |             |              |              |              |          |          |
| 2003         |          |              |              | 1,303        | 0,599        | 2,265        | 0,973       | 0,269        | 0,048        |              |          |          |
| 2004         |          | 43,300       |              | 1,396        |              | 3,995        | 7,625       | 0,324        | 0,143        |              | 0        | 0        |
| 2005         | 0        | 0            | 0            | 0            |              | 8,733        | 0,738       | 0,292        |              | 0            | 0        | 0        |
| 2006         | 0        | 0            | 0            | 0,192        | 0,302        | 0,553        | 0,525       | 0,461        | 0,053        | 0            | 0        | 0        |
| 2007         | 0        | 0            | 0            | 0,891        | 0,892        |              | 0,856       | 0,093        | 0            | 0            | 0        | 0        |
| 2008         | 0        | 0            |              | 14,979       | 9,880        | 3,971        | 6,280       | 7,701        | 0,706        | 0,027        | 0        |          |
| 2009         |          |              | 0,883        | 5,660        | 2,855        | 5,062        | 40,752      | 10,745       | 2,724        | 0,062        |          |          |
| <b>Média</b> | <b>0</b> | <b>8,660</b> | <b>0,221</b> | <b>3,489</b> | <b>2,437</b> | <b>3,549</b> | <b>7,24</b> | <b>2,841</b> | <b>0,612</b> | <b>0,018</b> | <b>0</b> | <b>0</b> |

**Tabela 4.18. Vazões médias observadas na estação Pedro Velho (m³/s)**

| Ano  | Jan   | Fev    | Mar    | Abr    | Mai    | Jun    | Jul    | Ago    | Set   | Out   | Nov   | Dez   |
|------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 1975 | 0,884 | 0,202  | 0,729  | 0,057  | 2,000  | 3,820  | 14,700 | 2,730  | 1,460 | 0,112 | 0     | 0,085 |
| 1976 | 0,002 | 0,527  | 3,210  | 10,600 | 4,330  | 8,890  | 4,320  | 2,310  | 0,092 | 0,062 | 2,725 | 2,596 |
| 1977 | 0,091 | 0,118  | 0,171  | 8,000  | 15,200 | 7,050  | 8,770  | 3,340  | 0,788 | 0,205 | 0,076 | 0,036 |
| 1978 | 0,044 | 0,142  | 1,070  | 9,510  | 14,600 | 1,440  | 13,900 | 5,590  | 1,060 | 0,397 | 0,572 | 0,747 |
| 1979 | 0,305 | 0,279  | 0,293  | 0,261  | 0,693  | 1,090  | 1,230  | 0,338  | 1,520 | 0,097 | 0,017 | 0     |
| 1980 | 0,067 | 0,206  | 0,475  | 0,328  | 0,331  | 1,930  | 0,098  | 0      | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 1981 | 0     | 0      | 68,300 | 26,200 | 1,600  | 0,969  | 0,106  | 0,035  | 0,012 | 0     | 0     | 0     |
| 1982 | 0     | 0      | 0,001  | 0,108  | 1,420  | 2,440  | 1,460  | 0,627  | 0,981 | 0,021 | 0,001 | 0     |
| 1983 | 0     | 1,470  | 0,005  | 0      | 0,078  | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 1984 | 0     | 0      | 1,640  |        |        | 4,330  | 5,540  | 2,500  | 2,850 | 0,309 | 0,096 | 0     |
| 1985 | 0,002 | 27,100 | 43,500 | 98,700 | 16,500 | 6,560  | 7,380  | 7,570  | 0,750 | 0,091 | 0,012 | 0,003 |
| 1986 | 1,300 | 11,300 | 47,000 | 25,000 | 11,300 | 21,400 | 13,800 | 7,770  | 2,970 | 1,120 | 1,230 | 0,768 |
| 1987 | 0,137 | 0      | 5,880  | 14,100 | 2,050  | 9,570  | 18,900 | 2,090  | 0,845 | 0,114 | 0     | 0     |
| 1988 | 0     | 0      | 7,750  | 6,180  | 6,250  | 0,851  | 6,310  | 7,730  | 0,890 | 0,010 | 0,004 | 0,007 |
| 1989 | 0,116 | 0,006  | 1,060  | 52,200 | 14,900 | 6,430  | 8,900  | 1,380  | 0,547 | 0,072 | 0,086 | 1,842 |
| 1990 | 0     | 0      | 0      | 0      | 9,080  | 12,800 | 3,080  | 10,200 | 0,346 | 0,049 | 0     | 0     |
| 1991 | 0     | 0      | 0,620  | 0,402  | 0,960  | 1,560  | 0,198  | 0      | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 1992 | 0,038 | 2,660  | 6,570  | 16,700 | 1,790  | 11,100 | 6,090  | 2,250  | 0,445 | 0,023 | 0,003 | 0,002 |



**Tabela 4.18. Vazões médias observadas na estação Pedro Velho (m³/s) – (continuação)**

| Ano          | Jan          | Fev         | Mar          | Abr          | Mai          | Jun          | Jul          | Ago          | Set          | Out          | Nov          | Dez          |
|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1993         | 0,002        | 0           | 0            | 0,059        | 0,103        | 0,362        | 0,520        | 0,078        | 0,001        | 0            | 0            | 0            |
| 1994         | 0,212        | 0,409       | 1,710        | 4,950        | 2,870        | 36,100       | 52,900       | 5,000        | 0,581        | 0,034        | 0,010        | 0,014        |
| 1995         | 0,011        | 0,026       | 0            | 2,450        | 1,030        | 1,380        | 11,500       | 2,930        | 0,083        | 0            | 0            | 0            |
| 1996         | 0            | 0           | 1,780        | 7,930        | 5,780        | 1,250        | 0,500        | 0,150        | 0,075        | 0            | 0            | 0            |
| 1997         | 0            | 0           | 0,346        | 4,370        | 10,700       | 1,310        | 0,432        | 0,027        | 0            | 0            | 0            | 0            |
| 1998         | 0            | 0           | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0,080        | 0            | 0            | 0            | 0            |
| 1999         | 0            | 0,071       | 1,750        | 0,211        | 0,582        | 0,310        | 0,039        | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| 2000         | 0            | 12,647      | 0,964        | 6,553        | 2,225        | 6,592        | 53,696       | 17,486       | 11,269       | 0,881        | 0,097        | 0,127        |
| 2001         | 0            | 0           | 0,008        | 0,130        | 0,020        | 0,042        | 0,014        | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| 2002         | 0,216        | 0,157       | 0,595        | 0,650        |              | 2,266        | 1,865        | 0,334        | 0            | 0            | 0            | 0            |
| 2003         |              |             | 9,795        | 3,133        | 1,635        | 4,457        | 2,628        | 0,788        | 0,285        | 0,079        | 0,029        |              |
| 2004         | 65,393       | 8,600       | 1,485        | 8,179        | 3,942        | 7,188        | 9,866        | 2,289        | 0,047        | 0,006        | 0            | 0            |
| 2005         | 0,008        | 0,015       | 0,088        | 0,070        | 0,448        | 16,095       | 3,635        | 0,710        | 0,416        | 0,138        | 0,018        | 0            |
| 2006         | 0            | 0           | 0,635        | 1,651        | 1,676        | 1,140        | 1,138        | 1,222        | 0,674        | 0,103        | 0            | 0            |
| 2007         | 0            | 0           | 0,287        | 1,578        | 3,095        | 28,710       | 3,908        | 1,686        | 1,489        | 0,338        | 0,329        | 0            |
| 2008         | 0,356        |             |              | 14,181       | 8,752        | 5,059        | 5,685        | 8,101        | 1,099        |              | 0            |              |
| <b>Média</b> | <b>2,096</b> | <b>2,06</b> | <b>6,294</b> | <b>9,832</b> | <b>4,561</b> | <b>6,309</b> | <b>7,738</b> | <b>2,863</b> | <b>0,929</b> | <b>0,129</b> | <b>0,156</b> | <b>0,195</b> |

#### 4.3.3 Monitoramento das vazões – seleção das seções

Em atendimento aos Termos de Referência (TDR) deste estudo foi realizado o monitoramento de 18 (dezoito) seções com medição de vazões nos principais rios inseridos na área de estudo, por um período de 6 meses (dezembro de 2011 a junho de 2012), totalizando 108 determinações de vazões, com o objetivo de se caracterizar a curva de recessão. Ressalva-se que os TDR previam a medição em doze seções, entretanto, optou-se pela medição de 6 seções a mais que as previstas, objetivando um melhor entendimento da dinâmica das águas superficiais na área de estudo.

A metodologia para a definição das seções ocorreu através da utilização das seguintes ferramentas: mapa geológico do Estado na escala 1:500.000, mapa planialtimétrico e da rede de drenagem na escala 1:100.000 e imagens do *Google Earth*<sup>®</sup>. As imagens foram superpostas em Sistema Geográfico de Informação e, em seguida, foram locadas 30 seções fluviométricas a serem visitadas.

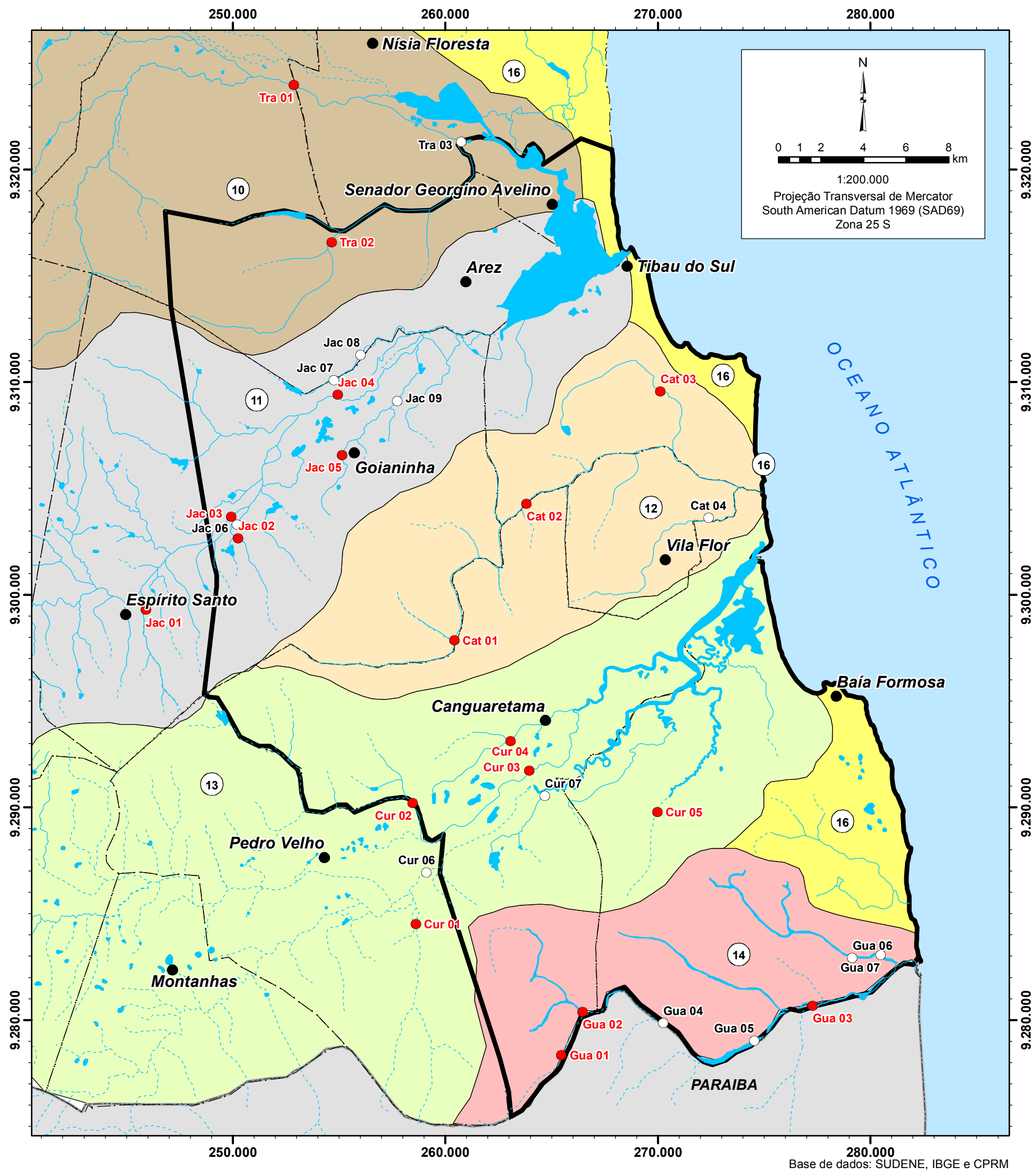
As seções visitadas foram assim distribuídas (**Figura 4.25**): 03 (três) na bacia hidrográfica do Trairi, 09 (nove) no Jacu, 04 (quatro) no Catu, 07 (sete) no Curimataú e 07 (sete) no Guaju, selecionadas a partir dos seguintes critérios:

- trecho retilíneo do rio;
- facilidade de acesso;
- sem a interferência de fluxo da maré;
- apresentando velocidade de fluxo em todas as seções verticais;
- sem áreas alagadas (brejo).

Após essa fase foi feita uma visita *in loco* para ver as condições hidráulicas e hidrológicas de cada seção fluviométrica, e feita uma análise técnica de cada uma, conforme segue:

##### Bacia do rio Trairi

Nesta bacia foram visitadas três seções, de montante para jusante, uma no rio Trairi na BR-101, seção denominada Tra 01, e duas no rio Baldum, afluente do rio Trairi pela margem direita, próximas a BR-101 e a RN-002, denominadas respectivamente de Tra 02 e Tra 03, conforme espacialização mostrada na **Figura 4.25**.



Convenção Cartográfica

- Sedes municipais
- ~ Cursos d'água
- ~ Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- /- Limites municipais
- ▭ Área de estudo
- Seções medidas
- Seções não medidas

Bacias Hidrográficas

- 10 - Bacia do rio Trairi
- 11 - Bacia do rio Jacu
- 12 - Bacia do rio Catu
- 13 - Bacia do rio Curimataú
- 14 - Bacia do rio Guaju
- 16 - Bacia leste de escoamento difuso

Localização da área de estudo



Figura 4.25. Localização das seções fluviométricas visitadas no BLS

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO LITORAL SUL DA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL (BLS)

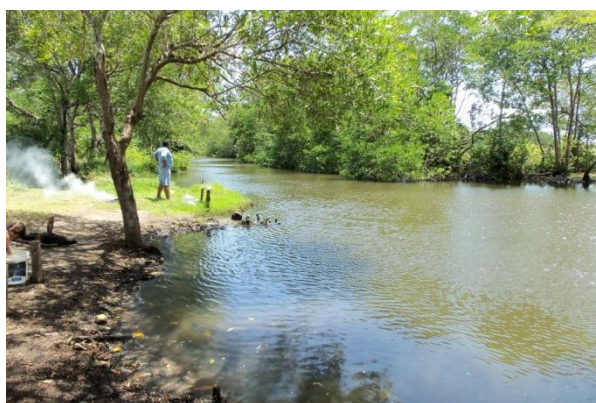
Elaborado por: Servmar Serviços Técnicos Ambientais



Julho de 2012

Dentre as seções visitadas, a seção Tra 03, foi eliminada do monitoramento por não apresentar os critérios hidráulicos para medição de vazão, tais como influência de maré, com presença de vegetação típica de mangue e trecho de rio sem velocidade uniforme ao longo da seção transversal, conforme ilustram as **Fotos 1 e 2**. Desse modo, foram selecionadas nessa bacia apenas as seções Tra 01, situada na BR-101, e Tra 02, situada no rio Baldum, também na BR-101. As **Fotos 3 a 6** mostram as seções fluviométricas escolhidas para realizar o monitoramento das vazões e na **Tabela 4.19** estão às coordenadas em UTM das seções escolhidas para realizar as medições de vazões.

| Tabela 4.19. Localização das seções de medição de vazões na bacia Trairi |           |         |
|--|-----------|---------|
| Seções   | Coord N   | Coord E |
| Rio Trairi na BR-101 – (Tra 01)  | 9.323.983 | 252.864 |
| Rio Baldum na BR-101 – (Tra 02)  | 9.316.579 | 254.627 |

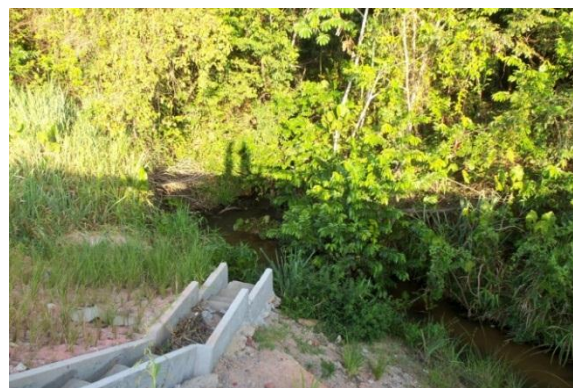


**Fotos 1 e 2. Seção Tra 03 eliminada do monitoramento de vazões**



**Fotos 3 e 4. Seção de medição no rio Trairi na BR-101 (Tra 01)**





**Fotos 5 e 6. Seção de medição no rio Baldum na BR-101 (Tra 02)**

### Bacia do rio Jacu

Nesta bacia foram visitadas nove seções, de montante para jusante, assim descritas: uma no riacho Salto, afluente pela margem direita do rio Jacu, seção denominada de Jac 01; duas no riacho das Pedras, afluente pela margem direita do rio Jacu, denominadas de Jac 02 e Jac 06; uma no rio Jacu, seção denominada de Jac 03; duas no riacho Limoal, afluente pela esquerda do rio Jacu, uma próxima a BR-101, denominada de Jac 07, e outra a jusante da Jac 07, na comunidade Canetá, denominada de Jac 08; uma no rio Jacu na altura da BR-101, seção denominada de Jac 04; e duas no rio Guariba, afluente pela direita do rio Jacu, denominadas de Jac 05 e Jac 09, conforme mostra a espacialização das seções na **Figura 4.25**.

Das seções visitadas, não foram selecionadas: a seção Jac 06, por não apresentar fluxo de água (**Fotos 7 e 8**); e as seções Jac 07, Jac 08 e Jac 09 por apresentarem uma grande quantidade de vegetação no seu leito e suas margens e por não ter velocidade de escoamento ao longo das seções transversais (**Fotos 9 e 10**). Na **Tabela 4.20** estão as coordenadas UTM das seções selecionadas para o monitoramento das vazões e as **Fotos 11 a 21** mostram as seções definidas para realizar as medições de vazões.



**Fotos 7 e 8. Seção Jac 06 eliminada do monitoramento no riacho das Pedras**





**Fotos 9, 10 e 11. Seções excluídas do monitoramento de vazões na bacia do rio Jacu (Jac 07-BR-101, Jac 08 e Jac 09, respectivamente)**

| Tabela 4.20. Localização das seções de medição de vazões na bacia do rio Jacu |           |         |
|---|-----------|---------|
| Seções  | Coord N   | Coord E |
| Rio Salto – (Jac 01)  | 9.299.301 | 245.887 |
| Riacho das Pedras – (Jac 02)  | 9.302.663 | 250.232 |
| Rio Jacu – (Jac 03)   | 9.303.664 | 249.914 |
| Rio Jacu na BR-101 – (Jac 04)   | 9.309.421 | 254.919 |
| Rio Guariba em Goianinha – (Jac 05)   | 9.306.568 | 255.119 |



**Fotos 12 e 13. Seção de medição no riacho das Pedras (Jac 02)**





**Fotos 14 e 15. Seção de medição no rio Jacu (Jac 03)**



**Fotos 16 e 17. Seção de medição no rio Jacu na BR-101 (Jac 04)**



**Fotos 18 e 19. Seção de medição riacho Salto (Jac 01)**



**Fotos 20 e 21. Seção de medição rio Guaríba em Goianinha (Jac 05)**



## Bacia do rio Catu

Nesta bacia foram visitadas 04 seções, de montante para jusante: uma no rio Catu na BR-101, denominada Cat 01; uma no rio Catu, na comunidade Catu da Tarumã, denominada de Cat 02; uma no afluente pela margem esquerda do rio Catu, seção denominada de Cat 03; e uma no rio Angelim, afluente pela margem direita do rio Catu, seção denominada de Cat 04, conforme mostra a espacialização das seções visitadas na **Figura 4.25**.

Destas, a seção Cat 04 foi eliminada por apresentar muita vegetação típica de mangue, tanto no leito como nas margens, influência de maré e uma captação para abastecimento de viveiros de camarão, conforme ilustram as **Fotos 22 e 23**. A **Tabela 4.21** mostra as coordenadas em UTM das seções escolhidas para medir vazões e as **Fotos 24 a 29** mostram as referidas seções de medições de vazões.



**Fotos 22 e 23. Seção Cat 04 no rio Angelim excluída do monitoramento de vazões**

**Tabela 4.21. Localização das seções de medição de vazões na bacia do rio Catu**

| Seções                           | Coord N   | Coord E |
|----------------------------------|-----------|---------|
| Rio Catu na BR-101 – (Cat 01)    | 9.297.865 | 260.404 |
| Rio Catu no Balneário – (Cat 02) | 9.304.284 | 263.803 |
| Afluente do rio Catu – (Cat 03)  | 9.309.567 | 270.102 |



**Fotos 24 e 25. Seção Cat 01 no rio Catu na BR-101**





**Fotos 26 e 27. Seção Cat 02 no rio Catu na comunidade Catu da Tarumã**



**Fotos 28 e 29. Seção Cat 03 no afluyente pela margem esquerda do rio Catu**

#### Bacia do rio Curimataú

Nesta bacia foram visitadas sete seções: uma no riacho da Nascença, afluyente pela margem direita do rio Curimataú, denominada Cur 01; uma no rio Curimataú, seção denominada Cur 06; uma no riacho Piquiri na RN-269, afluyente pela margem esquerda do rio Curimataú, denominada de Cur 02; uma no riacho Espinha na BR-101, afluyente pela margem esquerda do rio Curimataú, denominada de Cur 03; uma no riacho Levada na BR-101, afluyente pela margem direita do rio Curimataú, seção denominada de Cur 07; uma no rio Pituaçu na BR-101, afluyente pela margem esquerda do rio Curimataú, denominada de Cur 04; e por fim uma no riacho Guaratuba na RN-062, afluyente pela margem direita do rio Curimataú, denominada de Cur 05, conforme mostra a espacialização das seções visitadas na **Figura 4.25**.

Destas, foram eliminadas as seções Cur 06, por estar próxima a seção Cur 01, e a Cur 07, por não apresentar velocidade de fluxo de água nas seções ao longo das transversais, conforme demonstram as **Fotos 30 e 31**. A **Tabela 4.22** mostra as coordenadas UTM das seções de medições e as **Fotos 32 a 41** mostram as seções selecionadas para as medições de vazões.





**Fotos 30 e 31. Seção Cur 07 no rio Levada na BR-101 eliminada na triagem**



**Fotos 32 e 33. Seção de medição no riacho Nascença (Cur 01)**



**Fotos 34 e 35. Seção de medição no rio Piquiri na RN 269 (Cur 02)**





**Fotos 36 e 37. Seção de medição no riacho Espinha na BR-101 (Cur 03)**



**Fotos 38 e 39. Seção de medição no rio Pituaçu na BR-101 (Cur 04)**



**Fotos 40 e 41. Seção de medição no rio Guaratuba na RN 062 (Cur 05)**

| Tabela 4.22. Localização das seções de medição de vazões na bacia do rio Curimataú |           |         |
|--|-----------|---------|
| Seções   | Coord N   | Coord E |
| Rio Nascente – (Cur 01)  | 9.284.508 | 258.594 |
| Rio Piquiri na RN 269 – (Cur 02)   | 9.290.213 | 258.445 |
| Rio Espinha na BR-101 – (Cur 03)   | 9.291.726 | 263.932 |
| Rio Pituaçu na BR-101 – (Cur 04)   | 9.293.119 | 263.049 |
| Rio Guaratuba na RN 062 – (Cur 05)   | 9.289.787 | 269.961 |

### Bacia do rio Guaju

Nesta bacia foram visitadas sete seções: cinco no rio Guaju, uma na nascente (Gua 01), uma na altura da BR-101 (Gua 02), uma na comunidade de Sagi (Gua 03), uma na comunidade do Gonzaga (Gua 04) e uma na comunidade de Baixa Verde (Gua 05); duas no rio Pau Brasil, afluente pela margem esquerda do rio Guaju, denominadas Gua 06 e Gua 07, conforme mostra a espacialização das seções visitadas na **Figura 4.25**.

Das seções visitadas, foram eliminadas as seções Gua 04, Gua 05 e Gua 06 por apresentar grande quantidade de vegetação no leito e nas margens, trecho alagado (formando um brejo), sem definição das margens da seção transversal; bem como a seção Gua 07, por apresentar influência de maré, com presença de vegetação típica de mangue, conforme **Fotos 42 a 45**. A **Tabela 4.23** mostra as coordenadas em UTM das seções de medições e as **Fotos 46 a 51** mostram as seções de medições de vazões.



Seção Gua 04



Seção Gua 05

**Fotos 42 e 43. Seções do rio Guaju (Gua 04) e (Gua 05) eliminadas na triagem**





Seção Gua 06



Seção Gua 07

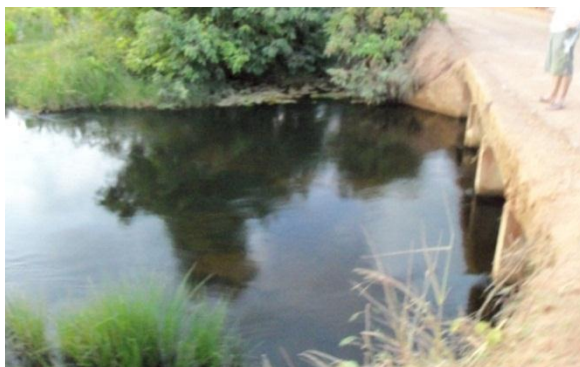
**Fotos 44 e 45. Seções no rio Pau Brasil (Gua 06) e (Gua 07) eliminadas na triagem**



**Fotos 46 e 47. Seção de medição na nascente do rio Guaju (Gua 01)**



**Fotos 48 e 49. Seção de medição no rio Guaju na BR-101 (Gua 02)**



**Fotos 50 e 51. Seção de medição no rio Guaju em Sagi (Gua 03)**

**Tabela 4.23. Localização das seções de medição de vazões na bacia do rio Guaju**

| Seções                           | Coord N   | Coord E |
|----------------------------------|-----------|---------|
| Nascente do rio Guaju – (Gua 01) | 9.278.348 | 265.434 |
| Rio Guaju na BR-101 – (Gua 02)   | 9.280.388 | 266.444 |
| Rio Guaju em Sagi – (Gua 03)     | 9.280.678 | 277.268 |

Após a análise de cada seção chegou-se a um total de 18 seções, assim distribuídas: duas na bacia hidrográfica Trairi, cinco na Jacu, três na Catu, cinco na Curimataú e três na Guaju. Adicionalmente e conforme prevê o Termo de Referência essas seções foram submetidas a apreciação da SEMARH, tendo sido aprovadas, ficando um total de 18 seções de medições de vazões, distribuída espacialmente por bacia hidrográfica conforme mostra a **Figura 4.26**.

#### 4.3.4 Monitoramento das vazões – caracterização das bacias hidrográficas das seções selecionadas

A metodologia de avaliação hidrológica adotada considerou a delimitação da bacia hidrográfica para cada seção de monitoramento selecionada. Essa atividade foi desenvolvida em sistema de informações georreferenciadas, utilizando-se como base de trabalho as cartas planialtimétricas da SUDENE digitalizadas na escala 1:100.000 e gerando um arquivo do tipo *shape* para cada bacia hidrográfica, conforme mostra a **Figura 4.26**.

Para cada bacia hidrográfica definida foi calculada as principais características físicas, tais como: a área, o perímetro, o comprimento do rio principal, o fator de forma e o coeficiente de compacidade, conforme listados na **Tabela 4.24**.

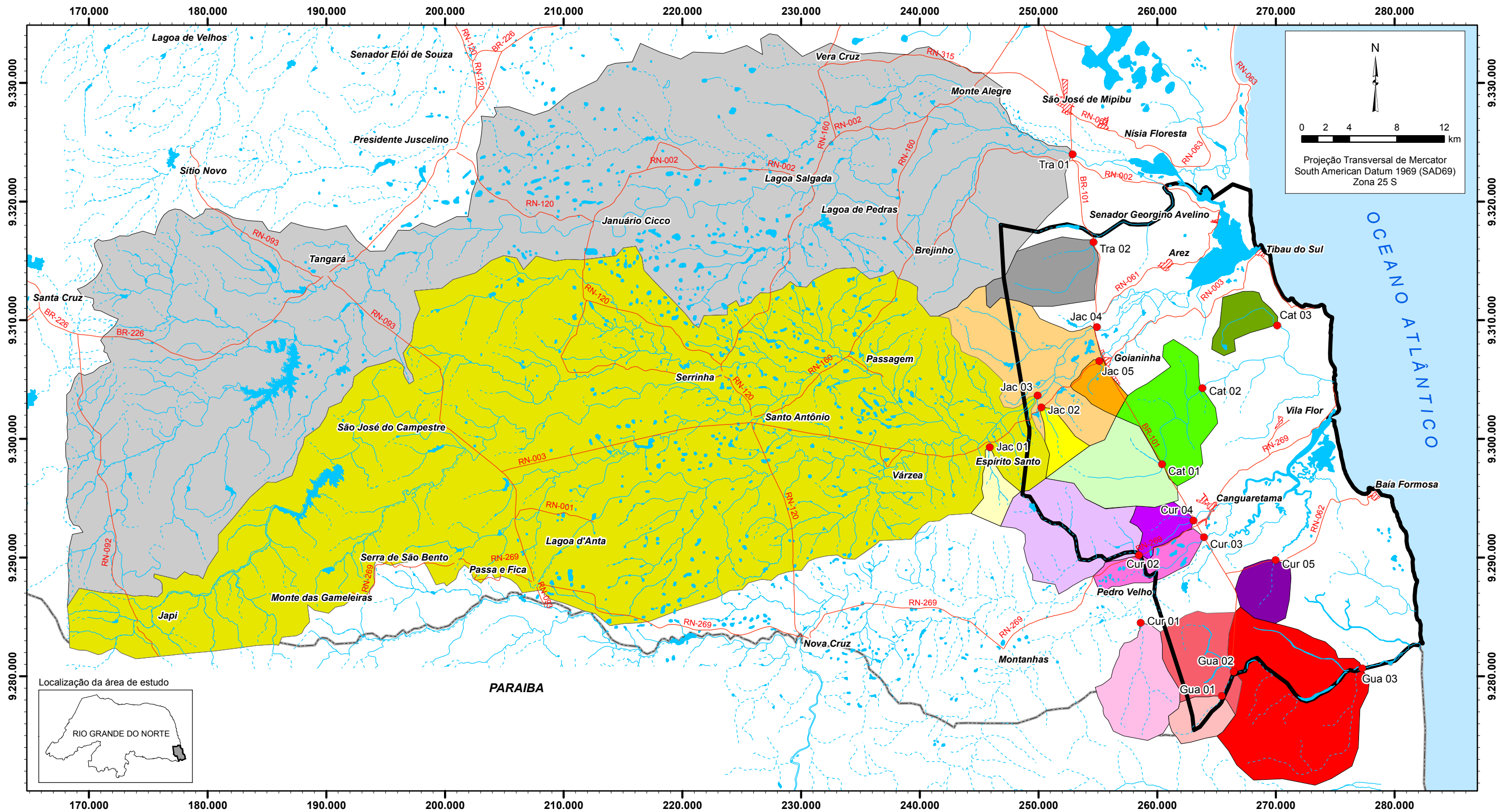
**Tabela 4.24. Características físicas das bacias hidrográficas nas seções**

| Seções | Rio               | Área <sup>1</sup> | Perím. <sup>2</sup> | FF     | CC     | CT       |
|--------|-------------------|-------------------|---------------------|--------|--------|----------|
| Tra 01 | Trairi            | 2.725,21          | 378,7679            | 0,0879 | 2,0316 | 176,0000 |
| Tra 02 | Baldum            | 40,9568           | 27,1424             | 0,4117 | 1,1875 | 9,9736   |
| Jac 01 | Riacho Salto      | 12,5306           | 17,2091             | 0,3854 | 1,3612 | 5,7023   |
| Jac 02 | Riacho das Pedras | 11,3256           | 16,1766             | 0,4001 | 1,3459 | 5,3207   |
| Jac 03 | Jacu              | 2.597,65          | 403,5352            | 0,0811 | 2,2169 | 179,0000 |
| Jac 04 | Jacu              | 2.709,79          | 415,5089            | 0,0775 | 2,2350 | 187,0000 |
| Jac 05 | Guariba           | 12,2043           | 14,1748             | 0,7944 | 1,1361 | 3,9196   |
| Cat 01 | Catu              | 47,0636           | 29,7068             | 0,5736 | 1,2125 | 9,0584   |
| Cat 02 | Catu              | 101,9442          | 46,9127             | 0,2966 | 1,3010 | 18,5400  |
| Cat 03 | Afluente Catu     | 17,0989           | 18,0159             | 0,2653 | 1,2199 | 8,0275   |
| Cur 01 | Nascença          | 43,3999           | 28,6258             | 0,4368 | 1,2167 | 9,9681   |
| Cur 02 | Piquiri           | 67,6203           | 36,2982             | 0,3586 | 1,2360 | 13,7327  |
| Cur 03 | Espinha           | 21,1109           | 23,5225             | 0,0424 | 1,4335 | 22,3233  |
| Cur 04 | Pituassu          | 15,0303           | 17,1756             | 0,4928 | 1,2405 | 5,5227   |
| Cur 05 | Guaratuba         | 19,6689           | 16,2699             | 1,0246 | 1,0272 | 4,3814   |
| Gua 01 | da Volta          | 16,0869           | 15,2846             | 0,4942 | 1,0670 | 5,7055   |
| Gua 02 | Guaju             | 55,2609           | 31,9916             | 0,8860 | 1,2050 | 7,8975   |
| Gua 03 | Guaju             | 191,3237          | 56,3459             | 0,4100 | 1,1406 | 21,6029  |

1- Área de contribuição da bacia (km<sup>2</sup>);

2- Perímetro da bacia (km); FF: Fator de Forma; CC: Coeficiente de Compacidade; CT: Comprimento do Talvegue (km).





#### Convenção Cartográfica

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

#### Área de contribuição das seções medidas

##### Bacia do rio Catu

- Seção Cat 01
- Seção Cat 02
- Seção Cat 03

##### Bacia do rio Trairi

- Seção Tra 01
- Seção Tra 02

##### Bacia do rio Curimatau

- Seção Cur 01
- Seção Cur 02
- Seção Cur 03
- Seção Cur 04
- Seção Cur 05

##### Bacia do rio Jacu

- Seção Jac 01
- Seção Jac 02
- Seção Jac 03
- Seção Jac 04
- Seção Jac 05

##### Bacia do rio Guaju

- Seção Gua 01
- Seção Gua 02
- Seção Gua 03

Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM

#### Figura 4.26. Bacias hidrográficas das seções monitoradas no Bloco Litoral Sul

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO  
MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO LITORAL SUL  
DA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL (LS/RMN)

Elaborado por: Servmar Serviços Técnicos Ambientais



Julho de 2012

### Bacia do rio Trairi

A área do BLS compreende apenas o baixo curso do rio Trairi, conforme **Figura 4.26** com a seção Tra 01, apresentando uma área de drenagem de 2.725,2121 km<sup>2</sup>, sendo, portanto, inferior a área total da bacia, uma vez que o exutório da bacia Trairi é mais a jusante da seção de medição de vazão.

A bacia da seção Tra 01 tem um coeficiente de compacidade de 2,0316 e um fator de forma de 0,0879, o que confere a essa bacia uma forma bastante alongada, com pouca tendência a enchentes. No entanto, o resultado destes parâmetros físicos deve ser analisado com cautela, pois aproximadamente 85% desta bacia estão assente sobre solos rasos e embasamento cristalino, o que produz muito escoamento superficial. Mesmo estando na região semiárida, se tem observado alguns eventos isolados e esporádicos de enchentes, em anos com precipitação pluviométrica acima da média.

A bacia de contribuição na seção Tra 02, mostra parâmetros que indicam ser esta uma bacia com tendência a enchentes. No entanto, de acordo com SERHID (1998), os solos desta bacia são arenosos e estão assentados sobre sedimentos da formação Barreiras e aluvionares, que contribuem para redução no escoamento superficial, fazendo com que esta bacia não apresente registro de episódios de cheias.

### Bacia do rio Jacu

A área do BLS compreende apenas parte da bacia Jacu, conforme **Figura 4.26**, com o exutório da seção mais a jusante Jac 04 não coincidindo com o exutório da bacia.

As bacias formadas pelas seções de monitoramento Jac 01 e Jac 02 apresentam um coeficiente de compacidade de 1,3612 e 1,3459 respectivamente e fator de forma inferior a 0,4001, o que confere a essas bacias uma forma alongada, e com pouca tendência a enchentes. A baixa possibilidade de enchentes também é favorecida pelos solos arenosos locais que possuem elevada capacidade de infiltração, reduzindo as taxas de escoamento superficial. Essa característica é presente em toda a extensão de ocorrência da formação Barreiras, como é o caso das bacias em discussão.

Com relação às bacias formadas pelas seções Jac 03 e Jac 04, o coeficiente de compacidade foi superior a 2,2 e o fator de forma inferior a 0,08, o que confere a essas bacias uma forma bastante alongada, e com pouca ou nenhuma tendência a enchentes. Essas seções estão no próprio rio Jacu, que tem sua nascente no semiárido, com solos rasos e embasamento cristalino, favorecendo ao escoamento superficial. Este fato pode ser constatado na seção fluviométrica Monte Alegre

(38485000), mesmo apresentando vazões médias mensais nulas, indicando o caráter efêmero dos rios destas bacias, mostra a ocorrência, mesmo de forma esporádica, de eventos de enchentes.

A seção Jac 05 apresentou coeficiente de compacidade de 1,1361 e fator de forma 0,7944, indicando ser uma bacia, de forma que se assemelha a uma circunferência. Analisando esses números pode imaginar que a bacia apresenta uma tendência a enchentes, no entanto, a mesma está assente sobre solos de formações sedimentares com predominância de solos aluvionares e do grupo Barreiras, que apresentam uma elevada taxa de infiltração, com redução do escoamento superficial. Assim a bacia de fato, apresenta baixa tendência a enchentes. As características de solo e geologia proporciona uma predominância do escoamento de base, fazendo com que os rios da bacia sejam perenes nesta região denominada de área úmida.

#### Bacia do rio Catu

A área do BLS compreende toda a bacia, conforme **Figura 4.26**, com a seção mais a jusante Cat 02 do rio Catu, não coincidindo com o exutório da bacia Catu, por essa razão é que a área da bacia na seção fluviométrica Cat 02, que é de 101,9442 km<sup>2</sup>, é inferior a área total da bacia.

As bacias formadas pelas três seções de monitoramento apresentam um coeficiente de compacidade variando entre 1,2167 a 1,3010 e fator de forma variando de 0,2653 a 0,4368, conferindo a essa bacia uma forma que se aproxima de uma circunferência. Mesmo assim, essas bacias não apresentam tendência a enchentes, por estarem assente sobre solos sedimentares, com predominância da formação Barreiras e aluvionar, apresentando uma elevada taxa de velocidade de infiltração, tendo como consequências, uma redução no escoamento superficial, um aumento na recarga do aquífero e predominância do escoamento de base, fazendo com que os rios da bacia sejam perenes.

#### Bacia do rio Curimataú

A área do BLS não compreende toda a bacia e as seções de medições de vazões foram todas locadas nos afluentes do rio Curimataú, conforme mostra a **Figura 4.26**.

As bacias formadas pelas seções de monitoramento Cur 01, Cur 02 e Cur 04, apresentaram um coeficiente de compacidade da ordem de 1,2 e fator de forma superior a 0,3 e inferior a 0,50, o que confere a essas bacias uma forma pouca alongada, e com tendência de pouca a moderada a enchentes. Já a bacia da seção Cur 03, apresenta um coeficiente de compacidade inferior a 1,40 e fator de forma 0,0424, o que confere a essa bacia uma forma bem alongada, com nenhuma

tendência a enchentes e, por fim, a seção Cur 05 apresenta um coeficiente de compacidade próximo a unidade e fator de forma elevado superior a 1,0, o que confere a essa bacia uma forma bem próxima a uma circunferência e uma forte tendência a enchentes. No entanto, essa tendência não se confirma devido às características de solo e geologia já descritas para as demais bacias da área de estudo.

#### Bacia do rio Guaju

A área do BLS não compreende toda a bacia, pois a bacia tem sua nascente no estado da Paraíba, tendo a seção fluviométrica mais a jusante do rio Guaju (Gua 03) não coincide com o exutório da bacia Guaju, fazendo com que a área na seção Gua 03, que é de 191,3237 km<sup>2</sup>, seja superior a área da bacia na porção do estado do Rio Grande do Norte.

As bacias formadas pelas três seções de monitoramento, conforme **Figura 4.26**, apresentaram um coeficiente de compacidade inferior a 1,20 e fator de forma inferior a 0,90, o que confere a essas bacias uma forma próxima de uma circunferência e, portanto, com uma tendência elevada de enchentes, fato esse não observado, pelas mesmas razões apontadas para as demais bacias da área.

#### 4.3.5 Monitoramento das vazões – Resultados e Discussões

Conforme apresentado anteriormente, foram selecionadas 18 seções para realizar o monitoramento de vazões, **Figura 4.26**, com base em critérios hidráulicos e geométricos, procurando sempre um trecho de rio reto, com velocidade de fluxo estável e de fácil acesso para realizar o monitoramento das vazões afluentes.

Em cada uma das seções de monitoramento selecionadas, foram realizadas 06 (seis) campanhas mensais de medições de vazões, no período de dezembro/2011 a junho/2012, utilizando micromolinete modelo Mini e de número de série 8019. O micromolinete utilizado apresenta duas equações para calcular a velocidade do fluxo, para as seguintes condições:

$$\begin{aligned} N \leq 0,6808 & \Rightarrow V = 0,00982167 + 0,27745998N \\ N \geq 0,6808 & \Rightarrow V = 0,00177608 + 0,28927764N \end{aligned}$$

Onde:

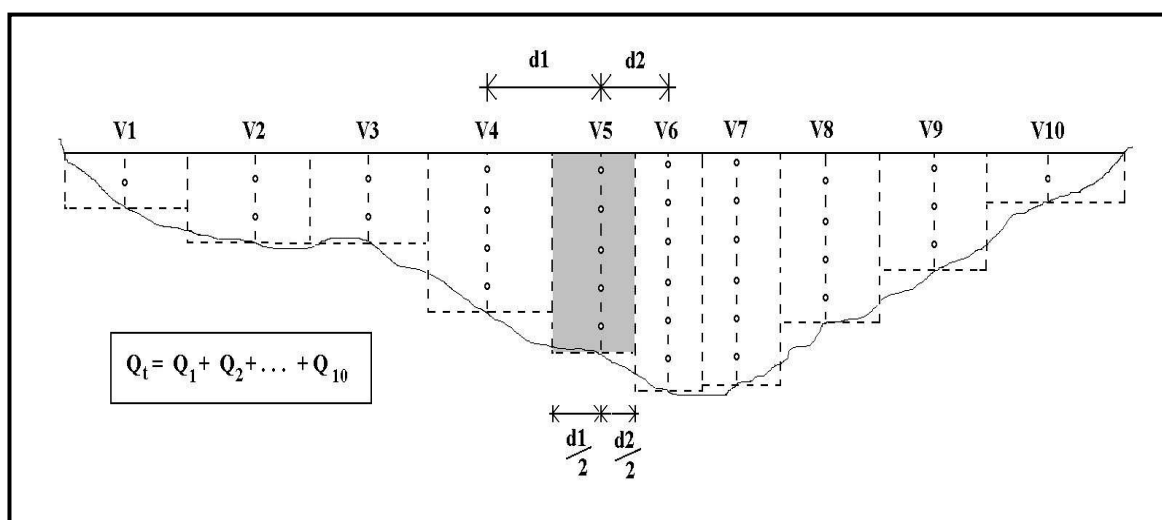
$N$  é a quantidade de rotações por segundo e;

$V$  a velocidade média do fluxo em m/s.

A metodologia utilizada para calcular a vazão em cada seção constou dos seguintes passos:



- A seção de medição foi dividida em “n” verticais, para medir as velocidades de fluxo, em função da largura de cada seção, onde no mínimo teria quatro verticais, com espaçamento variando de 0,30 a 2,00 m. A forma de medição escolhida foi a vau, devido ao fato da lâmina d’água no rio ser inferior a 1,20 m. A profundidade do nível d’água nas verticais foi medida através de uma régua graduada em milímetros e em cada vertical foram medidas as velocidades de fluxo a 60% da profundidade, quando a lâmina d’água era inferior a 60 cm e a 80% e 20% da profundidade se a lâmina de água fosse superior a 60 cm;
- A velocidade média em cada vertical ( $V_i$ ) foi calculada pela média aritmética das velocidades medidas a 20 e a 80% da profundidade e quando a velocidade era medida a 60% da profundidade, essa passava a ser a velocidade média da vertical;
- A área ( $A_i$ ) de cada vertical foi calculada pelo método da meia seção, determinada como sendo o produto da profundidade da vertical pela soma das semidistâncias das verticais adjacentes, como mostra a **Figura 4.27**;
- a vazão em cada vertical ( $Q_i$ ) foi calculada como sendo o produto da área em cada vertical ( $A_i$ ) pela velocidade média da vertical ( $V_i$ );
- A vazão total ( $Q$ ) na seção de medição foi calculada como sendo o somatório das vazões calculadas em cada vertical ( $Q_i$ ), como mostra a **Figura 4.27**;
- A profundidade média ( $P$ ) da seção de medição foi calculada como sendo a relação entre a área total da seção e a largura total;
- A velocidade média ( $V$ ) da seção de medição foi calculada como sendo a relação entre a vazão total e a área total.



**Figura 4.27. Ilustração do método da Meia Seção**

A **Tabela 4.25** apresenta os resultados das 06 (seis) campanhas de medições de vazões em cada uma das 18 (dezoito) seções de monitoramento das vazões,

realizadas entre dezembro de 2011 e junho de 2012, como também mostra os principais parâmetros hidráulicos e os seus respectivos valores médios para cada seção.

| Tabela 4.25. Dados do monitoramento de vazões nas seções do BLS |            |             |          |              |              |                        |              |                           |
|---|------------|-------------|----------|--------------|--------------|------------------------|--------------|---------------------------|
| Seções  | Dia        | Hora início | Hora fim | Largura (m)  | Prof. (m)    | Área (m <sup>2</sup> ) | Vel. (m/s)   | Vazão (m <sup>3</sup> /s) |
| Tra 01  | 30/12/2011 | 17:00       | 17:40    | 12,15        | 0,469        | 5,694                  | 0,223        | 1,2702                    |
|   | 04/02/2012 | 08:30       | 09:00    | 8,3          | 0,382        | 3,174                  | 0,122        | 0,39                      |
|   | 04/03/2012 | 07:02       | 07:45    | 10,75        | 0,524        | 5,63                   | 0,203        | 1,147                     |
|   | 25/03/2012 | 07:40       | 08:00    | 13           | 0,452        | 5,875                  | 0,166        | 0,9777                    |
|   | 15/05/2012 | 16:10       | 16:26    | 10,5         | 0,174        | 1,825                  | 0,139        | 0,2548                    |
|   | 09/06/2012 | 17:20       | 17:42    | 14           | 0,46         | 6,445                  | 0,27         | 1,7454                    |
| <b>Média</b>  |            |             |          | <b>11,45</b> | <b>0,41</b>  | <b>4,774</b>           | <b>0,187</b> | <b>0,9642</b>             |
| Tra 02  | 05/01/2012 | 07:08       | 07:31    | 4,15         | 0,181        | 0,751                  | 0,733        | 0,5512                    |
|   | 04/02/2012 | 07:00       | 07:15    | 4,06         | 0,173        | 0,703                  | 0,968        | 0,681                     |
|   | 04/03/2012 | 08:15       | 08:35    | 3,93         | 0,179        | 0,704                  | 1,173        | 0,8269                    |
|   | 25/03/2012 | 08:15       | 08:25    | 4            | 0,193        | 0,77                   | 0,786        | 0,6053                    |
|   | 12/05/2012 | 06:37       | 06:52    | 3,8          | 0,192        | 0,731                  | 0,698        | 0,5103                    |
|   | 07/06/2012 | 09:23       | 09:34    | 4,85         | 0,289        | 1,402                  | 1,005        | 1,4103                    |
| <b>Média</b>  |            |             |          | <b>4,13</b>  | <b>0,201</b> | <b>0,844</b>           | <b>0,894</b> | <b>0,7642</b>             |
| Jac 01  | 30/12/2011 | 13:38       | 14:10    | 1,2          | 0,08         | 0,096                  | 0,393        | 0,0377                    |
|   | 04/03/2012 | 11:40       | 11:53    | 3,29         | 0,153        | 0,502                  | 0,047        | 0,0236                    |
|   | 25/03/2012 | 10:20       | 10:40    | 1            | 0,05         | 0,05                   | 0,367        | 0,0183                    |
|   | 12/05/2012 | 08:03       | 08:17    | 1,1          | 0,141        | 0,155                  | 0,116        | 0,018                     |
|   | 07/06/2012 | 10:20       | 10:33    | 4,8          | 0,463        | 2,22                   | 0,13         | 0,2889                    |
| <b>Média</b>  |            |             |          | <b>2,28</b>  | <b>0,177</b> | <b>0,605</b>           | <b>0,211</b> | <b>0,0773</b>             |
| Jac 02  | 23/12/2011 | 08:00       | 08:35    | 5,77         | 0,082        | 0,472                  | 0,286        | 0,1356                    |
|   | 04/02/2012 | 11:30       | 11:55    | 6,94         | 0,138        | 0,957                  | 0,104        | 0,0997                    |
|   | 04/03/2012 | 10:22       | 10:34    | 8            | 0,183        | 1,46                   | 0,099        | 0,1445                    |
|   | 25/03/2012 | 11:05       | 11:27    | 6,3          | 0,083        | 0,523                  | 0,206        | 0,1077                    |
|   | 12/05/2012 | 08:27       | 08:40    | 8            | 0,151        | 1,21                   | 0,08         | 0,0978                    |
|   | 07/06/2012 | 08:00       | 08:35    | 7,8          | 0,355        | 2,772                  | 0,139        | 0,3854                    |
| <b>Média</b>  |            |             |          | <b>7,14</b>  | <b>0,165</b> | <b>1,232</b>           | <b>0,152</b> | <b>0,1618</b>             |
| Jac 03  | 23/12/2011 | 09:00       | 09:20    | 8,35         | 0,091        | 0,764                  | 0,433        | 0,3308                    |
|   | 04/02/2012 | 12:12       | 12:30    | 5,3          | 0,091        | 0,484                  | 0,804        | 0,3895                    |
|   | 04/03/2012 | 10:57       | 11:09    | 6,19         | 0,141        | 0,869                  | 0,832        | 0,7239                    |
|   | 25/03/2012 | 11:50       | 12:05    | 8            | 0,115        | 0,92                   | 0,6          | 0,552                     |
|   | 12/05/2012 | 08:48       | 09:05    | 4,3          | 0,078        | 0,336                  | 0,151        | 0,051                     |
|   | 07/06/2012 | 11:41       | 11:55    | 7,9          | 0,256        | 2,019                  | 0,753        | 1,5214                    |
| <b>Média</b>  |            |             |          | <b>6,67</b>  | <b>0,129</b> | <b>0,899</b>           | <b>0,596</b> | <b>0,5948</b>             |
| Jac 04  | 30/12/2011 | 14:40       | 15:08    | 4,2          | 0,098        | 0,412                  | 1,211        | 0,4997                    |
|   | 04/02/2012 | 10:05       | 10:30    | 4,72         | 0,093        | 0,44                   | 0,526        | 0,232                     |
|   | 04/03/2012 | 08:56       | 15:08    | 8,35         | 0,137        | 1,147                  | 0,977        | 1,1216                    |
|   | 25/03/2012 | 08:40       | 09:00    | 4,8          | 0,94         | 0,452                  | 1,166        | 0,5273                    |
|   | 12/05/2012 | 07:05       | 07:20    | 5            | 0,052        | 0,26                   | 0,545        | 0,1418                    |
|   | 09/06/2012 | 10:17       | 10:34    | 7,8          | 0,171        | 1,331                  | 0,456        | 0,6071                    |
| <b>Média</b>  |            |             |          | <b>5,81</b>  | <b>0,249</b> | <b>0,674</b>           | <b>0,814</b> | <b>0,5216</b>             |
| Jac 05  | 05/01/2012 | 08:10       | 08:33    | 2,85         | 0,099        | 0,281                  | 0,274        | 0,0771                    |
|   | 04/02/2012 | 10:50       | 11:18    | 2,65         | 0,17         | 0,451                  | 0,201        | 0,0906                    |
|   | 04/03/2012 | 09:48       | 10:08    | 3,43         | 0,122        | 0,366                  | 0,219        | 0,0802                    |
|   | 25/03/2012 | 09:30       | 09:45    | 3            | 0,115        | 0,345                  | 0,27         | 0,0932                    |
|   | 12/05/2012 | 07:36       | 07:49    | 3            | 0,087        | 0,26                   | 0,106        | 0,0276                    |
|   | 07/06/2012 | 09:54       | 10:07    | 3,5          | 0,33         | 1,155                  | 0,242        | 0,2804                    |
| <b>Média</b>  |            |             |          | <b>3,07</b>  | <b>0,154</b> | <b>0,476</b>           | <b>0,219</b> | <b>0,1082</b>             |
| Cat 01  | 05/01/2012 | 13:00       | 13:38    | 8,8          | 0,241        | 2,125                  | 0,525        | 1,1158                    |
|   | 05/02/2012 | 12:35       | 13:05    | 9,8          | 0,249        | 2,436                  | 0,486        | 1,1849                    |
|   | 06/03/2012 | 13:40       | 14:05    | 9,8          | 0,266        | 2,398                  | 0,484        | 1,1626                    |
|   | 29/03/2012 | 12:00       | 12:20    | 9            | 0,22         | 1,98                   | 0,502        | 0,9949                    |
|   | 12/05/2012 | 14:15       | 14:32    | 8            | 0,239        | 1,91                   | 0,342        | 0,655                     |
|   | 09/06/2012 | 15:02       | 15:18    | 7,5          | 0,234        | 1,755                  | 0,594        | 1,0433                    |
| <b>Média</b>  |            |             |          | <b>8,82</b>  | <b>0,242</b> | <b>2,101</b>           | <b>0,489</b> | <b>1,0261</b>             |

| Tabela 4.25. Dados do monitoramento de vazões nas seções do BLS (continuação) |            |             |          |              |              |              |              |               |
|---|------------|-------------|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| Seções  | Dia        | Hora início | Hora fim | Largura (m)  | Prof. (m)    | Área (m²)    | Vel. (m/s)   | Vazão (m³/s)  |
| Cat 02  | 30/12/2011 | 09:00       | 09:35    | 6,55         | 0,44         | 2,883        | 0,861        | 2,4831        |
|   | 05/02/2012 | 13:40       | 14:15    | 6,6          | 0,484        | 3,192        | 1,004        | 3,2073        |
|   | 06/03/2012 | 14:30       | 14:50    | 6,3          | 0,438        | 2,762        | 1,055        | 2,9165        |
|   | 29/03/2012 | 14:00       | 14:25    | 6,5          | 0,449        | 2,917        | 0,897        | 2,6179        |
|   | 12/05/2012 | 14:50       | 15:12    | 7            | 0,394        | 2,76         | 0,88         | 2,4311        |
|   | 09/06/2012 | 15:38       | 16:00    | 6,55         | 0,448        | 2,933        | 1,155        | 3,3882        |
| <b>Média</b>  |            |             |          | <b>6,58</b>  | <b>0,442</b> | <b>2,908</b> | <b>0,975</b> | <b>2,8407</b> |
| Cat 03  | 30/12/2011 | 10:06       | 10:31    | 3,35         | 0,131        | 0,437        | 1,19         | 0,5207        |
|   | 05/02/2012 | 15:00       | 15:35    | 5,2          | 0,195        | 1,014        | 0,388        | 0,394         |
|   | 06/03/2012 | 15:40       | 16:05    | 5            | 0,156        | 0,78         | 0,506        | 0,3949        |
|   | 29/03/2012 | 15:00       | 15:20    | 4            | 0,125        | 0,5          | 0,937        | 0,4686        |
|   | 12/05/2012 | 16:10       | 16:28    | 4,5          | 0,179        | 0,807        | 0,158        | 0,1279        |
|   | 09/06/2012 | 16:40       | 16:55    | 4,6          | 0,15         | 0,688        | 0,396        | 0,2728        |
| <b>Média</b>  |            |             |          | <b>4,44</b>  | <b>0,156</b> | <b>0,704</b> | <b>0,596</b> | <b>0,3632</b> |
| Cur 01  | 23/12/2011 | 14:00       | 14:36    | 2,65         | 0,292        | 0,772        | 0,762        | 0,5895        |
|   | 04/02/2012 | 16:15       | 16:40    | 2,4          | 0,32         | 0,768        | 0,846        | 0,6502        |
|   | 04/03/2012 | 14:50       | 15:03    | 2,5          | 0,298        | 0,745        | 0,745        | 0,5557        |
|   | 25/03/2012 | 16:00       | 16:15    | 2,5          | 0,298        | 0,745        | 0,796        | 0,5935        |
|   | 12/05/2012 | 14:00       | 14:36    | 2,35         | 0,242        | 0,568        | 0,427        | 0,2428        |
|   | 09/06/2012 | 12:21       | 12:31    | 2,5          | 0,36         | 0,9          | 0,869        | 0,7829        |
| <b>Média</b>  |            |             |          | <b>2,48</b>  | <b>0,302</b> | <b>0,75</b>  | <b>0,741</b> | <b>0,5691</b> |
| Cur 02  | 23/12/2011 | 10:10       | 10:40    | 4,65         | 0,332        | 1,545        | 0,794        | 1,2268        |
|   | 04/02/2012 | 14:30       | 14:57    | 7,3          | 0,539        | 3,934        | 0,316        | 1,2441        |
|   | 04/03/2012 | 13:38       | 13:48    | 5,7          | 0,324        | 1,845        | 0,641        | 1,1841        |
|   | 25/03/2012 | 14:30       | 14:48    | 5            | 0,33         | 1,65         | 0,665        | 1,0977        |
|   | 12/05/2012 | 10:20       | 10:40    | 4,8          | 0,326        | 1,565        | 0,616        | 0,9642        |
|   | 09/06/2012 | 11:16       | 11:27    | 3,4          | 0,482        | 1,639        | 0,59         | 0,9686        |
| <b>Média</b>  |            |             |          | <b>5,14</b>  | <b>0,389</b> | <b>2,03</b>  | <b>0,604</b> | <b>1,1143</b> |
| Cur 03  | 05/01/2012 | 13:40       | 14:30    | 9            | 0,241        | 2,17         | 0,471        | 1,0231        |
|   | 05/02/2012 | 11:10       | 11:45    | 9,74         | 0,263        | 2,562        | 0,447        | 1,1478        |
|   | 06/03/2012 |             |          | 10,5         | 0,296        | 3,105        | 0,323        | 1,0037        |
|   | 12/05/2012 | 11:35       | 11:45    | 9,45         | 0,219        | 2,069        | 0,503        | 1,0416        |
|   | 09/06/2012 | 14:37       | 14:49    | 12,3         | 0,201        | 2,475        | 0,481        | 1,1931        |
| <b>Média</b>  |            |             |          | <b>10,2</b>  | <b>0,244</b> | <b>2,476</b> | <b>0,445</b> | <b>1,0819</b> |
| Cur 04  | 05/01/2012 | 09:00       | 09:36    | 3,3          | 0,23         | 0,759        | 0,331        | 0,2515        |
|   | 04/02/2012 | 13:40       | 14:05    | 4,83         | 0,449        | 2,166        | 0,176        | 0,3802        |
|   | 04/03/2012 | 13:13       | 13:21    | 5            | 0,4          | 2            | 0,116        | 0,232         |
|   | 25/03/2012 | 13:30       | 13:50    | 5,4          | 0,456        | 2,462        | 0,167        | 0,4114        |
|   | 12/05/2012 | 09:48       | 10:07    | 4,9          | 0,467        | 2,289        | 0,04         | 0,0927        |
|   | 07/06/2012 | 12:45       | 12:56    | 7,5          | 0,409        | 2,86         | 0,244        | 0,6979        |
| <b>Média</b>  |            |             |          | <b>5,16</b>  | <b>0,402</b> | <b>2,089</b> | <b>0,179</b> | <b>0,3443</b> |
| Cur 05  | 07/02/2012 | 14:00       | 14:35    | 6            | 0,328        | 1,97         | 0,263        | 0,5197        |
|   | 06/03/2012 | 11:00       | 11:18    | 6,55         | 0,365        | 2,389        | 0,34         | 0,8137        |
|   | 29/03/2012 | 11:00       | 11:20    | 6,8          | 0,308        | 2,093        | 0,323        | 0,6765        |
|   | 12/05/2012 | 13:41       | 13:56    | 5,85         | 0,324        | 1,895        | 0,247        | 0,4693        |
|   | 09/06/2012 | 14:17       | 14:28    | 6,3          | 0,33         | 2,081        | 0,29         | 0,6053        |
| <b>Média</b>  |            |             |          | <b>6,3</b>   | <b>0,331</b> | <b>2,086</b> | <b>0,293</b> | <b>0,6169</b> |
| Gua 01  | 05/01/2012 | 11:22       | 11:51    | 4,8          | 0,169        | 0,813        | 0,903        | 0,7338        |
|   | 05/02/2012 | 11:22       | 11:51    | 4,82         | 0,18         | 0,866        | 0,898        | 0,7792        |
|   | 04/03/2012 | 16:23       | 16:45    | 4,4          | 0,149        | 0,656        | 1,186        | 0,7779        |
|   | 29/03/2012 | 08:35       | 08:50    | 4,95         | 0,171        | 0,845        | 0,766        | 0,6478        |
|   | 12/05/2012 | 12:23       | 12:35    | 4,5          | 0,147        | 0,663        | 0,781        | 0,5171        |
|   | 07/06/2012 | 13:27       | 13:41    | 5            | 0,25         | 1,25         | 0,747        | 0,9333        |
| <b>Média</b>  |            |             |          | <b>4,75</b>  | <b>0,178</b> | <b>0,849</b> | <b>0,88</b>  | <b>0,7315</b> |
| Gua 02  | 23/12/2011 | 15:30       | 16:10    | 15,6         | 0,233        | 3,63         | 0,561        | 2,0378        |
|   | 05/02/2012 | 08:00       | 08:40    | 13,75        | 0,219        | 3,01         | 0,63         | 1,897         |
|   | 04/03/2012 | 15:34       | 16:15    | 14,29        | 0,207        | 2,965        | 0,707        | 2,0964        |
|   | 29/03/2012 | 08:00       | 08:20    | 15           | 0,216        | 3,24         | 0,59         | 1,9127        |
|   | 12/05/2012 | 11:52       | 12:10    | 14,8         | 0,194        | 2,876        | 0,416        | 1,1971        |
|   | 09/06/2012 | 13:06       | 13:19    | 16,4         | 0,203        | 3,336        | 0,596        | 1,991         |
| <b>Média</b>  |            |             |          | <b>14,97</b> | <b>0,212</b> | <b>3,176</b> | <b>0,583</b> | <b>1,8553</b> |

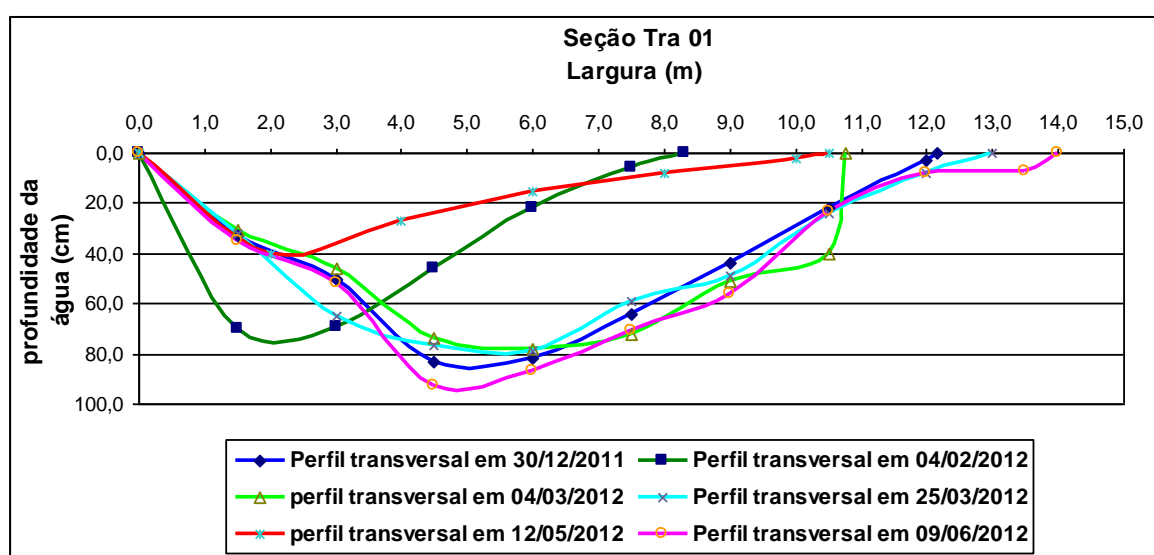
| Tabela 4.25. Dados do monitoramento de vazões nas seções do BLS (continuação) |            |             |          |             |              |                        |              |                           |
|---|------------|-------------|----------|-------------|--------------|------------------------|--------------|---------------------------|
| Seções  | Dia        | Hora início | Hora fim | Largura (m) | Prof. (m)    | Área (m <sup>2</sup> ) | Vel. (m/s)   | Vazão (m <sup>3</sup> /s) |
| Gua 03  | 23/12/2011 | 17:30       | 18:00    | 10          | 0,752        | 7,52                   | 1,119        | 8,4157                    |
|   | 05/02/2012 | 09:50       | 10:35    | 10          | 0,846        | 8,46                   | 0,986        | 8,3403                    |
|   | 06/03/2012 | 10:20       | 10:55    | 10          | 0,782        | 7,82                   | 0,978        | 7,6482                    |
|   | 29/03/2012 | 10:00       | 10:25    | 10          | 0,782        | 7,28                   | 1,07         | 7,7917                    |
|   | 12/05/2012 |             |          |             |              |                        |              |                           |
|   | 09/06/2012 | 13:56       | 14:13    | 10          | 0,784        | 7,84                   | 1,137        | 8,9155                    |
| <b>Média</b>  |            |             |          | <b>10</b>   | <b>0,789</b> | <b>7,784</b>           | <b>1,058</b> | <b>8,2223</b>             |

### Bacia do rio Trairi

As **Figuras 4.28 e 4.29** apresentam os perfis transversais de cada seção de medição da bacia hidrográfica Trairi. Observa-se que na seção Tra 01 a largura ao longo do período monitorado variou de 8,30 a 14,00 m e a profundidade máxima foi de 93,00 cm, já na seção Tra 02 a largura variou de 3,80 a 4,85 m e a profundidade máxima foi de 42,00 cm.

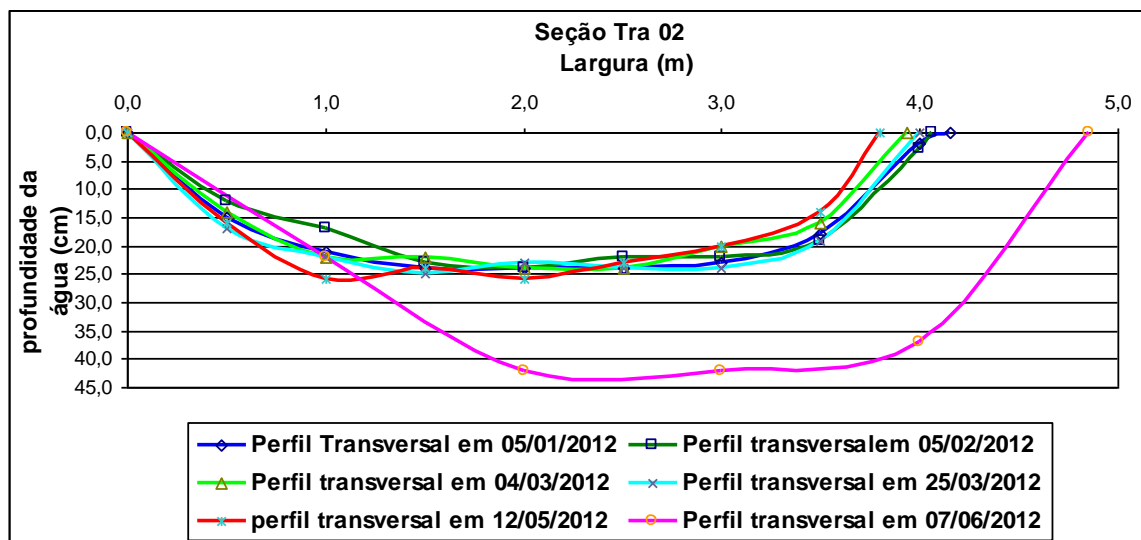
Ao analisar os parâmetros hidráulicos das seções da bacia hidrográfica Trairi, contidos na **Tabela 4.25**, observa-se que na Seção Tra 01 a vazão máxima medida foi de 1,7454 m<sup>3</sup>/s em 09/06/2012, a mínima foi de 0,2548 m<sup>3</sup>/s em 15/05/2012 e a vazão média para o período monitorado foi de 0,9642 m<sup>3</sup>/s, com uma velocidade média de 0,187 m/s.

Na seção Tra 02 a vazão máxima medida foi de 1,4103 m<sup>3</sup>/s em 07/06/2012, a mínima foi de 0,5103 m<sup>3</sup>/s em 12/05/2012 e a vazão média para o período monitorado foi de 0,7642 m<sup>3</sup>/s, com uma velocidade média de 0,894 m/s (**Tabela 4.25**).



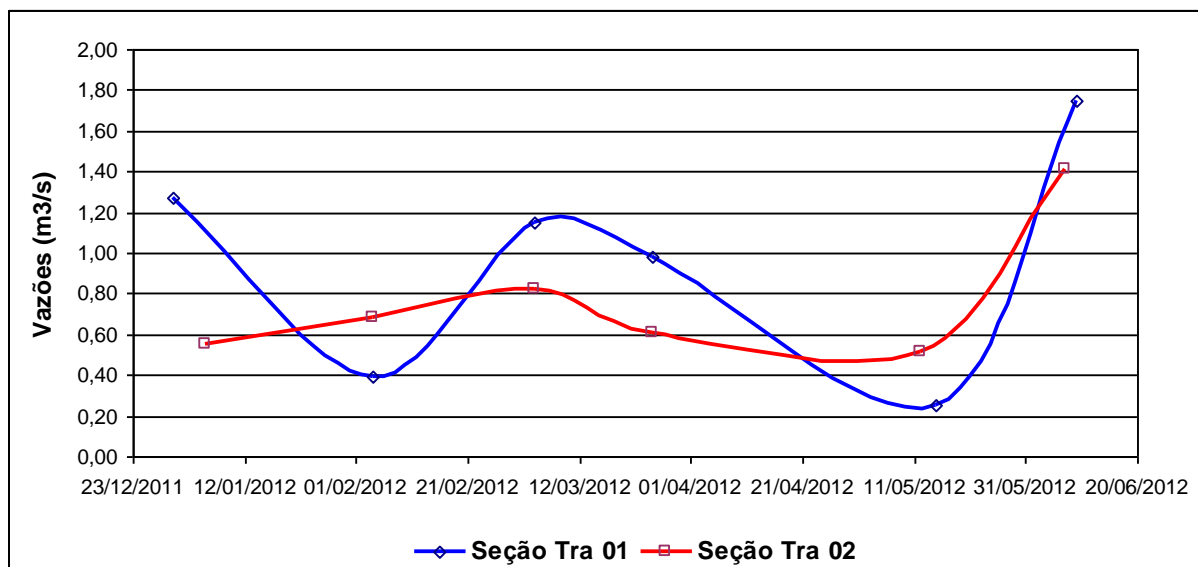
**Figura 4.28. Perfis transversais da seção Tra 01 na bacia Trairi**





**Figura 4.29. Perfis transversais da seção Tra 02 na bacia Trairi**

Nesta bacia, conforme mostra a **Figura 4.26**, as duas seções de medições de vazões foram instaladas uma no rio principal, que é o rio Trairi e a outra no rio Baldum, que é um afluente pela margem direita do rio Trairi. A **Figura 4.30** mostra o hidrograma das seções Tra 01 e Tra 02, onde as variações das vazões nas duas seções mantêm um comportamento semelhante, tanto no ramo ascendente como no descendente do hidrograma, com exceção das vazões medidas em 04/02/2012, onde na seção Tra 02 mostra uma tendência de aumento com relação à vazão medida em 05/01/2012 e na seção Tra 01 há uma tendência de decréscimo com relação à medição realizada em 05/01/2012.



**Figura 4.30. Hidrograma das vazões medidas na bacia Trairi**

Também devemos chamar a atenção, que as vazões medidas não representam em ordem de grandeza o comportamento hidrológico da bacia, uma vez que, o período monitorado as chuvas ficaram abaixo da média. Tomando como posto pluviométrico representativo o de Nísia Floresta, observa-se que o acumulado registrado de

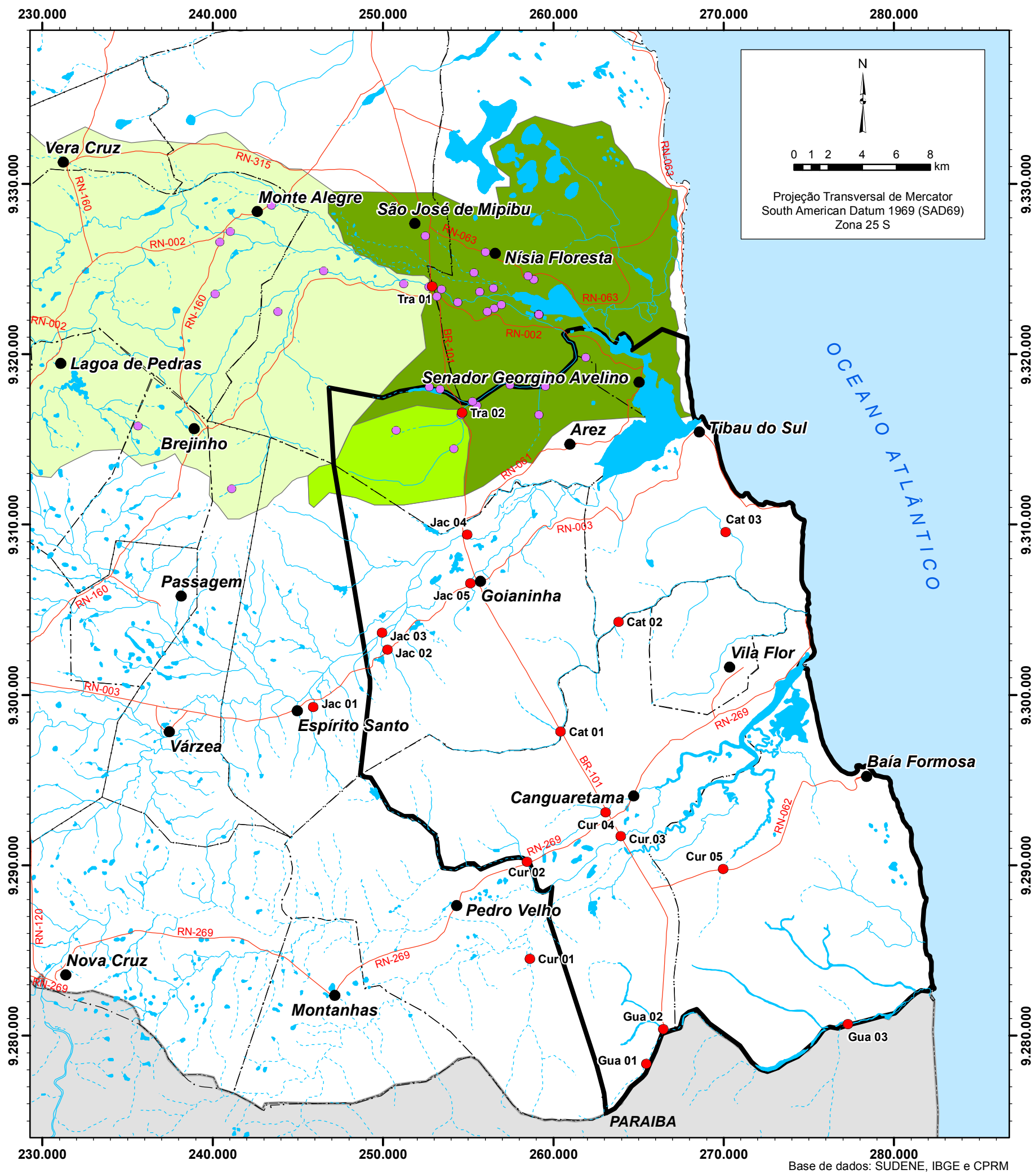
janeiro a maio de 2012 foi de 461,2 mm, dados disponibilizados pela EMPARN, e o acumulado da média climatológica é de 830,7 mm, assim, em 2012 a precipitação pluviométrica no período foi 44,5% abaixo da média.

A **Figura 4.30** mostra uma redução de vazão registrada entre os meses de janeiro e início de fevereiro de 2012 para a seção Tra 01, coerente com o regime hidrológico da região, uma vez que corresponde ao final do período seco da região, onde as vazões estão na fase de recessão, ficando bem próxima da vazão mínima e da vazão com 90% de garantia ( $Q_{90}$ ). No entanto, o período de recessão a partir do início de março até primeira quinzena de maio de 2012 foi atípico, pois a região encontrava-se em plena quadra chuvosa, entretanto, como já citado anteriormente, as chuvas de 2012 ficaram abaixo da média e não houve recarga no aquífero.

No que se refere à seção Tra 02, observa-se que a mesma apresenta um comportamento muito mais estável, com menor flutuação das vazões entre os períodos de medição. Isto ocorre porque a bacia de contribuição desta seção encontra-se totalmente inserida na região sedimentar, diferente da Tra 01 cuja área de contribuição é praticamente toda no cristalino.

A **Figura 4.31** mostra a espacialização dos pontos de interferência outorgados nesta bacia. Em consulta realizada no banco de dados de outorga da SEMARH foi verificado que existe outorgada uma vazão de 0,086 m<sup>3</sup>/s, a montante da seção Tra 01 e uma vazão de 0,107 m<sup>3</sup>/s, a montante da seção Tra 02, o que representa 8,9 % e 14,0 % da vazão média medida nestas seções respectivamente.

Portanto, pode-se dizer de forma preliminar que as vazões medidas, estão bem próximas do comportamento natural, pois as vazões outorgadas em cada uma destas bacias estão com valores inferiores a 15 % das vazões médias medidas, o que pode ser considerado como um valor confortável sob o ponto de vista da disponibilidade hídrica destas bacias.



**Convenção Cartográfica**

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

**Bacia do Trairi**

- Seção Tra 01
- Seção Tra 02
- Seção Tra 03

Localização da área de estudo



**Figura 4.31. Espacialização dos pontos de interferência outorgados na bacia do rio Trairi**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO LITORAL SUL DA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL (BLS)

Elaborado por: Servmar Serviços Técnicos Ambientais



Julho de 2012

### Bacia do rio Jacu

A **Figura 4.32** apresenta os perfis transversais de cada seção de medição da bacia hidrográfica Jacu. Observa-se que na seção Jac 01 a largura ao longo do período monitorado variou de 1,00 a 4,80 m e a profundidade máxima foi de 62,00 cm, já na seção Jac 02 a largura variou de 5,77 a 8,00 m com profundidade máxima de 57,00 cm, na seção Jac 03, a largura variou de 4,30 a 8,35 m e a profundidade máxima foi de 40,00 cm, na seção Jac 04 a largura variou de 4,20 a 8,35 m e a profundidade máxima foi de 26,00 cm e na seção Jac 05 a largura variou de 2,65 a 3,50 m e a profundidade máxima foi de 47,00 cm.

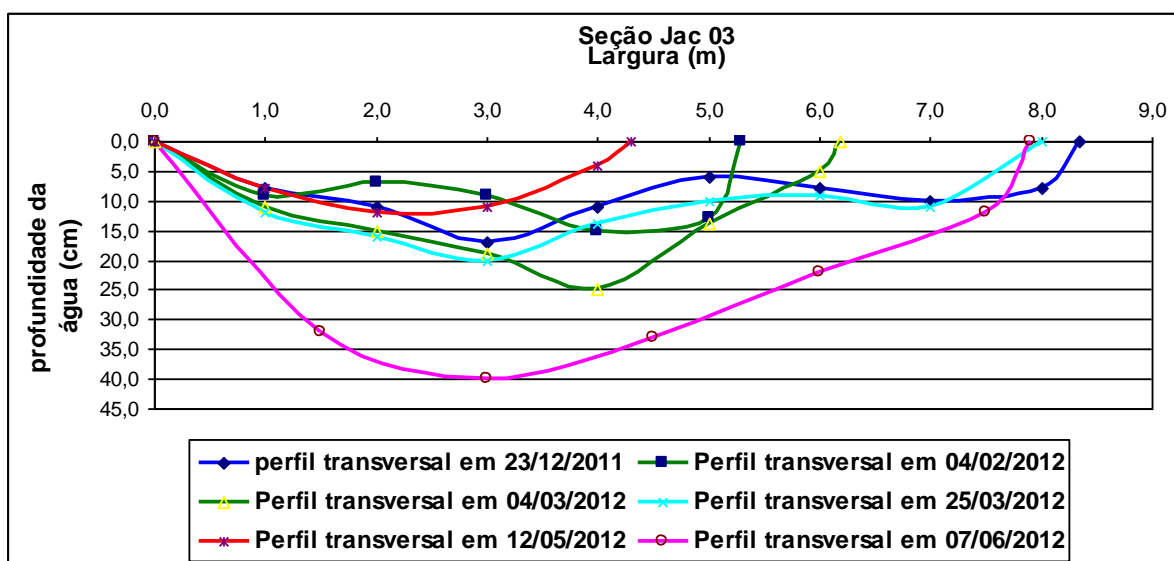
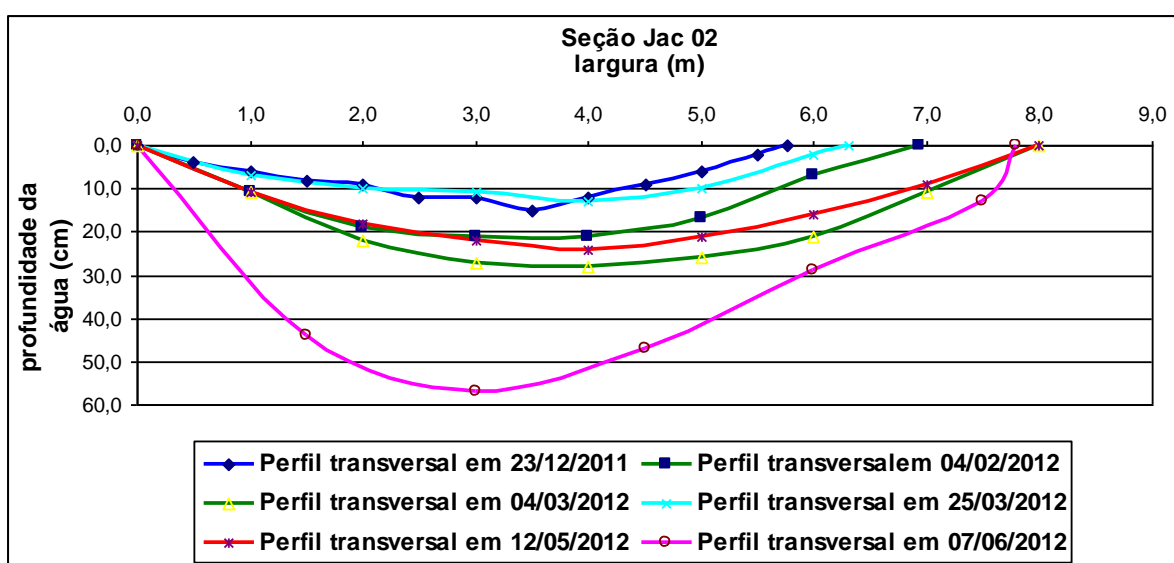
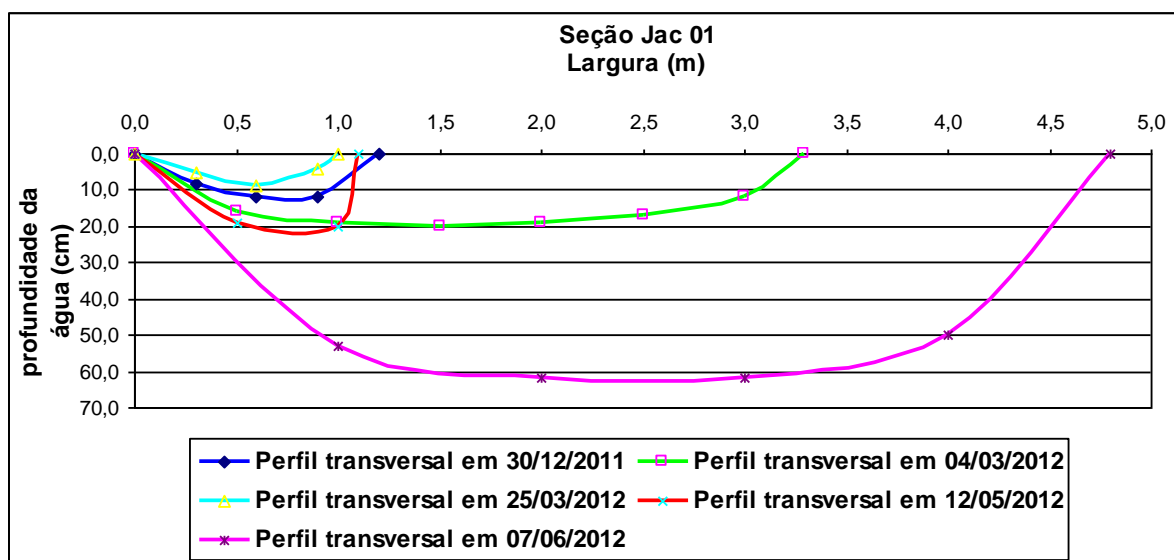
Ao analisar os parâmetros hidráulicos das seções da bacia hidrográfica Jacu, contidos na **Tabela 4.25**, observa-se que na Seção Jac 01 a vazão máxima medida foi de 0,2889 m<sup>3</sup>/s em 07/06/2012, a mínima foi de 0,0180 m<sup>3</sup>/s em 12/05/2012 e a vazão média para o período monitorado foi de 0,0773 m<sup>3</sup>/s, com uma velocidade média de 0,211 m/s.

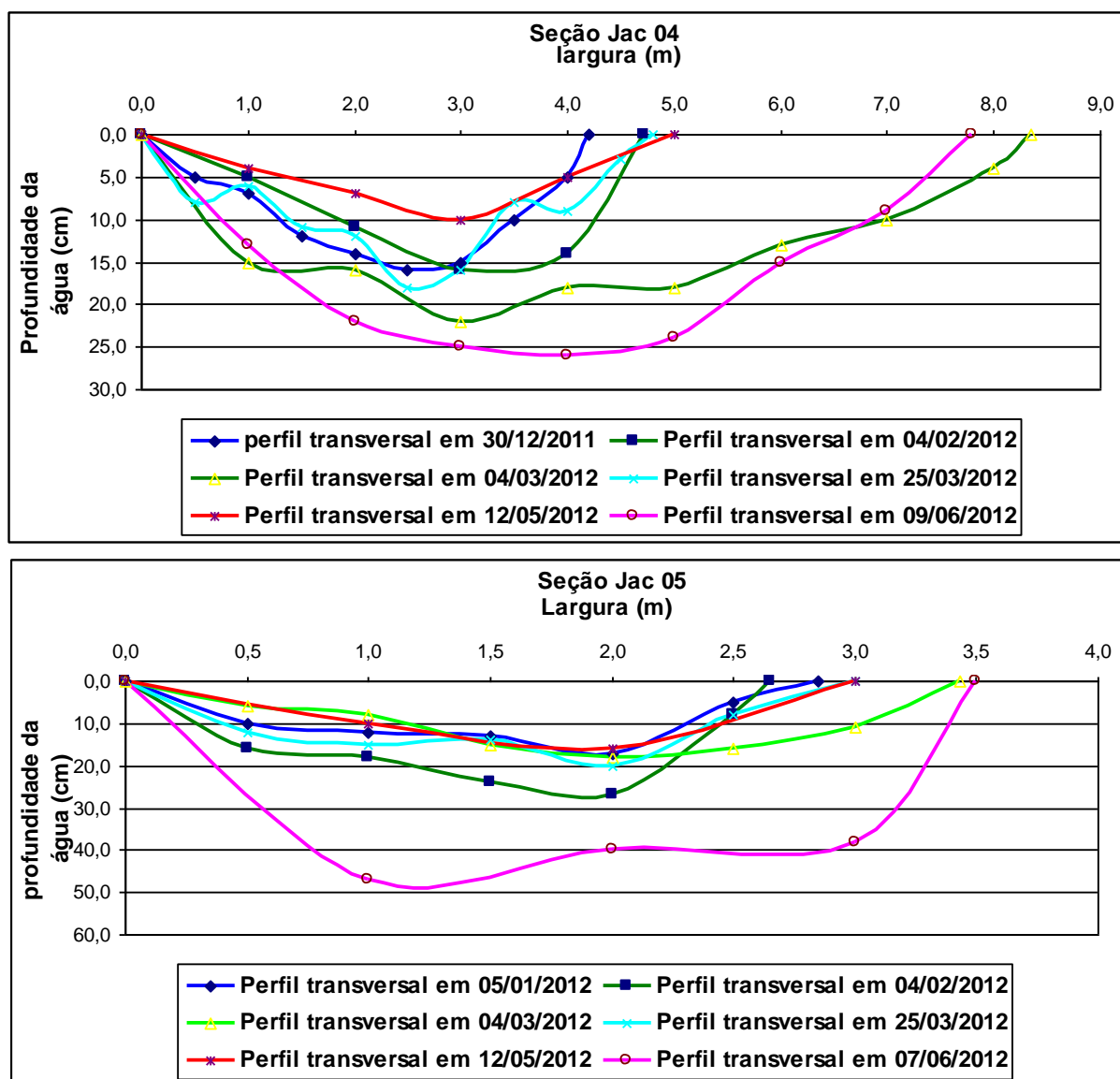
Na seção Jac 02 a vazão máxima medida foi de 0,3854 m<sup>3</sup>/s em 07/06/2012, a mínima foi de 0,0978 m<sup>3</sup>/s em 12/05/2012 e a vazão média para o período monitorado foi de 0,1616 m<sup>3</sup>/s, com uma velocidade média de 0,152 m/s.

Para a seção Jac 03 a vazão máxima medida foi de 1,5214 m<sup>3</sup>/s em 07/06/2012, a mínima foi de 0,0510 m<sup>3</sup>/s em 12/05/2012 e a vazão média para o período monitorado foi de 0,5948 m<sup>3</sup>/s, com uma velocidade média de 0,596 m/s.

Na seção Jac 04 a vazão máxima medida foi de 1,1216 m<sup>3</sup>/s em 04/03/2012, a mínima foi de 0,1418 m<sup>3</sup>/s em 12/05/2012 e a vazão média para o período monitorado foi de 0,5216 m<sup>3</sup>/s, com uma velocidade média de 0,814 m/s e para a seção Jac 05 a vazão máxima medida foi de 0,2804 m<sup>3</sup>/s em 07/06/2012, a mínima foi de 0,0276 m<sup>3</sup>/s em 12/05/2012 e a vazão média para o período monitorado foi de 0,1082 m<sup>3</sup>/s, com uma velocidade média de 0,219 m/s.



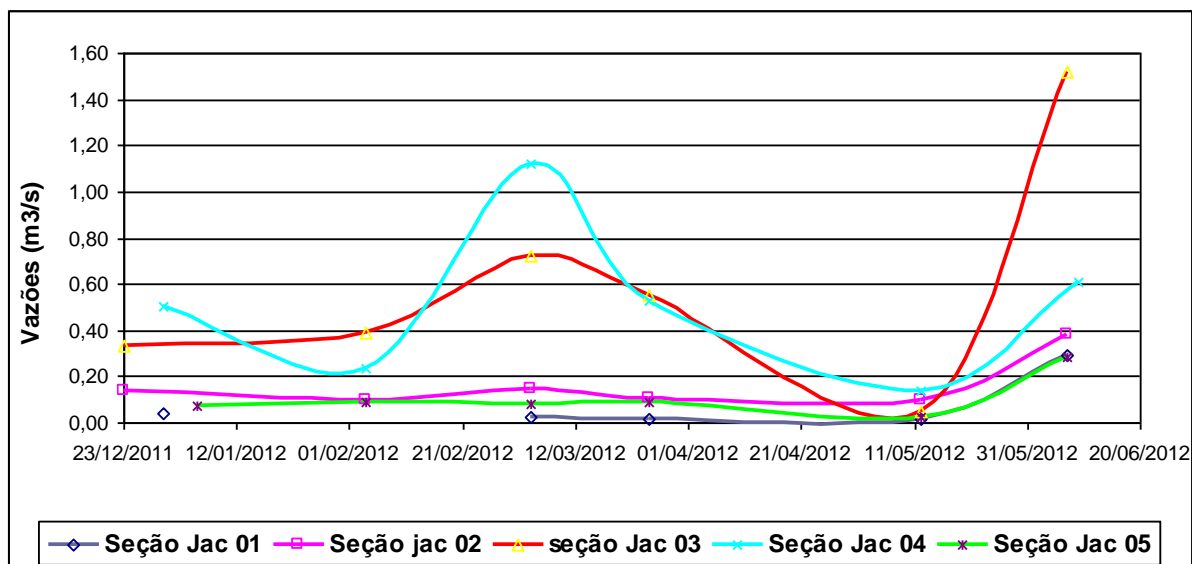




**Figura 4.32. Perfis transversais das seções da bacia hidrográfica Jacu**

A **Figura 4.33** mostra o hidrograma das seções cinco, onde as variações das vazões mantiveram um comportamento semelhante, tanto no ramo ascendente como no descendente do hidrograma, apresentando dois picos um no dia 04/03 e o outro no dia 12/06/2012 e dois períodos de recessão um de dezembro de 2011 a fevereiro de 2012 e o outro de abril a maio de 2012.

Também devemos chamar a atenção, que as vazões medidas não representam em ordem de grandeza o comportamento hidrológico da bacia, uma vez que, no período de monitoramento as chuvas ficaram abaixo da média. Tomando como posto pluviométrico representativo para esta análise o de Nísia Floresta, onde o acumulado registrado de janeiro a maio de 2012 foi de 461,2 mm, dados disponibilizados pela EMPARN, e o acumulado da média foi de 830,7 mm, o que corresponde 44,5% abaixo da média no período.

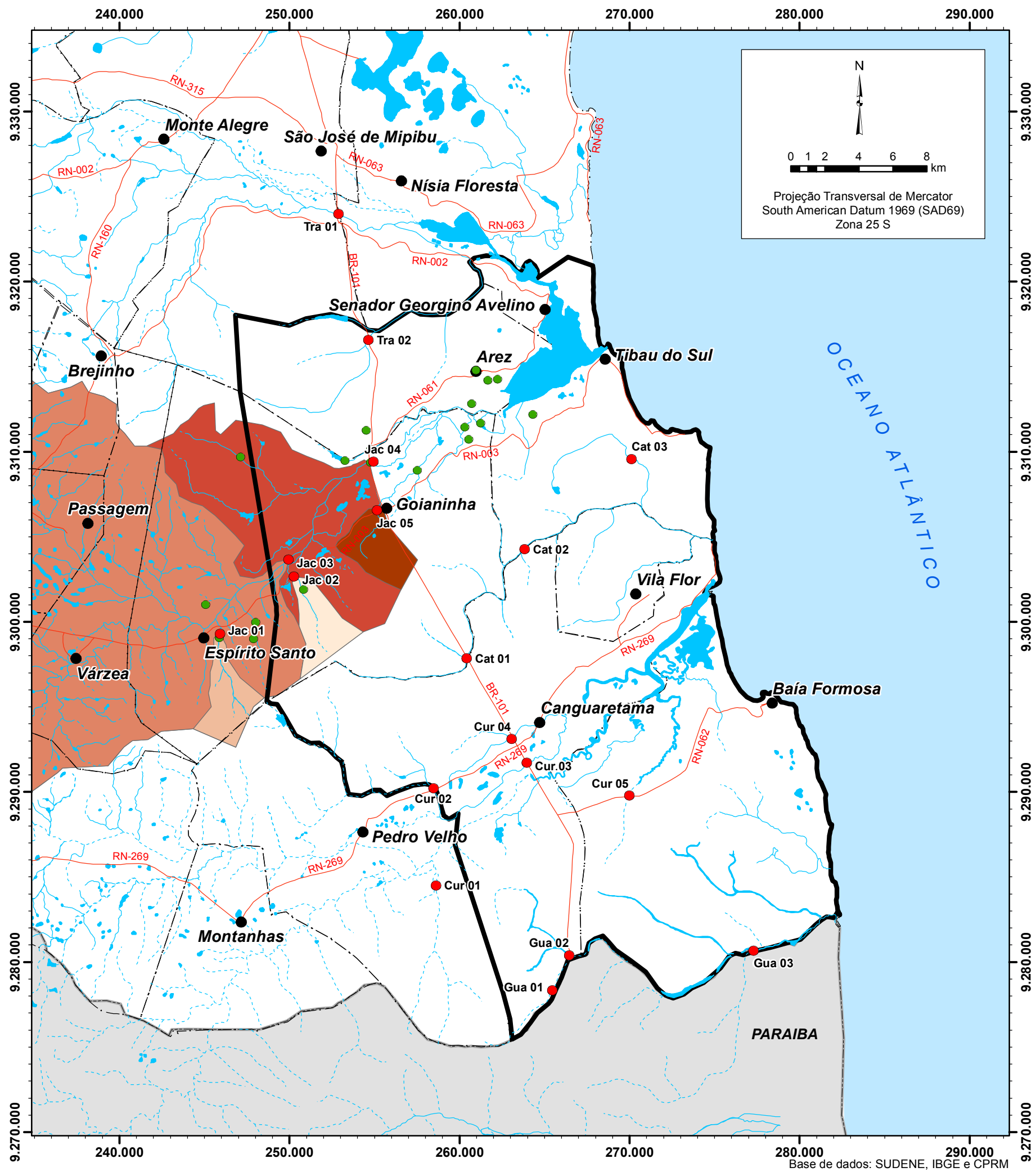


**Figura 4.33. Hidrograma das vazões medidas na bacia Jacu**

A redução de vazão registrada entre os meses de dezembro e meados de fevereiro de 2012 para as seções está coerente com o regime hidrológico da região, uma vez que este período corresponde ao final do período seco da região, onde as vazões estão na fase de recessão, ficando bem próxima da vazão mínima e da vazão com 90% de garantia ( $Q_{90}$ ). Também ocorreu outro período de recessão a partir do início de abril até segunda quinzena de maio de 2012, mesmo estando em plena quadra chuvosa para a região, mas como as chuvas ficaram abaixo da média, não houve recarga no aquífero, ficando as vazões na fase de recessão.

Foi consultado o banco de dados de outorga da SEMARH e verificado que existe outorgada uma vazão de  $1,018 \text{ m}^3/\text{s}$ , na área de estudo. Ao analisar a espacialização das outorgas, conforme mostra a **Figura 4.34**, verifica-se que as seções Jac 01, Jac 02, Jac 03 e Jac 04 apresentam, cada uma, uma vazão outorgada a montante das mesmas de  $0,021 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $0,022 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $0,112 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $0,665 \text{ m}^3/\text{s}$  respectivamente e que representam 27,3 %, 13,6 %, 18,8 % e 127,5 % respectivamente da vazão média medida no período. Estes dados mostram que a seção Jac 04 necessita de uma atenção especial quanto aos valores encontrados, pois fisicamente não é possível retirar mais água do que a disponibilidade hídrica do rio. Esta situação está ocorrendo devido às outorgas serem sazonais para a irrigação de salvação da lavoura de cana de açúcar da Usina LDC Bioenergia Ltda. Portanto as vazões medidas não representam de forma preliminar o comportamento natural das vazões nesta bacia.

A seção Jac 05 é a única que não tem vazões outorgadas a montante da mesma, conforme a **Figura 4.34**, o que pode dizer de forma preliminar que as vazões medidas nesta bacia representam o comportamento natural das vazões.



Convenção Cartográfica

- Sedes municipais
- Estradas pavimentadas
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- Limites municipais
- Área de estudo
- Seções medidas
- Outorgas

Bacia do Jacu

- Seção Jac 01
- Seção Jac 02
- Seção Jac 03
- Seção Jac 04
- Seção Jac 05

Localização da área de estudo



Figura 4.34. Espacialização dos pontos de interferência outorgados na bacia do rio Jacu

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO LITORAL SUL DA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL (BLS)

Elaborado por: Servmar Serviços Técnicos Ambientais



Julho de 2012



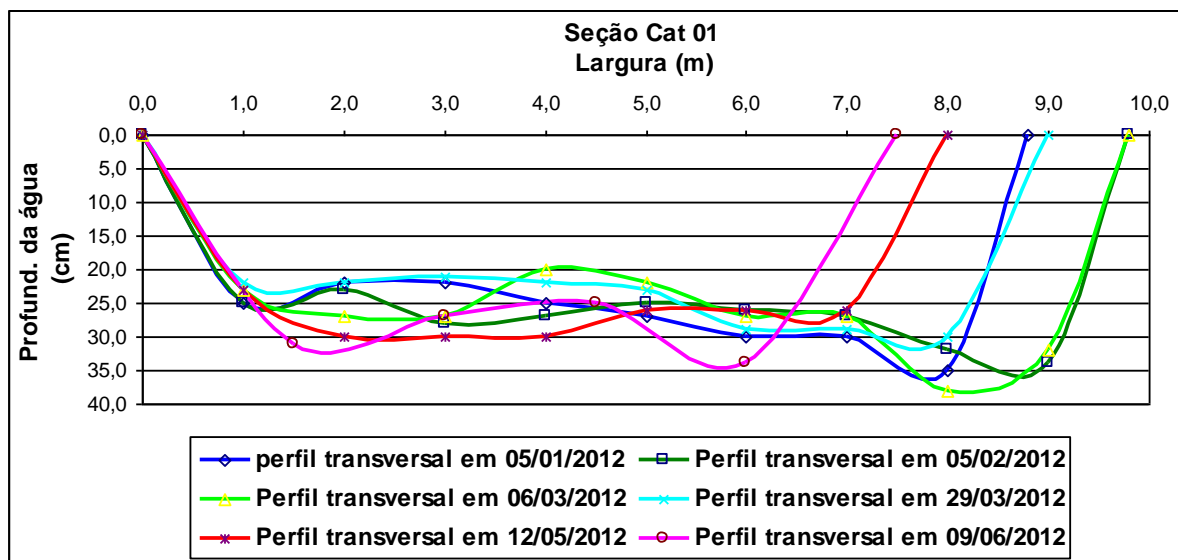
### Bacia do rio Catu

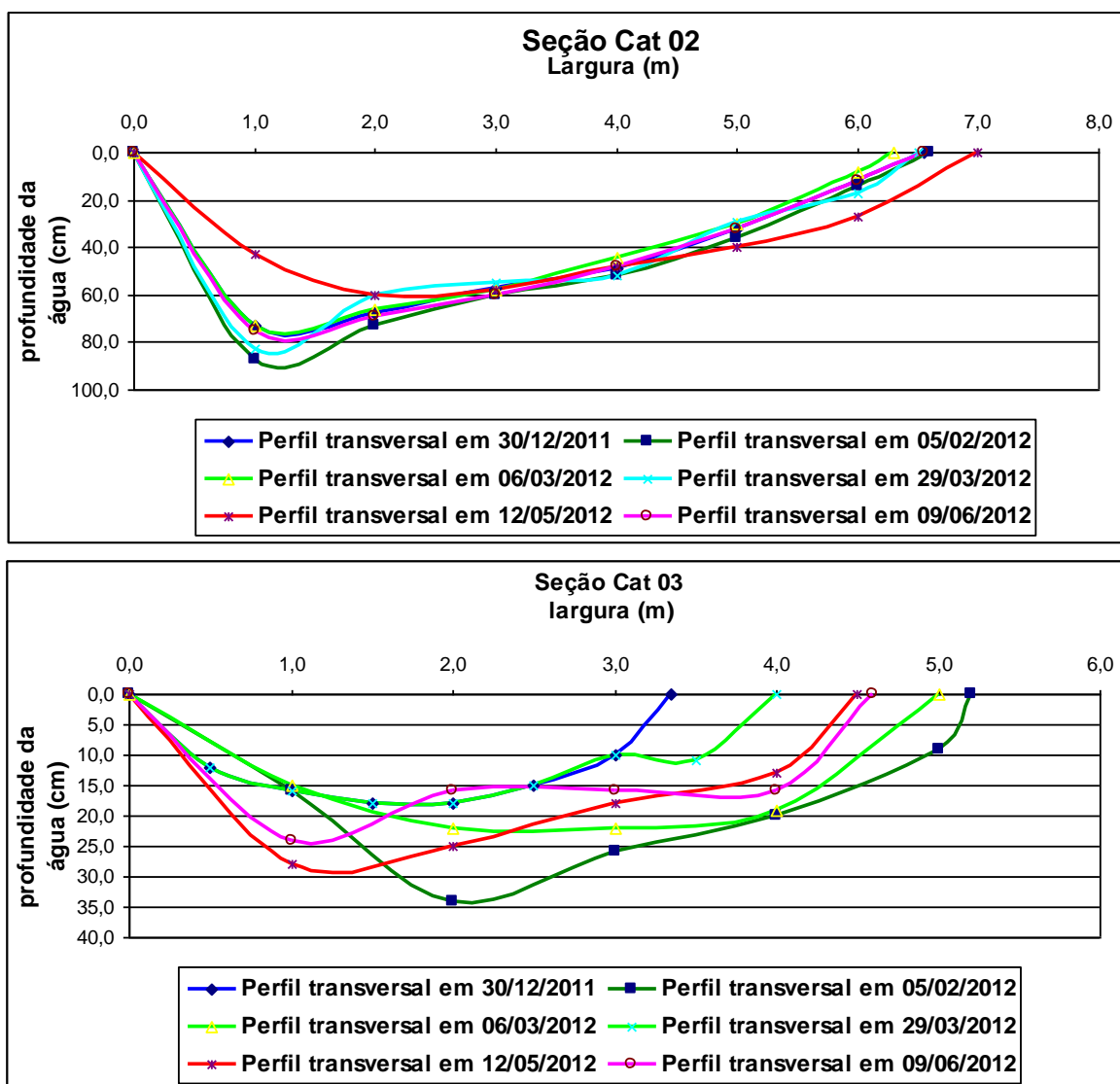
A **Figura 4.35**, apresenta os perfis transversais de cada seção de medição da bacia hidrográfica Catu. Observa-se que na seção Cat 01 a largura ao longo do período monitorado variou de 7,50 a 9,80 m e a profundidade máxima foi de 38,0 cm. Na seção Cat 02 a largura variou de 6,30 a 7,00 m e a profundidade máxima foi de 87,0 cm e na seção Cat 03, a largura variou de 3,35 a 5,00 m e a profundidade máxima foi de 34,0 cm.

Ao analisar os parâmetros hidráulicos das seções desta bacia hidrográfica, contidos na **Tabela 4.25**, observa-se que na Seção Cat 01, a vazão máxima medida foi de 1,1626 m<sup>3</sup>/s em 06/03/2012, a mínima foi de 0,6550 m<sup>3</sup>/s em 12/05/2012 e a vazão média para o período monitorado foi de 1,0261 m<sup>3</sup>/s, com uma velocidade média de 0,489 m/s.

Na seção Cat 02 a vazão máxima medida foi de 3,3882 m<sup>3</sup>/s em 09/06/2012, a mínima foi de 2,4311 m<sup>3</sup>/s em 12/05/2012 e a vazão média para o período monitorado foi de 2,8407 m<sup>3</sup>/s, com uma velocidade média de 0,975 m/s.

Para a seção Cat 03 a vazão máxima medida foi de 0,5207 m<sup>3</sup>/s em 30/12/2011, a mínima foi de 0,1279 m<sup>3</sup>/s em 12/05/2012 e a vazão média para o período monitorado foi de 0,3632 m<sup>3</sup>/s, com uma velocidade média de 0,596 m/s.

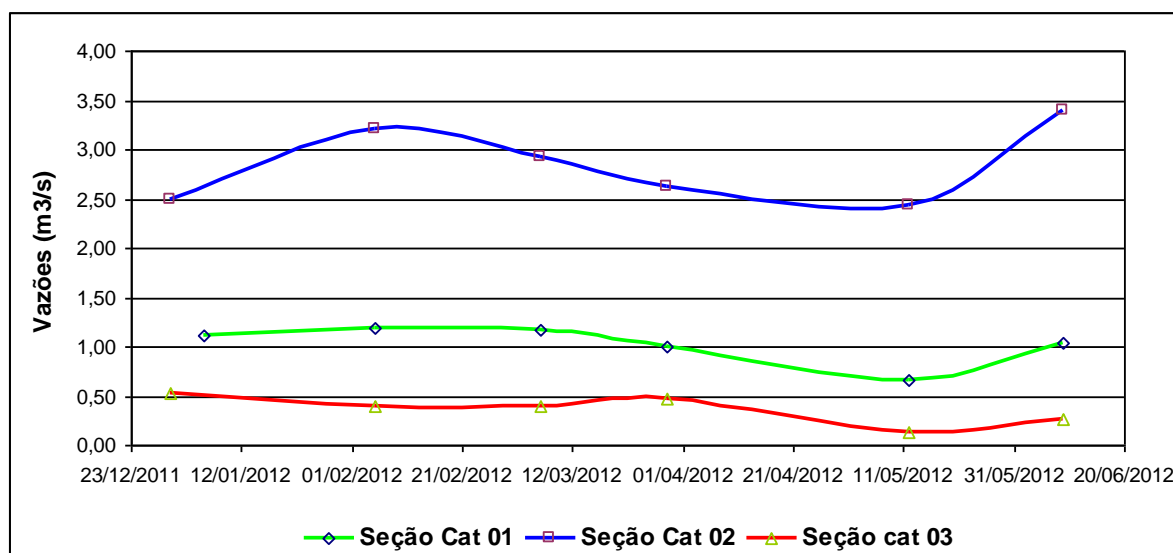




**Figura 4.35. Perfis transversais das seções da bacia hidrográfica Catu**

A **Figura 4.36** mostra o hidrograma das três seções, onde as variações das vazões mantiveram um comportamento semelhante. Observa-se que nas seções Cat 01 e Cat 03 a vazão praticamente não variou no período, mostrando que essas seções encontram-se na fase de recessão do hidrograma. A seção Cat 01 mostrou uma oscilação na vazão muito semelhante a apresentada nas seções de monitoramento da bacia Trairi, com um aumento da vazão em fevereiro e outro em junho de 2012.

Também devemos chamar a atenção para o fato do monitoramento ter ocorrido em um período em que as chuvas ficaram abaixo da média. Tomando como posto pluviométrico representativo o de Nísia Floresta, verifica-se que o acumulado registrado de janeiro a maio de 2012 foi de 461,2 mm, dados disponibilizados pela EMPARN, enquanto que a média histórica para o período é de 830,7 mm, o que corresponde 44,5% abaixo da média.

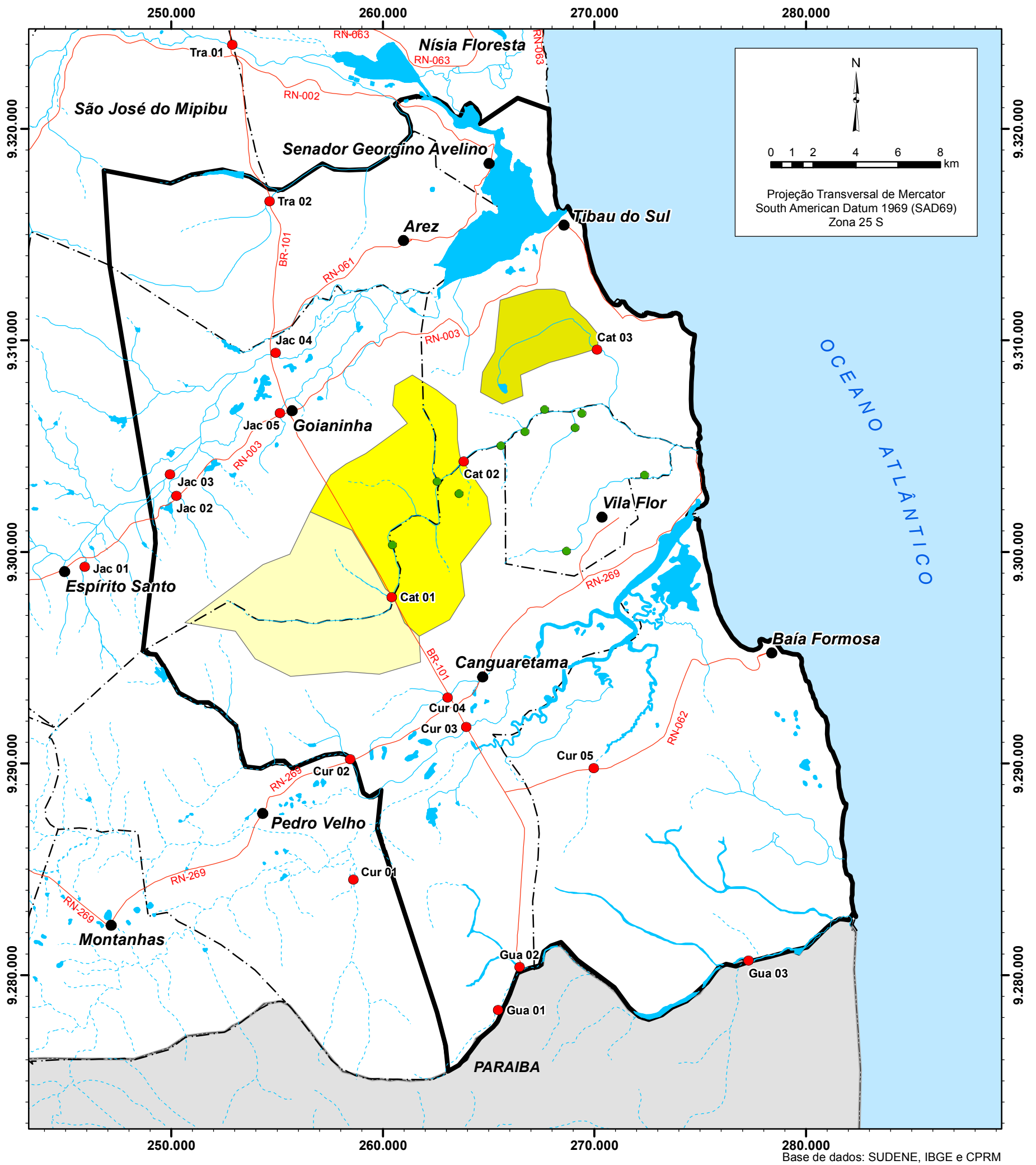


**Figura 4.36. Hidrograma das vazões medidas na bacia Catu**

Assim, considera-se que as baixas vazões registradas entre os meses de fevereiro e meados de maio de 2012, deve-se ao fato das chuvas terem ficado abaixo da média, e por consequência não houve recarga no aquífero, ficando as vazões na fase de recessão, que são bem próximas da vazão mínima e da vazão com 90% de garantia ( $Q_{90}$ ).

Foi consultado o banco de dados de outorga da SEMARH e verificado que existe outorgada uma vazão de  $1,473 \text{ m}^3/\text{s}$ , na área de estudo. Ao analisar a espacialização das outorgas, conforme mostra a **Figura 4.37**, verifica-se que na seção Cat 01 só existe um ponto de interferência outorgado com uma vazão de  $0,0006 \text{ m}^3/\text{s}$ , o que representa 0,06 % da vazão média medida no período monitorado. Isto demonstra de forma preliminar que as vazões medidas representam o comportamento natural das vazões desta bacia.

A **Figura 4.37** mostra que existe 04 (quatro) pontos de interferência outorgado a montante da seção Cat 02, com uma vazão outorgada de  $0,608 \text{ m}^3/\text{s}$ , o que representa 21,4 % da vazão média medida durante o período monitorado, indicando de forma preliminar já um certo comprometimento da sua disponibilidade hídrica. A seção Cat 03 não apresenta pontos de interferência outorgado a montante da mesma, indicando de forma preliminar que as vazões medidas nesta bacia representam o comportamento natural das vazões.



**Convenção Cartográfica**

- Sedes municipais
- Estradas pavimentadas
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- Limites municipais
- Área de estudo
- Seções medidas
- Outorgas

**Bacia Catu**

- Seção Cat 01
- Seção Cat 02
- Seção Cat 03

**Localização da área de estudo**



**Figura 4.37. Espacialização dos pontos de interferência outorgados na bacia do rio Catu**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO LITORAL SUL DA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL (BLS)

Elaborado por: Servmar Serviços Técnicos Ambientais



Julho de 2012



### Bacia do rio Curimataú

A **Figura 4.38** apresenta os perfis transversais de cada seção de medição desta bacia hidrográfica. Observa-se que na seção Cur 01 a largura ao longo do período monitorado variou de 2,35 a 2,65 m e a profundidade máxima foi de 49,0 cm, já na seção Cur 02 a largura variou de 3,40 a 7,30 m e a profundidade máxima foi de 75,0 cm, com relação à seção Cur 03, a largura variou de 9,00 a 12,30 m e a profundidade máxima foi de 39,0 cm, na seção Cur 04 a largura variou de 3,30 a 7,50 m e a profundidade máxima foi de 64,0 cm e por fim a seção Cur 05 a largura variou de 5,85 a 6,80 m e a profundidade máxima foi de 44,0 cm.

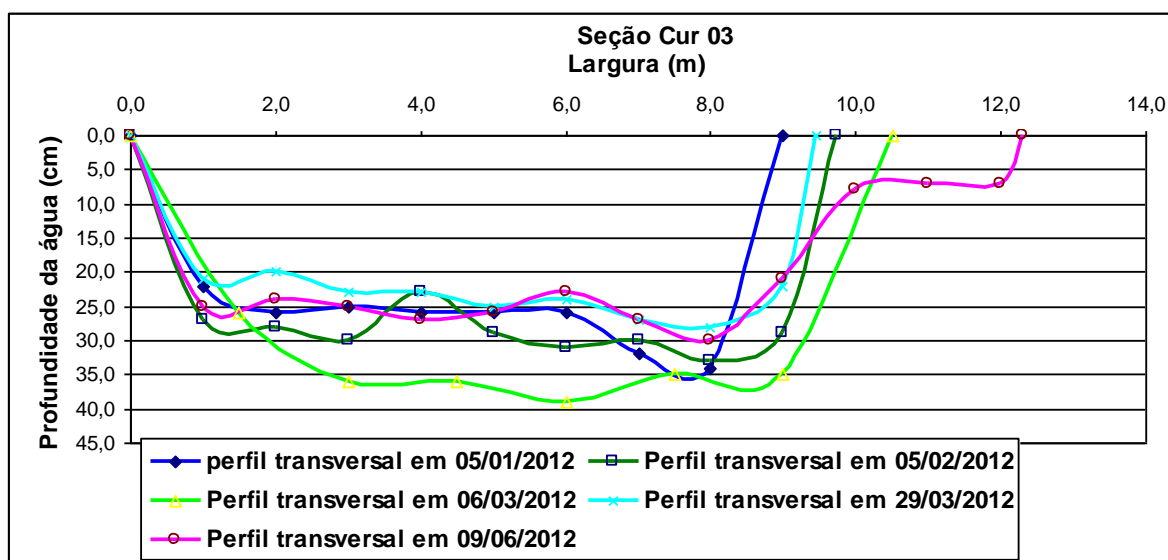
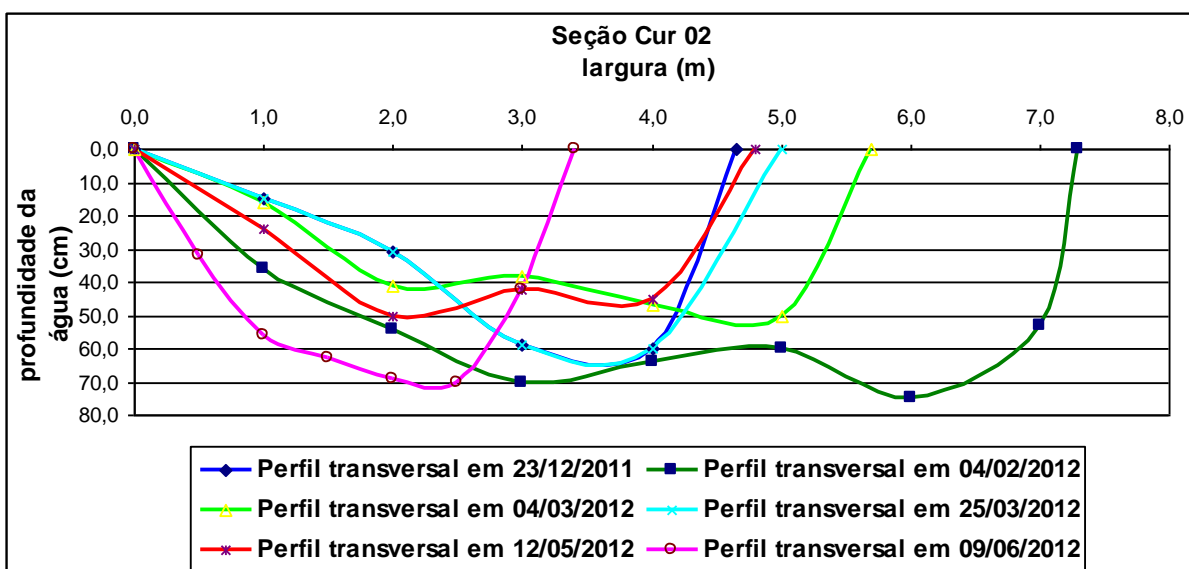
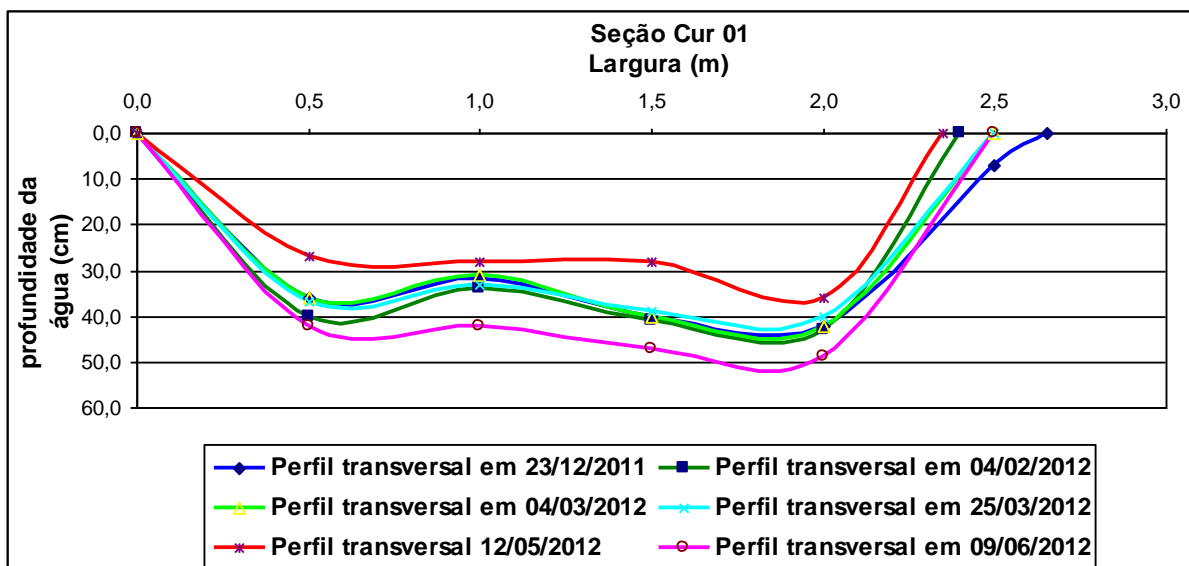
Ao analisar os parâmetros hidráulicos das seções desta bacia hidrográfica, contidos na **Tabela 4.25**, observa-se que na Seção Cur 01, a vazão máxima medida foi de 0,7829 m<sup>3</sup>/s em 09/03/2012, a mínima foi de 0,2428 m<sup>3</sup>/s em 12/05/2012 e a vazão média para o período monitorado foi de 0,5691 m<sup>3</sup>/s, com uma velocidade média de 0,741 m/s.

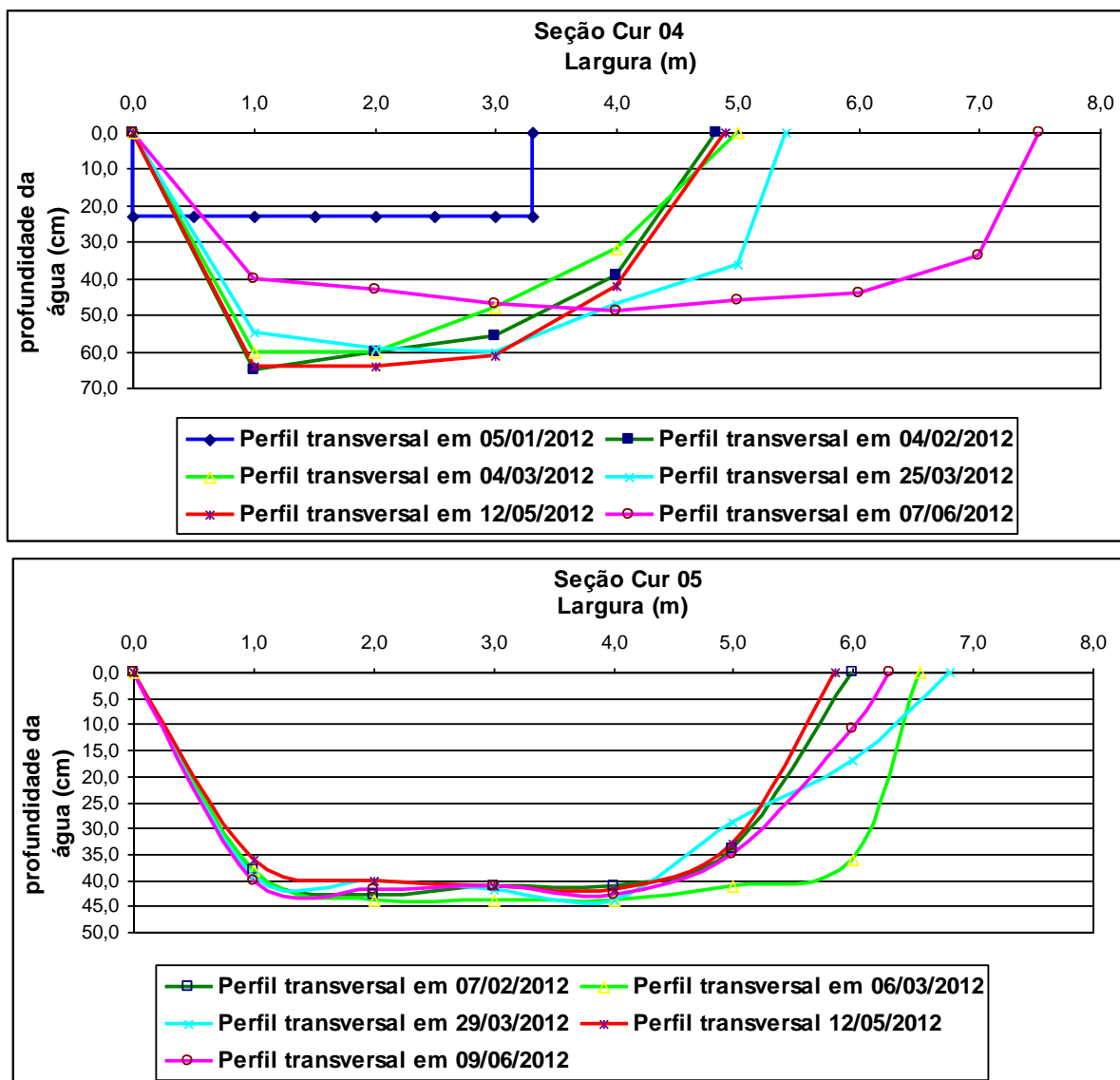
Na seção Cur 02 a vazão máxima medida foi de 1,2441 m<sup>3</sup>/s em 04/02/2012, a mínima foi de 0,9642 m<sup>3</sup>/s em 12/05/2012 e a vazão média para o período monitorado foi de 1,1143 m<sup>3</sup>/s, com uma velocidade média de 0,604 m/s.

Para a seção Cur 03 a vazão máxima medida foi de 1,1931 m<sup>3</sup>/s em 09/06/2012, a mínima foi de 1,0037 m<sup>3</sup>/s em 06/03/2012 e a vazão média para o período monitorado foi de 1,0819 m<sup>3</sup>/s, com uma velocidade média de 0,445 m/s.

Para a seção Cur 04 a vazão máxima medida foi de 0,6979 m<sup>3</sup>/s em 07/06/2012, a mínima foi de 0,0927 m<sup>3</sup>/s em 12/05/2012 e a vazão média para o período monitorado foi de 0,3443 m<sup>3</sup>/s, com uma velocidade média de 0,179 m/s.

Para a seção Cur 05 a vazão máxima medida foi de 0,8137 m<sup>3</sup>/s em 06/03/2012, a mínima foi de 0,4693 m<sup>3</sup>/s em 12/05/2012 e a vazão média para o período monitorado foi de 0,6169 m<sup>3</sup>/s, com uma velocidade média de 0,293 m/s.

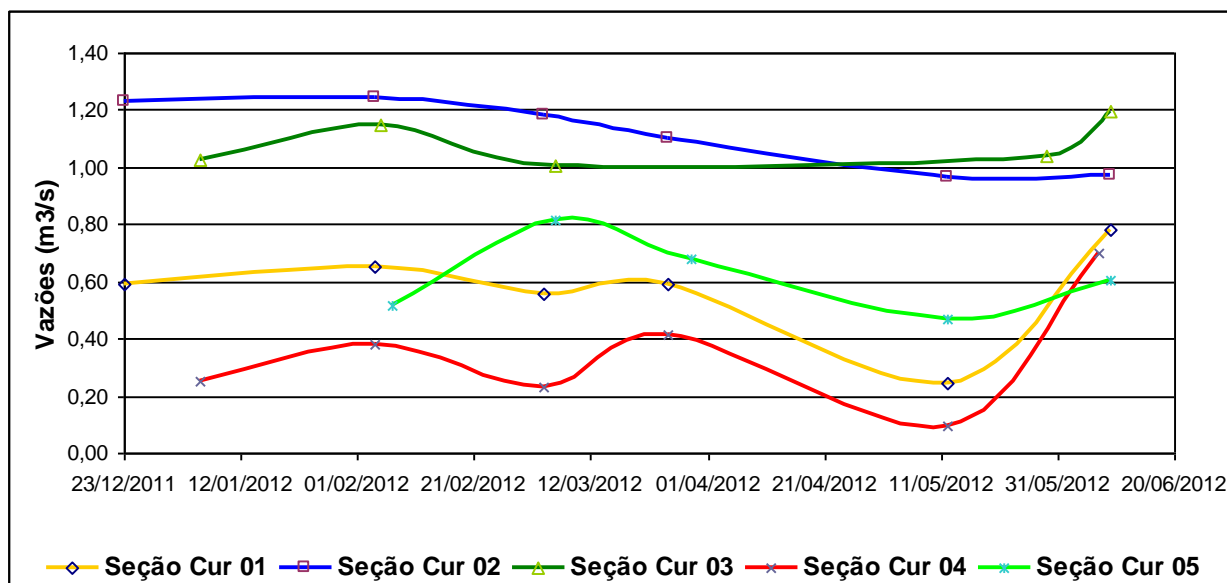




**Figura 4.38. Perfis transversais das seções da bacia hidrográfica Curimataú**

A **Figura 4.39** mostra o hidrograma das cinco seções. Observa-se que as seções Cur 02 e Cur 03, apresentaram pequena variação nas vazões medidas, variando entre 0,9642 a 1,2441 m<sup>3</sup>/s na Cur 02 e entre 1,0037 a 1,1931 m<sup>3</sup>/s na Cur 03. As seções Cur 01 e Cur 04, as vazões apresentaram mais oscilação, com três picos um no início de fevereiro, outro no final de março e um no início de junho. A seção Cur 05 teve um comportamento hidrológico diferente das demais, com dois picos, um no início de março e outro no início de junho, com período de recessão entre esses meses.

Observa-se também que em todas as seções existe um período comum de recessão que compreende o final de março a início de maio de 2012, conforme **Figura 4.39**.



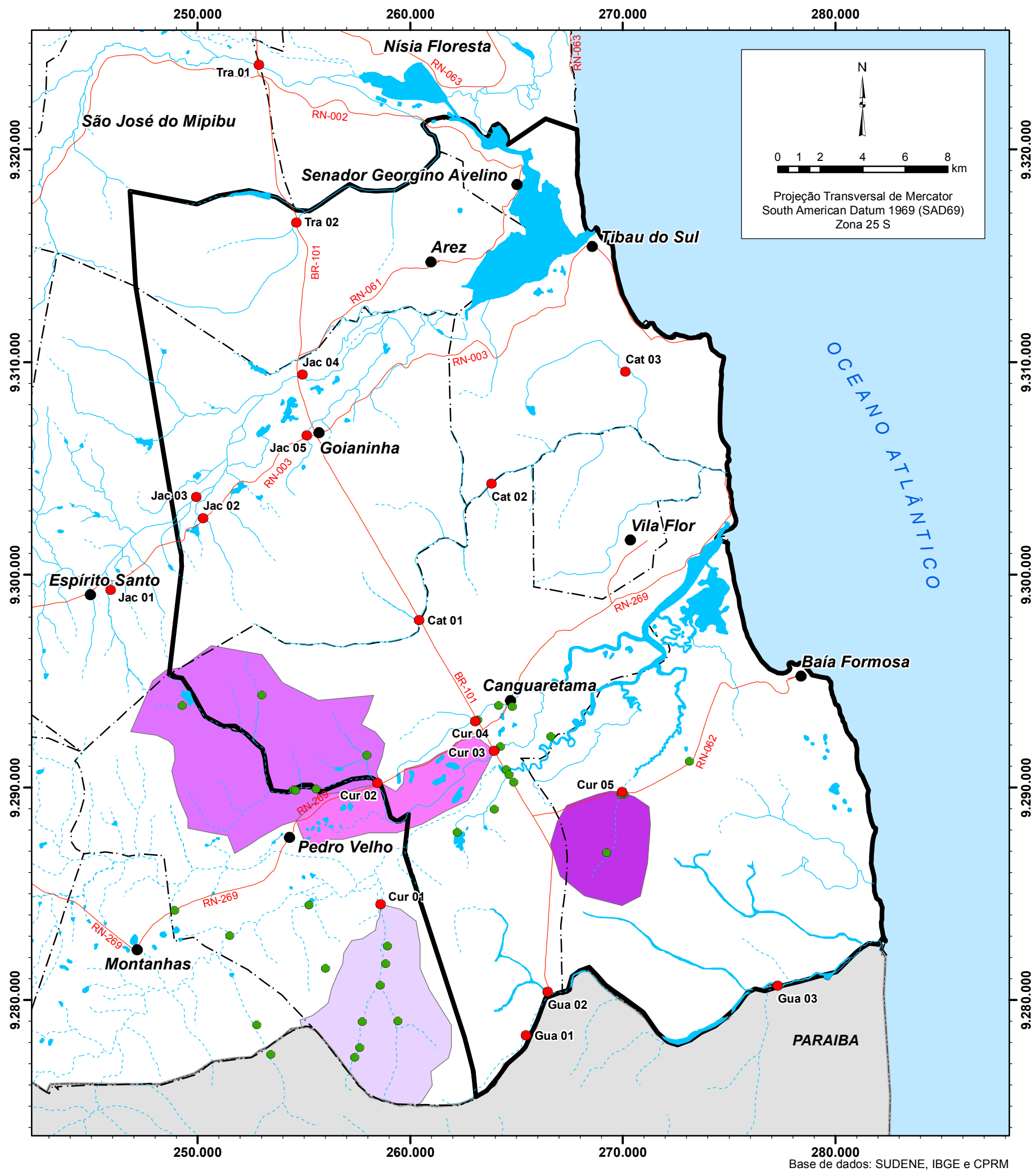
**Figura 4.39. Hidrograma das vazões medidas na bacia Curimataú**

Novamente destaca-se que o ano de 2012 apresentou precipitações pluviométricas bem abaixo da média de longo período, o que resulta no fato das vazões medidas não representarem em ordem de grandeza o comportamento hidrológico da bacia.

Tomando como posto pluviométrico representativo para esta bacia o de Pedro Velho, verifica-se que o acumulado registrado de janeiro a maio de 2012 foi de 281,9 mm, dados disponibilizados pela EMPARN, correspondendo a 44,2% do acumulado da média para o mesmo período. Dessa forma, as vazões medidas no período de final de março a início de maio de 2012 (**Figura 4.39**) ficaram na fase de recessão.

Em consulta realizada ao banco de dados de outorga da SEMARH foi verificada vazão outorgada de 1,583 m³/s na bacia do rio Curimataú, na área de estudo. A **Figura 4.40** mostra a espacialização das outorgas, situadas a montante das seções de medição de vazão Cur 01, Cur 02 e Cur 05, nas quais as vazões outorgadas são de 0,0689 m³/s, 0,1564 m³/s e 0,2699 m³/s, respectivamente, representando 12,1%, 14,0% e 43,8% respectivamente da vazão média medida no período. Dessa forma apenas as seções Cur 03 e Cur 04 não estão sofrendo com a interferência de vazões outorgadas a montante, permitindo inferir de forma preliminar que as vazões medidas nestas seções, estão próximas das vazões naturais produzidas nesta bacia hidrográfica, já nas demais seções de medições de vazões, evidencia-se um determinado uso outorgado, modificando o comportamento natural das vazões.





Convenção Cartográfica

- Sedes municipais
- Estradas pavimentadas
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- Limites municipais
- Área de estudo
- Seções medidas
- Outorgas

Bacia do Curimatá

- Seção Cur 01
- Seção Cur 02
- Seção Cur 03
- Seção Cur 04

Localização da área de estudo



**Figura 4.40. Espacialização dos pontos de interferência outorgados na bacia do rio Curimatá**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO LITORAL SUL DA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL (BLS)

Elaborado por: Servmar Serviços Técnicos Ambientais

GOVERNO DO RIO GRANDE DO NORTE SEMARH SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS SEMIÁRIDO POTIGUAR BANCO MUNDIAL

Julho de 2012

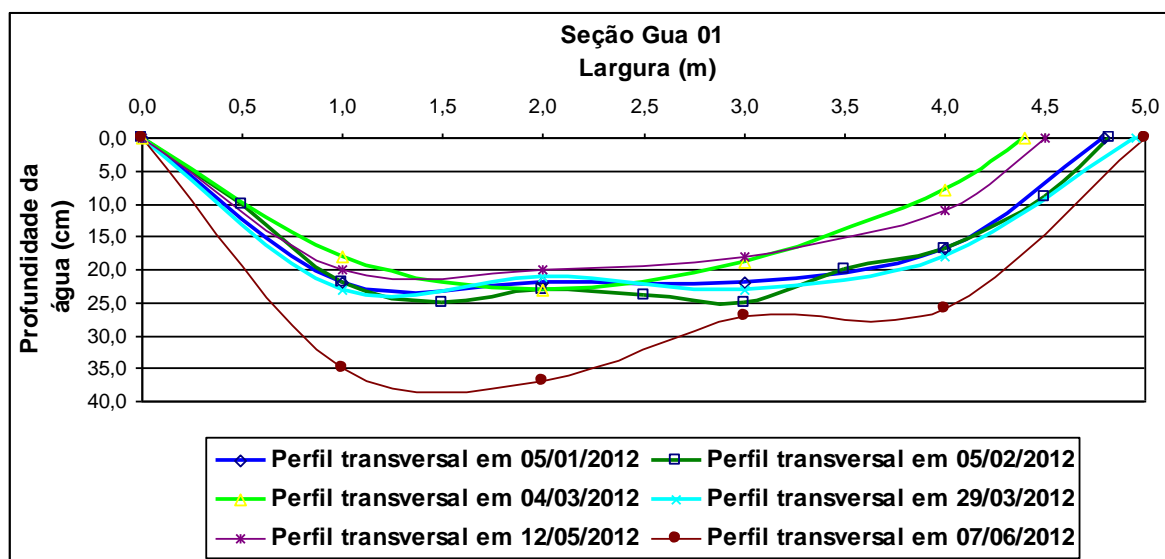
### Bacia do rio Guaju

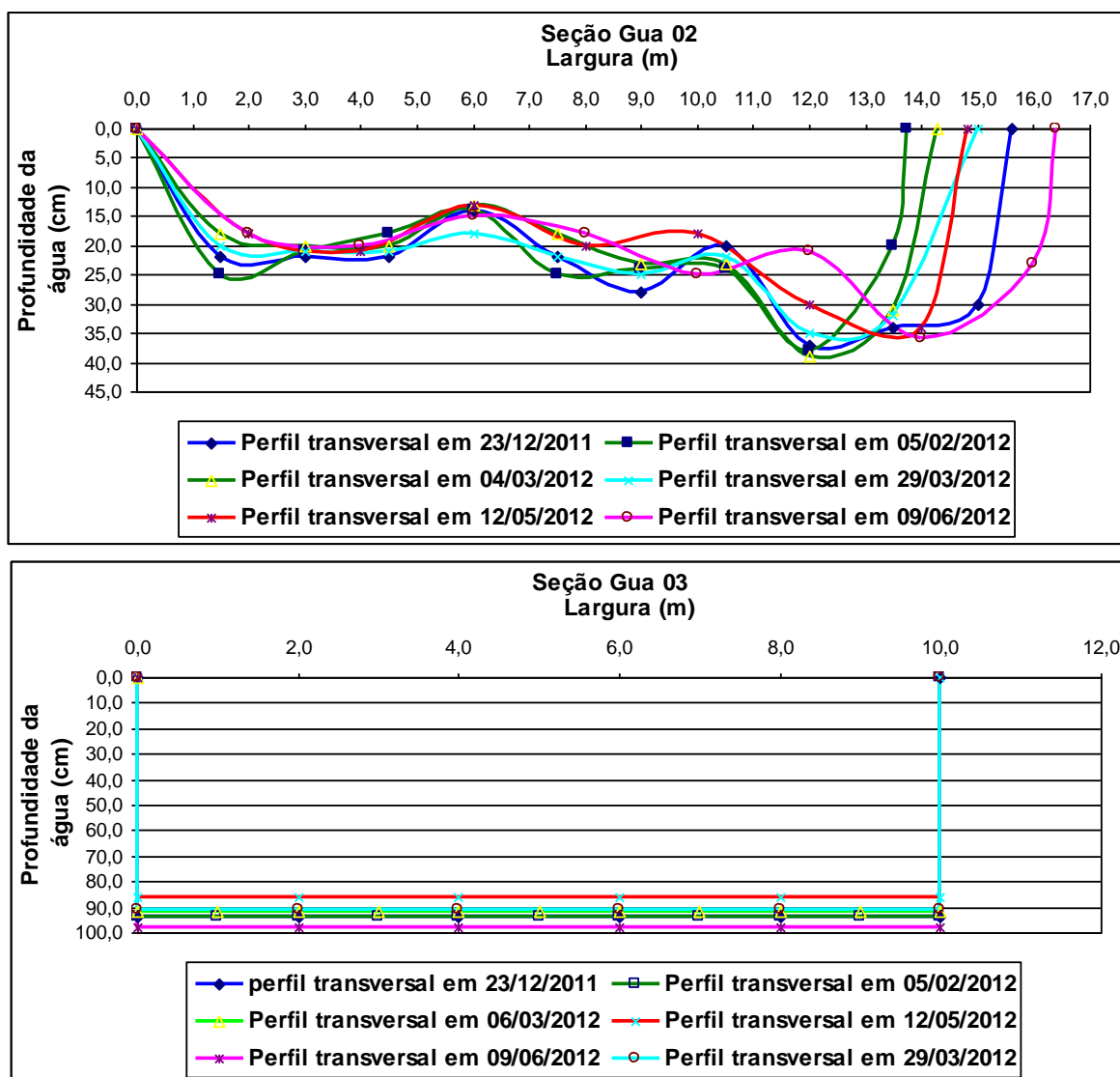
A **Figura 4.41** apresenta os perfis transversais de cada seção de medição de vazão desta bacia hidrográfica. Observa-se que na seção Gua 01 a largura ao longo do período monitorado variou de 4,40 a 5,00 m e a profundidade máxima foi de 37,0 cm, já na seção Gua 02 a largura variou de 13,75 a 16,40 m e a profundidade máxima foi de 39,0 cm e a seção Gua 03, apresentou uma largura de 10,00 m em todas as medições e a profundidade máxima foi de 98,0 cm.

Ao analisar os parâmetros hidráulicos das seções desta bacia hidrográfica contidos na **Tabela 4.25**, observa-se que na Seção Gua 01, a vazão máxima medida foi de 0,9333 m<sup>3</sup>/s em 07/06/2012, a mínima foi de 0,5171 m<sup>3</sup>/s em 12/05/2012 e a vazão média para o período monitorado foi de 0,7315 m<sup>3</sup>/s, com uma velocidade média de 0,880 m/s.

Na seção Gua 02, a vazão máxima medida foi de 2,0964 m<sup>3</sup>/s em 04/03/2012, a mínima foi de 1,1971 m<sup>3</sup>/s em 12/05/2012 e a vazão média para o período monitorado foi de 1,8553 m<sup>3</sup>/s, com uma velocidade média de 0,583 m/s.

Para a seção Gua 03, a vazão máxima medida foi de 8,9155 m<sup>3</sup>/s em 09/06/2012, a mínima foi de 3,5760 m<sup>3</sup>/s em 12/05/2012 e a vazão média para o período monitorado foi de 7,4479 m<sup>3</sup>/s, com uma velocidade média de 0,968 m/s.





**Figura 4.41. Perfis transversais das seções da bacia hidrográfica Guaju**

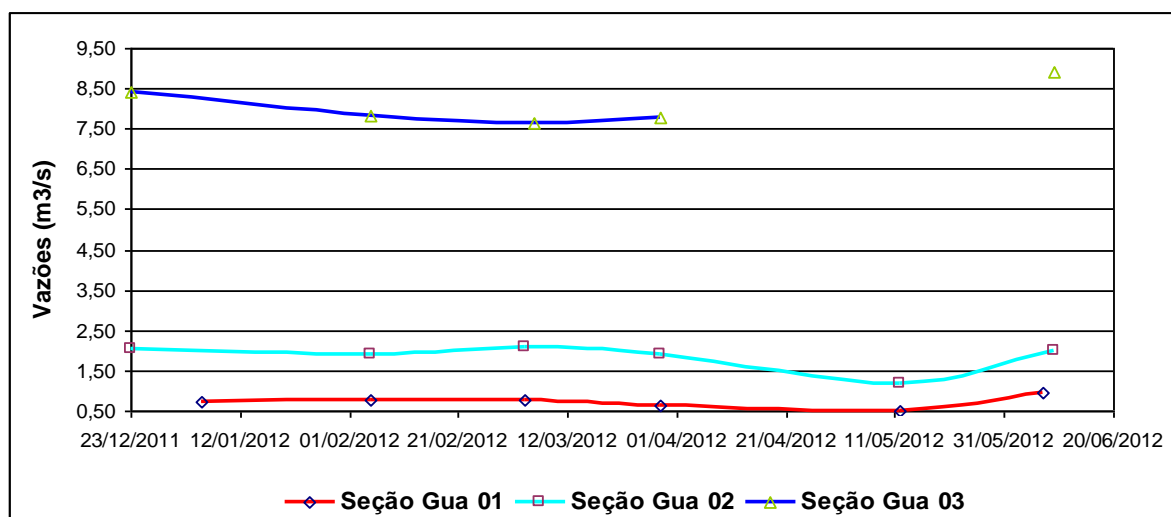
A **Figura 4.42** mostra o hidrograma das três seções, onde as mesmas mantiveram um comportamento semelhante nas variações das vazões, tanto no ramo ascendente como no descendente do hidrograma.

A medição realizada em 12/05/2012 na seção Gua 03, apresentou um valor muito abaixo das demais, o que sugere problemas na medição sendo, portanto, um valor inconsistente. Assim, este valor foi excluído da análise.

A **Figura 4.42** mostra que a seção Gua 01 apresentou dois picos bastante discretos, um no dia 05/02/2012 e outro no dia 07/06/2012, apresentando um período de recessão a partir da segunda quinzena de fevereiro a primeira quinzena de maio, a seção Gua 02 apresentou dois picos também bastante discretos, um no dia 04/03/2012 e outro no dia 07/06/2012, apresentando um período de recessão a partir da primeira quinzena de março até a primeira quinzena de maio de 2012 e a seção Gua 03, apresentou recessão desde a primeira campanha até a primeira

quinzena de maio, com um único pico em 7/06/2012, mesmo avaliando com ressalvas a medição do dia 12/05/2012.

Observa-se também que em todas as seções existe um período comum de recessão que compreende o início de março a início de maio de 2012 (**Figura 4.42**).



**Figura 4.42. Hidrograma das vazões medidas na bacia Guaju**

Ressalta-se, conforme já abordado, que as vazões medidas não representam em ordem de grandeza o comportamento hidrológico da bacia, pois no período de monitoramento, as chuvas ficaram abaixo da média de longo período. Considerando o posto pluviométrico de Pedro Velho como representativo das precipitações, foi registrado, de janeiro a maio de 2012, um volume acumulado de 281,9 mm, dados disponibilizados pela EMPARN, que corresponde a 44,2% do acumulado da média para o mesmo período, que é de 637,4 mm (**Tabela 4.5**). Dessa forma as vazões medidas no início de março ao início de maio de 2012 (**Figura 4.42**) ficaram na fase de recessão, com valores próximos a vazão com 90% de garantia ( $Q_{90}$ ).

A **Figura 4.43** mostra a espacialização dos pontos de interferências outorgadas na bacia do rio Guaju, obtidos em consulta realizada ao banco de dados de outorga da SEMARH, no qual foi verificada a existência de outorgas com vazão total  $0,811 \text{ m}^3/\text{s}$  na bacia Guaju, na área de estudo. A montante das seções de medição Gua 01, Gua 02 e Gua 03, existem outorgadas vazões de  $0,028 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $0,079 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $0,551 \text{ m}^3/\text{s}$  respectivamente. As vazões médias medidas nas respectivas seções foram de  $0,731 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $1,855 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $8,222 \text{ m}^3/\text{s}$  e, desse modo, as vazões outorgadas representam 3,8 %, 4,2 % e 6,7 % respectivamente das vazões médias medidas. Analisando essas informações pode-se dizer que as vazões outorgadas representam muito pouco das vazões médias medidas, permitindo admitir de forma preliminar que as vazões medidas estão muito próximas do regime hidrológico natural dessas bacias.





#### 4.3.6 Avaliação da disponibilidade hídrica

Um dos indicadores regionais utilizados para avaliar a disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica é a curva de permanência. Neste estudo foi obtida a curva de permanência para as seções das estações de monitoramento Dom Marcolino, Pedro Velho, Sítio Choar e Monte Alegre.

A curva de permanência é a frequência com que ocorrem valores iguais ou superiores aos valores de uma série temporal, que no caso em estudo são as vazões dos rios. Existem basicamente duas metodologias para determinar a curva de permanência numa determinada seção de um rio: a metodologia denominada empírica e o ajuste de uma função matemática. No presente estudo foi utilizada a chamada “metodologia empírica”.

Nesta metodologia, os valores das vazões são colocados em ordem decrescente, e a cada valor atribui-se uma ordem, onde ao maior valor é atribuído ordem 1 e ao menor ordem  $n$  e calcula-se a frequência  $F(\%)$  com que cada valor ordenado é igualado ou excedido, conforme equação abaixo:

$$F(\%) = \frac{m * 100}{n}$$

Onde:

$F(\%)$  é a frequência com que os valores são igualados e/ou superados

$m$  é a ordem do evento e

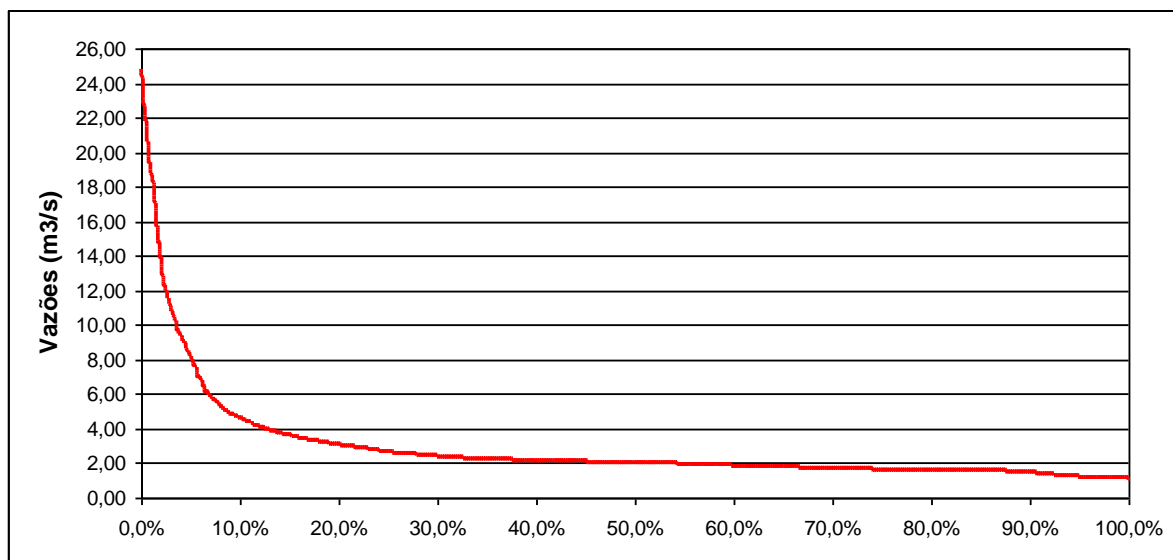
$n$  é o número de eventos.

Para avaliar a vazão com 90% de garantia em cada seção de medição da área de estudo, foi calculada a curva de permanência para as estações de Dom Marcolino, Pedro Velho, Sítio Choar e Monte Alegre conforme mostra as **Figura 4.44 a 4.47** e a **Tabela 4.26** mostra os valores das vazões para uma permanência de 99%, 95%, 90%, 85% e 80% de cada estação fluviométrica citada.

| Tabela 4.26. Vazões de permanência (m³/s) |             |        |        |        |        |
|---|-------------|--------|--------|--------|--------|
| Seção                                     | Permanência |        |        |        |        |
|   | 99%         | 95%    | 90%    | 85%    | 80%    |
| Dom Marcolino                             | 1,1538      | 1,2748 | 1,4876 | 1,5765 | 1,6280 |
| Pedro Velho                               | 0           | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Sítio Choar                               | 0           | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Monte Alegre                              | 0           | 0      | 0,0150 | 0,0350 | 0,0550 |

Na **Tabela 4.26** pode-se observar que as seções fluviométricas de Pedro Velho (38680000) e Sítio Choar (38580000) apresentam vazões nulas para permanências superiores a 80%. A seção Monte Alegre (38485000) apresenta vazões nulas para a

frequência acima de 95% e uma vazão de 0,0150 m<sup>3</sup>/s para uma permanência de 90%, o que pode ser considerado uma disponibilidade muito pequena, indicando que nessas seções os rios são intermitentes. Já a seção Dom Marcolino (38129000) mostrou que existe disponibilidade hídrica para todas as frequências calculadas indicando ser esse rio de caráter perene, com forte predominância do escoamento de base.



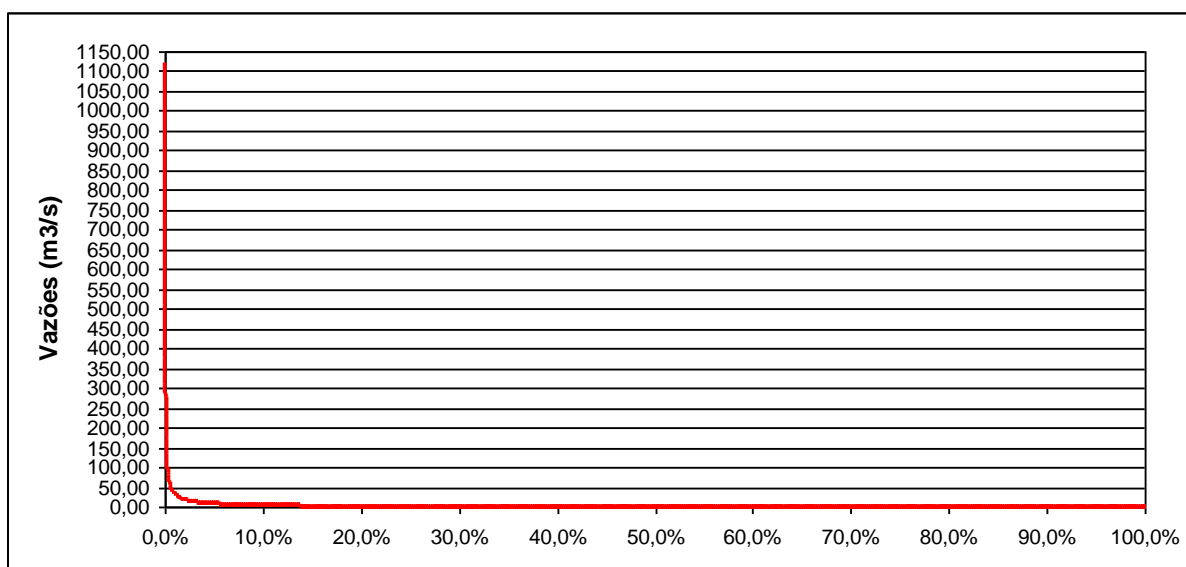
**Figura 4.44. Curva de permanência das vazões na estação de Dom Marcolino**



**Figura 4.45. Curva de permanência das vazões na estação de Pedro Velho**



**Figura 4.46. Curva de permanência das vazões na estação Sítio Choar**



**Figura 4.47. Curva de permanência das vazões na estação Monte Alegre**

#### Avaliação preliminar da vazão de referência das seções das bacias do BLS.

Para analisar a disponibilidade hídrica em cada seção de medição de vazão, estimou-se a  $Q_{90int}$  pela seguinte metodologia:

$$Q_{90int} = (Q_{90R} / Q_R) * Q_{int}.$$

Onde:

$Q_{90int}$  é a vazão com 90% de garantia para a seção de interesse;

$Q_R$  é a vazão medida na seção de referência na mesma data da seção de interesse;

$Q_{90R}$  é a vazão com 90% de garantia da seção de referência, e

$Q_{int}$  é a vazão medida na seção de interesse no final do período de recessão.



A seção de referência utilizada neste estudo foi a estação de monitoramento de Dom Marcolino. Esta estação, apesar de se encontrar relativamente distante da área de estudo, foi considerada por apresentar maior semelhança com as características climáticas, ambientais, hidrológicas e hidrogeológicas do baixo curso dos rios monitorados no presente estudo, uma vez que é a única estação localizada na parte baixa dos rios que deságuam no litoral leste do estado do Rio Grande do Norte e que apresentam regime perene. Desse modo, a  $Q_{90R}$  adotada é de 1,4876 m<sup>3</sup>/s, conforme demonstram a **Tabela 4.26** e a **Figura 4.44**.

Como um dos objetivos do estudo é avaliar as vazões de base dos rios na área de estudo, principalmente a vazão proveniente das formações sedimentares Dunas-Barreiras e Aluvionar, decidiu-se considerar somente como bacia contribuinte para a seção de interesse a área que sobrepõe essas formações. Desta forma, toda e qualquer disponibilidade de água apontada neste estudo estará sendo computada apenas a descarga de base.

Para calcular a vazão com 90% de garantia para todas as seções foram definida as datas das medições de vazões realizadas no início de fevereiro, pois a climatologia mensal da precipitação pluviométrica da região mostra que a partir de fevereiro inicia-se o período chuvoso, conforme **Figura 4.9**, terminando assim o período de recessão das vazões nos rios da área de estudo.

Muito embora durante o período de medições de vazões de dez/2011 a junho/2012, tenham ocorrido valores menores que os medidos em fevereiro de 2012, essas vazões não foram consideradas para calcular a  $Q_{90}$ , pois esses valores aconteceram em plena estação chuvosa da região em estudo. Essa situação aconteceu devido à estação chuvosa de 2012 ter ficado muito abaixo da média de longo período.

#### Bacia do rio Trairi

As vazões com 90% de garantia para as seções de medição na bacia Trairi são mostradas na **Tabela 4.27**. Nesta tabela são apresentadas também as vazões das seções de medição e da seção de referência (Dom Marcolino) na data de interesse.

| <b>Tabela 4.27. Cálculo das vazões com 90% de garantia para a bacia hidrográfica Trairi</b> |             |   |  |  |  |
|---|-------------|---|--|--|--|
| <b>Seções</b>   | <b>Data</b> | <b><math>Q_{int}</math> (m<sup>3</sup>/s)</b> | <b><math>Q_{DM}</math> (m<sup>3</sup>/s)</b> | <b><math>Q_{90}</math> (m<sup>3</sup>/s)</b> | <b><math>Q_{90 int}</math> (m<sup>3</sup>/s)</b> |
| Tra 01  | 04/02/2012  | 0,3900  | 1,4900                                       | 1,4876                                       | 0,3894   |
| Tra 02  | 04/02/2012  | 0,6810  | 1,4900                                       | 1,4876                                       | 0,6799   |

#### Bacia do rio Jacu

As vazões com 90% de garantia para as 05 (cinco) seções de medição na bacia Jacu são mostradas na **Tabela 4.28**. Nesta são apresentadas também as vazões

das seções de medição e da seção de referência (Dom Marcolino) no dia de interesse.

| <b>Tabela 4.28. Cálculo das vazões com 90% de garantia para a bacia hidrográfica Jacu</b> |             |  |   |   |   |
|---|-------------|--|---|---|---|
| <b>Seções</b>   | <b>Data</b> | <b>Q<sub>int</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>Q<sub>DM</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>Q<sub>90</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>Q<sub>90 int</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b> |
| Jac 01  | 04/03/2012  | 0,0236                                   | 1,9200                                  | 1,4876                                  | 0,0183                                      |
| Jac 02  | 04/02/2012  | 0,0997                                   | 1,4900                                  | 1,4876                                  | 0,0995                                      |
| Jac 03  | 04/02/2012  | 0,3895                                   | 1,4900                                  | 1,4876                                  | 0,3889                                      |
| Jac 04  | 04/02/2012  | 0,2320                                   | 1,4900                                  | 1,4876                                  | 0,2316                                      |
| Jac 05  | 04/02/2012  | 0,0906                                   | 1,4900                                  | 1,4876                                  | 0,0904                                      |

#### Bacia do rio Catu

As vazões com 90% de garantia para as 03 (três) seções de medição na bacia Catu são mostradas na **Tabela 4.29**. Nesta tabela são apresentadas também as vazões das seções de medição e da seção de referência (Dom Marcolino) no dia de interesse.

| <b>Tabela 4.29. Cálculo das vazões com 90% de garantia para a bacia hidrográfica Catu</b> |             |  |   |   |   |
|---|-------------|--|---|---|---|
| <b>Seções</b>   | <b>Data</b> | <b>Q<sub>int</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>Q<sub>DM</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>Q<sub>90</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>Q<sub>90 int</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b> |
| Cat 01  | 05/02/2012  | 1,1849                                   | 1,4900                                  | 1,4876                                  | 1,1830                                      |
| Cat 02  | 05/02/2012  | 3,2073                                   | 1,4900                                  | 1,4876                                  | 3,2021                                      |
| Cat 03  | 05/02/2012  | 0,3940                                   | 1,4900                                  | 1,4876                                  | 0,3934                                      |

#### Bacia do rio Curimataú

As vazões com 90% de garantia para as 05 (cinco) seções de medição na bacia Curimataú são mostradas na **Tabela 4.30**. Nesta tabela são apresentadas também as vazões das seções de medição e da seção de referência (Dom Marcolino) no dia de interesse.

| <b>Tabela 4.30. Cálculo das vazões com 90% de garantia para a bacia hidrográfica Curimataú</b> |             |  |   |   |   |
|--|-------------|--|---|---|---|
| <b>Seções</b>  | <b>Data</b> | <b>Q<sub>int</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>Q<sub>DM</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>Q<sub>90</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>Q<sub>90 int</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b> |
| Cur 01   | 04/02/2012  | 0,6502                                   | 1,4900                                  | 1,4876                                  | 0,6491                                      |
| Cur 02   | 04/02/2012  | 1,2441                                   | 1,4900                                  | 1,4876                                  | 1,2421                                      |
| Cur 03   | 05/02/2012  | 1,1478                                   | 1,4900                                  | 1,4876                                  | 1,1459                                      |
| Cur 04   | 04/02/2012  | 0,3802                                   | 1,4900                                  | 1,4876                                  | 0,3796                                      |
| Cur 05   | 07/02/2012  | 0,5197                                   | 1,4400                                  | 1,4876                                  | 0,5369                                      |

#### Bacia do rio Guaju

As vazões com 90% de garantia para as 03 (três) seções de medição na bacia Guaju são mostradas na **Tabela 4.31**. Nesta tabela são apresentadas também as vazões das seções de medição e da seção de referência (Dom Marcolino) no dia de interesse.

| Tabela 4.31. Cálculo das vazões com 90% de garantia para a bacia hidrográfica Guaju |            |                   |                  |                  |                      |
|---|------------|-------------------|------------------|------------------|----------------------|
| Seções  | Data       | $Q_{int} (m^3/s)$ | $Q_{DM} (m^3/s)$ | $Q_{90} (m^3/s)$ | $Q_{90 int} (m^3/s)$ |
| Gua 01  | 05/02/2012 | 0,7792            | 1,4900           | 1,4876           | 0,7779               |
| Gua 02  | 05/02/2012 | 1,8970            | 1,4900           | 1,4876           | 1,8939               |
| Gua 03  | 05/02/2012 | 8,3403            | 1,4900           | 1,4876           | 8,3269               |

#### 4.3.7 Considerações gerais sobre a avaliação hidrológica

Apresenta-se, a seguir, uma síntese das principais informações levadas no presente estudo, colocando em destaque os aspectos mais relevantes relativos às disponibilidades dos recursos hídricos superficiais nas bacias da área de estudo denominada Bloco Litoral Sul.

- Todas as seções fluviométricas apresentaram vazões no período monitorado;
- A seção de medição de vazão Gua 03 foi a que apresentou os maiores valores de vazões, com uma média de 7,4479 m<sup>3</sup>/s;
- Pode-se afirmar que na área estudada os rios são perenes;
- As vazões medidas nas 18 (dezoito) seções variaram de 8,9155 m<sup>3</sup>/s na seção Gua 03 no dia 09/06/2012 a 0,0180 m<sup>3</sup>/s na seção Jac 01 no dia 12/05/2012;
- A área estudada apresenta precipitações pluviométricas média anual variando de 1.000,0 na borda oeste do BLS a valores superiores a 1.500,0 mm na faixa litorânea leste;
- O rio Guaju foi o que apresentou as maiores vazões no período de medição, se mostrando como o rio de maior potencial hídrico na área do BLS do Estado do Rio Grande do Norte;
- O período de monitoramento não permitiu a caracterização da curva de recessão dos rios monitorados, recomendando-se a continuidade do monitoramento para identificar o comportamento das vazões no período de estiagem;
- Os corpos de água superficiais das bacias estudadas são perenes, devido, principalmente, a contribuição do fluxo de base, que permite a manutenção da vazão nos grandes períodos de estiagem;
- A metodologia usada para calcular a vazão com 90% de garantia nas seções de medição de vazões necessita ser validada com um maior número de medições;
- As bacias das seções Jac 01 que é o rio Salto, a Jac 02 que é o rio Riacho das Pedras, Jac 05, que é o rio Guariba e a seção Cat 03, que é um afluente do rio Catu pela margem esquerda, se mostraram com pouco potencial hídrico superficial, apresentando vazões médias inferiores a 0,40 m<sup>3</sup>/s.

## 5 PROSPECÇÃO GEOFÍSICA

O levantamento geofísico raso foi realizado com o objetivo principal de suprir de informações locais onde os dados de poços, quando existentes, não eram suficientes para a elaboração de um modelo geométrico preliminar para o aquífero Barreiras nas áreas de estudo, sobretudo na forma de perfis hidrogeológicos. Neste aspecto, a informação preponderante buscada foi a profundidade da base do aquífero, indicada regionalmente pelo topo da sequência carbonática mesozóica não aflorante (arenitos a argilitos calcíferos, segundo a terminologia conhecida e historicamente mais utilizado para a região).

O método geofísico adotado, face à sua reconhecida aplicabilidade na pesquisa de águas subterrâneas, foi o da eletro-resistividade (ASTIER, 1975; CUSTÓDIO; LLAMAS, 2001; FEITOSA *et al.* 2008). Dentre as modalidades de utilização deste método, a técnica escolhida de acordo com os objetivos a serem alcançados foi a de Sondagem Elétrica (S.E.V.), com arranjo de eletrodos quadripolar simétrico Schlumberger. Esta técnica permite caracterizar as variações da resistividade em função da profundidade, desde que seja válido para a área um modelo de camadas planas e paralelas. O equipamento utilizado no presente levantamento foi um resistivímetro modelo ABM AL 48-b. Ruídos atribuídos a possíveis induções eletromagnéticas foram controlados mantendo-se distâncias adequadas entre os cabos de recepção e transmissão.

Outros procedimentos operacionais envolveram cuidados na locação das sondagens e na redução de resistências de contato. Na locação, buscaram-se áreas de menor fluxo de pessoas e animais (evitando acidentes e danos aos equipamentos) e topografia suave, que permitisse uma abertura de eletrodos compatível com a profundidade de exploração. As resistências de contato foram reduzidas com o uso de água salgada em torno dos eletrodos, além da realização de limpezas periódicas nestes. Na execução de cada sondagem, utilizou-se ainda a técnica da “embreagem” (ORELLANA, 1972). Esta técnica consiste em se efetuar leituras com o mesmo AB (eletrodos de corrente) e utilizando diferentes aberturas de MN (eletrodos de potencial). Tais mudanças buscam melhorar a relação sinal/ruído, além de permitir a identificação de efeitos de variação lateral de resistividade nas proximidades dos eletrodos de potencial.

Entre os dias 16 a 19 de janeiro de 2012, foram executadas 12 sondagens elétricas na área do Bloco Litoral Sul, apresentados na **Figura 5.1** e na **Tabela 5.1**, com uma abertura máxima de eletrodos de 1 km ( $AB/2 = 500$  m). Os valores de altimetria foram estimados a partir da *Shuttle Radar Topography Mission-SRTM* (EMBRAPA, 2005). As espessuras saturadas dizem respeito apenas ao aquífero Barreiras e não à coluna sedimentar terciária-quadernária. A adoção do SRTM para a determinação das cotas topográficas é motivada pela inexistência de outras bases de dados topográficos mais precisos para a região. De qualquer modo, as imprecisões do



SRTM não interferem na obtenção e interpretação dos resultados, sobretudo pela escala do trabalho.

A **Tabela 5.1** apresenta as sondagens elétricas executadas na área, com suas respectivas espessuras saturadas e não saturadas obtidas a partir do modelamento e inversão dos dados de campo; coordenadas UTM de acordo com o datum WGS-84.

| Tabela 5.1. Pontos de sondagens elétricas no BLS |             |         |        |                       |                           |
|--|-------------|---------|--------|-----------------------|---------------------------|
| SEV*   | Coordenadas |         | Altim. | E <sub>Saturada</sub> | E <sub>Não saturada</sub> |
|  | x           | y       | (m)    | (m)                   | (m)                       |
| PTS1   | 266709      | 9283573 | 65     | 24,3                  | 33,8                      |
| PTS2   | 264771      | 9286546 | 77     | 36,7                  | 31,8                      |
| PTS3   | 271555      | 9286426 | 50     | 54,4                  | 45,5                      |
| PTS4   | 274239      | 9288393 | 39     | 82                    | 8,3                       |
| PTS5   | 276559      | 9290823 | 41     | 97,4                  | 20                        |
| PTS6   | 277139      | 9289588 | 33     | 102                   | 4,7                       |
| PTS7   | 274174      | 9294152 | 33     | 70,7                  | 4,7                       |
| PTS8   | 271535      | 9301407 | 33     | 108                   | 16                        |
| PTS9   | 268750      | 9301731 | 45     | 67                    | 16,2                      |
| PTS10  | 267214      | 9305925 | 11     | 69,8                  | 4,2                       |
| PTS11  | 259217      | 9310373 | 6      | -                     | -                         |
| PTS12  | 256638      | 9315097 | 71     | 100                   | 14,9                      |



## 5.1 Modelo geoeletrico

De acordo com a necessidade de se adotar um modelo consistente com o ambiente geológico com vistas à interpretação de dados geoeletricos, ressalta-se que a área estudada é representada por terrenos sedimentares e com estratificações aproximadamente horizontalizadas. Somado a isso, as distâncias entre as descontinuidades horizontais expressivas (falhas) são bem maiores que as máximas aberturas de eletrodos utilizadas. Dessa forma, o modelo geoeletrico adotado possui as seguintes características:

- O subsolo é constituído por uma sequência de camadas com espessuras ( $E_i$ ) finitas, excetuando-se a última que é dada como infinita;
- Cada camada é admitida como sendo eletricamente homogênea e isotrópica, sendo caracterizada por uma resistividade ( $\rho_i$ );
- As interfaces de separação entre as camadas são planas e horizontais e paralelas à superfície da terra.

## 5.2 Interpretação das sondagens elétricas

A interpretação das sondagens geoeletricas (SEVs) envolveu desde análises preliminares qualitativas, até análises de natureza quantitativa. No primeiro caso, a análise qualitativa das curvas de campo ( $AB/2 \times \rho_a$ ) evidenciou um comportamento geral descendente, com resistividades elevadas nas aberturas de eletrodos iniciais e menores, associadas com a zona não saturada. As exceções desse comportamento inicial devem-se, principalmente, à presença de umidade nas camadas superiores de solos locais, sobretudo aqueles de natureza argilo-arenosa.

A interpretação quantitativa da curva experimental ( $\rho_a \times AB/2$ ) de uma SEV consiste basicamente na obtenção de estimativas numéricas dos parâmetros geoeletricos, no caso, resistividades e espessuras, para o modelo de camadas planas e paralelas. Os ajustes entre as curvas de campo e aquelas interpretadas foram feitos mediante sucessivas tentativas de variações dos parâmetros de um modelo inicialmente proposto, finalizando quando se obteve, ao mesmo tempo, um ajuste satisfatório e a incorporação de vínculos conhecidos sobre o modelo geoeletrico.

### Calibrações geoeletricas

Diante da inexistência de perfis elétricos de poços, que revelassem os valores de resistividades *in situ* dos diversos horizontes estratigráficos locais, adotou-se a estratégia de utilizar sondagens elétricas de “calibração”, executadas adjacentes a poços de perfis estratigráficos conhecidos (LUCENA, 2005). As interpretações destas sondagens foram feitas fixando-se os valores de espessuras das camadas

(fornecidas pelos perfis litológicos) e estimando-se as resistividades, de maneira a ajustar a curva usando intervalos de valores característicos (dados bibliográficos) das respectivas litologias (MEDEIROS; SILVA, 1996).

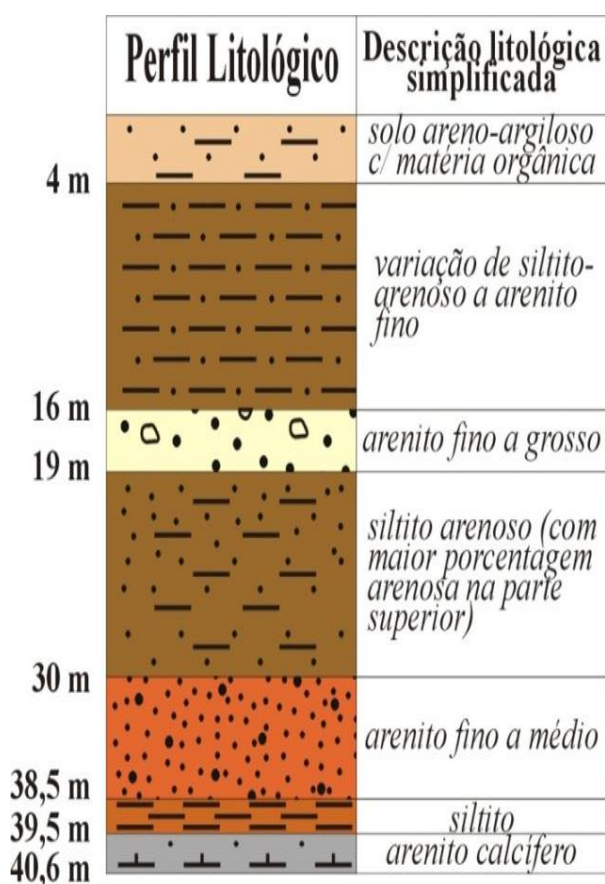
A primeira calibração geolétrica foi realizada contígua a um poço da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte-CAERN, na localidade de Bica (São José de Mipibu-RN), de perfil litológico conhecido (**Figura 5.2**). O ajuste da curva referente a esta calibração (**Figura 5.3**) foi bastante satisfatório, embora pequenas variações texturais e no conteúdo matricial das litologias, descritas no perfil litológico do poço (pequenas mudanças no grau de compactação e/ou na porcentagem de materiais finos/grosseiros, dentre outros) não tenham sido evidenciadas. O fato do embasamento condutivo ter sido identificado a uma profundidade menor que no perfil do poço, é atribuído à variação topográfica observada entre este último e o centro da sondagem (diminuição de cota no sentido da SEV), uma vez que esta não foi efetuada imediatamente contígua ao poço (face ao elevado tráfego de animais e pessoas no local).

Sete principais horizontes geológicos mostraram-se influentes na sondagem, incluindo solo, porções não saturadas e saturadas do aquífero Barreiras e o início do embasamento hidrogeológico deste último (sequência mesozóica não aflorante na área). O modelo ora proposto envolve inicialmente um solo areno-argiloso, úmido e com bastante matéria orgânica, de espessura igual a 2 m e resistividade em torno de 350  $\Omega$ .m. Logo abaixo, tem-se uma sequência indiferenciada, com espessura total de 12 m e resistividade de 65  $\Omega$ .m, litologicamente representada por variações de siltito arenoso a arenito fino.

A seguir, caracterizou-se um pequeno nível de 1 m de arenito fino a grosso e resistividade da ordem de 500  $\Omega$ .m, sobreposto a duas camadas silticas arenosas, com espessuras de 4 m e 8 m e resistividades iguais a 30 e 20  $\Omega$ .m, respectivamente. Finalmente, uma nova camada com 10 m de espessura e resistividade da ordem de 600  $\Omega$ .m, correlacionada pelo perfil de poço a um arenito fino a médio, acha-se repousando sobre um embasamento condutivo de resistividade igual a 40  $\Omega$ .m e associado ao topo dos sedimentos mesozóicos regionais (arenito calcífero).

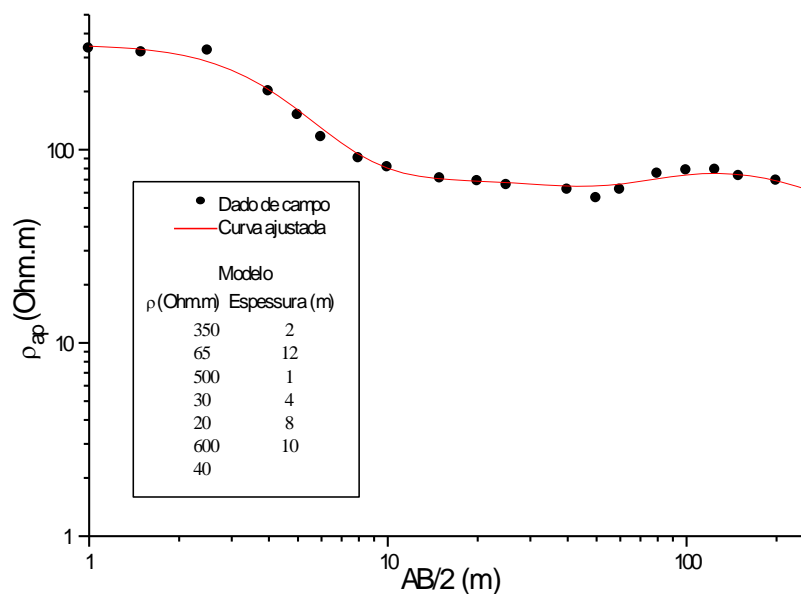
Considerando que o centro da sondagem não foi locado exatamente sobre o poço (e sim a, aproximadamente, 20 m deste), conforme mencionado anteriormente, pequenas variações das espessuras são esperadas. Além disto, a camada siltica de 1 m, na parte inferior do perfil, não foi caracterizada, provavelmente devido ao fenômeno geolétrico de supressão de camadas (ORELLANA, 1972). Em particular, os valores maiores de resistividades (500 - 600  $\Omega$ .m) dizem respeito às camadas de maior transmissividade hídrica do aquífero no local, e, por isso, encontram-se filtradas para captação d'água no perfil construtivo do referido poço.

A segunda calibração, situada na localidade do loteamento Sonho Verde em Parnamirim, executada adjacente ao poço da **Figura 5.4**, definiu um modelo geoeletrico estratigráfico constituído da base para o topo por (**Figura 5.5**): calcário (referente à bacia sedimentar cretácea), arenito calcífero com resistividade de 30  $\Omega$ .m, arenito argiloso passando a arenito fino a grosso com resistividades de 180 e 500  $\Omega$ .m, respectivamente, e sedimentos arenosos com eventual presença argilosa e umidade, apresentando resistividades de 1.200 a 5.500  $\Omega$ .m. A exemplo da primeira calibração, a sondagem não foi executada exatamente sobre a boca do referido poço, o que pode explicar a pequena variação do valor total de espessura até o topo da sequência mesozóica (arenito calcífero) da ordem de 3 m (66 m no perfil litológico do poço e 63 m na interpretação geoeletrica).

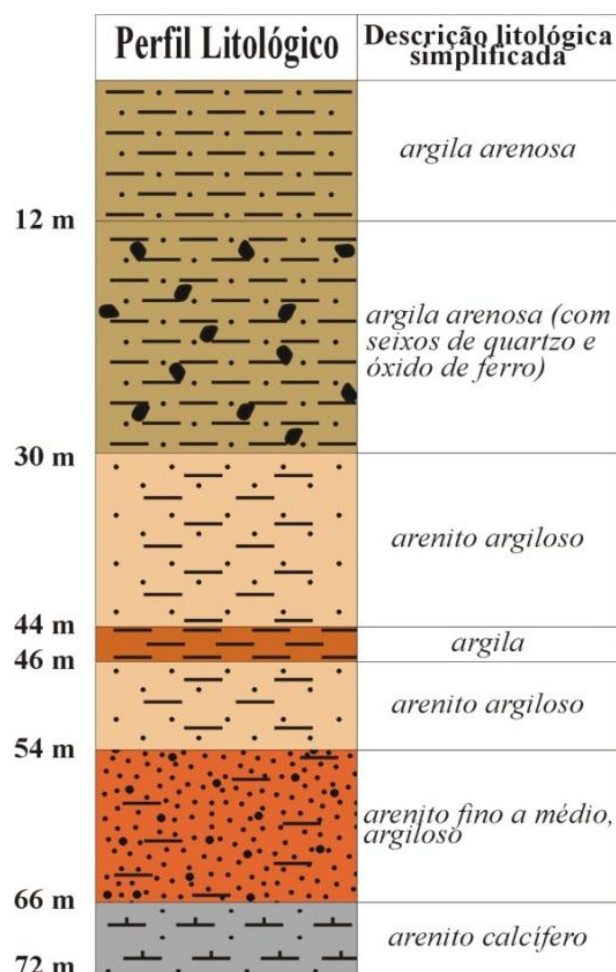


**Figura 5.2. Perfil litológico do poço de propriedade da CAERN, na localidade de Bica-São José de Mipibu (coordenadas 252918E e 9327905N)**

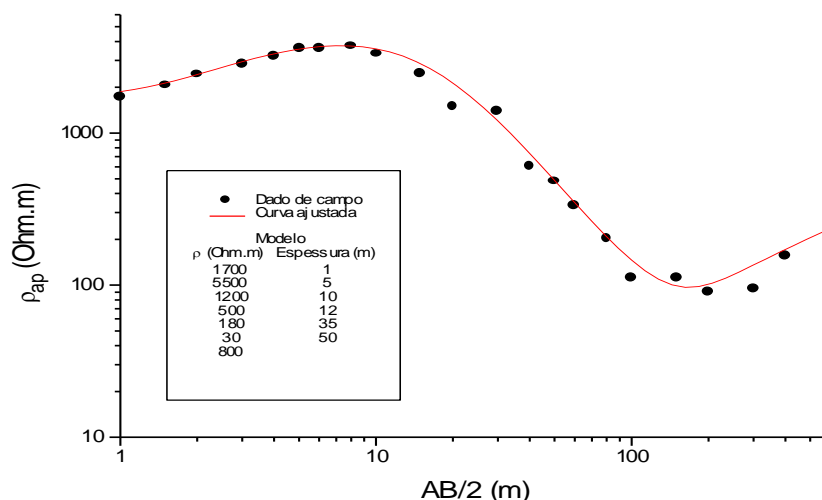




**Figura 5.3. Sondagem elétrica de calibração 1**



**Figura 5.4. Perfil litológico do poço tubular situado no loteamento Sonho Verde em Parnamirim (coordenadas 250072E e 9341890N)**



**Figura 5.5. Segunda sondagem elétrica de calibração**

Diante das duas calibrações geoeletricas reportadas, a **Tabela 5.2.** apresenta uma síntese dessas sondagens, ressaltando a relação entre as principais litologias e suas respectivas resistividades, incluído observações adicionais tais como presença de umidade residual, matéria orgânica, dentre outros aspectos. Os calcários da sequência cretácea, apesar de aparecerem na interpretação de algumas sondagens elétricas (resistividades da ordem de 800 a 1.200  $\Omega$ .m na base da coluna estratigráfica) não foram caracterizados satisfatoriamente por requererem maiores aberturas de eletrodos (maior penetração de corrente elétrica) e não se incluem nos objetivos do presente levantamento.

| <b>Tabela 5.2. Principais litologias e estimativa dos respectivos valores de resistividade e espessura</b> |   |                                   |
|--|---|-----------------------------------|
| <b>Litologias</b>  | <b>Observações</b>  | <b>Resistividades<sup>1</sup></b> |
| Areias quartzosas, pouco compactas (coberturas arenosas)   | Eventual presença de matéria orgânica e/ou fração argilosa. | 1700 - □                          |
| Solo areno-argiloso (fm. Barreiras)  | Eventual presença de matéria orgânica e/ou umidade.         | 350 - 1600                        |
| Argilito arenoso a arenito argiloso (fm. Barreiras)  | Eventual presença de matéria orgânica e/ou umidade.         | 260 - 1800                        |
| Arenito fino a grosso (fm. Barreiras)  | Eventual presença de umidade.                               | 2000 - □                          |
| Argilito/siltito (fm. Barreiras)   | Eventual fração arenosa, saturado.                          | 20 - 65                           |
| Arenito argiloso (fm. Barreiras)   | Saturado  | 180 - 260                         |
| Arenito fino a grosso (fm. Barreiras)  | Saturado  | 400 - 800                         |
| Arenito calcífero  | Embasamento hidrogeológico do SAB                           | 25 - 80                           |

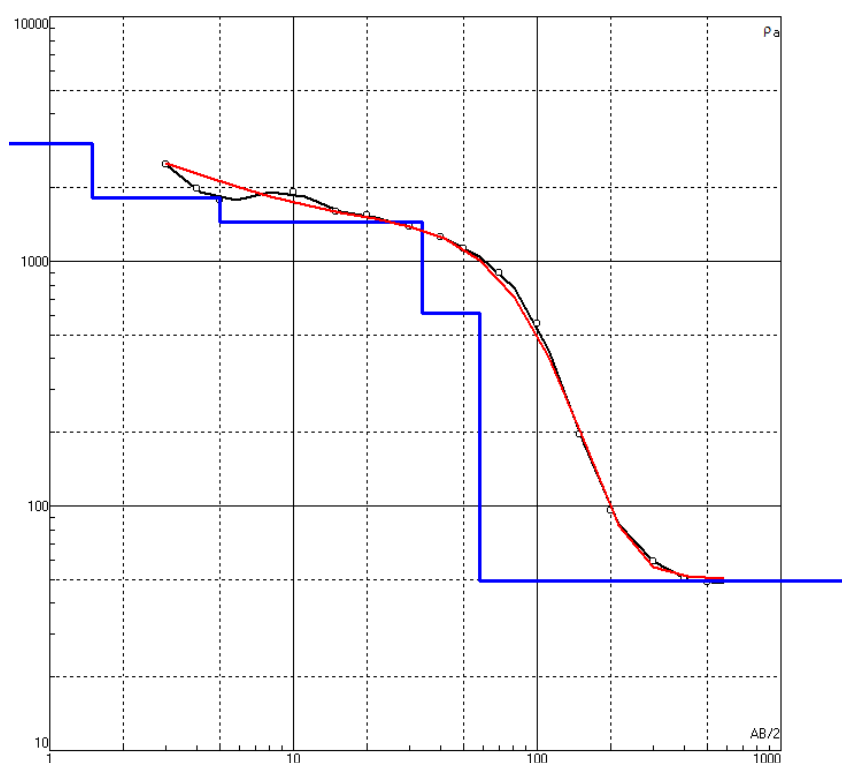
1- Resistividades estimadas ( $\Omega$ .m)

### Outros resultados geoeletricos

Os gráficos com as interpretações das demais SEVs (PTS1 a PTS12) são apresentadas nas **Figuras 5.6 a 5.17** e elaborados conforme as **Tabelas 5.3 a 5.14**, seguidas dos respectivos textos explicativos e sínteses interpretativas. Nesses gráficos, a linha em preto representa a curva/dados de campo, a linha em vermelho representa a curva ajustada mediante inversão dos dados de campo, enquanto que

a linha azul evidencia o modelo de camadas proposto. As localizações dos pontos PTS1 a PTS12 estão apresentadas na **Figura 5.1**.

Ressalta-se que, em face da extensão da área em estudo, variações de resistividades e litologias apresentadas na **Tabela 5.2** foram ocasionalmente consideradas, embora rigorosamente dentro de limites aceitáveis e de acordo com o prévio conhecimento da hidroestratigrafia, litologia e hidrogeofísica da formação Barreiras e aquífero homônimo. Outro fator a ser ressaltado foi a ocorrência de precipitações pluviométricas imediatamente ou mesmo durante a execução de algumas SEVs, fato este que, embora tenha reduzido as resistências de contato eletrodos-solo, ocasionou a configuração de resistividades proporcionalmente reduzidas da zona não saturada, quando confrontadas com valores representativos (calibrações geoeletricas) desse horizonte hidroestratigráfico.



**Figura 5.6. Sondagem elétrica PTS1**

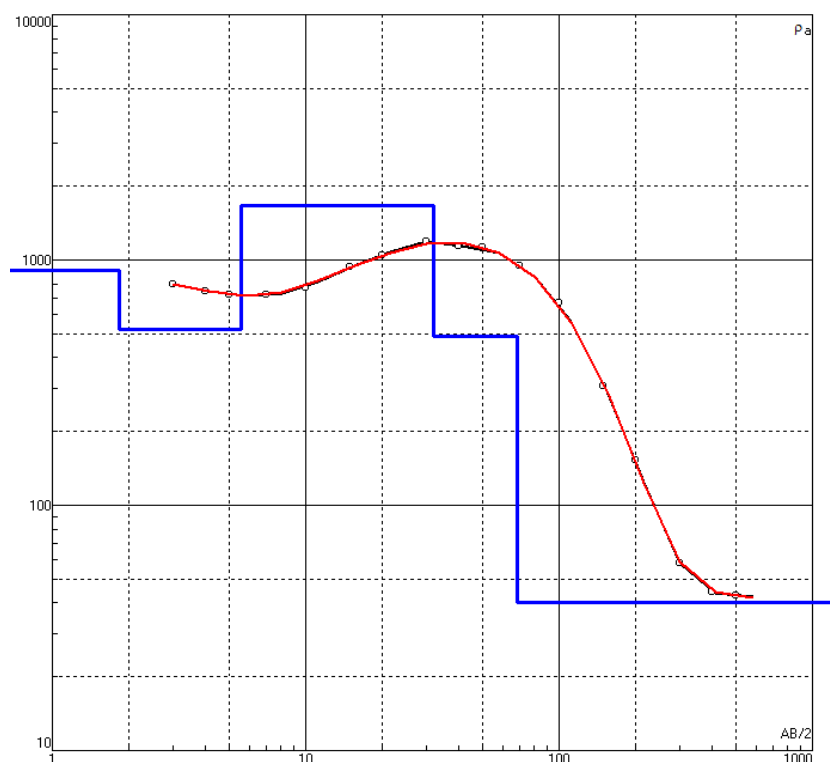
**Tabela 5.3. Modelo inverso proposto de “resistividades ( $\rho$ ) x espessuras (h)” para a SEV PTS1**

| N | $\rho$ | h    | d    | Alt    |
|---|--------|------|------|--------|
| 1 | 3018   | 1.5  | 1.5  | -1.5   |
| 2 | 1820   | 3.5  | 5    | -4.995 |
| 3 | 1454   | 28.8 | 33.8 | -33.76 |
| 4 | 615    | 24.3 | 58.1 | -58.11 |
| 5 | 49.1   |      |      |        |

Os resultados da inversão dos dados de campo da PTS1 e sua interpretação são compatíveis com um modelo geoeletrico constituído por 5 camadas, sendo as três primeiras, com resistividades de 3.018, 1.820 e 1454  $\Omega.m$ , e espessuras de 1,5, 3,5

e 28,8 m, respectivamente, compatíveis com sedimentos/rochas de textura areno-argilosa, sendo o percentual argiloso e possível umidade residual crescente no sentido da terceira camada; a quarta camada, com resistividade de 615  $\Omega.m$  e espessura aproximada de 24 m, é compatível com rochas de textura arenosa saturada, associada ao aquífero Barreiras; a quinta e última camada geoeletrica, com resistividade de 49,1  $\Omega.m$ , pode ser interpretada como sendo compatível com arenitos a argilitos calcíferos. Esta interpretação é condizente com uma profundidade da base da formação Barreiras em torno de 58m. A não caracterização da ascendência do ramo final da curva interpretada pode, alternativamente, compatibilizar-se com argilitos saturados do aquífero Barreiras (quinta camada geoeletrica); contudo, tal interpretação não se ajustaria com a proximidade do Embasamento Cristalino a oeste da sondagem elétrica, já que o modelo alternativo evidenciaria uma profundidade da base da formação Barreiras superior a 120 m.

A espessura saturada do aquífero Barreiras, considerando a primeira hipótese de modelo geoeletrico reportado, é da ordem de 24,3 m, enquanto que a superfície livre das águas, interpretada na época do levantamento, em janeiro de 2012, situa-se a cerca de 33,8 m de profundidade. A elevação local, inferida a partir do modelo digital de terreno SRTM é de 65 m.

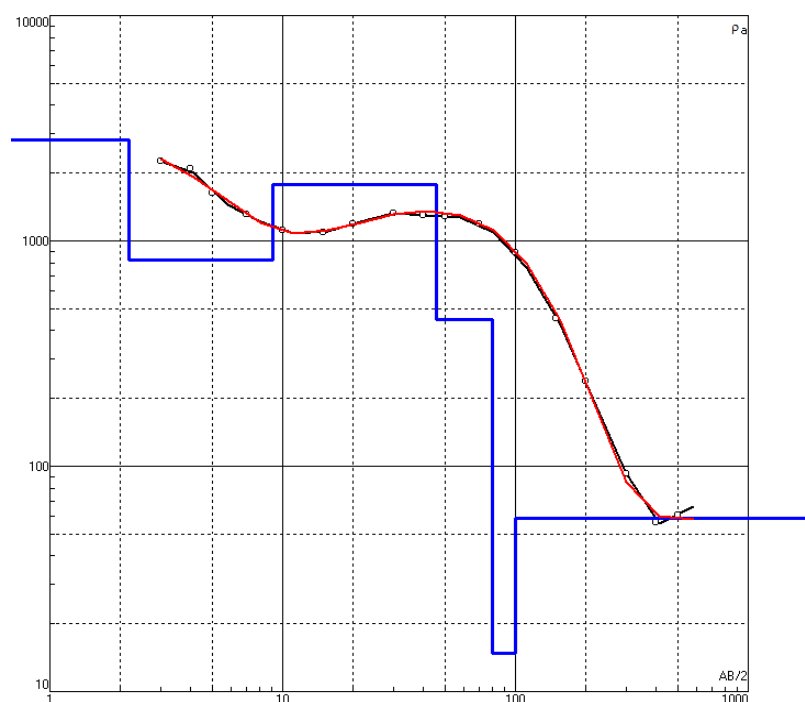


**Figura 5.7. Sondagem elétrica PTS2**

| Tabela 5.4. Modelo inverso proposto de<br>“resistividades ( $\rho$ ) x espessuras (h)” para a SEV PTS2 |        |       |       |         |
|--|--------|-------|-------|---------|
| N  | $\rho$ | h     | d     | Alt     |
| 1  | 902.5  | 1.83  | 1.83  | -1.8297 |
| 2  | 520.5  | 3.741 | 5.571 | -5.5705 |
| 3  | 1664   | 26.26 | 31.83 | -31.834 |
| 4  | 487.5  | 36.78 | 68.62 | -68.618 |
| 5  | 40.21  |       |       |         |

Os resultados da inversão dos dados de campo da PTS2 e sua interpretação são compatíveis com um modelo geoeletrico constituído por 5 camadas, sendo as três primeiras, com resistividades de 902,5, 520,5 e 1.664  $\Omega.m$ , e espessuras de 1,83, 3,7 e 26,2 m, respectivamente, compatíveis com sedimentos/rochas de textura areno-argilosa e umidade residual, embora não saturado; a quarta camada, com resistividade de 487,5  $\Omega.m$  e espessura aproximada de 36,7 m, é compatível com rochas de textura arenosa saturada, associada ao aquífero Barreiras; a quinta e última camada geoeletrica, com resistividade de 40,2  $\Omega.m$ , conforme discussão realizada para o modelo interpretativo da PTS1, é associada com arenitos a argilitos de composição calcífera, sobretudo pela incipiente tendência de estabilização da curva de campo em seu ramo final.

A espessura saturada do aquífero Barreiras, considerando a hipótese de modelo geoeletrico reportado, é da ordem de 36,7 m, enquanto que a superfície livre das águas, interpretada na época do presente levantamento, situa-se a cerca de 31,8 m de profundidade. A elevação local, inferida a partir do modelo digital de terreno SRTM é de 77 m.



**Figura 5.8. Sondagem elétrica PTS3**

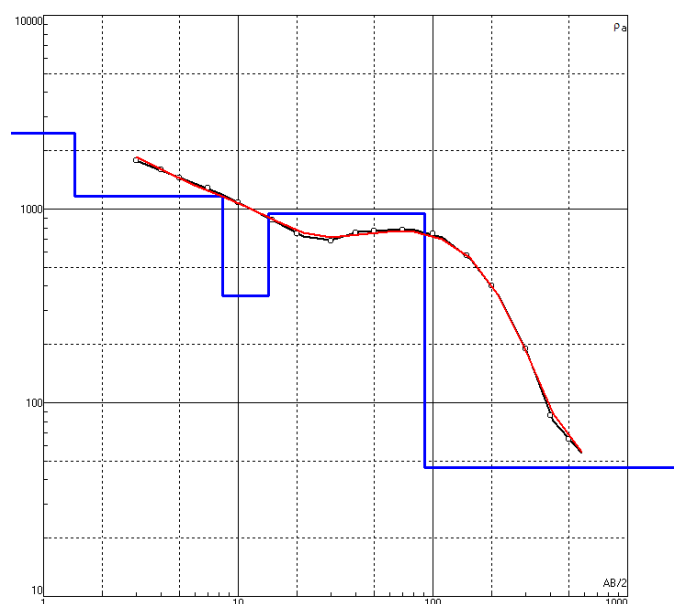


**Tabela 5.5. Modelo inverso proposto de “resistividades ( $\rho$ ) x espessuras (h)” para a SEV PTS03**

| N | $\rho$ | h     | d     | Alt     |
|---|--------|-------|-------|---------|
| 1 | 2807   | 2.18  | 2.18  | -2.1804 |
| 2 | 823.5  | 6.915 | 9.095 | -9.0954 |
| 3 | 1782   | 36.46 | 45.56 | -45.556 |
| 4 | 447.1  | 34.33 | 79.88 | -79.882 |
| 5 | 14.82  | 20.12 | 100   | -100    |
| 6 | 58.73  |       |       |         |

Os resultados da inversão dos dados de campo da PTS3 e sua interpretação são compatíveis com um modelo geoeletrico constituído por 6 camadas, sendo as três primeiras, com resistividades de 2.807, 823,5 e 1.782  $\Omega.m$ , e espessuras de 2,1, 6,9 e 36,4 m, respectivamente, compatíveis com sedimentos/rochas de textura areno-argilosa e umidade residual, principalmente na camada intermediária (esta, provavelmente, com maior percentual argiloso); a quarta camada, com resistividade de 447,1  $\Omega.m$  e espessura aproximada de 34,3 m, é compatível com rochas de textura arenosa saturada, associada ao aquífero Barreiras; a quinta camada, com resistividade de 14,8  $\Omega.m$  e espessura de aproximadamente 20 m, é compatível com argilitos saturados do aquífero Barreiras; a última camada geoeletrica, com resistividade de 58,7  $\Omega.m$ , é associada com arenitos a argilitos de composição calcífera, sobretudo pela incipiente tendência ascendente da curva de campo em seu ramo final.

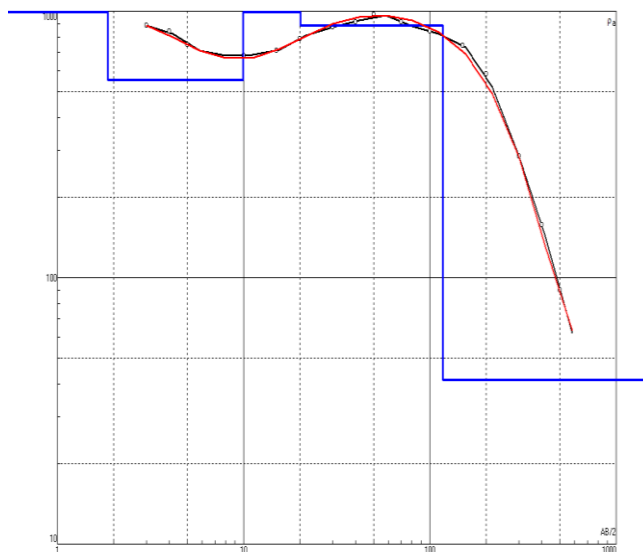
A espessura saturada do aquífero Barreiras, considerando a hipótese de modelo geoeletrico reportado, é da ordem de 54,4 m, enquanto que a superfície livre das águas, interpretada à época do presente levantamento (janeiro de 2012), situa-se a cerca de 45,5 m de profundidade. A elevação local, inferida a partir do modelo digital de terreno SRTM é de 50 m.

**Figura 5.9. Sondagem elétrica PTS4**

| Tabela 5.6. Modelo inverso proposto de “resistividades ( $\rho$ ) x espessuras (h)” para a SEV PTS4 |        |       |       |         |
|---|--------|-------|-------|---------|
| N   | $\rho$ | h     | d     | Alt     |
| 1   | 2456   | 1.454 | 1.454 | -1.4541 |
| 2   | 1162   | 6.839 | 8.293 | -8.2929 |
| 3   | 357.2  | 5.979 | 14.27 | -14.272 |
| 4   | 945.4  | 76.8  | 91.07 | -91.067 |
| 5   | 46.42  |       |       |         |

Os resultados da inversão dos dados de campo da PTS4 e sua interpretação são compatíveis com um modelo geoeletrico constituído por 5 camadas, sendo as duas primeiras, com resistividades de 2.456 e 1.162  $\Omega.m$ , e espessuras de 1,4 e 6,8 m, respectivamente, compatíveis com sedimentos/rochas de textura areno-argilosa e umidade residual na segunda camada (esta, provavelmente, com maior percentual argiloso); a terceira camada, com resistividade de 357,2  $\Omega.m$  e espessura aproximada de 5,9 m, é compatível com rochas de textura areno-argilosa saturada, associada ao aquífero Barreiras; a quarta camada, com resistividade de 945,4  $\Omega.m$  e espessura de aproximadamente 76 m, é compatível com arenitos saturados do aquífero Barreiras; a última camada geoeletrica, com resistividade de 46,4  $\Omega.m$ , é associada com arenitos a argilitos de composição calcífera, embora seja, alternativamente, também compatível com argilitos do aquífero Barreiras. Essa ambiguidade deve-se ao fato da curva de campo não ter caracterizado a ascendência de seu ramo final, costumeiramente associado com a sedimentação carbonática mesozóica.

Diante do exposto, a espessura saturada ora determinada, da ordem de 82 m, deve ser vista com reservas (o que representaria um valor mínimo para este parâmetro), enquanto que a superfície livre das águas, interpretada à época do presente levantamento (janeiro de 2012), situa-se a cerca de 8,3 m de profundidade. A elevação local, inferida a partir do modelo digital de terreno SRTM é de 39 m.

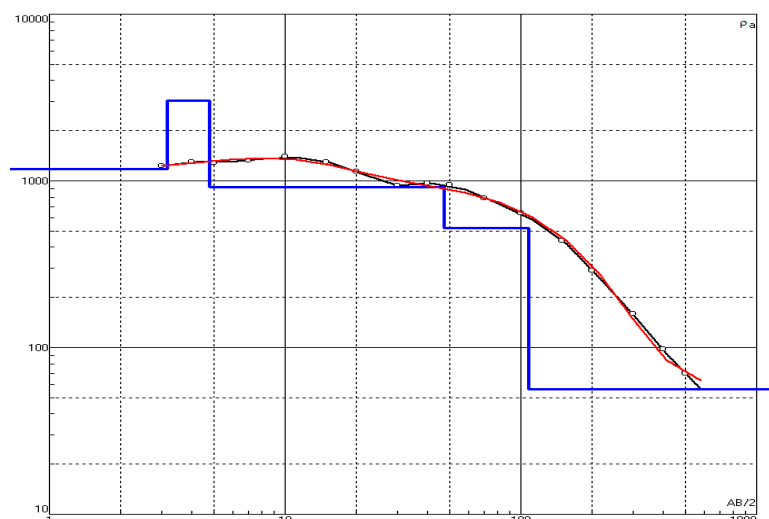


**Figura 5.10. Sondagem elétrica PTS5**

| <b>Tabela 5.7. Modelo inverso proposto de “resistividades (<math>\rho</math>) x espessuras (h)” para a SEV PTS5</b> |                          |          |          |            |
|---|--------------------------|----------|----------|------------|
| <b>N</b>  | <b><math>\rho</math></b> | <b>h</b> | <b>d</b> | <b>Alt</b> |
| <b>1</b>  | 1027                     | 1.863    | 1.863    | -1.8634    |
| <b>2</b>  | 552.3                    | 8.04     | 9.903    | -9.903     |
| <b>3</b>  | 1660                     | 10.27    | 20.17    | -20.17     |
| <b>4</b>  | 881.7                    | 97.41    | 117.6    | -117.58    |
| <b>5</b>  | 41.42                    |          |          |            |

Os resultados da inversão dos dados de campo da PTS5 e sua interpretação são compatíveis com um modelo geoeletrico constituído por 5 camadas, sendo as três primeiras, com resistividades de 1.027, 552,3 e 1.660  $\Omega.m$ , e espessuras de 1,8 e 8 e 10,2 m, respectivamente, compatíveis com sedimentos/rochas de textura areno-argilosa e umidade residual na camada intermediária (esta, provavelmente, com maior percentual argiloso); a quarta camada, com resistividade de 881  $\Omega.m$  e espessura de aproximadamente 97 m, é compatível com arenitos saturados do aquífero Barreiras; a última camada geoeletrica, com resistividade de 41,2  $\Omega.m$ , é associada com arenitos a argilitos de composição calcífera, embora seja, alternativamente, também compatível com argilitos do aquífero Barreiras. Essa ambiguidade deve-se ao fato da curva de campo não ter caracterizado a ascendência de seu ramo final, a exemplo da sondagem geoeletrica PTS4.

Diante do exposto, a espessura saturada ora determinada, da ordem de 97,4 m, deve ser vista com reservas (o que representaria um valor mínimo para este parâmetro), enquanto que a superfície livre das águas, interpretada à época do presente levantamento (janeiro de 2012), situa-se a cerca de 20 m de profundidade. A elevação local, inferida a partir do modelo digital de terreno SRTM é de 41 m.

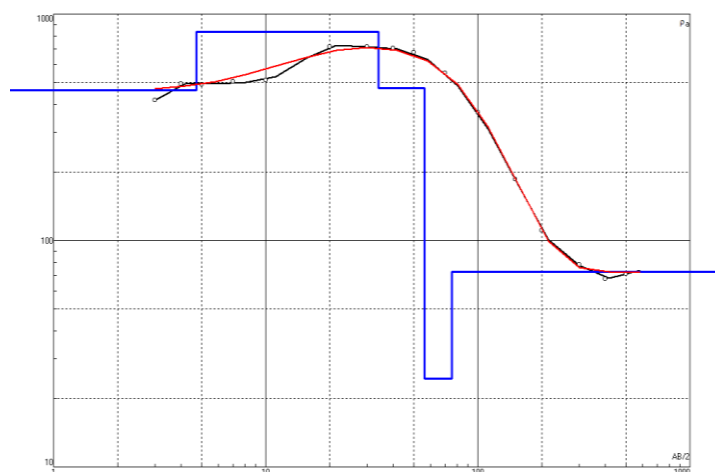


**Figura 5.11. Sondagem elétrica PTS6**

| <b>Tabela 5.8. Modelo inverso proposto de “resistividades (<math>\rho</math>) x espessuras (h)” para a SEV PTS6</b> |                          |          |          |            |
|---|--------------------------|----------|----------|------------|
| <b>N</b>  | <b><math>\rho</math></b> | <b>h</b> | <b>d</b> | <b>Alt</b> |
| <b>1</b>  | 1176                     | 3.158    | 3.158    | -3.1581    |
| <b>2</b>  | 3031                     | 1.621    | 4.78     | -4.7796    |
| <b>3</b>  | 913.5                    | 42.51    | 47.29    | -47.294    |
| <b>4</b>  | 519.3                    | 60.48    | 107.8    | -107.78    |
| <b>5</b>  | 55.97                    |          |          |            |

Os resultados da inversão dos dados de campo da PTS6 e sua interpretação são compatíveis com um modelo geoeletrico constituído por 5 camadas, sendo as duas primeiras, com resistividades de 1.176 e 3.031  $\Omega.m$ , e espessuras de 3,1 e 1,6 m, respectivamente, compatíveis com sedimentos/rochas de textura areno-argilosa e umidade residual na camada superficial; a terceira e quarta camadas, com resistividades de 913,5 e 519,3  $\Omega.m$ , e espessuras de aproximadamente 42,5 e 60,4 m, são compatíveis com arenitos saturados do aquífero Barreiras, sendo a resistividade maior associado com arenitos mais limpos; a última camada geoeletrica, com resistividade de 55,9  $\Omega.m$ , é compatível com arenitos a argilitos de composição calcífera, embora seja, alternativamente, também condizente com argilitos do aquífero Barreiras. Essa ambiguidade deve-se ao fato da curva de campo igualmente não ter caracterizado a ascendência de seu ramo final, a exemplo das sondagens geoeletricas PTS4 e PTS5.

Diante do exposto, a espessura saturada ora determinada, da ordem de 102 m, deve ser vista com reservas (o que representaria um valor mínimo para este parâmetro), enquanto que a superfície livre das águas, interpretada à época do presente levantamento, situa-se a cerca de 4,7 m de profundidade. A elevação local, inferida a partir do modelo digital de terreno SRTM é de 33 m.



**Figura 5.12. Sondagem elétrica PTS7**

**Tabela 5.9. Modelo inverso proposto de “resistividades ( $\rho$ ) x espessuras (h)” para a SEV PTS7**

| N | $\rho$ | h    | d    | Alt    |
|---|--------|------|------|--------|
| 1 | 461    | 4.7  | 4.7  | -4.698 |
| 2 | 835    | 29.3 | 34   | -33.98 |
| 3 | 470    | 22   | 56   | -56.03 |
| 4 | 24.6   | 19.4 | 75.4 | -75.4  |
| 5 | 72.7   |      |      |        |

Os resultados da inversão dos dados de campo da PTS7 e sua interpretação são compatíveis com um modelo geoeletrico constituído por 5 camadas, sendo a primeira, com resistividade de 461  $\Omega.m$  e espessura de 4,7 m, compatível com sedimentos/rochas de textura areno-argilosa e umidade residual; a segunda e terceira e camadas, com resistividades de 835 e 470  $\Omega.m$ , e espessuras de aproximadamente 29,3 e 22 m, respectivamente, são compatíveis com arenitos saturados do aquífero Barreiras, sendo a resistividade maior associado com arenitos mais limpos; a quarta camada, com resistividade de 24,6  $\Omega.m$  e 19,4 m de espessura é associada com rochas argilosas saturadas (aquífero Barreiras); a última camada geoeletrica, com resistividade de 72,7  $\Omega.m$ , é compatível com arenitos a argilitos de composição calcífera, tendo em vista a incipiente tendência ascendente no ramo final da curva interpretada.

Diante do exposto, a espessura saturada ora determinada é da ordem de 70,7 m, enquanto que a superfície livre das águas, interpretada à época do presente levantamento (janeiro de 2012), situa-se a cerca de 4,7 m de profundidade. A elevação local, inferida a partir do modelo digital de terreno SRTM é de 33m.

**Figura 5.13. Sondagem elétrica PTS08**

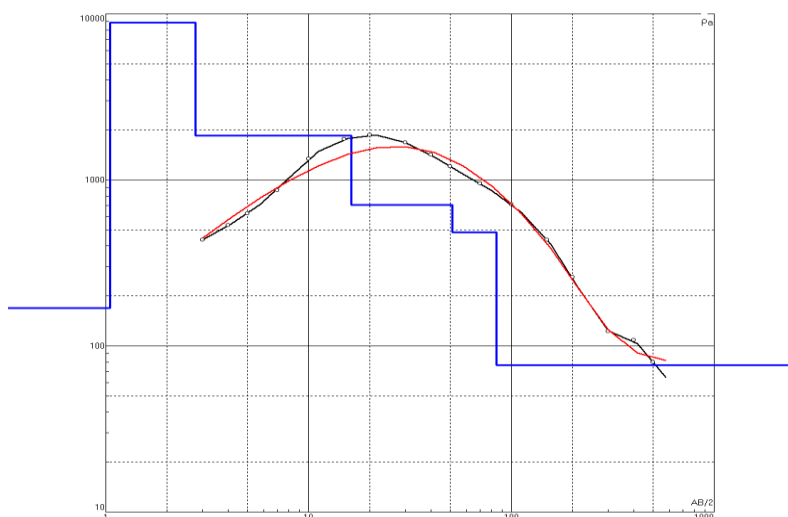


**Tabela 5.10. Modelo inverso proposto de “resistividades ( $\rho$ ) x espessuras (h)” para a SEV PTS08**

| N | $\rho$ | h    | d    | Alt    |
|---|--------|------|------|--------|
| 1 | 2018   | 6.19 | 6.19 | -6.192 |
| 2 | 1000   | 9.82 | 16   | -16.01 |
| 3 | 475    | 43.3 | 59.3 | -59.33 |
| 4 | 214    | 65.6 | 125  | -124.9 |
| 5 | 54.9   |      |      |        |

Os resultados da inversão dos dados de campo da SEV PTS8 e sua interpretação são compatíveis com um modelo geoeletrico constituído por 5 camadas, sendo a primeira e segunda, com resistividades de 2.018 e 1.000  $\Omega.m$ , e espessuras de 6,1 e 9,8m, respectivamente, compatíveis com sedimentos/rochas de textura areno-argilosa e umidade residual; a terceira e quarta camadas, com resistividades de 475 e 214  $\Omega.m$ , e espessuras de aproximadamente 43,3 e 65,6 m, respectivamente, são compatíveis com arenitos argilosos saturados do aquífero Barreiras, sendo a resistividade menor (quarta camada) associada com maiores percentuais argilosos; a última camada geoeletrica, com resistividade de 54,9  $\Omega.m$ , é compatível com arenitos a argilitos de composição calcífera, apesar da não configuração da tendência ascendente no ramo final da curva interpretada. Essa observação é respaldada com informações de poços da região, os quais invariavelmente não mostram espessuras da formação Barreiras superiores a 140 m que pudessem fornecer um modelo geoeletrico interpretativo alternativo.

Diante do exposto, a espessura saturada ora determinada é da ordem de 108 m, enquanto que a superfície livre das águas, interpretada à época do presente levantamento (janeiro de 2012), situa-se a cerca de 16 m de profundidade. A elevação local, inferida a partir do modelo digital de terreno SRTM é de 33 m.

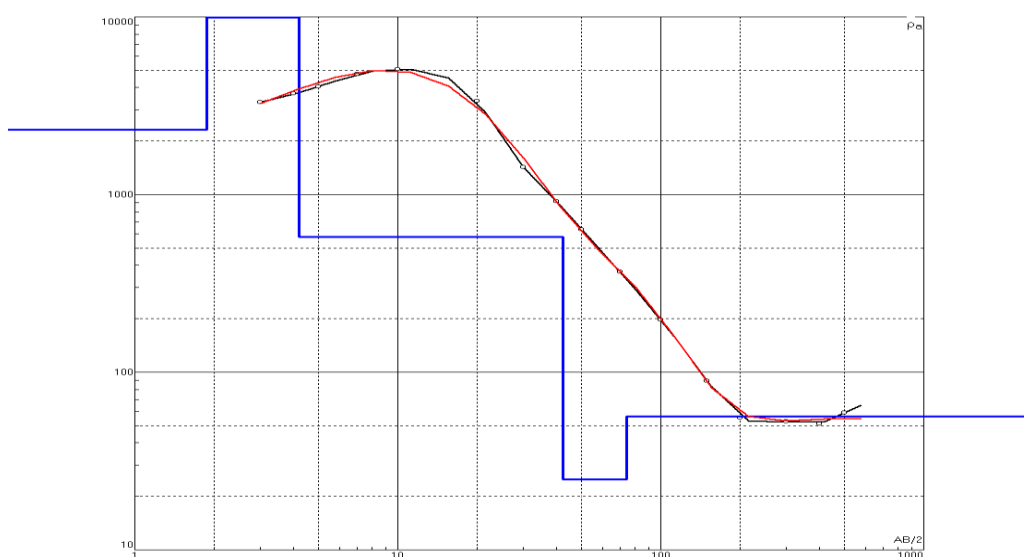
**Figura 5.14. Sondagem elétrica PTS9**

**Tabela 5.11. Modelo inverso proposto de “resistividades ( $\rho$ ) x espessuras (h)” para a SEV PTS9**

| N | $\rho$ | h     | d     | Alt     |
|---|--------|-------|-------|---------|
| 1 | 168.6  | 1.053 | 1.053 | -1.0527 |
| 2 | 8871   | 1.717 | 2.769 | -2.7694 |
| 3 | 1852   | 13.52 | 16.29 | -16.289 |
| 4 | 704    | 35    | 51.29 | -51.292 |
| 5 | 483.1  | 32.98 | 84.27 | -84.268 |
| 6 | 76.69  |       |       |         |

Os resultados da inversão dos dados de campo da SEV PTS9 e sua interpretação são compatíveis com um modelo geoeletrico constituído por 6 camadas, sendo a primeira com resistividade de 168,6  $\Omega.m$  e espessura de 1m representando solos argilosos úmidos; a segunda e terceira camadas, com resistividades de 8.871 e 1.852  $\Omega.m$ , e espessuras de 1,7 e 13,5 m, respectivamente, compatíveis com sedimentos/rochas de textura arenosa no topo e argilosa na base; a terceira e quarta camadas, com resistividades de 704 e 483  $\Omega.m$ , e espessuras de aproximadamente 35 e 32 m, respectivamente, são compatíveis com arenitos saturados do aquífero Barreiras, sendo a resistividade maior (quarta camada) associada com arenitos mais limpos; a última camada geoeletrica, com resistividade de 76,6  $\Omega.m$ , é compatível com arenitos a argilitos de composição calcífera, apesar da não configuração da tendência ascendente no ramo final da curva interpretada. Essa observação é respaldada com informações de poços da região, os quais invariavelmente não mostram espessuras da formação Barreiras superiores a 140 m que pudessem fornecer um modelo geoeletrico interpretativo alternativo.

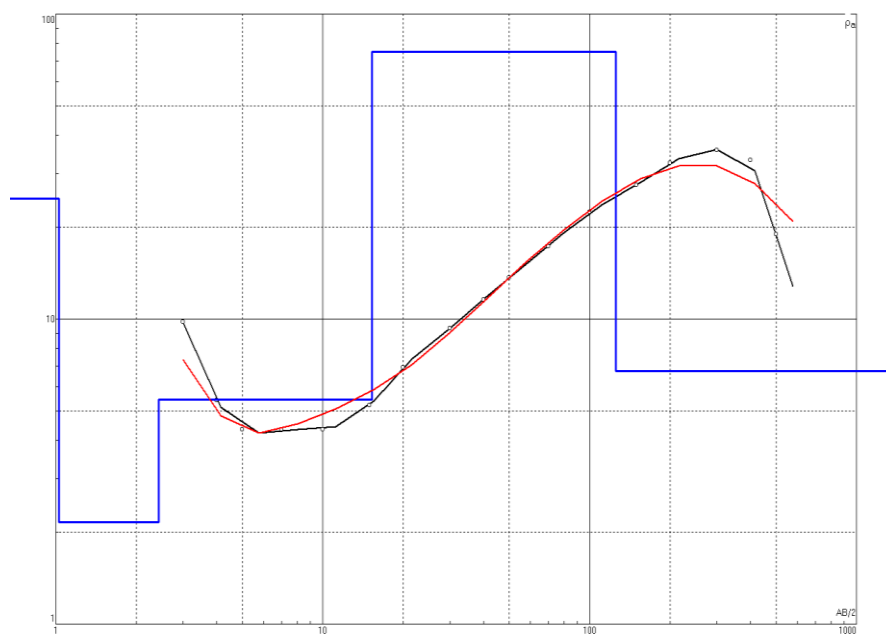
Diante do exposto, a espessura saturada ora determinada é da ordem de 67 m, enquanto que a superfície livre das águas, interpretada à época do levantamento (janeiro de 2012), situa-se a cerca de 16,2 m de profundidade. A elevação local, inferida a partir do modelo digital de terreno SRTM é de 45 m.

**Figura 5.15. Sondagem elétrica PTS10**

| Tabela 5.12. Modelo inverso proposto de<br>“resistividades ( $\rho$ ) x espessuras (h)” para a SEV PTS10 |        |       |       |         |
|--|--------|-------|-------|---------|
| N  | $\rho$ | h     | d     | Alt     |
| 1  | 2309   | 1.87  | 1.87  | -1.8705 |
| 2  | 19787  | 2.344 | 4.215 | -4.2149 |
| 3  | 579.4  | 38.27 | 42.49 | -42.488 |
| 4  | 24.99  | 31.63 | 74.11 | -74.114 |
| 5  | 56.36  |       |       |         |

Os resultados da inversão dos dados de campo da SEV PTS10 e sua interpretação são compatíveis com um modelo geoeletrico constituído por 5 camadas, sendo a primeira e segunda camadas com resistividades de 2.309 e 19.787  $\Omega.m$  e espessuras de 1,8 e 2,3 m, respectivamente, representando solos areno-argilosos úmidos no topo e sedimentos arenosos na base; a terceira camada, com resistividade de 579,4  $\Omega.m$  e espessura de 38,2 m, é compatível com rochas arenosas do aquífero Barreiras; a quarta camada, com resistividade de aproximadamente 25  $\Omega.m$  e espessura de 31,6 m, é compatível com argilitos saturados (aquífero Barreiras), enquanto que a última camada, de resistividade da ordem de 56  $\Omega.m$  é associada com arenitos a argilitos de composição calcífera.

Conforme o modelo reportado, a espessura saturada ora determinada é da ordem de 69,8 m, enquanto que a superfície livre das águas, interpretada à época do presente levantamento (janeiro de 2012), situa-se a cerca de 4,2 m de profundidade. A elevação local, inferida a partir do modelo digital de terreno SRTM é de 11 m.



**Figura 5.16. Sondagem elétrica PTS11**

| Tabela 5.13. Modelo inverso proposto de “resistividades ( $\rho$ ) x espessuras (h)” para a SEV PTS11 |        |       |       |         |
|---|--------|-------|-------|---------|
| N   | $\rho$ | h     | d     | Alt     |
| 1   | 24.77  | 1.026 | 1.026 | -1.0257 |
| 2   | 2.154  | 1.405 | 2.43  | -2.4304 |
| 3   | 5.439  | 12.87 | 15.3  | -15.296 |
| 4   | 75.17  | 110.4 | 125.7 | -125.66 |
| 5   | 6.748  |       |       |         |

Os resultados da inversão dos dados de campo da SEV PTS11 e sua interpretação são compatíveis com um modelo geoeletrico constituído por 5 camadas, com resistividades de 24,7, 2,1, 5,4, 75,1 e 6,7  $\Omega.m$  e espessuras de 1, 1,4, 12,8 e 110,4 m, respectivamente. O referido modelo geoeletrico está associado com um ambiente deposicional de natureza flúvio-marinha, com sedimentos e rochas saturadas com águas de elevada salinidade.

Conforme o modelo reportado, o subsolo investigado encontra-se praticamente todo saturado. A elevação local, inferida a partir do modelo digital de terreno SRTM é de 6m.

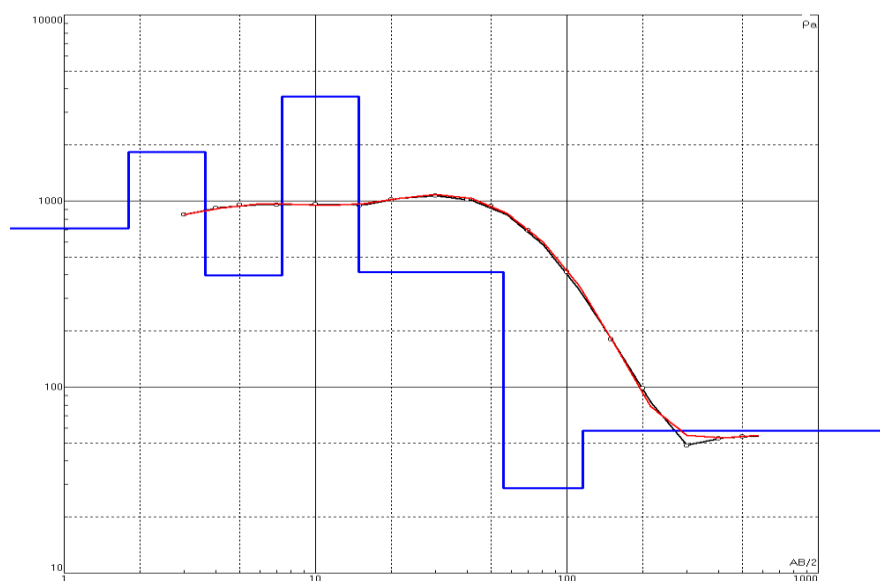


Figura 5.17. Sondagem elétrica PTS12

| Tabela 5.14. Modelo inverso proposto de “resistividades ( $\rho$ ) x espessuras (h)” para a SEV PTS12 |        |       |       |         |
|---|--------|-------|-------|---------|
| N   | $\rho$ | h     | d     | Alt     |
| 1   | 713.2  | 1.8   | 1.8   | -1.8    |
| 2   | 1835   | 1.842 | 3.642 | -3.6422 |
| 3   | 398.2  | 3.728 | 7.37  | -7.3699 |
| 4   | 3634   | 7.543 | 14.91 | -14.913 |
| 5   | 414.1  | 40.96 | 55.88 | -55.876 |
| 6   | 28.66  | 59.79 | 115.7 | -115.67 |
| 7   | 58.32  |       |       |         |

Os resultados da inversão dos dados de campo da SEV PTS12 e sua interpretação são compatíveis com um modelo geoeletrico constituído por 7 camadas, sendo a primeira e segunda camadas, com resistividades de 713,2 e 1.835  $\Omega.m$  e espessuras de 1,8 m cada uma, associadas com solos e coberturas areno-argilosas, com maior umidade na camada superior; a terceira camada, com resistividade de 398,2  $\Omega.m$  e espessura de 3,7 m, é compatível com uma intercalação de natureza argilo-arenosa úmida, ou mesmo representando um nível saturado suspenso; a quarta camada, com resistividade de 3.634  $\Omega.m$  e espessuras de 7,5 m, representa sedimentos/rochas areno-argilosas não saturadas associadas à formação Barreiras, a exemplo das camadas descritas anteriormente; a quinta e sexta camadas, com resistividades de 414,1 e 28,6  $\Omega.m$  e espessuras de 40,9 e 59,7 m, respectivamente, são associadas litologicamente com rochas areno-argilosas no topo e argilosas na base, ambas integrando o aquífero Barreiras; a sétima e última camada geoeletrica caracterizada, de resistividade 58,3  $\Omega.m$ , é compatível com arenitos a argilitos de composição calcífera.

Conforme o modelo reportado, a espessura saturada ora determinada é da ordem de 100 m, enquanto que a superfície livre das águas, interpretada à época do presente levantamento (janeiro de 2012), situa-se a cerca de 14,9 m de profundidade. A elevação local, inferida a partir do modelo digital de terreno SRTM é de 71 m.

Os resultados obtidos em todas as sondagens elétricas verticais foram correlacionados com os modelos elaborados no âmbito deste projeto, sendo utilizados na interpretação aqueles que apresentaram maior coerência com os modelos propostos na escala de trabalho utilizada.

Sendo assim, os resultados interpretativos das sondagens PTS2, PTS7, PTS9 e PTS10 foram utilizados no refinamento do mapa de espessura total do SAB (Capítulo 12 – **Figura 12.6**), enquanto que as sondagens PTS1, PTS2, PTS3, PTS4, PTS5, PTS9 e PTS10 contribuíram para o refinamento do mapa de espessura saturada do SAB (Capítulo 12 – **Figura 12.7**).

Os resultados das demais sondagens elétricas possivelmente indicam variações locais que não são possíveis representar na escala de trabalho adotada. Entretanto, essas informações podem ser de grande relevância para estudos detalhados, principalmente quando apoiadas por dados de investigação direta.



## **6 CONSTRUÇÃO DE POÇOS EXPLORATÓRIOS E POÇOS DE OBSERVAÇÃO**

Em atendimento aos itens 4.1.8, 4.1.9 e 4.1.10 dos Termos de Referência, foram construídos três dispositivos de medição para execução dos testes de aquífero, os quais foram constituídos, cada um, por um poço exploratório totalmente penetrante no aquífero Barreiras e dois poços de observação associados, totalizando a construção de nove poços tubulares. O poço exploratório foi denominado neste relatório como poço de bombeamento, pois foi utilizado apenas para o bombeamento durante a execução dos testes, e não se constitui efetivamente em um poço de exploração.

Os testes de aquífero foram executados nos três dispositivos instalados, através do bombeamento com vazão máxima constante por 48 horas e acompanhamento do rebaixamento do nível d'água no poço bombeado e nos poços de observação e sua posterior recuperação. A hidrodinâmica do Sistema Aquífero Barreiras foi avaliada através da interpretação dos resultados dos três testes de aquífero executados no âmbito deste projeto, com a determinação da transmissividade, condutividade hidráulica, coeficiente de armazenamento e porosidade efetiva, este último, quando possível determinar.

### **6.1 Construção de poços exploratórios e poços de observação**

Os locais para instalação dos dispositivos foram definidos observando-se a necessidade de que essas investigações contribuíssem na concepção do modelo hidrogeológico, tendo em vista a melhoria do conhecimento dos parâmetros hidrodinâmicos e potencialidades do aquífero Barreiras, sendo assim, instalados em áreas com poucas informações disponíveis. Esses locais foram previamente apresentados a CTAF, os quais foram analisados e aprovados.

Ressalva-se a grande dificuldade de convencimento para cessão das áreas por parte dos proprietários, demandando inúmeras visitas de campo e, por vezes, a necessidade de se buscar outras áreas próximas àquelas inicialmente previstas, para a obtenção dos documentos necessários ao protocolo dos requerimentos de obra hidráulica.

As profundidades indicadas no TDR para a construção dos poços eram da ordem de 70 m para cada poço de bombeamento e para os poços de observação de 40 a 70 m, sendo que um destes deveria ter profundidade equivalente ao respectivo poço de bombeamento. A premissa básica a ser observada foi a de que os poços de bombeamento deveriam ser totalmente penetrantes no aquífero Barreiras, e os poços de observação deveriam ser instalados de forma a permitir a interpretação de parâmetros hidráulicos a serem obtidos por ocasião dos testes de aquífero.



Os poços foram posicionados em linha reta, com distâncias de 50 m entre o poço de bombeamento e o primeiro poço de observação e de 100 m entre o poço de bombeamento e o segundo poço de observação. Essas distâncias foram definidas com base técnico-científica, considerando-se a relação de distância entre as espessuras totais e saturadas do aquífero e o posicionamento das seções filtrantes nos poços de bombeamento e de observação.

A construção dos poços foi executada dentro das normas da ABNT, pela empresa Proseng Projetos e Serviços de Engenharia Ltda, fiscalizada e supervisionada pela Servmar, sendo realizados acompanhamentos e fiscalização de campo pelos geólogos das duas empresas. As atividades de projeto e construção dos poços foram realizadas com recolhimento da Anotação de Responsabilidade Técnica – ART, registrada no CREA-RN.

Foram preenchidos todos os requisitos legais por parte da Servmar (projetista) e Proseng (executora contratada) quanto ao protocolo e obtenção de Licença de Obra Hidráulica junto à SEMARH, órgão gestor estadual.

A metodologia empregada utilizou percussão de baixa frequência, com coleta de amostras de metro em metro, possibilitando a descrição litológica macroscópica com a finalidade de selecionar os intervalos a serem aplicadas as seções filtrantes otimizando a produção dos poços.

Os perfis construtivos dos poços foram definidos com base nas descrições macroscópicas das amostras, sendo aplicados tubos de revestimento de pvc geomecânico com conexão ponta e bolsa rosqueável, tipo *standard* e filtros geomecânicos com abertura 0,75 mm, ambos com o diâmetro de 150 mm, instalados nos poços de bombeamento. Os poços de observação foram perfurados em 176,4 mm e revestidos em 50 mm, observados os mesmos critérios dos poços de bombeamento.

O pré-filtro utilizado foi do tipo subangular, com diâmetro de 1,27 a 3 mm. Sobreposto ao pré-filtro foi aplicada *compactolit* para vedação e a porção superior dos poços foi isolada com pasta de cimento a 8% de bentonita, para que não haja contribuição de águas dos níveis mais superiores de forma a influenciar na representatividade dos resultados dos ensaios.

Em todos os poços de bombeamento foi assumida a instalação de tubos de proteção sanitária, adicionalmente aos custos de construção dos poços previstos nessas especificações. A fixação do tubo de proteção sanitária foi efetuada com cimentação em toda a extensão do tubo, formando o selo sanitário de proteção contra infiltrações de águas pluviais via pré-filtro.

Foram instalados tubos guia nos poços de bombeamento, até uma profundidade de 6m abaixo do nível estático de cada poço.

Após o revestimento dos poços foram realizados os acabamentos, construindo-se as lajes de proteção sanitária com a instalação de tubos metálicos dotados de travas e cadeados para garantir o adequado fechamento dos poços. Conforme previsto no escopo desses estudos, os poços foram georreferenciados utilizando GPS Geodésico, sendo realizado entalhe na parte externa do tubo para marcar a posição da cota topográfica obtida.

Todos os poços de bombeamento foram limpos e desenvolvidos pelo sistema de ar comprimido e plungeamento, aplicando o hexametáfosfato de sódio (Hexa T) no processo de desinfecção e limpeza do mesmo. Esta operação foi desenvolvida por um tempo suficiente até que a água bombeada durante o processo de limpeza ficasse completamente limpa e livre de finos (sedimentos).

No município de Arez os poços foram instalados no distrito de Patané. A perfuração para instalação do poço de bombeamento iniciou-se com diâmetro de 16<sup>1/2</sup> pol e foi reduzida para 13 pol aos 4 metros de profundidade e a perfuração para instalação dos poços de observação foi toda realizada em 7 pol. O poço de bombeamento foi instalado com 62 m de profundidade, sendo que o topo das rochas carbonáticas (base do Sistema Aquífero Barreiras) foi atingido com 60 m de profundidade durante a sondagem. Os poços de observação foram instalados com profundidade de 62 m (PO-01) e 50 m (PO-02).

No município de Tibau do Sul os poços foram instalados na Fazenda Carrapato. A perfuração para instalação do poço de bombeamento iniciou-se com diâmetro de 16<sup>1/2</sup> pol e foi reduzida para 13 pol aos 4 metros de profundidade e a perfuração para instalação dos poços de observação foi toda realizada em 7 pol. O poço de bombeamento foi instalado com 80 m de profundidade, e os poços de observação com 80 m (PO-01) e 60 m (PO-02). O topo das rochas carbonáticas (base do Sistema Aquífero Barreiras) foi atingido com 80 m de profundidade durante a sondagem nesse local.

No município de Baía Formosa os poços foram instalados na vila operária da Usina Vale Verde. A perfuração para instalação do poço de bombeamento iniciou-se com diâmetro de 16<sup>1/2</sup> pol e foi reduzida para 13 pol aos 4 metros de profundidade e a perfuração para instalação dos poços de observação foi toda realizada em 7 pol. O poço de bombeamento foi instalado com 68 m de profundidade, e os poços de observação com 68 m (PO-01) e 40 m (PO-02). O topo das rochas carbonáticas (base do Sistema Aquífero Barreiras) foi atingido com 69 m de profundidade durante a sondagem nesse local.

As informações técnicas detalhadas e os perfis construtivos e litológicos dos poços acima mencionados são apresentados no **Apêndice B**. Na discussão dos testes de aquíferos, a seguir, são apresentadas figuras simplificadas dos perfis litológicos e construtivos dos poços instalados.

## 6.2 Testes de aquífero e avaliação dos parâmetros hidrodinâmicos do SAB no BLS

Os parâmetros hidrodinâmicos do Sistema Aquífero Barreiras foram avaliados com base na interpretação dos resultados de três testes de aquífero com dispositivo de poços de observação (piezômetro) realizados no âmbito deste projeto. A **Figura 6.1** apresenta a localização dos conjuntos de poços e piezômetros utilizados nos testes de aquífero.

Os testes de aquífero executados neste estudo contaram com dispositivos de poço de bombeamento (PB) e dois poços de observação (PO). Conforme definido nos Termos de Referência foram executados três testes de aquífero nas localidades de Distrito de Patané, no município de Arez; Fazenda Carrapato, no município de Tibau do Sul e na Vila Operária da Usina Vale Verde, no município de Baía Formosa, os quais foram designados Teste de aquífero 1; Teste de aquífero 2 e Teste de aquífero 3, respectivamente (**Figura 6.2**).

No caso do Teste 1, em Arez, foi bombeado o poço AZR0139 e observado os abaixamentos nos piezômetros AZR0140 e AZR0141 instalados e distanciados de 50 e 100 m do poço bombeado (PB), respectivamente; no Teste 2, na Fazenda Carrapato (Tibau do Sul), foi bombeado o poço TBS0149 e observado os abaixamentos nos piezômetros TBS0150 e TBS0151, situados às distâncias de 50 e 100 m do PB, respectivamente; no Teste 3, na Vila Operária da Usina Vale Verde (Baía Formosa), foi bombeado o poço BFS0052 e observado os abaixamentos nos piezômetros BFS0053 e BFS0054, também distanciados de 50 e 100 m do PB, respectivamente. Além das medições dos abaixamentos dos níveis d'água nos piezômetros, foram também observados e registrados os abaixamentos nos próprios poços bombeados, bem como a recuperação dos níveis d'água nos poços e piezômetros imediatamente depois de encerrados os bombeamentos.

Os poços foram bombeados com bombas submersas por um período de 48 horas cada um deles, com vazão constante. As descargas de água foram medidas pelo método volumétrico. Os níveis d'água foram registrados com o auxílio de medidores de nível de poço elétricos, com fitas milimetradas. Os testes de aquífero foram interpretados com a utilização do software *AquiferTest* (Schlumberger). A **Tabela 6.1** apresenta o resumo dos resultados dos testes de bombeamento e os dados dos testes na íntegra estão no **Apêndice B**.





**Figura 6.2. Localização dos testes de aquíferos executados no BLS**

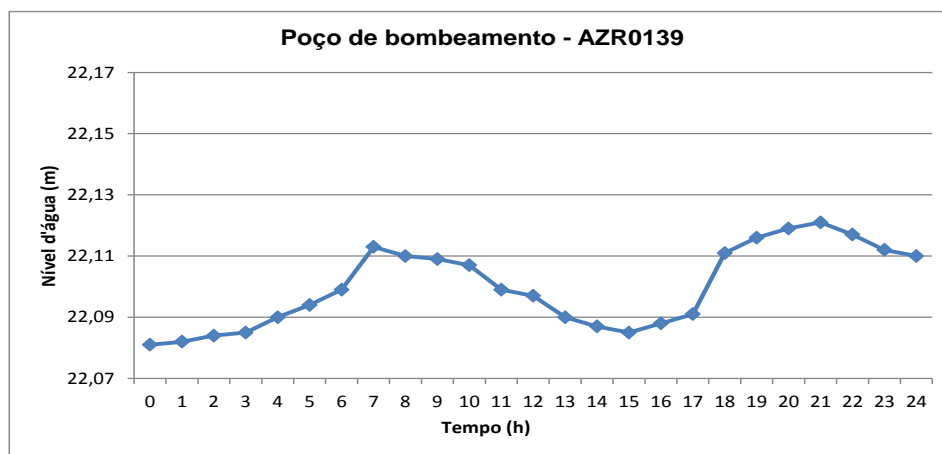
| Tabela 6.1. Resumo dos resultados dos testes de bombeamento |                                    |         |         |          |             |           |           |          |             |             |                 |
|---|------------------------------------|---------|---------|----------|-------------|-----------|-----------|----------|-------------|-------------|-----------------|
| Resultados dos testes de aquífero                           |                                    |         |         |          |             |           |           |          |             |             |                 |
|   | Localidade                         | PB      | PO      | r<br>(m) | PROF<br>(m) | NE<br>(m) | ND<br>(m) | s<br>(m) | Q<br>(m³/h) | Tb<br>(min) | Q/s<br>(m³/h/m) |
| Teste 1   | Patané<br>(Arez)                   | AZR0139 |         |          | 62          | 21,67     | 37,31     | 15,64    | 4,35        | 2880        | 0,28            |
|   |                                    |         | AZR0140 | 50       | 62          | 23,53     | 23,71     | 0,18     |             |             |                 |
|   |                                    |         | AZR0141 | 100      | 50          | 24,78     | 24,88     | 0,1      |             |             |                 |
| Teste 2   | Faz. Carrapato<br>(Tibau do Sul)   | TBS0149 |         |          | 80          | 35,97     | 43,68     | 7,71     | 19,97       | 2880        | 2,59            |
|   |                                    |         | TBS0150 | 50       | 80          | 36,95     | 37,25     | 0,3      |             |             |                 |
|   |                                    |         | TBS0151 | 100      | 60          | 37        | 37,15     | 0,15     |             |             |                 |
| Teste 3   | Usina vale Verde<br>(Baía Formosa) | BFS0052 |         |          | 68          | 25,05     | 37,63     | 12,58    | 40,86       | 2880        | 3,25            |
|   |                                    |         | BFS0053 | 50       | 68          | 25,91     | 26,2      | 0,29     | -           | -           | -               |
|   |                                    |         | BFS0054 | 100      | 40          | 26,69     | 26,87     | 0,18     |             |             |                 |

Obs.: PB: poço bombeado; PO: poço observado; Prof.: profundidade; r: distância poço bombeado poço observado; NE: nível estático; ND: nível dinâmico; s: rebaixamento; Q: vazão; Tb: tempo de bombeamento; Q/s: Vazão específica.

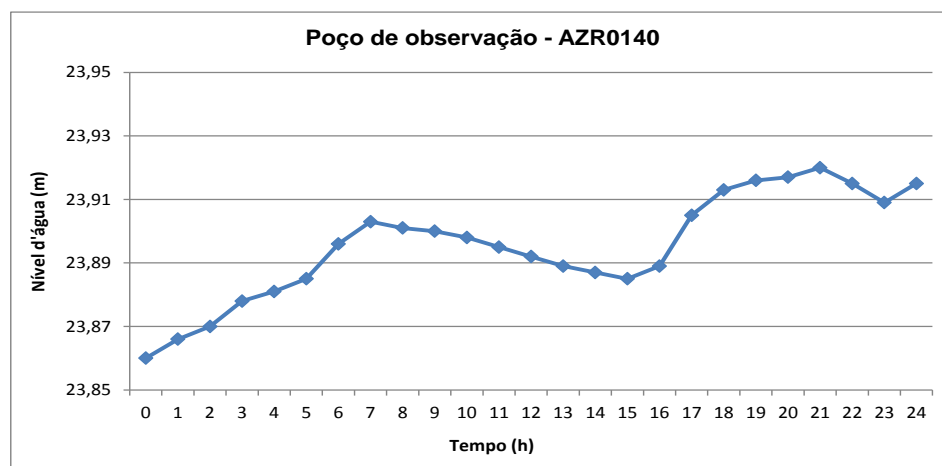
Os piezômetros distanciados de 100 m dos poços bombeados forneceram pequenos rebaixamentos e os resultados não foram satisfatórios, ou seja, não permitiram a avaliação de parâmetros hidrodinâmicos.

A fim de verificar a ocorrência de possíveis oscilações do nível d'água subterrâneo nas áreas dos testes de aquífero, devido tanto a fatores de ordem natural como antrópica, antes da realização dos ensaios foi efetuado o monitoramento do nível d'água nos poços e piezômetros por um período de 24 horas, para que eventuais interferências de nível durante a realização dos testes fossem sanadas. Os dados desse monitoramento encontram-se no **Apêndice B**.

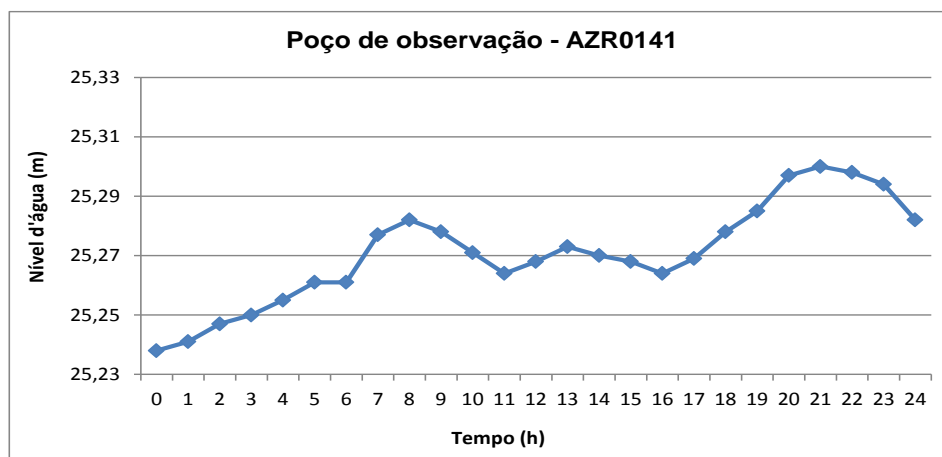
As variações observadas comportaram-se de forma cíclica com oscilações muito pequenas, variando de 1,5 a 4,0 cm (**Figuras 6.3 a 6.11**). As flutuações observadas podem estar associadas à superposição de fatores naturais (variação de pressão e ou variação de maré) com possível influência de fatores antrópicos, associado a bombeamento de poço. Diante das incertezas apresentadas nos resultados obtidos e as pequenas oscilações constatadas, os resultados dos testes de aquífero foram interpretados sem considerar esses fatores.



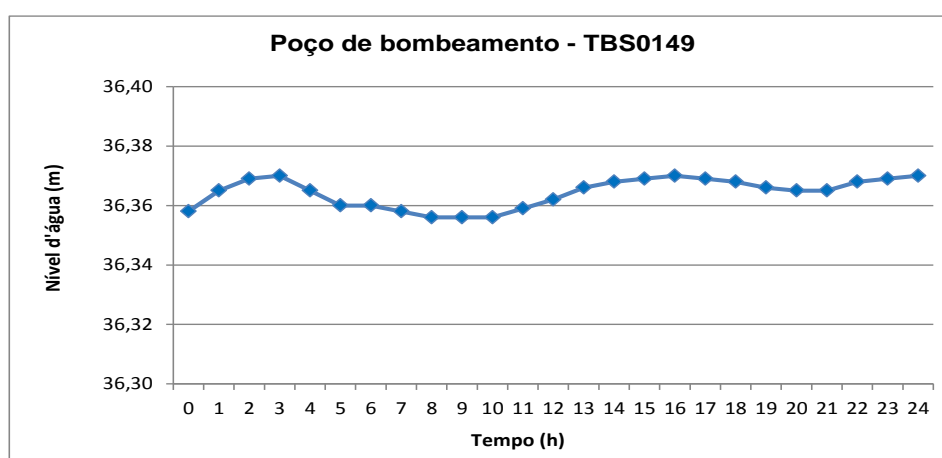
**Figura 6.3. Monitoramento do nível d'água no poço AZR0139 (PB)**



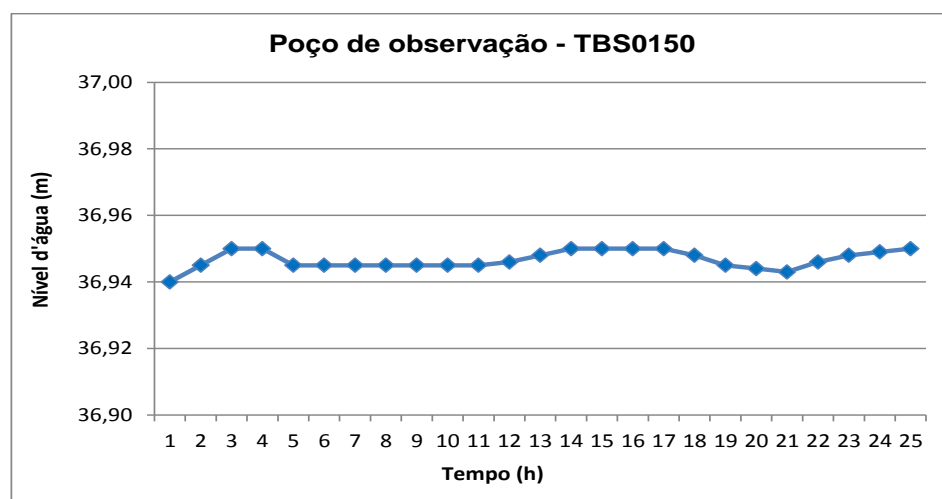
**Figura 6.4. Monitoramento do nível d'água no poço piezômetro AZR0140 (PO-01)**



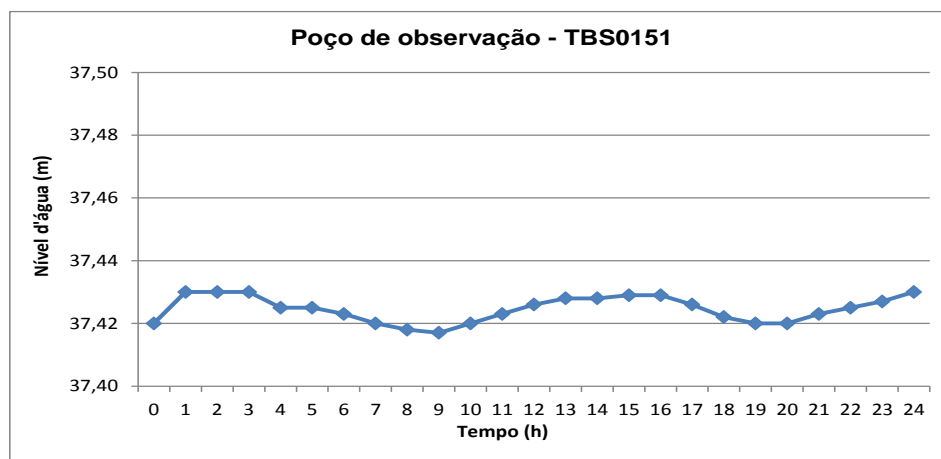
**Figura 6.5. Monitoramento do nível d'água no piezômetro AZR0141 (PO-02)**



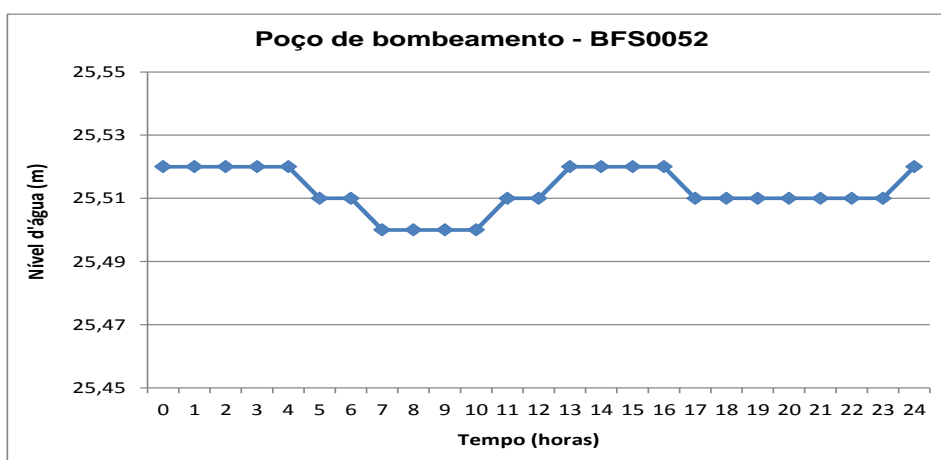
**Figura 6.6. Monitoramento do nível d'água no poço TBS0149 (PB)**



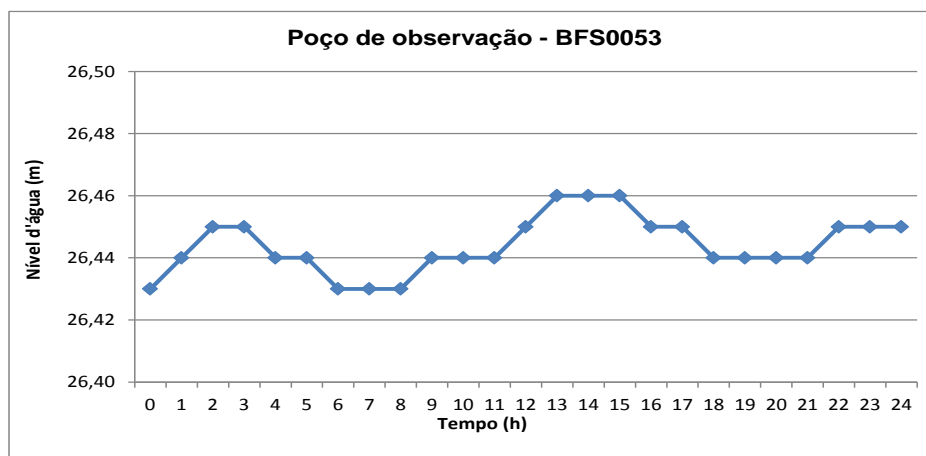
**Figura 6.7. Monitoramento do nível d'água no piezômetro TBS0150 (PO-01)**



**Figura 6.8. Monitoramento do nível d'água no piezômetro TBS0151 (PO-02)**

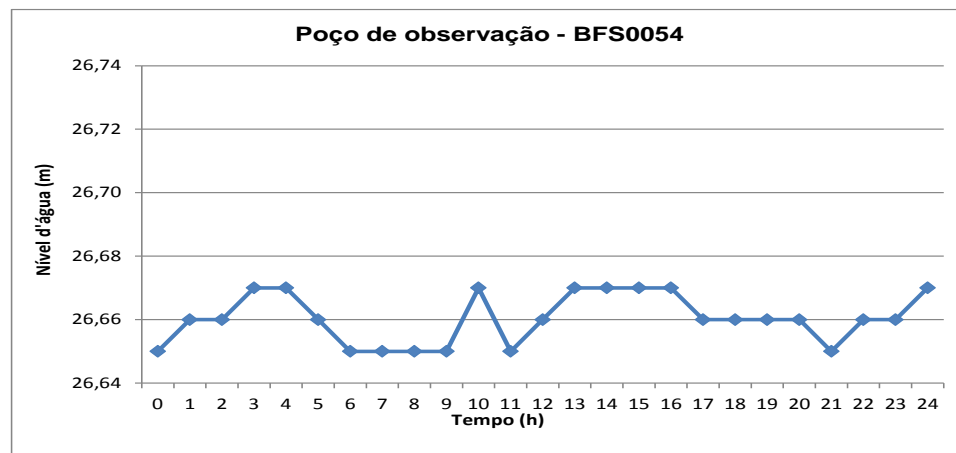


**Figura 6.9. Monitoramento do nível d'água no poço BFS0052 (PB)**



**Figura 6.10. Monitoramento do nível d'água no piezômetro BFS0053 (PO-01)**





**Figura 6.11. Monitoramento do nível d'água no piezômetro BFS0054 (PO-02)**

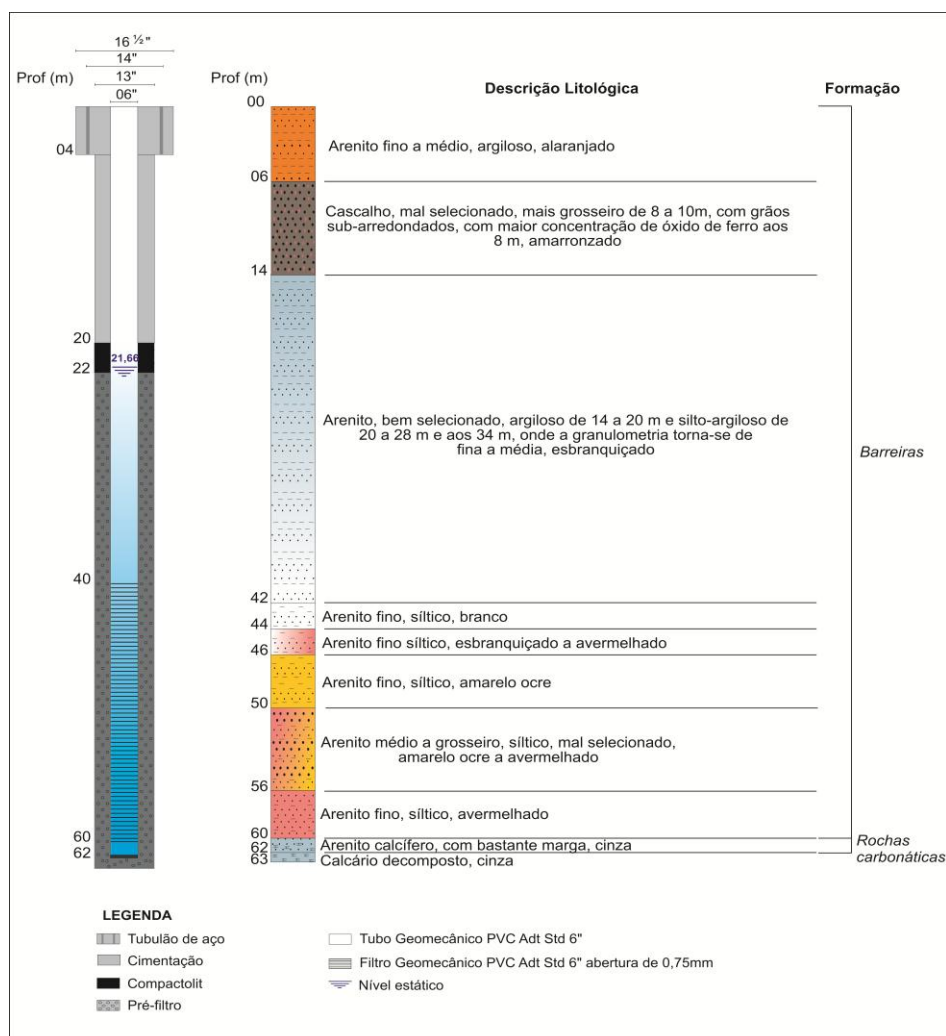
### 6.2.1 Teste nº 1 – Distrito de Patané (Arez)

#### Perfil litológico e construtivo do poço bombeado AZR0139

O poço bombeado AZR0139 foi completado com uma profundidade de 62,0 m. Durante a perfuração foram coletadas amostras a cada metro perfurado e sempre que houve mudança de material.

A base do Sistema Aquífero Barreiras (topo das rochas carbonáticas) foi atingida na profundidade de 60,0 m (**Figura 6.12**). Até a profundidade de 6,0 m, são arenitos argilosos finos a médios de coloração alaranjada; no intervalo de 6,0 a 14,0 m, aparecem cascalhos mal selecionados amarronzados, com predomínio de grãos mais grosseiros e ferruginosos no intervalo de 8,0 a 10,0 m; o componente siltico aparece e a coloração é esbranquiçada; de 14,0 m até 50,0 m são arenitos finos a médios, níveis silticos a argilosos e/ou matriz argilosas, coloração esbranquiçada até os 46,0 m seguida por uma coloração avermelhada; de 50,0 até os 56,0 m, são arenitos médios a grossos, coloração avermelhada; de 56,0 a 60,0 m, é arenito fino com matriz siltica.

O poço AZR0139, com profundidade de 62,0 m, foi perfurado em diâmetro de 13 polegadas e revestido com tubos e filtros de plástico PVC aditivado (geomecânico) com diâmetro de 6 polegadas. Os filtros, com abertura de 0,75 mm, foram instalados no intervalo de 40,0 (topo dos filtros) a 60,0 m, portanto 20,0 m de filtros. O espaço anelar entre o revestimento e as paredes da perfuração a partir dos 22 m de profundidade foi preenchido com cascalho calibrado, granulometria de 1,27 a 3 mm, (pré-filtro) até a profundidade final de 63,0 m. A partir da superfície do terreno até o topo do cascalho efetuou-se o processo de isolamento, acabamento e cimentação do poço. O poço foi desenvolvido pelo sistema *air lift* e plungeamento, alternados.

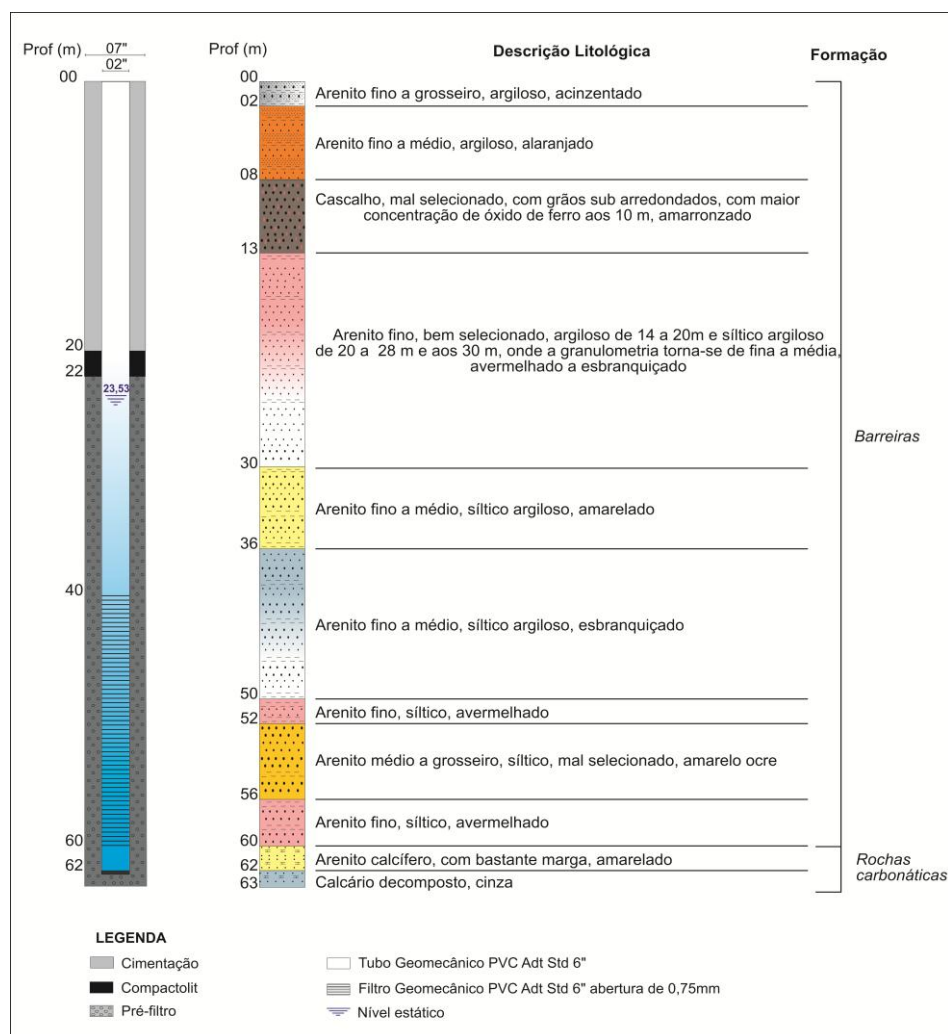


**Figura 6.12. Perfil litológico e construtivo do poço bombeado AZR0139**

#### Perfil litológico e construtivo do piezômetro AZR0140 (PO-01)

O piezômetro AZR0140 foi completado com uma profundidade de 62,0 m. A base do sistema aquífero Barreiras (topo das rochas carbonáticas) foi atingida na profundidade de 60,0 m (**Figura 6.13**). Até a profundidade de 8,0 m trata-se de arenitos argilosos alaranjados; de 8,0 a 13,0 m apresenta cascalhos mal selecionados com níveis ferruginosos aos 10,0 m; no intervalo de 13,0 a 52,0 m, arenitos finos a médios com níveis silticos a argilosos, coloração variando de esbranquiçado a amarelado; de 52,0 a 56,0 m, aparecem arenitos médios a grossos mal selecionados com matriz siltica, coloração alaranjada; e de 56,0 a 60,0 m são arenitos finos silticos, coloração avermelhada.

O piezômetro foi perfurado com diâmetro de 7" (polegadas) e revestido com tubo geomecânico de 2" (polegadas), ranhurado no intervalo de 40,0 a 60,0 m. O piezômetro foi devidamente cimentado no intervalo de 0 a 20,0 m possuindo um selo de *compactolit* de 20,0 a 22,0 m e o espaço anular de 22,0 a 63,0 m foi preenchido por cascalho calibrado (pré-filtro).

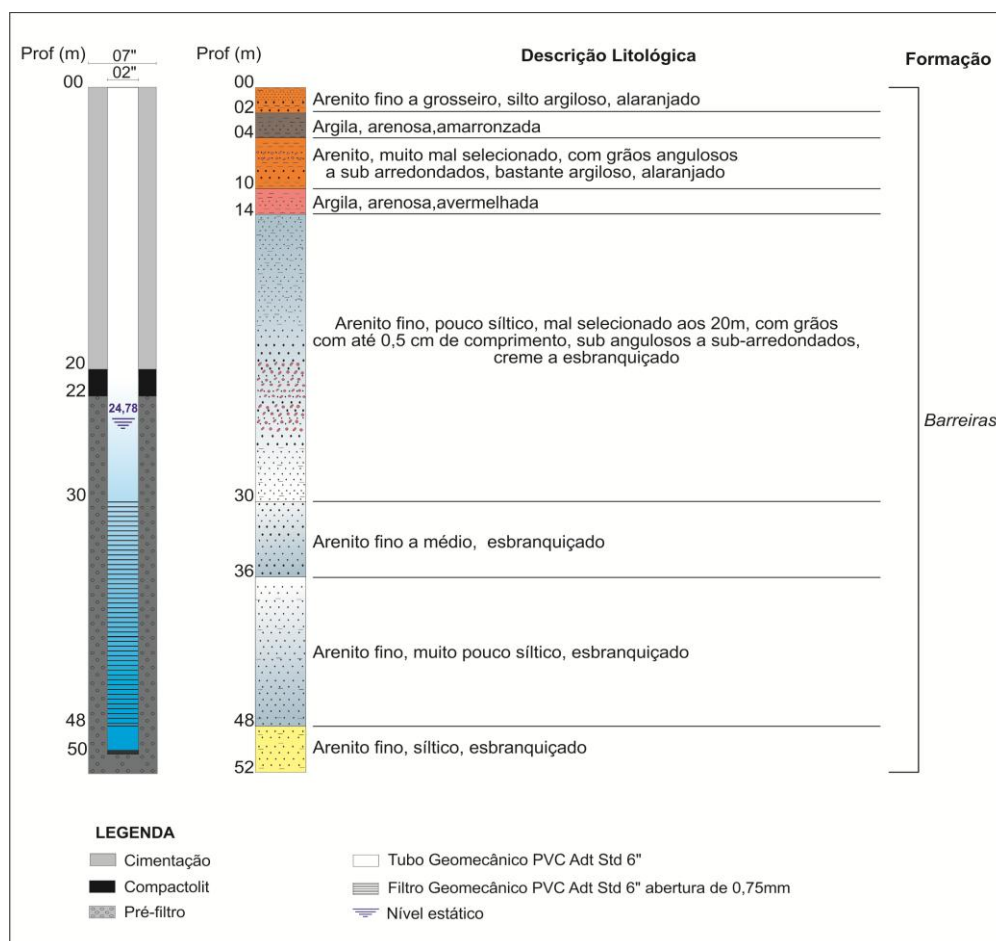


**Figura 6.13. Perfil litológico e construtivo do piezômetro AZR0140**

#### Perfil litológico e construtivo do piezômetro AZR0141 (PO-02)

O piezômetro AZR0141 foi completado com uma profundidade de 50,0 m (**Figura 6.14**). O piezômetro é parcialmente penetrante. Até a profundidade de 14,0 m trata-se de arenitos argilosos finos a grossos, alaranjados, com intercalações de argilitos arenosos nos intervalos de 2,0 a 4,0 m e de 10,0 a 14,0 m; a partir dos 14,0 m o componente siltico aparece e a coloração torna-se esbranquiçada até os 52,0 m; de 14,0 a 52,0 m são arenitos finos a médios com níveis silticos e/ou matriz siltica.

O piezômetro foi perfurado com diâmetro de 7" (polegadas) e revestido com tubos geomecânicos de 2" (polegadas), ranhurado no intervalo de 30,0 a 48,0 m. O piezômetro foi devidamente cimentado no intervalo de 0 a 20,0 m possuindo um selo de *compactolit* de 20,0 a 22,0 m e o espaço anular de 22,0 a 52,0 m foi preenchido por cascalho calibrado (pré-filtro).



**Figura 6.14. Perfil litológico e construtivo do piezômetro AZR0141**

### Condições de realização do ensaio

O poço AZR0139 foi bombeado com bomba submersa por um período de 48 horas, com observação dos abaixamentos dos níveis de água no próprio poço bombeado e nos piezômetros AZR0140 e AZR0141 distanciados de 50,0 e 100,0 do poço bombeado, respectivamente. A descarga de bombeamento foi de 4,35 m<sup>3</sup>/h, a qual se manteve constante durante o período de bombeamento. O nível d'água no piezômetro AZR0140, inicialmente, com 23,53 m (NE) rebaixou 0,18 m, ou seja, o nível dinâmico atingiu a profundidade de 23,71 m. No caso do piezômetro AZR0141 distanciados de 100,0 m do poço bombeado, cujo nível estático estava com 24,78 m, rebaixou apenas 0,10 m com o nível dinâmico ficando com 24,88m. O rebaixamento observado no próprio poço de bombeamento foi de 15,64 m, a partir do nível estático de 21,7 m, com estabilização do nível d'água com apenas 30 minutos após iniciado o bombeamento. No piezômetro distanciados de 50 m, a estabilização do nível d'água não se verificou durante o ensaio. No caso do piezômetro distanciados de 100,0 m, o comportamento observado pode não expressar a realidade: ocorreram elevações do nível em alguns pontos de medição, o que pode estar associado a problemas não identificados durante a execução do teste.

Depois de interrompido o bombeamento a recuperação do nível da água nas unidades de medição (poço e piezômetro) foi observada durante um período de 6 horas, tendo ficado um pequeno resíduo a recuperar.

### Interpretação dos resultados

A correlação efetuada entre os perfis litológicos do poço e piezômetros (**Figura 6.15**) e a configuração da curva rebaixamento x tempo do poço observado AZR0140 (**Figura 6.16**) sugerem a ocorrência de um aquífero livre com drenagem retardada. Neste caso a espessura saturada ( $h_0$ ) do aquífero é de 41 m. Para efeito de interpretação dos resultados, foi aplicado o método de Neuman válido para aquíferos livres com drenagem retardada.

A equação desenvolvida por Neuman (1975) representando o rebaixamento ( $s$ ) em um aquífero livre é dada por:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u_a, u_b, \beta)$$

Onde:

$W(u_a, u_b, \beta)$  é conhecida como função do poço em um aquífero livre;

$$u_A = \frac{r^2 S}{4Tt} \text{ (curva A para os tempos iniciais)}$$

$$u_B = \frac{r^2 S_y}{4Tt} \text{ (curva B para os tempos finais)}$$

$$\beta = r^2 K_v / D^2 K_h$$

$Q$  é a descarga de bombeamento  $m^3/s$ ;

$T$  é a transmissividade em  $m^2/s$ ;

$r$  é a distancia do poço observado ao poço bombeado (m);

$S$  é o coeficiente de armazenamento (adm);

$t$  é o tempo desde o início do bombeamento em s;

$S_y$  é a porosidade efetiva (adm);

$K_v$  é a condutividade hidráulica vertical em m/s;

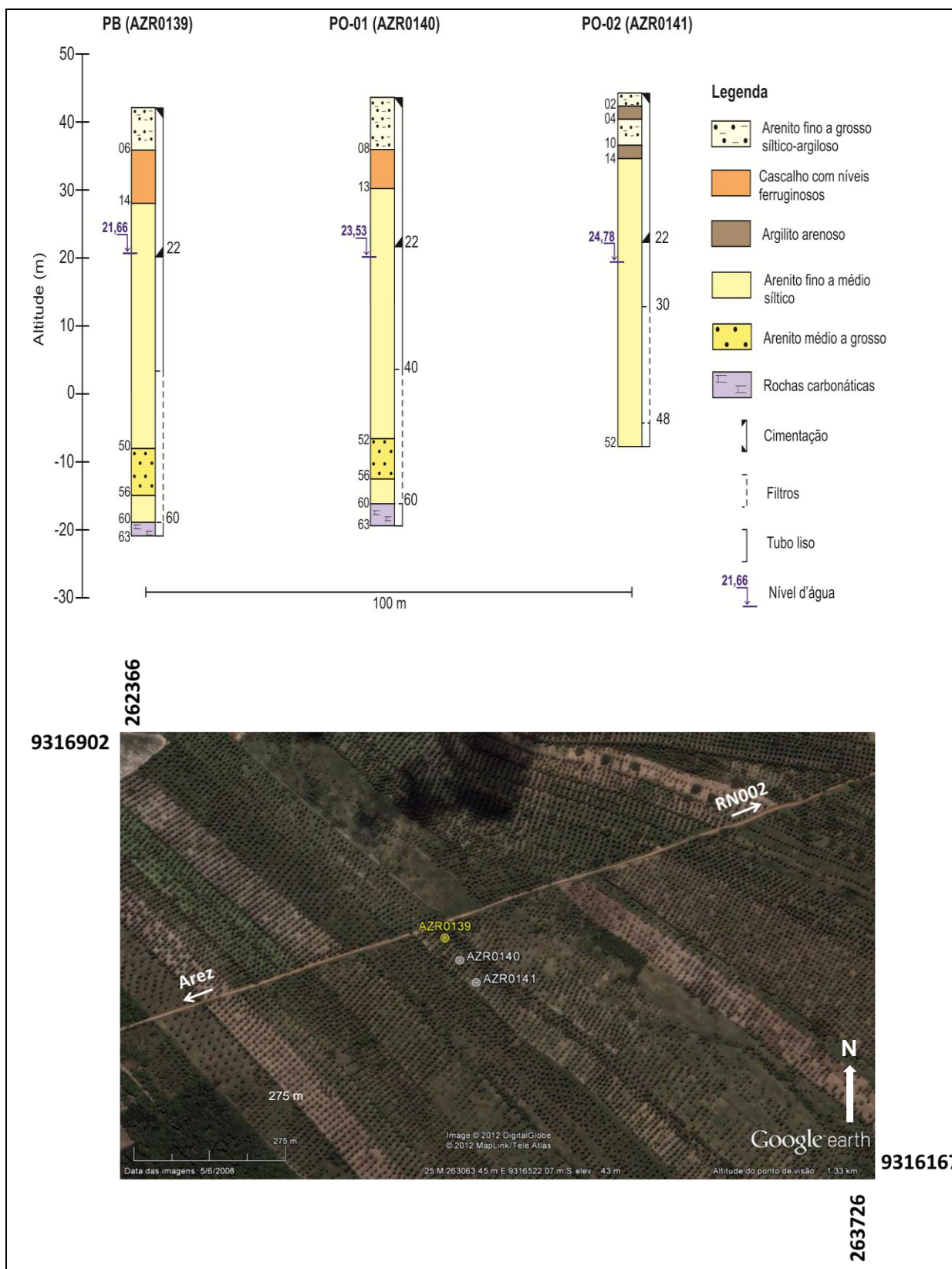
$K_h$  é a condutividade hidráulica horizontal em m/s;

$D$  é a espessura saturada do aquífero em m.

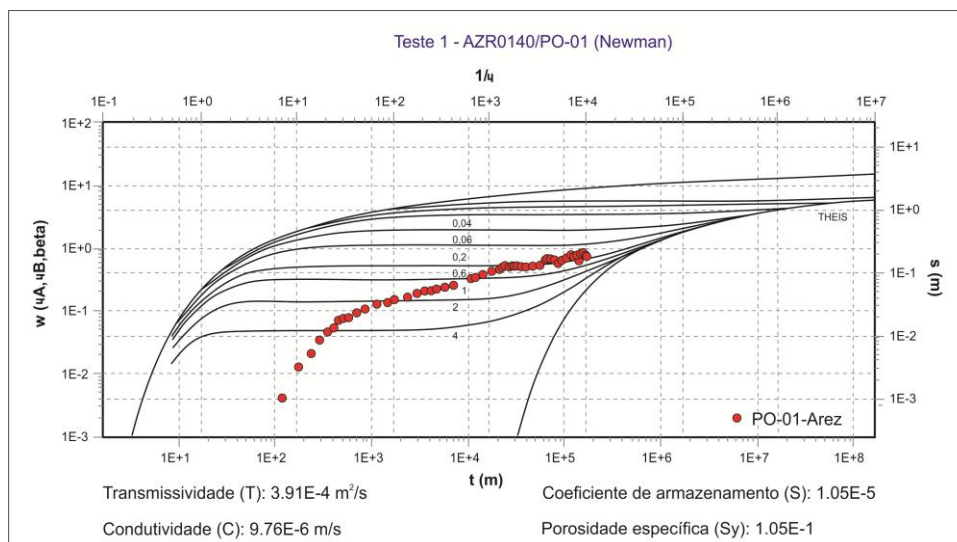
A curva tipo A corresponde aos rebaixamentos iniciais no qual o aquífero comporta-se como confinado e a curva tipo B corresponde aos dados dos rebaixamentos finais quando os efeitos da drenagem gravitacional são definidos.

A curva que melhor se ajustou aos dados dos rebaixamentos foi a curva de  $\beta=0,6$ . Os correspondentes valores dos parâmetros hidrodinâmicos obtidos foram os seguintes: Transmissividade ( $T$ ):  $3,9 \times 10^{-4} m^2/s$ ; Condutividade hidráulica do aquífero ( $K$ ):  $9,6 \times 10^{-6} m/s$ ; Coeficiente de armazenamento ( $S$ ):  $1,01 \times 10^{-5}$  (adm); e Porosidade específica ( $S_y$ ): 10,5%.





**Figura 6.15. Correlação entre o perfil do poço bombeado e piezômetros no local do Teste 1**



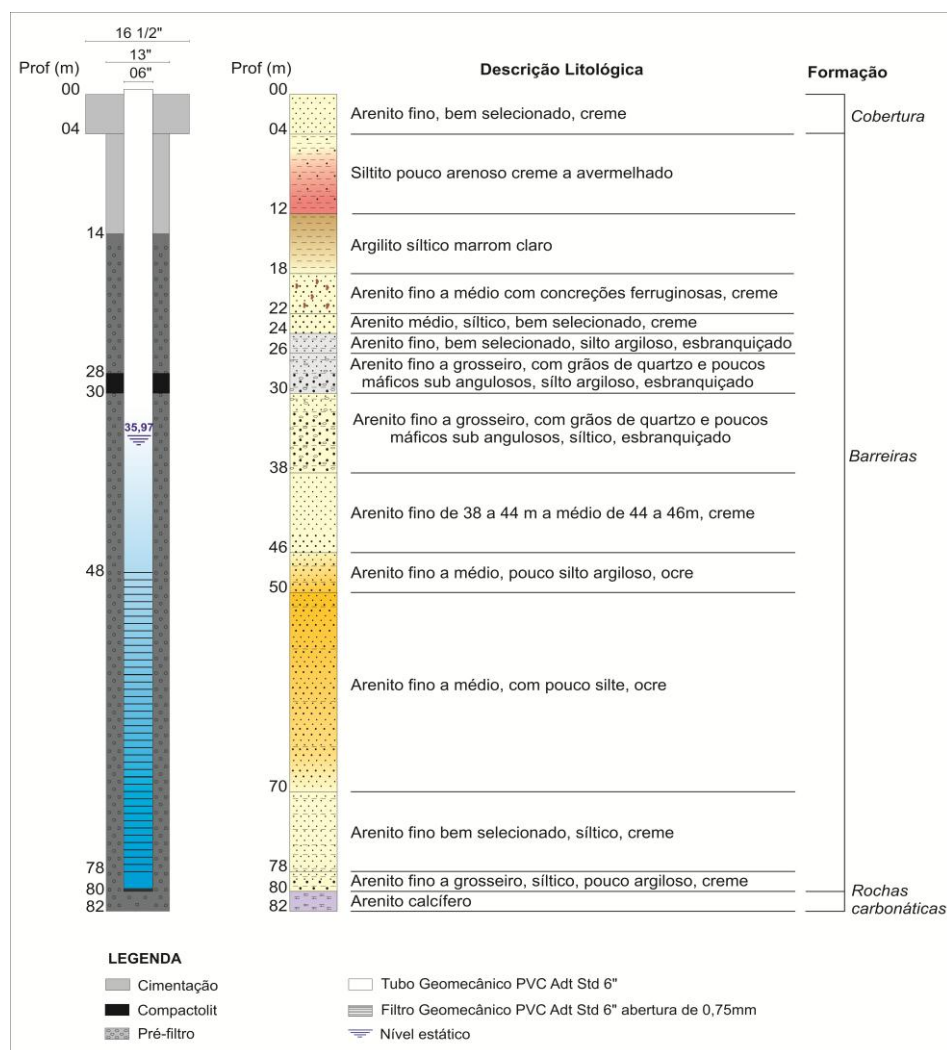
**Figura 6.16. Método de Neuman aplicado aos dados de rebaixamento do poço observado**

### 6.2.2 Teste nº 2 - Fazenda Carrapato (Tibau do Sul)

#### Perfil litológico e construtivo do poço bombeado TBS0149

O poço bombeado TBS0149 foi completado com uma profundidade de 80,0 m. A base do aquífero (topo das rochas carbonáticas) foi atingida a esta mesma profundidade (**Figura 6.17**). Até a profundidade de 4,0 m o perfil é composto de areia fina, homogênea, creme, provavelmente associada a sedimentos eólicos (paleodunas); no intervalo de 4,0 até 18,0 m têm-se uma sequência de siltitos dos 4,0 aos 12,0 m e argilitos dos 12,0 aos 18,0 m; de 18,0 m a 22,0 m aparecem arenitos de granulação fina a média, com níveis ferruginosos; no intervalo de 22,0 a 38,0 m, na porção superior, apresenta arenitos finos com níveis e/ou matriz siltica a argilosa, e mudando em direção a base para níveis mais grosseiros, inclusive com seixos de quartzo e grãos máficos, coloração creme; dos 38,0 até os 80,0 m são arenitos finos a médios, silticos a argilosos.

O poço bombeado TBS0149, de profundidade de 80,0 m, conforme já descrito, foi perfurado em diâmetro de 13" (polegadas) e revestido com tubos e filtros de plástico PVC aditivado (geomecânico) com diâmetro de 6" (polegadas). Os filtros, com abertura de 0,75 mm, foram instalados no intervalo de 48,0 a 78,0 m, sendo um total de 30,0 m de filtros instalados. O espaço anelar entre o revestimento e as paredes da perfuração a partir dos 14,0 m de profundidade foi preenchido com cascalho calibrado, granulometria de 1,27 a 3 mm, (pré-filtro) até a profundidade final de 82,0 m. A partir da superfície do terreno até o topo do cascalho efetuou-se o processo de isolamento, acabamento e cimentação do poço. O poço foi desenvolvido pelo sistema *air lift* e plugeamento, alternados.



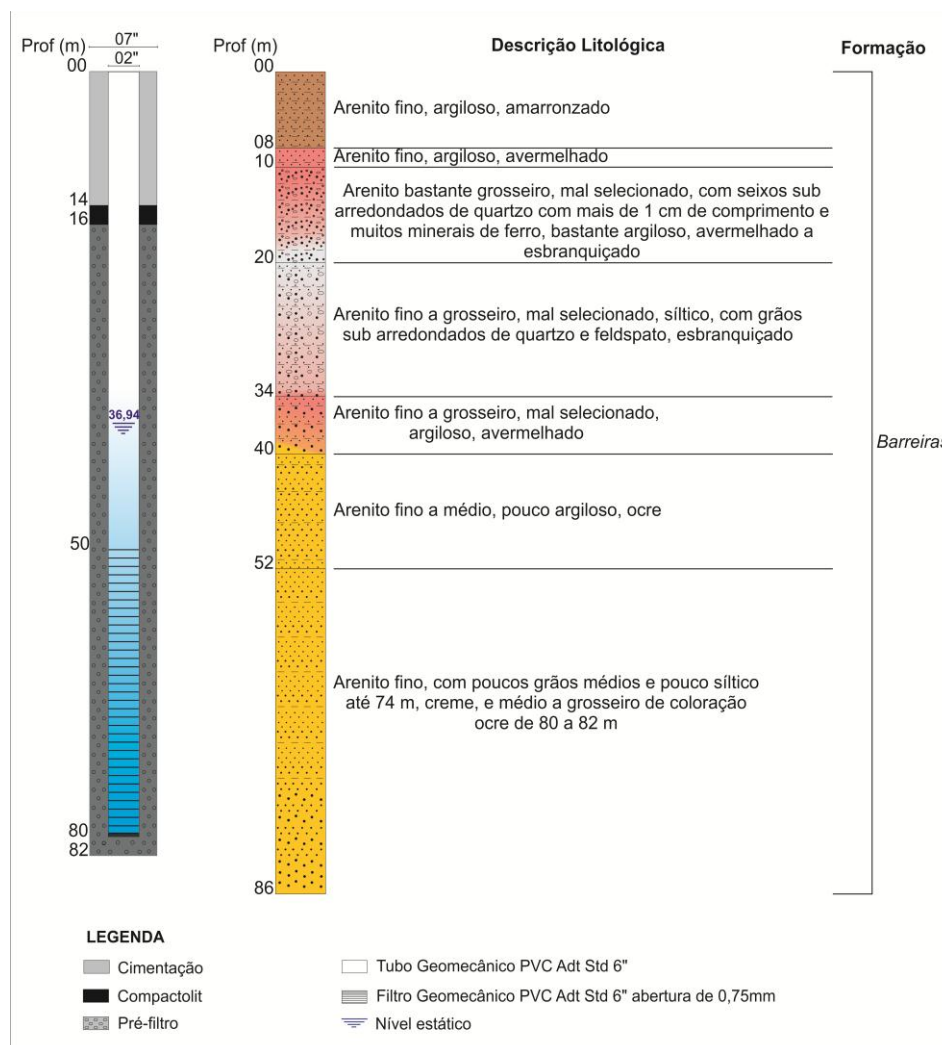
**Figura 6.17. Perfil litológico e construtivo do poço bombeado TBS0149**

### Perfil litológico e construtivo do piezômetro TBS0150 (PO-01)

O piezômetro TBS0150 foi completado com uma profundidade de 82,0 m (**Figura 6.18**). O piezômetro é parcialmente penetrante aos 86,0 m. Até a profundidade de 10,0 m o perfil apresenta arenitos finos argilosos, coloração avermelhada; no intervalo de 10,0 a 20,0 têm-se arenitos argilosos bastante grosseiros, com seixos de quartzo de até 1,0 cm de comprimento, e níveis bastante ferruginosos; de 20,0 a 40,0 m são arenitos silticos a argilosos de granulação fina a grosseira, inclusive com grãos de quartzo e feldspato, coloração esbranquiçada a avermelhada na base do intervalo; dos 40,0 até os 86,0 m têm-se uma sequência de arenitos finos a médios pouco argilosos, com arenitos médios a grossos na base do perfil, coloração alaranjada.

O piezômetro TBS0150 foi perfurado com diâmetro de 7" (polegadas) e revestido com tubos geomecânicos de 2" (polegadas), ranhurado no intervalo de 50,0 a 80,0 m. O piezômetro foi devidamente cimentado no intervalo de 0 a 14,0 m, possuindo

um selo de *compactolit* de 14 a 16,0 m e o espaço anular de 16,0 a 82,0 m foi preenchido por cascalho calibrado (pré-filtro).



**Figura 6.18. Perfil litológico e construtivo do piezômetro TBS0150**

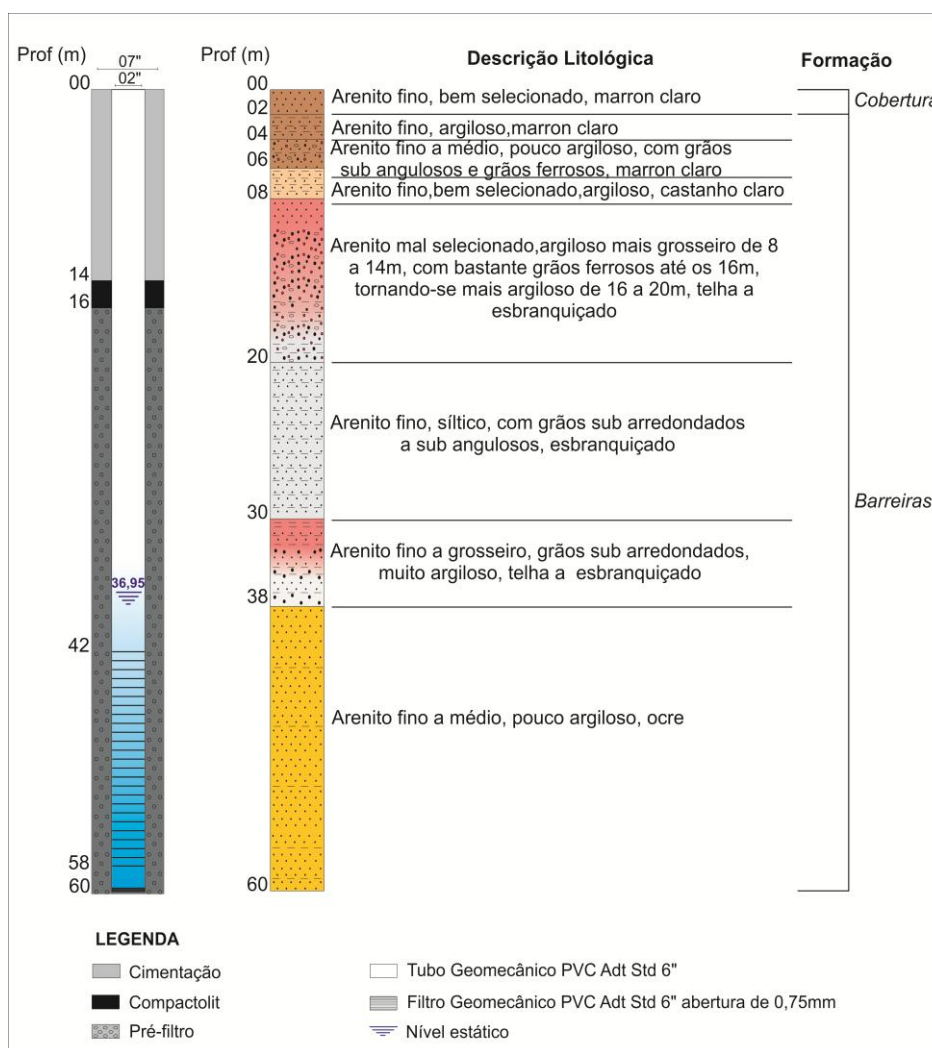
#### Perfil litológico e construtivo do piezômetro TBS0151 (PO-02)

O piezômetro TBS0151 foi completado com uma profundidade de 60,0 m (**Figura 6.19**). Não foi observada a base do sistema aquífero devido o piezômetro ser parcialmente penetrante. Até a profundidade de 2,0 m o perfil é composto de areia fina, bem selecionada, coloração marrom claro, na qual foi identificado como sedimentos eólicos (paleodunas); de 2,0 a 8,0 m trata-se de arenitos finos argilosos, coloração marrom claro, intercalação de nível ferruginoso de 4,0 a 6,0 m; no intervalo de 8,0 a 20,0 m, na porção mais superior, aparecem arenitos argilosos mal selecionados bastante grosseiros, coloração avermelhada, intercalados por níveis ferruginosos até os 16,0 m, e tornando-se mais argiloso na base do intervalo, onde apresenta coloração mais esbranquiçada; de 20,0 a 38,0 m há predominância de arenitos finos a grossos com níveis e/ou matriz siltica a argilosa, coloração



esbranquiçada; dos 38,0 até os 60,0 m são arenitos finos a médios pouco sílticos a argilosos, coloração alaranjada.

O piezômetro TBS0151 foi perfurado com diâmetro de 7" (polegadas) e revestido com tubos geomecânicos de 2" (polegadas), ranhurado no intervalo de 42,0 a 58,0 m. O piezômetro foi devidamente cimentado no intervalo de 0 a 14,0 m, possuindo um selo de *compactolit* de 14 a 16,0 m e o espaço anular de 16,0 a 60,0 m foi preenchido por cascalho calibrado (pré-filtro).



**Figura 6.19. Perfil litológico e construtivo do piezômetro TBS0151**

### Condições de realização do ensaio

O poço TBS0149 foi bombeado com bomba submersa por um período de 48 horas, com observação dos abaixamentos dos níveis de água no próprio poço e nos piezômetros TBS0150 e TBS0151, distanciado de 50,0 e 100,0 do poço de bombeamento, respectivamente. A vazão bombeada foi de 19,97 m<sup>3</sup>/h, a qual se manteve constante durante o período de bombeamento. O nível de água inicial de 35,97 m (NE) no poço de bombeamento foi rebaixado para a profundidade de 43,68



m (ND), ou seja, rebaixamento de 7,71 m, sem estabilização do nível d'água. No piezômetro TBS150, o rebaixamento observado foi de 0,30 m ao final das 48 horas de bombeamento, a partir de um nível estático de 36,95 m. No caso do piezômetro TBS151, o rebaixamento observado foi de 0,15 m ao final das 48 horas de bombeamento, a partir de um nível estático de 37,00 m.

Depois de interrompido o bombeamento, a recuperação do nível foi observada durante um período de 6 horas. As unidades poço e piezômetro, não recuperaram totalmente os níveis iniciais.

### Interpretação dos resultados

A correlação entre o perfil litológico do poço de bombeamento e dos poços de observação sugere que se trata de um aquífero livre (**Figura 6.20**). O tempo de bombeamento, entretanto, não foi suficiente para caracterizar o efeito de drenagem retardada, que permitisse a aplicação do método de Neuman. A aplicação de outros métodos ao poço observado forneceram valores muito elevados de transmissividade, da ordem de  $10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$  o que é incompatível com a vazão específica obtida para o poço, e também a natureza litológica dos sedimentos penetrados. Diante disso foi aplicado o método de Cooper e Jacob (1946) aos dados do rebaixamento do poço bombeado (**Figura 6.21**). Esse método foi desenvolvido para aquíferos confinados, porém os dados de rebaixamento foram corrigidos para aplicação na condição de aquífero livre, usando a correção de Jacob e os resultados se mostraram satisfatórios. A equação aplicada neste caso foi a seguinte:

$$\Delta s = \frac{0,183 Q}{T} \log \frac{t_2}{t_1} \quad \text{e} \quad T = Kb$$

Onde:

$\Delta s$ , é a variação de rebaixamento em m entre os correspondentes tempos  $t_1$  e  $t_2$ ;

$Q$ , é a vazão bombeada em  $\text{m}^3/\text{s}$  (mantida constante durante o bombeamento);

$T$ , é a transmissividade do aquífero em  $\text{m}^2/\text{s}$ ;

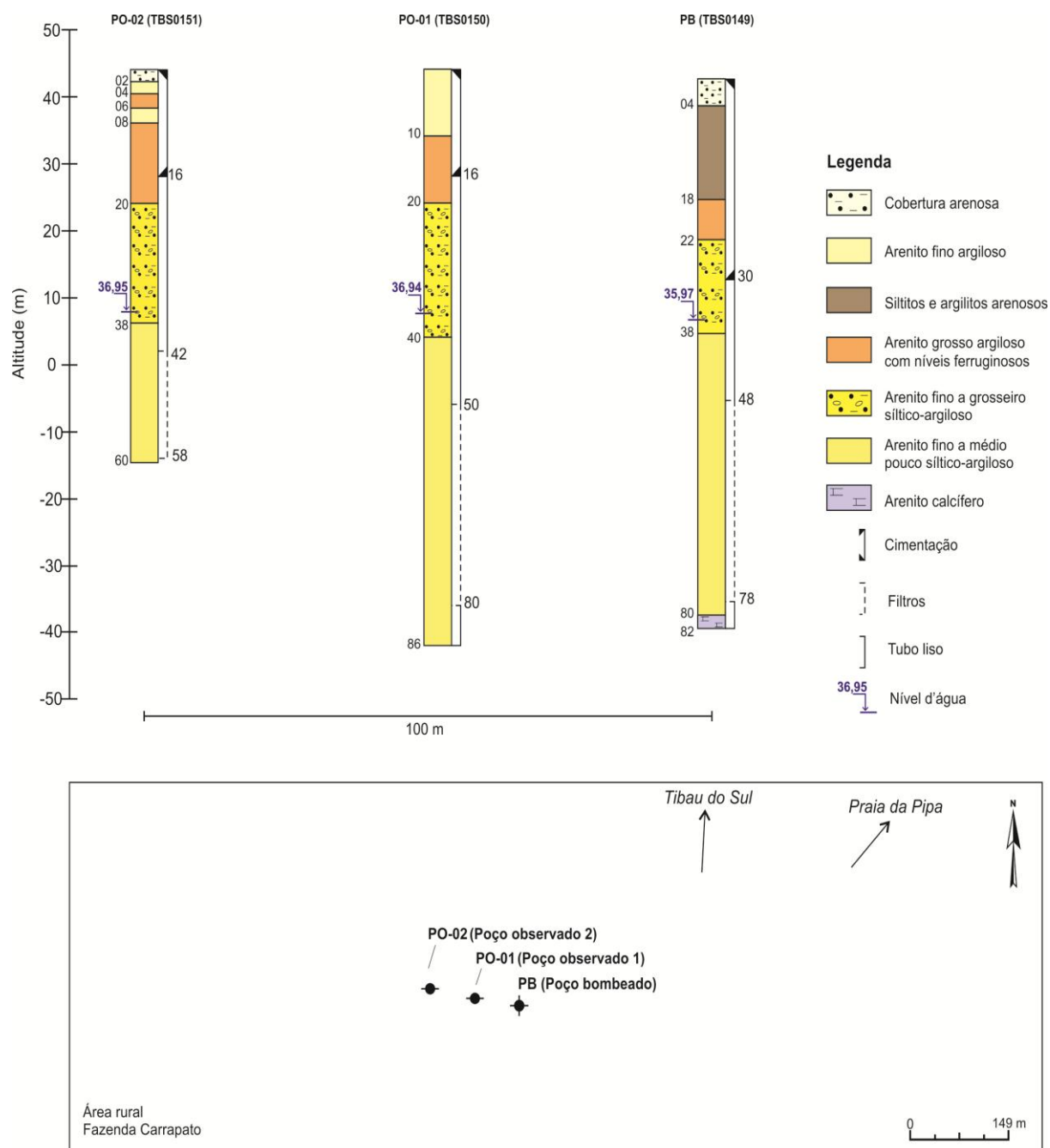
$K$ , é a condutividade hidráulica em  $\text{m/s}$ ;

$b$ , é a espessura saturada do aquífero, no caso de aquífero livre ou simplesmente a espessura do aquífero, no caso do aquífero semiconfinado.

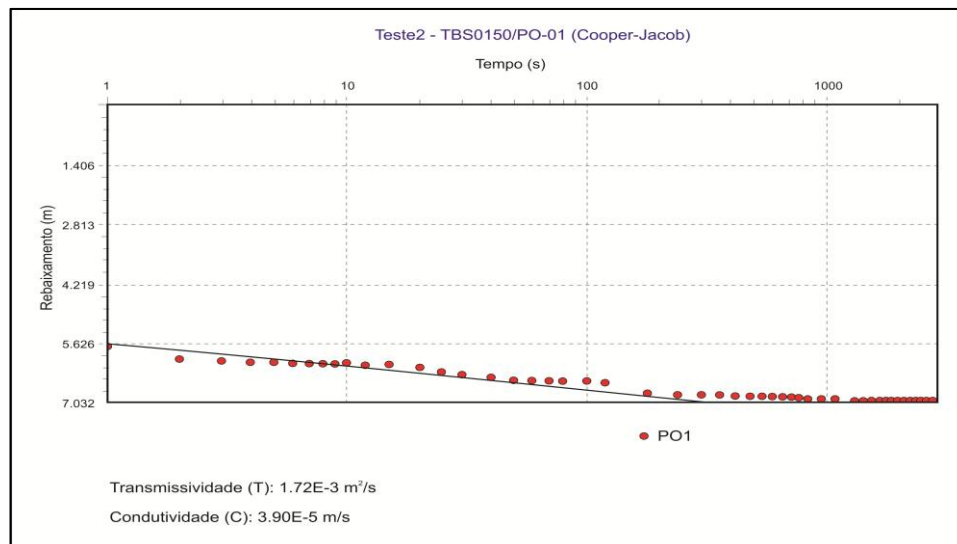
O método de Cooper e Jacob, válido para aquíferos confinados, é uma simplificação do método de Theis, para a condição de tempo de bombeamento grande e menores distâncias ao poço bombeado. Assim sendo, o método pode ser aplicado na estimativa dos parâmetros  $T$  e  $K$  no próprio poço bombeado.

Os valores obtidos para os parâmetros hidrodinâmicos foram:

- Transmissividade ( $T$ ):  $1,72 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ ;
- Condutividade hidráulica do aquífero ( $K$ ):  $3,9 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ .



**Figura 6.20. Correlação de perfis dos poços no local do Teste 2**



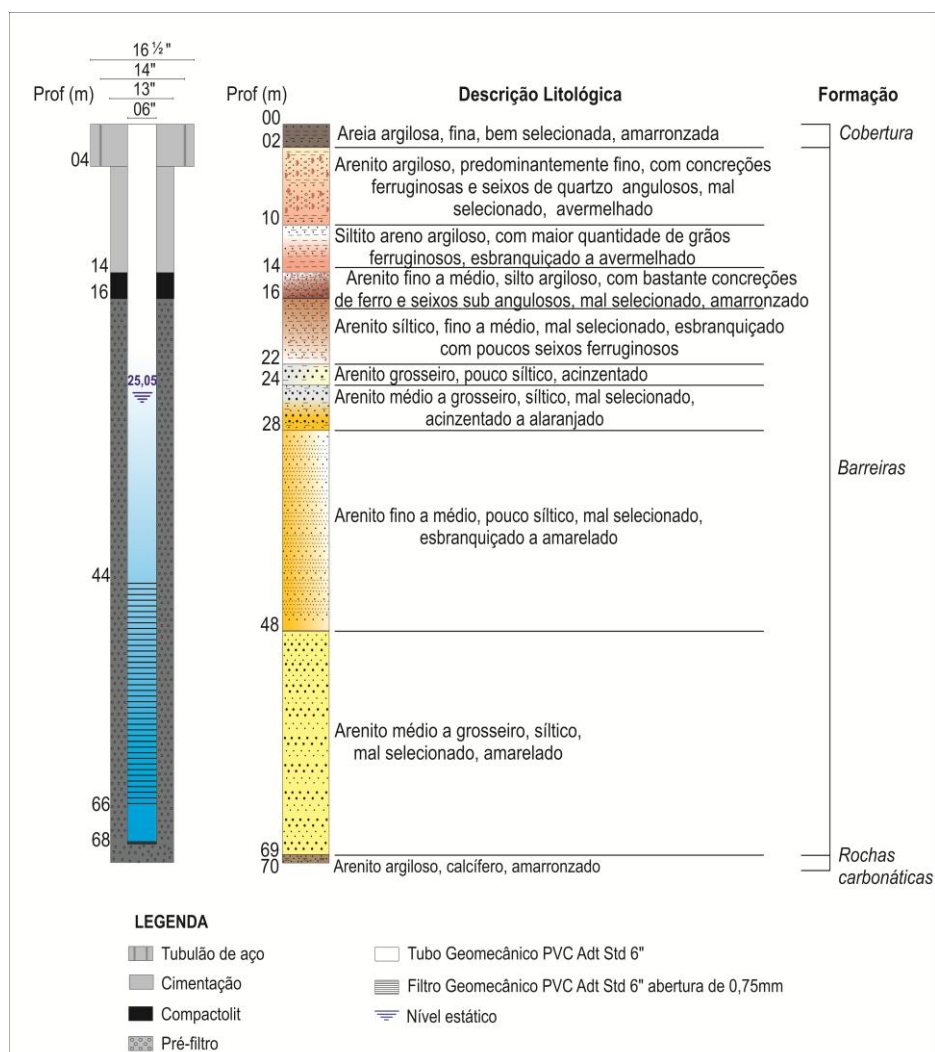
**Figura 6.21. Aplicação do método de Cooper Jacob aos dados de rebaixamento do poço de observação 01 - TBS0150**

### 6.2.3 Teste nº 3 - Vila Operária da Usina Vale Verde (Baía Formosa)

#### Perfil litológico e construtivo do poço bombeado BFS0052 (PB)

O poço bombeado BFS0052 foi completado com uma profundidade de 68,0 m. A base do aquífero (topo das rochas carbonáticas) foi atingida a profundidade de 69,0 m (**Figura 6.22**). Até a profundidade de 2,0 m o perfil é composto de areia fina, bem selecionada, pouco argilosa, coloração amarronzada; de 2,0 a 24,0 m são arenitos argilosos finos a médios com concreções ferruginosas e seixos de quartzo, intercalados na profundidade de 10,0 a 14,0 m por siltitos arenosos; no intervalo de 24,0 até 69,0 m têm-se arenitos médios a grossos com níveis e/ou matriz siltica, coloração amarelada a esbranquiçada.

O poço BFS0052, de profundidade de 68,0 m, conforme já descrito, foi perfurado em diâmetro de 13" (polegadas) e revestido com tubos e filtros de plástico PVC aditivado (geomecânico) com diâmetro de 6" (polegadas). Os filtros, com abertura de 0,75 mm, foram instalados no intervalo de 44,0 a 66,0 m, ou seja, no total foram instalados 22,0 m de filtros. O espaço anelar entre o revestimento e as paredes da perfuração a partir dos 16,0 m de profundidade foi preenchido com cascalho calibrado, granulometria de 1,27 a 3,0 mm, (pré-filtro) até a profundidade final de 70,0 m. A partir da superfície do terreno até o topo do cascalho efetuou-se o processo de isolamento, acabamento e cimentação do poço. O poço foi desenvolvido pelo sistema *air lift* e plungeamento, alternados.

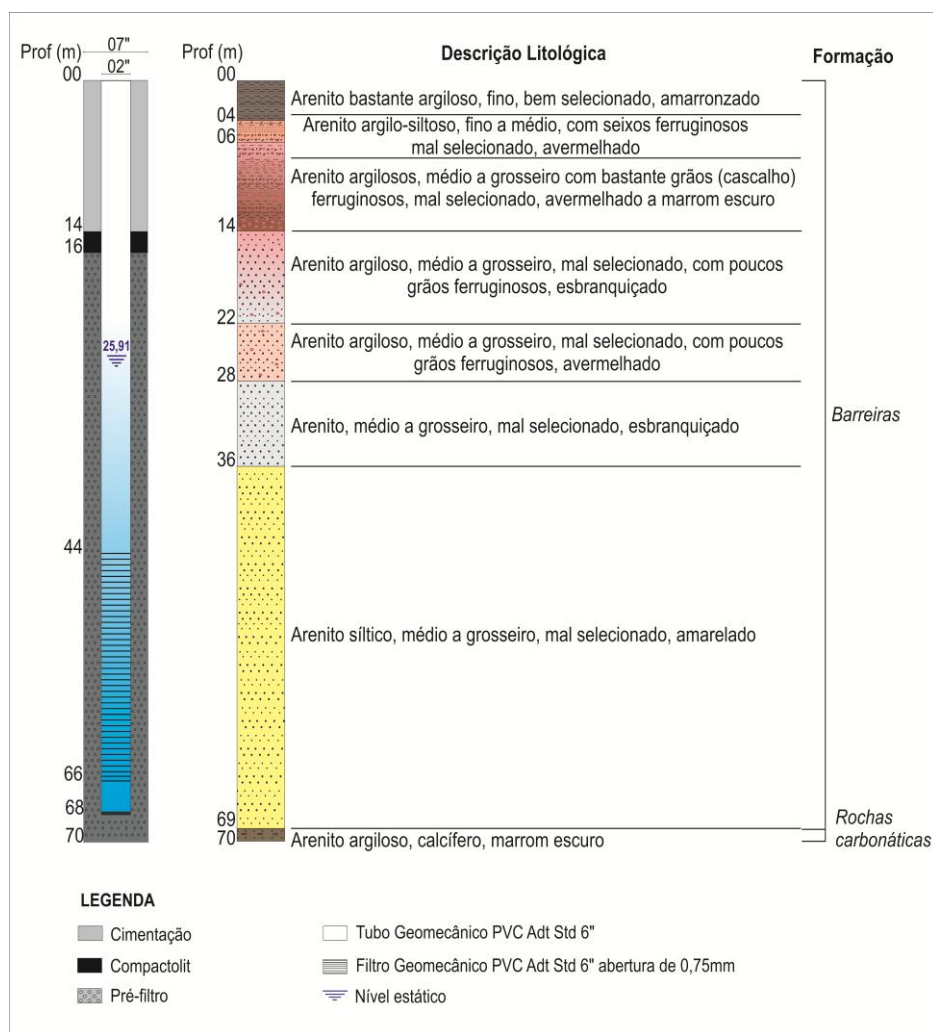


**Figura 6.22. Perfil litológico e construtivo do poço bombeado BFS0052**

### Perfil litológico e construtivo do piezômetro BFS0053 (PO-01)

O piezômetro BFS0053 foi completado com uma profundidade de 68,0 m. A base do aquífero (topo das rochas carbonáticas) foi atingida a profundidade de 69,0 m (**Figura 6.23**). Até a profundidade de 4,0 m o perfil é composto de areia fina, bem selecionada, argilosa, coloração amarronzada; de 4,0 a 28,0 m apresenta arenitos argilosos, granulação fina a cascalhosa, com níveis ferruginosos, coloração avermelhada; no intervalo de 28,0 a 69,0 m predomina os arenitos médios a grossos com níveis e/ou matriz siltica, coloração esbranquiçada a amarelada.

O piezômetro BFS0053 foi perfurado com diâmetro de 7" (polegadas) e revestido com tubos geomecânicos de 2" (polegadas), ranhurado nos intervalos de 44,0 a 66,0 m, portanto com 22,0 m de filtro. O piezômetro foi devidamente cimentado no intervalo de 0 a 14,0 m, possuindo um selo de *compactolit* de 14 a 16,0 m e o espaço anular de 16,0 a 70,0 m foi preenchido por cascalho calibrado (pré-filtro).



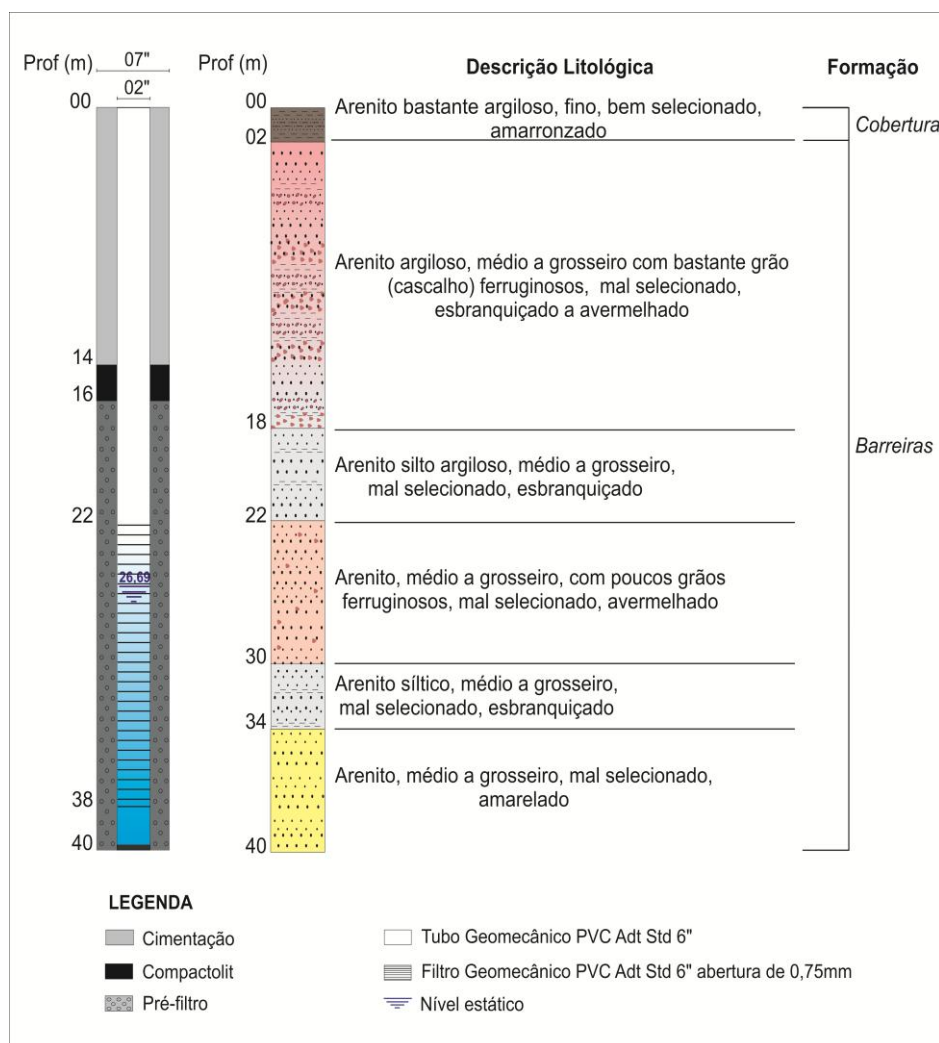
**Figura 6.23. Perfil litológico e construtivo do piezômetro BFS0053 (PO-01)**

#### Perfil litológico e construtivo do piezômetro BFS0054 (PO-02)

O piezômetro BFS0054 foi completado com uma profundidade de 40,0 m (**Figura 6.24**), parcialmente penetrante no SAB. Até a profundidade de 2,0 m o perfil apresenta areia fina, bem selecionada, argilosa, coloração amarronzada; de 2,0 a 30,0 m é composto por arenitos médios a cascalhosos, de matriz siltica a argilosa, com níveis ferruginosos, coloração variando de esbranquiçado a avermelhado; no último intervalo, de 30,0 a 40,0 m, predomina os arenitos médios a grossos, coloração amarelada.

O piezômetro BFS0054 foi perfurado com diâmetro de 7" (polegadas) e revestido com tubos geomecânicos de 2" (polegadas), ranhurado nos intervalos de 22,0 a 38,0 m, portanto com 16,0 m de filtro. O piezômetro foi devidamente cimentado no intervalo de 0 a 14,0 m possuindo um selo de *compactolit* de 14 a 16,0 m e o espaço anular de 16,0 a 40,0 m foi preenchido por cascalho calibrado (pré-filtro).





**Figura 6.24. Perfil litológico e construtivo do piezômetro BFS0054 (PO-02)**

### Condições de realização do ensaio

O poço BFS0052 foi bombeado com bomba submersa por um período de 48 horas, com observação dos abaixamentos dos níveis de água no próprio poço e nos piezômetros BFS0053 e BFS0054, distanciado de 50 m e 100 m do poço de bombeamento, respectivamente. A vazão bombeada foi de 40,86 m<sup>3</sup>/h, a qual se manteve constante durante o período de bombeamento. O nível de água inicial no poço de bombeamento de 25,05 m (NE) foi rebaixado para a profundidade de 37,63 m (ND), ou seja, rebaixamento de 12,58 m, com tendência a estabilização do nível d'água. No do piezômetro BFS0053, o rebaixamento observado foi de 0,30 m ao final das 48 horas de bombeamento, a partir de um nível estático de 25,91 m. No caso do piezômetro BFS0054, o rebaixamento observado foi de 0,18 m, a partir do nível estático de 26,69.

Depois de interrompido o bombeamento a recuperação do nível d'água foi observada durante um período de 3 horas, sem recuperação do nível rebaixado nas unidades poço bombeado e poços de observação.

## Interpretação dos resultados

A correlação efetuada entre os perfis litológicos dos poços (**Figura 6.25**) e a configuração da curva rebaixamento x tempo do poço observado BFS0053 (**Figura 6.26**) sugerem a ocorrência de um aquífero livre com drenagem retardada. Neste caso a espessura saturada ( $h_0$ ) do aquífero é de 43 m. Para efeito de interpretação dos resultados, foi aplicado o método de Neuman válido para aquíferos livres com drenagem retardada.

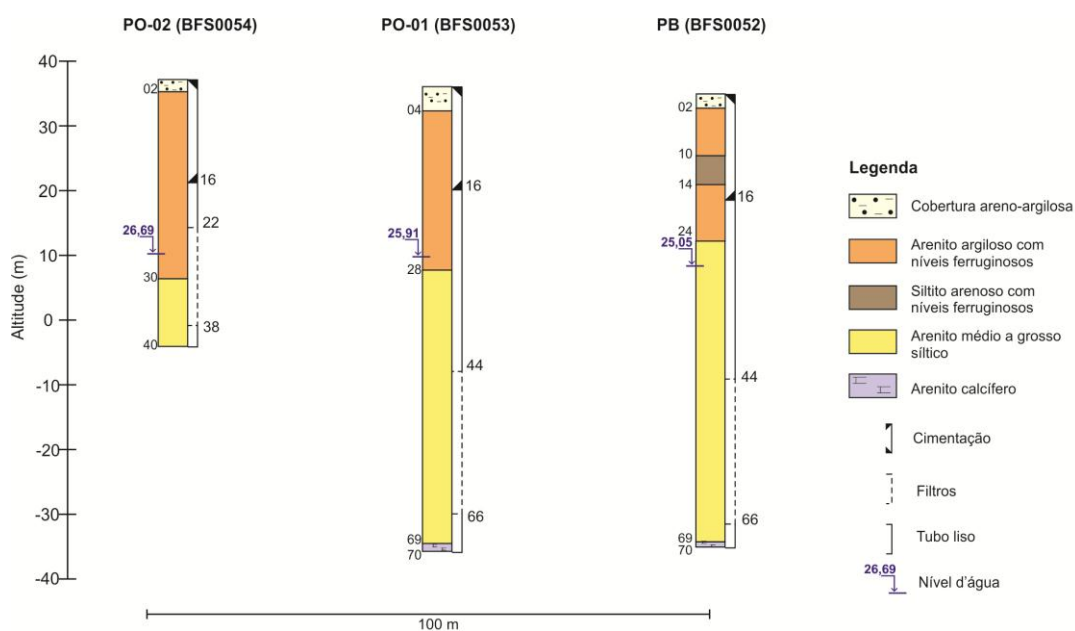
A curva que melhor se ajustou aos dados dos rebaixamentos foi a  $\beta=1$ . Os correspondentes valores dos parâmetros hidrodinâmicos obtidos foram os seguintes:

Transmissividade (T):  $2,93 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ ;

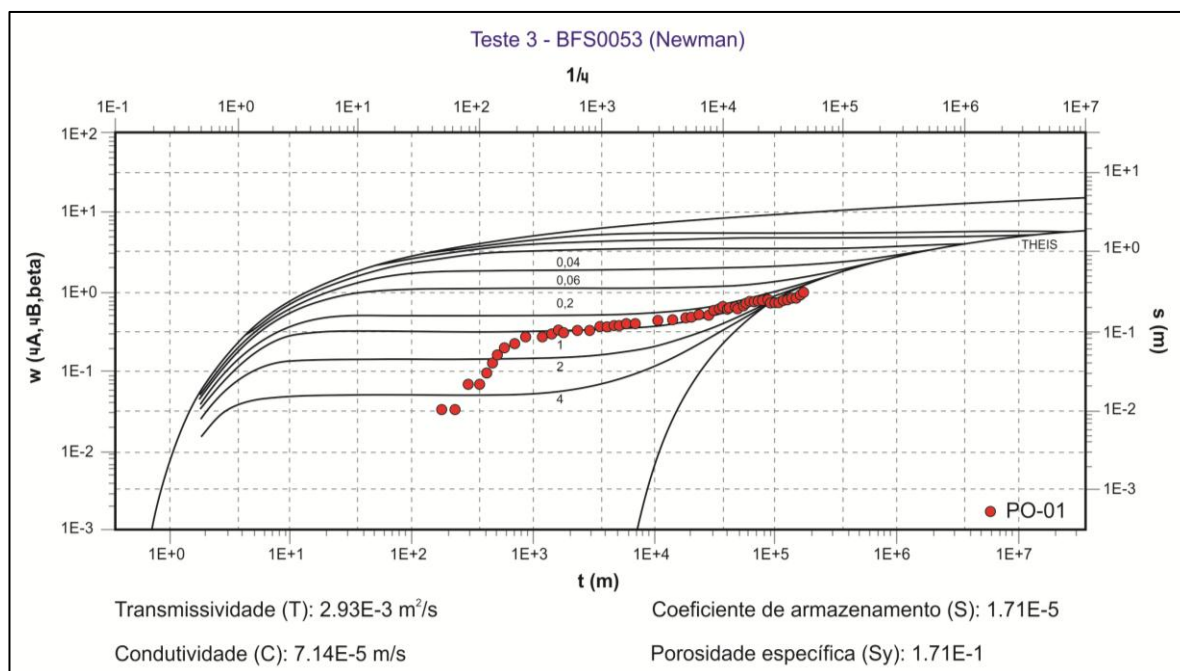
Condutividade hidráulica do aquífero (K):  $7,1 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ ;

Coeficiente de armazenamento (S):  $1,71 \times 10^{-5} \text{ (adm)}$

Porosidade específica (Sy): 17,1%.



**Figura 6.25. Correlação de perfis dos poços no local do Teste 3**



**Figura 6.26. Aplicação do método de Neuman aos dados de rebaixamento do piezômetro BFS0053 (PO-01)**

#### 6.2.4 Considerações sobre os resultados dos parâmetros hidrodinâmicos e síntese dos resultados

Nos sítios dos três testes de bombeamento, o Sistema Aquífero Barreiras se comporta como livre, conforme sugere as correlações entre os poços de bombeamento e de observação e a configuração das curvas rebaixamento x tempo em cada um dos ensaios. No caso dos Testes 1 (Arez) e 3 (Baía Formosa), foi possível aplicar o método de Neuman que considera o fenômeno da drenagem retardada. Os resultados do Teste 2 não permitiram a caracterização do fenômeno da drenagem retardada, de forma que os parâmetros hidrodinâmicos foram avaliados pelo método de Cooper-Jacob aplicado aos dados do próprio poço bombeado, que foi a situação considerada mais adequada. Neste caso, foi possível avaliar apenas transmissividade e condutividade hidráulica (**Tabela 6.2**).

O valor mínimo de condutividade hidráulica obtido foi de  $9,7 \times 10^{-6}$  m/s na localidade de Patané no município de Arez e o maior foi de  $7,1 \times 10^{-5}$  m/s, na Usina Vale Verde, em Baía Formosa. Os valores de condutividade hidráulica obtidos são compatíveis com a natureza litológica e granulométrica dos sedimentos do Sistema Aquífero Barreiras penetrado, como também, a porosidade específica estimada nesses sítios é de 10,5 e 17,0%. Esses valores são representativos de arenitos argilosos e pouco argilosos, respectivamente.

**Tabela 6.2. Resumo dos parâmetros hidrodinâmicos obtidos nos testes de aquífero do Sistema Aquífero Barreiras realizados no BLS**

|         | Localidade                         | PB      | PO      | r<br>(m) | PROF<br>(m) | Método              | T<br>m <sup>2</sup> /s | K<br>(m/s)           | S<br>(adm)           | Sy<br>(%) |
|---------|------------------------------------|---------|---------|----------|-------------|---------------------|------------------------|----------------------|----------------------|-----------|
| Teste 1 | Patané<br>(Arez)                   | AZR0139 |         |          | 62          | .                   |                        |                      |                      |           |
|         |                                    |         | AZR0140 | 50       | 62          | Neuman              | 3,9x10 <sup>-4</sup>   | 9,7x10 <sup>-6</sup> | 1,0x10 <sup>-5</sup> | 10,5      |
|         |                                    |         | AZR0141 | 100      | 50          |                     |                        |                      |                      |           |
| Teste 2 | Faz. Carrapato<br>(Tibau do Sul)   | TBS0149 |         |          | 80          | Cooper- Jacob corr. | 1,7x10 <sup>-3</sup>   | 3,9x10 <sup>-5</sup> |                      |           |
|         |                                    |         | TBS0150 | 50       | 80          |                     |                        |                      |                      |           |
|         |                                    |         | TBS0151 | 100      | 60          |                     |                        |                      |                      |           |
| Teste 3 | Usina Vale Verde<br>(Baía Formosa) | BFS0052 |         |          | 68          | Neuman              | 2,9x10 <sup>-3</sup>   | 7,1x10 <sup>-5</sup> | 1,7x10 <sup>-5</sup> | 17        |
|         |                                    |         | BFS0053 | 50       | 68          |                     |                        |                      |                      |           |
|         |                                    |         | BFS0054 | 100      | 40          |                     |                        |                      |                      |           |

PB: poço bombeado; PO: poço observado; Prof.: profundidade; r: distância do poço bombeado ao ponto de observação; T: transmissividade; K: condutividade hidráulica do aquífero; S: coeficiente de armazenamento; Sy: porosidade específica.

## 7 CADASTRO DE POÇOS

O cadastro de poços corresponde, nesse projeto, ao principal elemento de infraestrutura hídrica, haja vista o significativo papel que as águas subterrâneas representam ao abastecimento das demandas hídricas locais.

O objetivo principal do cadastro é consistir um arquivo eletrônico unificado de fontes de captação de água subterrânea, visando o conhecimento desses itens da infraestrutura hídrica, bem como à obtenção de dados hidrogeológicos e de consumo, indispensáveis no balanço hidrogeológico, identificação de potencialidades e demandas.

O desenvolvimento do cadastro de poços foi iniciado com o levantamento de informações existentes em diversas instituições públicas, estudos técnicos, trabalhos acadêmicos e empresas privadas de perfuração de poços. Os dados originais encontravam-se dispersos, em geral pouco organizados, e em bases físicas. Os passos iniciais do desenvolvimento do cadastro incluíram: cópias aos documentos e arquivos físicos, digitalização, triagem e consistência do conteúdo do cadastro.

Os elementos de infraestrutura de captação das águas subterrâneas são, em grande maioria, os poços tubulares, porém o desenvolvimento do cadastro identificou a existência de captação das águas a partir de nascentes ou surgências e por poços escavados. Por essa razão, para efeito de denominação, os registros no banco de dados são designados como “fontes de captação” para caracterizar indistintamente qualquer equipamento ou local, através do qual ocorre a exploração de água subterrânea, podendo ser poços (tubulares ou escavados) ou surgências.

No sentido de nivelar o entendimento sobre os elementos de infraestrutura hídrica que compõem o cadastro de poços, seguem algumas definições:

- Poço tubular – obra de hidrogeologia de acesso a um ou mais aquíferos para captação de água subterrânea, executada com sonda perfuratriz mediante perfuração com diâmetro nominal de revestimento mínimo de 101,6 mm (4”), pode ser parcial ou totalmente revestido em função da geologia local (ABNT, 2006). Os poços tubulares também podem ser popularmente chamados de poços profundos e comercialmente, denominados, de maneira inadequada, de poços artesianos.
- Poço escavado – obra de captação de água subterrânea construída manualmente, através da escavação, em geral, de grande diâmetro (entre 1 e 1,5 m), utilizado para extrair água de aquíferos livres e rasos, com profundidades, normalmente, inferiores a 30 m (IRITANI; EZAKI, 2009). Os poços escavados são



também denominados de cacimba e popularmente chamados de cacimbas ou amazonas em algumas localidades.

- Surgência ou nascente – local de descarga do aquífero em superfície, a partir do qual se forma uma drenagem efluente.

O cadastro de fontes de captação de água subterrânea é constituído de dados provenientes de levantamento de dados pré-existentes, bem como do cadastramento de poços em campo pela empresa Servmar, conforme previsto no Termo de Referência.

Este trabalho consistiu um cadastro contendo 687 fontes de captação de água subterrânea. Os registros correspondem a 81 poços cadastrados em campo pela empresa Servmar e 606 fontes de captação de água subterrânea consistidas de dados coletados em documentos, relatórios técnicos, trabalhos acadêmicos, banco de dados de órgãos públicos e empresas de perfuração de poços.

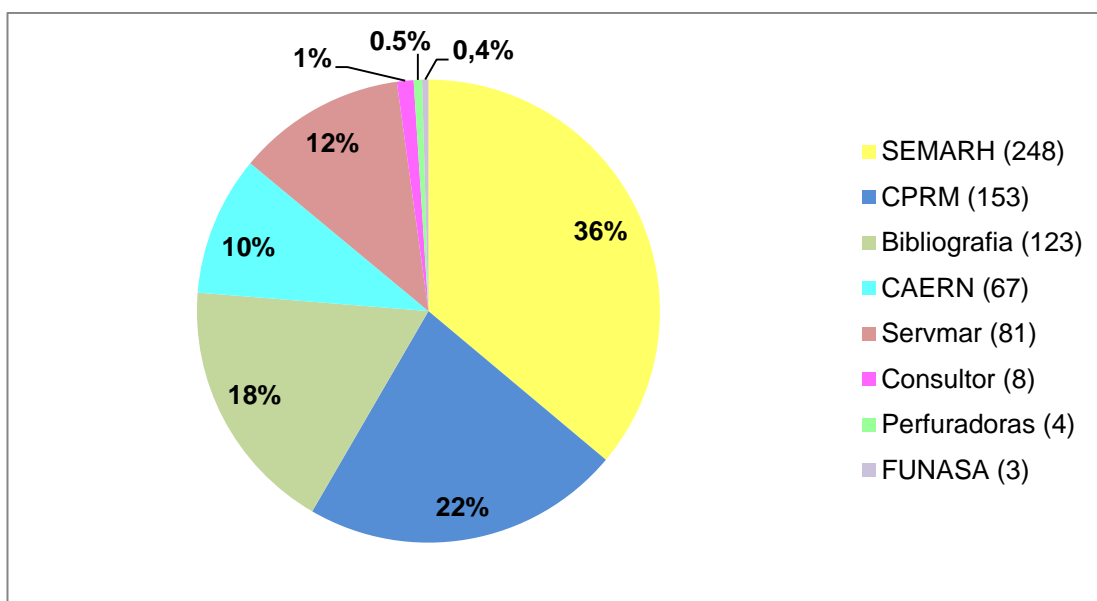
O cadastramento de poços em campo priorizou áreas onde existiam poucos poços provenientes do levantamento de dados, representando um universo de registros que eram desconhecidos dos órgãos de controle e gestão das águas. Nessa região, foi dada ênfase no cadastramento de poços na zona rural dos municípios, devido ao baixo índice de informação existentes nessas localidades.

Os levantamentos de registros de poços pré-existentes foram efetuados, sobretudo, na Secretaria de Estado de Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos – SEMARH, porém diversas outras instituições e fontes de dados foram consultadas, destacando-se a Companhia de Água e Esgoto do RN – CAERN.

A **Figura 7.1** demonstra a distribuição das 687 fontes de captação presentes no cadastro, de acordo com a origem dos dados.

A **Figura 7.2** apresenta a localização das fontes de captação georreferenciadas, que representam 91% dos registros consistidos no cadastro. Nesse mapa estão situados todos os 81 poços cadastrados pela Servmar e 606 fontes de captação dos dados pré-existentes.

Todos os dados estão sistematizados e organizados de acordo com as informações que foram disponibilizadas nos documentos originais dos registros ou pelas informações coletadas nas entrevistas com os proprietários de poços durante o cadastramento em campo. Os trabalhos de análise e consistência dos dados do cadastro objetivaram eliminar eventuais duplicidades de informações, bem como suprir eventuais lacunas de dados existentes nos registros. No entanto, existem lacunas de dados sobre alguns parâmetros, a exemplo dos dados de posição geográfica que são inexistentes em 9% das fontes de captação do cadastro.



**Figura 7.1. Gráfico referente a informações de dados de origem**

O cadastro de poços foi consistido originalmente em planilha eletrônica em ambiente *Excel*, porém está disponibilizado em *Access*, o que facilita a operação e a organização dessas informações. Da maneira como os dados estão consistidos também é possível efetuar interpolações de dados e realizar análises em aplicativos de sistemas de informações geográficas.

A sistematização dos registros foi desenvolvida permitindo viabilizar futuras inserções, com os parâmetros relativos às fontes de captação organizados, conforme abaixo:

- **Parâmetros de Registro**
  - ✓ Fonte: instituição ou trabalho técnico onde foram obtidos os dados das fontes de captação;
  - ✓ Identificação: número de identificação da fonte de captação, definido pelo detentor do registro original ou codificação efetuada pela empresa;
- **Parâmetros de Cadastro**
  - ✓ Proprietário: nome do proprietário da fonte de captação
  - ✓ Município: município onde está inserida a fonte de captação;
  - ✓ Localidade: bairro, distrito ou denominação da localidade, no município, onde está inserida a fonte de captação;
  - ✓ Natureza: indicação de propriedade, se particular ou público;
  - ✓ Coord\_E: posicionamento geográfico de longitude em UTM;
  - ✓ Coord\_N: posicionamento geográfico de latitude em UTM;
  - ✓ Cota: posicionamento geográfico de altitude em relação ao nível médio do mar em metros;



- Parâmetros de Tipificação de Uso
  - ✓ Situação: status operacional da fonte de captação (operando, desativado, tamponado, etc)
  - ✓ Tipo: indicação do tipo de captação, se poço tubular, poço escavado ou nascente;
  - ✓ Uso: indicação da finalidade do uso da água captada (abastecimento público, dessedentação animal, industrial, irrigação etc);
- Parâmetros Técnicos Construtivos e Hidrodinâmicos
  - ✓ Perfuradora: empresa responsável pela perfuração do poço tubular;
  - ✓ Data\_Perf: data de perfuração do poço.
  - ✓ Equipamento: tipo do equipamento utilizado para captação da água subterrânea;
  - ✓ Perfil: informação se o poço possui ou não perfis litológico e/ou construtivo;
  - ✓ Nat\_Revest: natureza do revestimento;
  - ✓ Alt\_Boca\_m: altura da boca do poço, em metros, a partir da superfície do terreno;
  - ✓ Prof\_m: profundidade do poço em metros;
  - ✓ Diam\_rev\_pol: diâmetro da tubulação de revestimento do poço em polegadas;
  - ✓ Filtro: comprimento da seção filtrante do poço tubular em metros;
  - ✓ Teste\_bombeamento: indicação positiva ou negativa da existência de dados sobre teste de bombeamento;
  - ✓  $T_m^2_s$ : transmissividade em  $m^2/s$ ;
  - ✓  $Q_m^3_h$ : vazão da fonte em  $m^3/h$ ;
  - ✓  $Q_m^3_{dia}$ : vazão da fonte em  $m^3/dia$ ;
  - ✓ Regime\_h: regime de exploração da fonte em horas/dia;
  - ✓ NE\_\_m: nível estático do poço em metros;
  - ✓ ND\_\_m: nível dinâmico do poço em metros;
  - ✓ s (m): rebaixamento do nível do poço ( $N_e - N_d$ );
  - ✓ Q/s: vazão específica do poço em  $m^3/h/m$ ;
- Parâmetros Técnicos Geológicos e Hidrogeológicos
  - ✓ Aquífero: unidade aquífera explotada pela fonte de captação, em geral definida pelo posicionamento dos filtros;
  - ✓ Esp. Dunas (m): espessura, em metros, do aquífero Dunas, definida no perfil geológico de perfuração do poço tubular;
  - ✓ Esp. Barreiras (m): espessura, em metros, do aquífero Barreiras, definida no perfil geológico de perfuração do poço tubular;
  - ✓ Esp. Arenito Calcífero (m): espessura, em metros, do aquífero Arenito Calcífero, definida no perfil geológico de perfuração do poço tubular;
  - ✓ Cristalino: indicação orientativa da presença do embasamento cristalino na perfuração do poço tubular;

- Parâmetros Técnicos de Qualidade da Água
  - ✓ Data\_Análise: data da análise para os parâmetros indicados a seguir;
  - ✓ Laboratório\_Análise: laboratório que realizou a análise;
  - ✓ RS\_mg/L: resultados de resíduos sólidos em mg/L;
  - ✓ CE\_μS/cm: valor da condutividade elétrica em μS/cm;
  - ✓ pH: valor de pH;
  - ✓ Eh\_mV: potencial de oxirredução em mV;
  - ✓ Temp: temperatura em graus Celsius;
  - ✓ STD\_\_mg/L: valor de sólidos totais dissolvidos em mg/L;
  - ✓ Alcalinidade\_Total\_mg/L\_CaCO<sub>3</sub>: valor de alcalinidade total em mg/L;
  - ✓ Dureza\_Total\_mg/L\_CaCO<sub>3</sub>: valor de dureza total em mg/L;
  - ✓ Cl\_\_mg/L: valor de cloreto em mg/L;
  - ✓ Na\_\_mg/L: valor de sódio em mg/L;
  - ✓ Ca\_mg/L: valor de cálcio em mg/L;
  - ✓ K\_mg/L: valor de potássio em mg/L;
  - ✓ CO<sub>3</sub>\_mg/L: valor de carbonato em mg/L;
  - ✓ HCO<sub>3</sub>\_mg/L: valor de bicarbonato em mg/L;
  - ✓ SO<sub>4</sub>\_mg/L: valor de sulfato em mg/L;
  - ✓ Mg\_\_mg/L: valor de magnésio em mg/L;
  - ✓ Fe\_mg/L: valor de ferro total em mg/L;
  - ✓ Mn\_mg/L: valor de manganês em mg/L;
  - ✓ N-NO<sub>2</sub>\_mg/L: valor de nitrito em mg/L de nitrogênio;
  - ✓ N-NO<sub>3</sub>\_mg/L: valor de nitrato em mg/L de nitrogênio;
  - ✓ NH<sub>3</sub>\_mg/L: valor de amônia em mg/L;

Adicionalmente às informações indicadas acima, para os poços cadastrados em campo pela Servmar foram coletados os dados indicados a seguir.

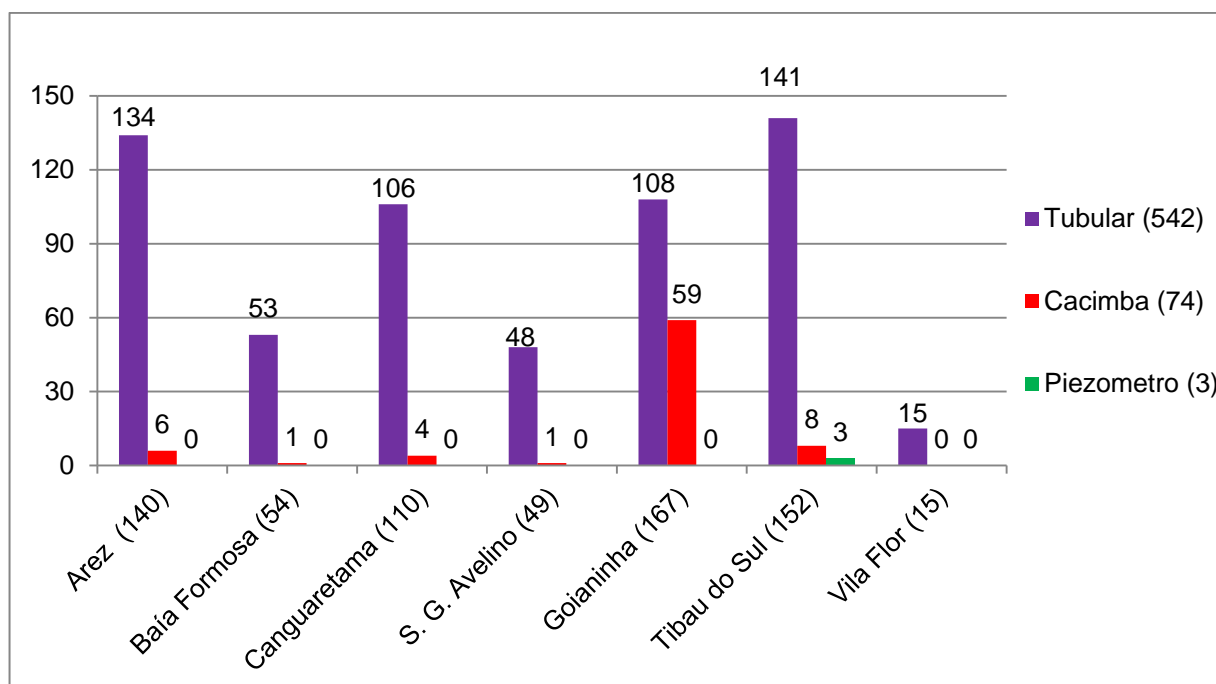
- Parâmetros relacionados ao cadastro de poços em campo:
  - ✓ Nome do informante: nome do responsável pelas informações cedidas no momento do cadastro;
  - ✓ Contato: telefone para contato do informante;
  - ✓ Data de cadastro: data da visita de campo para realização do cadastro;
  - ✓ Conservação da fonte: conservação da fonte conforme observação da pessoa responsável pelo cadastro;
  - ✓ Laje de proteção: se possui ou não laje de proteção;
  - ✓ Tampa: se o poço possui ou não tampa;
  - ✓ Perímetro de proteção: se o perímetro de proteção do poço foi respeitado;
  - ✓ Cercado: se o poço possui cerca de isolamento;
  - ✓ Revestimento: tipo de revestimento do poço (PVC, concreto, aço etc);
  - ✓ Fonte de contaminação/distância do poço: tipo de fontes de contaminação que possam ameaçar a integridade do poço e distância do mesmo;
  - ✓ Cor: cor da água produzida pelo poço;
  - ✓ Odor: odor da água produzida pelo poço;



- ✓ Possui reservatório: se o poço possui caixa d'água;
- ✓ Ponto de coleta: se o poço possui ponto de coleta de água;
- ✓ N\_A: nível d'água medido no momento do cadastro.

Entre os sete municípios inseridos no BLS, Goianinha é o que apresenta o maior número de fontes de captação (167), representando 24% do cadastro, seguido por Tibau do Sul (152), Arez (140), Canguaretama (110), Baía Formosa (54), Senador Georgino Avelino (49), e Vila Flor (15) (**Figura 7.3**).

O cadastramento de poços realizado pela Servmar identificou 14 poços cacimbas e 67 poços tubulares, sendo que, destes, apenas 11 apresentam perfil litológico e construtivo. O cenário caracterizado pelo levantamento da Servmar indica que os poços desconhecidos das bases de dados pré-existent, em geral, não possuem informações sobre os aspectos técnicos e construtivos e são de baixa qualidade construtiva.



**Figura 7.3. Distribuição dos tipos de fontes de captação por município**

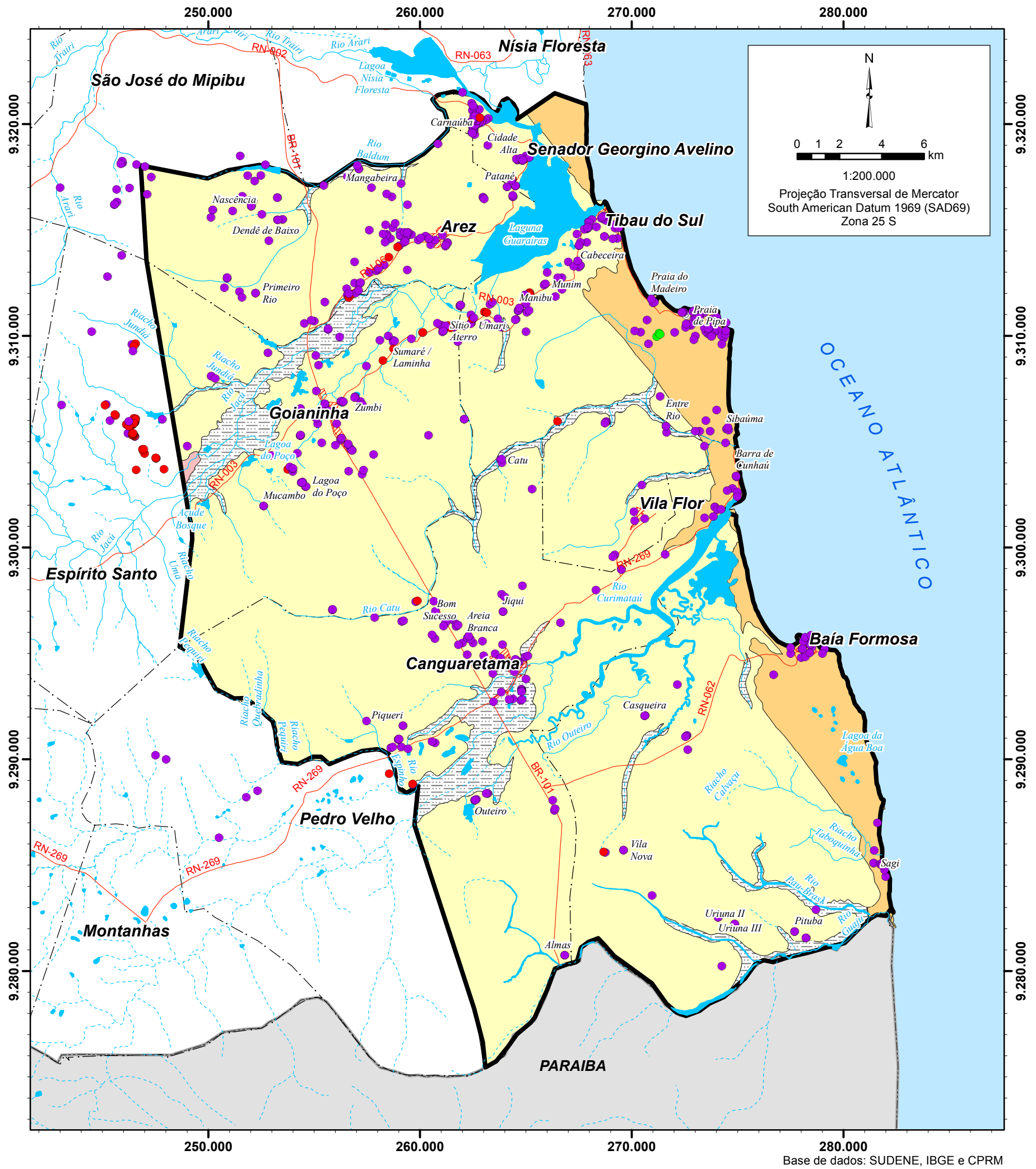
Apesar dos municípios do BLS possuírem baixo nível de urbanização, o desenvolvimento das sedes municipais, dos distritos e das comunidades da zona rural dos municípios está apoiado no uso da água subterrânea, conforme evidencia a **Figura 7.4** que apresenta a distribuição espacial das fontes de captação, demonstrando a concentração dos poços nos aglomerados urbanos e comunidades da área de estudo.

O uso da água subterrânea no BLS é presente em todas as atividades humanas e, visando equalizar os registros relacionados aos tipos de usos e sistematização do cadastro de fontes de captação, foram adotadas as seguintes classificações:

- Abastecimento público – designado às fontes que servem para o abastecimento das sedes ou comunidades dos municípios, em geral, de propriedade da CAERN. Nessa classificação foram incluídos poços, administrados pelas prefeituras e destinados ao abastecimento de pequenos núcleos populacionais da zona rural;
- Doméstico – uso para diversas finalidades, tais como consumo humano, limpezas gerais, jardinagem, etc, realizado a partir de fontes particulares, em geral, situadas em residências. Na Praia de Pipa, em Tibau do Sul, existem poços privados com uso doméstico, em regime coletivo, instalados em condomínios;
- Comercial – designado às fontes de captação existentes em empreendimentos comerciais, tais como hotéis, pousadas, restaurantes, supermercados, postos de combustíveis, entre outros, com diversas finalidades de usos;
- Industrial – designado às fontes de captação existentes em empreendimentos industriais, independentemente da finalidade de uso para consumo, processo produtivo, jardinagem ou demais aplicações;
- Agrícola – designado às fontes de captação existentes nas propriedades rurais, nas quais as diversas finalidades de uso (dessedentação de animais, irrigação e consumo humano) são necessárias, já que, em geral, não existem outras opções de abastecimento de água disponíveis.

A **Figura 7.5** apresenta a distribuição das fontes pelo tipo de uso, demonstrando a significativa representatividade do abastecimento público (55%), nas fontes cadastradas.

No cadastro existem 214 fontes de captação sem indicação do tipo de uso e que não foi possível inferir a tipificação do uso das águas explotadas. Em nove fontes de captação havia a informação de estarem desativadas e, desse modo, foram desconsideradas na avaliação dos usos.



**Tipos de Poços**

- Piezômetro (3)
- Cacimba (78)
- Tubular (572)

**Unidades Aquíferas**

- Aluvião
- Dunas
- Barreiras
- Cristalino

**Convenção Cartográfica**

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

Localização da área de estudo



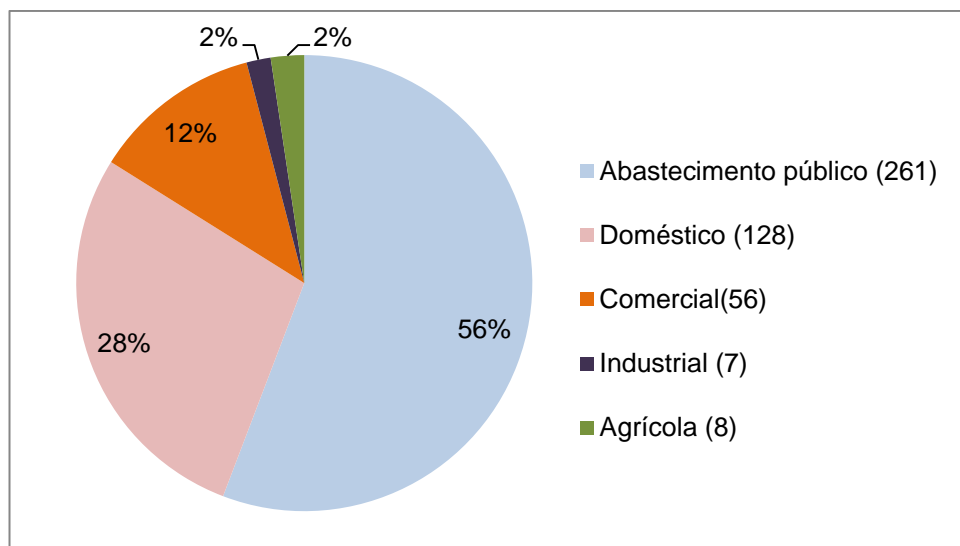
**Figura 7.4. Tipos de poços do Bloco Litoral Sul**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO LITORAL SUL DA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL (BLS)

Elaborado por: Servmar Serviços Técnicos Ambientais



Julho de 2012



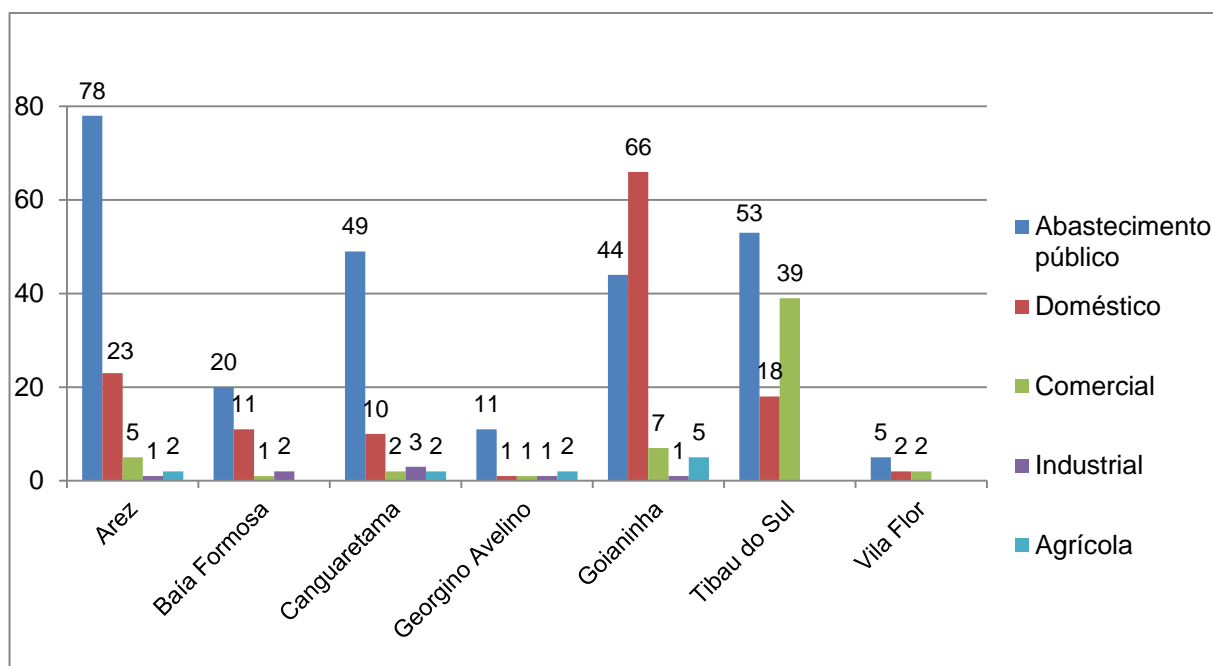
**Figura 7.5. Quantidade de fontes por tipos de uso**

Apesar da forte característica rural dos municípios do BLS, o cadastro de fontes de captação demonstra baixo índice de poços com uso aplicado às atividades agrícolas. O cadastramento de poços da Servmar também se concentrou em buscas nas propriedades rurais e, mesmo assim, não modificou o quadro já existente em dados anteriores. Essa característica pode indicar a utilização de águas superficiais para o atendimento a essas demandas ou indicar baixo nível de desenvolvimento de áreas irrigadas nessa região.

O baixo número de poços com uso industrial, no entanto, reflete o perfil econômico da região que não conta com um parque industrial desenvolvido.

Os municípios do BLS são fortemente dependentes da água subterrânea para o suprimento às demandas de consumo humano, explicando o elevado percentual de poços para os usos de abastecimento público e doméstico que, somados, representam 85% dos usos declarados no cadastro.

A **Figura 7.6** apresenta a distribuição dos usos das águas subterrâneas por município, permitindo avaliar o perfil de consumo das municipalidades e ressaltar algumas características.



**Figura 7.6. Tipificação do uso da água subterrânea por município**

Em análise à **Figura 7.6**, vale destacar o elevado número de poços para o uso doméstico em Goianinha, indicando a importância dos poços privados no abastecimento da população. Diferentemente dos demais municípios que os poços públicos são mais numerosos e, conseqüentemente, predominantes no atendimento às demandas para o consumo humano dos munícipes.

Em Tibau do Sul a ocorrência de poços com uso comercial é bastante elevada, impulsionada pelo desenvolvimento do turismo na Praia de Pipa que conta com poços privados instalados nos empreendimentos hoteleiros e de serviços. O desenvolvimento econômico dos demais municípios do BLS não apresenta essa característica e, desse modo, reflete no perfil de uso da água subterrânea.

As fontes de captação contendo dados sobre o uso e as vazões foram avaliadas visando caracterizar o perfil de consumo por tipo de uso. A **Tabela 7.1** registra a estatística da média das vazões por uso, em cada município.

As médias de vazão calculadas com os dados do cadastro são baixas, sobretudo se comparadas com vazões de exploração do aquífero Barreiras de outras regiões do litoral leste do Rio Grande do Norte. No BLS também existem alguns poços com vazões significativas, conforme será discutido adiante, porém os valores de vazões apresentados na **Tabela 7.1** acima apresentam valor médio inferior a 10 m<sup>3</sup>/h.

Os dados de vazão existentes no cadastro e utilizados na elaboração da **Tabela 7.1** correspondem a dados de vazão obtidos em ensaios de bombeamento dos poços. É possível que, em alguns poços, as vazões de exploração sejam superiores aos dados utilizados nos cálculos.



| Tabela 7.1. Vazão média dos poços por finalidade de uso (m³/h) |                       |           |           |            |          |
|--|-----------------------|-----------|-----------|------------|----------|
| Município  | Abastecimento público | Doméstico | Comercial | Industrial | Agrícola |
| Arez   | 5,14                  | 3,39      | 5,23      | -          | 4,50     |
| Baía Formosa   | 11,55                 | 7,13      | 4,00      | 14,40      | -        |
| Canguaretama   | 13,75                 | 6,48      | 5,90      | 30,33      | -        |
| Georgino Avelino   | 7,81                  | 0,57      | 7,17      | 13,60      | -        |
| Goianinha  | 8,86                  | -         | -         | 6,00       | 5,17     |
| Tibau do Sul   | 11,76                 | 2,91      | 10,33     | -          | -        |
| Vila Flor  | 25,00                 | -         | 7,50      | -          | -        |
| Média  | 11,98                 | 4,10      | 6,69      | 16,08      | 4,84     |

Nos tipos de uso comercial, industrial e agrícola, o cadastro possui poucos registros e, por vezes, a média representa o dado de vazão de um único poço existente para um dado uso no município.

De acordo com a análise realizada, a maior média das vazões está para o uso industrial, sobretudo no município de Canguaretama, seguida da média das vazões para o uso de abastecimento público, com destaque para o município de Vila Flor.

Os dados existentes no cadastro também permitem outras análises, além dos aspectos de uso dos recursos hídricos subterrâneos. Os perfis litológicos permitem identificar as unidades geológicas que constituem os aquíferos da área de estudo e os perfis construtivos, a definição sobre o aquífero em exploração. Os dados de ensaios de poços permitem a compreensão sobre a hidrodinâmica e a potencialidade dos aquíferos. A seguir, serão apresentados os dados do cadastro que representam a base do conhecimento para as interpretações sobre a geologia e hidrogeologia local e alguns resultados alcançados.

Os poços com informações dos perfis litológicos representam 39% dos registros do cadastro e a **Figura 7.7** apresenta a localização dos poços georreferenciados que possuem a descrição litológica da perfuração, destacando-se os poços que permitem identificar as relações estratigráficas do aquífero Barreiras.

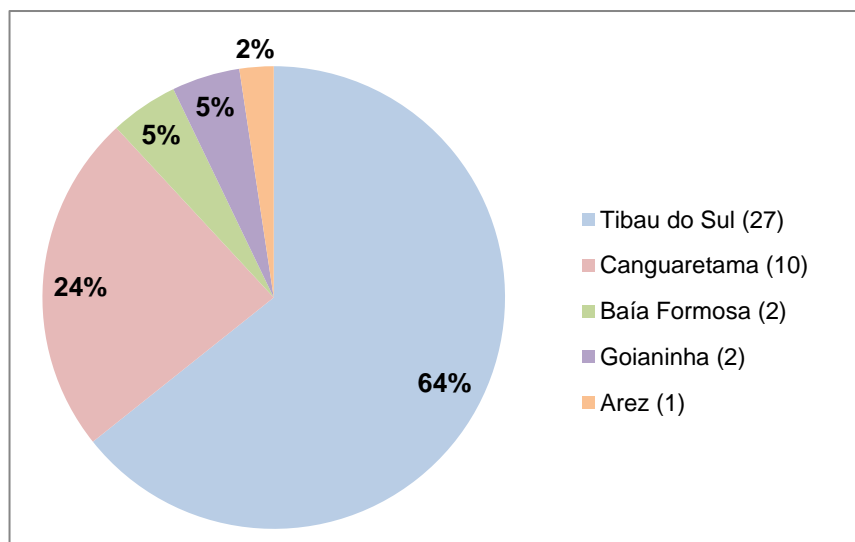


Deve-se observar que em todas as análises realizadas sobre os parâmetros relativos às fontes de captação, não foi possível contar com dados para todas as fontes do cadastro. Em diversos momentos desse projeto, sobretudo na avaliação do consumo efetivo de água subterrânea, bem como no cálculo de balanço hídrico, as lacunas de informações demandaram aproximações aos procedimentos de cálculos adotados.

O cadastramento de poços em campo não foi capaz de suprir a ausência de informação, principalmente de caráter técnico. No entanto, essa característica não surpreende, uma vez que seria muito improvável encontrar usuários conhecedores dos dados técnicos de sua captação, sendo que são proprietários de poços pouco conscientes sobre o cumprimento da própria legislação aplicada ao uso da água.

### Cadastro de outorgas

Nesse estudo ainda foi avaliado o cadastro de outorga dos usuários dos recursos hídricos, fornecido pela SEMARH (**Apêndice C**). A lista fornecida pela SEMARH totaliza apenas 43 registros outorgados para captação de água subterrânea através de poços tubulares, correspondendo a 6,3 % do total de poços do cadastro compilado neste estudo. Desse universo de registros de outorga de uso da água, somente 3 (três) outorgas ainda não expiraram o prazo determinado, ou seja, se consideradas somente as outorgas válidas, os poços regularizados representam menos de 0,5% do total de poços do cadastro. A **Figura 7.8** demonstra o número de poços outorgados por município, no BLS.



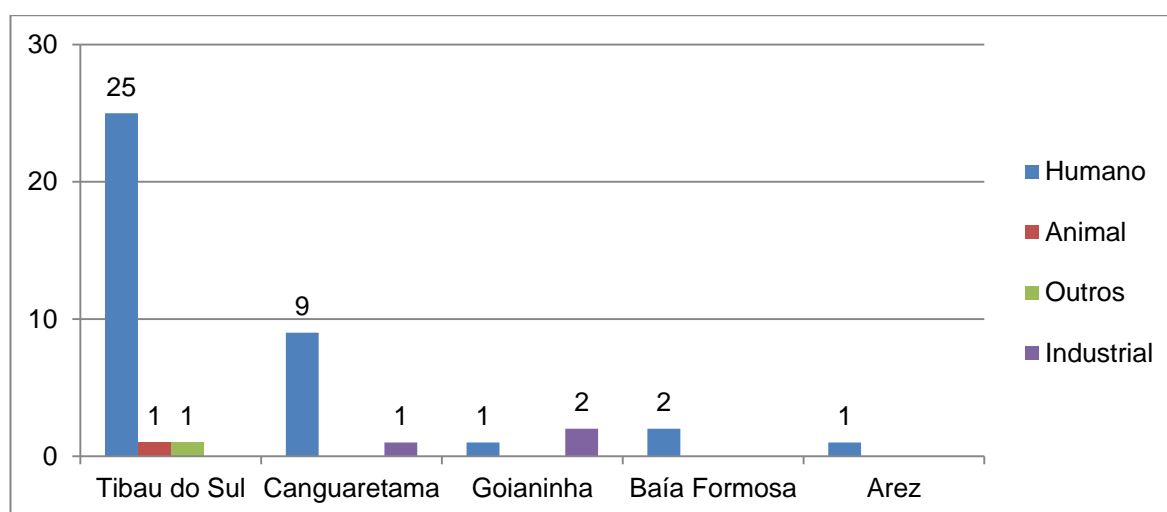
**Figura 7.8. Poços outorgados por município do BLS**

O município de Tibau do Sul apresentou o maior número (27), sendo que, nesse município, os poços outorgados representam 64% das outorgas existentes.

Nota-se que as fontes de captação existentes em Senador Georgino Avelino e em Vila Flor não possuem outorga e, em Goianinha, município com a maior quantidade de fontes de captação do cadastro, os poços outorgados representam menos de 5% do total de poços outorgados.

Nesse cenário, pode-se verificar que acima de 93% dos usuários do recurso hídrico subterrâneo são clandestinos, e acima de 99% dos poços estão irregulares, indicando que o alcance do Estado é pouco efetivo para quaisquer medidas de controle e gestão. O desafio de diminuir a distância entre os gestores públicos e os usuários inicia com a construção do cadastro consistido nesse estudo, já que permite reconhecer, localizar e caracterizar a grande maioria das captações de água subterrânea existentes na região.

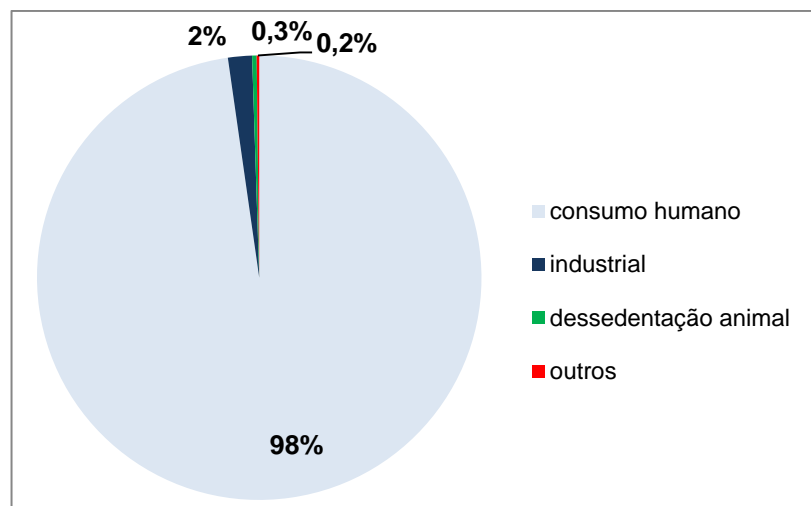
Os dados relativos aos poços outorgados permitiram identificar o perfil de uso por município, conforme apresentado na **Figura 7.9** e pôde-se observar que o uso humano é o mais requerido, com 29 processos, seguido de industrial (3), dessedentação animal (1) e outros (1).



**Figura 7.9. Tipificação do uso da água subterrânea por município do BLS (poços outorgados)**

Em comparação com os dados do cadastro, os dados de poços outorgados variaram o perfil de uso dos municípios. No entanto, esse efeito é ocasionado pelo número reduzido de poços outorgados que não representa uma amostragem correlata do padrão de uso de todos os poços existentes.

A partir das vazões outorgadas soma-se um volume total requerido para exploração, anualmente, de apenas 180,07 m<sup>3</sup>/dia. Em relação aos volumes requeridos, conforme pode ser observado na **Figura 7.10**, a uso humano é o setor que mais requer quase a totalidade da água, cerca de 98% do volume total, seguida pelo uso industrial (2%) e os demais usos requerem, somados, apenas 0,5%.



**Figura 7.10. Distribuição dos volumes outorgados por tipo de uso no BLS**

O cenário apresentado acima evidencia uma elevada taxa de clandestinidade dos poços, representando um potencial risco quanto à quantidade e à qualidade do recurso hídrico subterrâneo, por não haver um controle oficial de sua utilização. A ausência de aplicação da legislação que prevê a outorga dificulta a tomada de medidas administrativas de controle do uso da água como, por exemplo, a de um monitoramento periódico da qualidade da água de poços. Uma vez que não há informações precisas sobre os volumes explorados pela totalidade dos poços, é difícil prevenir problemas de eventuais superexplorações ou interferência entre poços. Não havendo conhecimento sobre a adequação construtiva dos poços, há um potencial risco à qualidade, propiciado pela infiltração de contaminação a partir de águas do freático para os níveis exploráveis do aquífero. Portanto, é de suma importância a ampliação do atendimento à legislação vigente, conforme será discutido no capítulo relativo às estratégias de manejo.

O tratamento de dados do cadastro embasou e permitiu avançar com o conhecimento da geologia, hidrogeologia e hidrogeoquímica locais e estas tratativas são apresentadas detalhadamente nos capítulos seguintes, de forma a permitir um detalhamento vinculado ao raciocínio desenvolvido para a construção de cada capítulo.

Os dados dos perfis construtivos, bem como as estatísticas dos parâmetros hidráulicos, permitiram a elaboração de seções geológicas e hidrogeológicas que embasaram diversos produtos, tais como os mapas de cargas hidráulicas, transmissividades, espessuras do aquífero e espessuras saturadas, subsidiando, por fim o mapa de zonas exploráveis. O cálculo do volume explorado representou um dos mais importantes resultados deste estudo, permitindo desenvolver o balanço hidrogeológico. O tratamento de dados hidroquímicos do cadastro orientou a seleção de poços para compor a rede de monitoramento de qualidade.

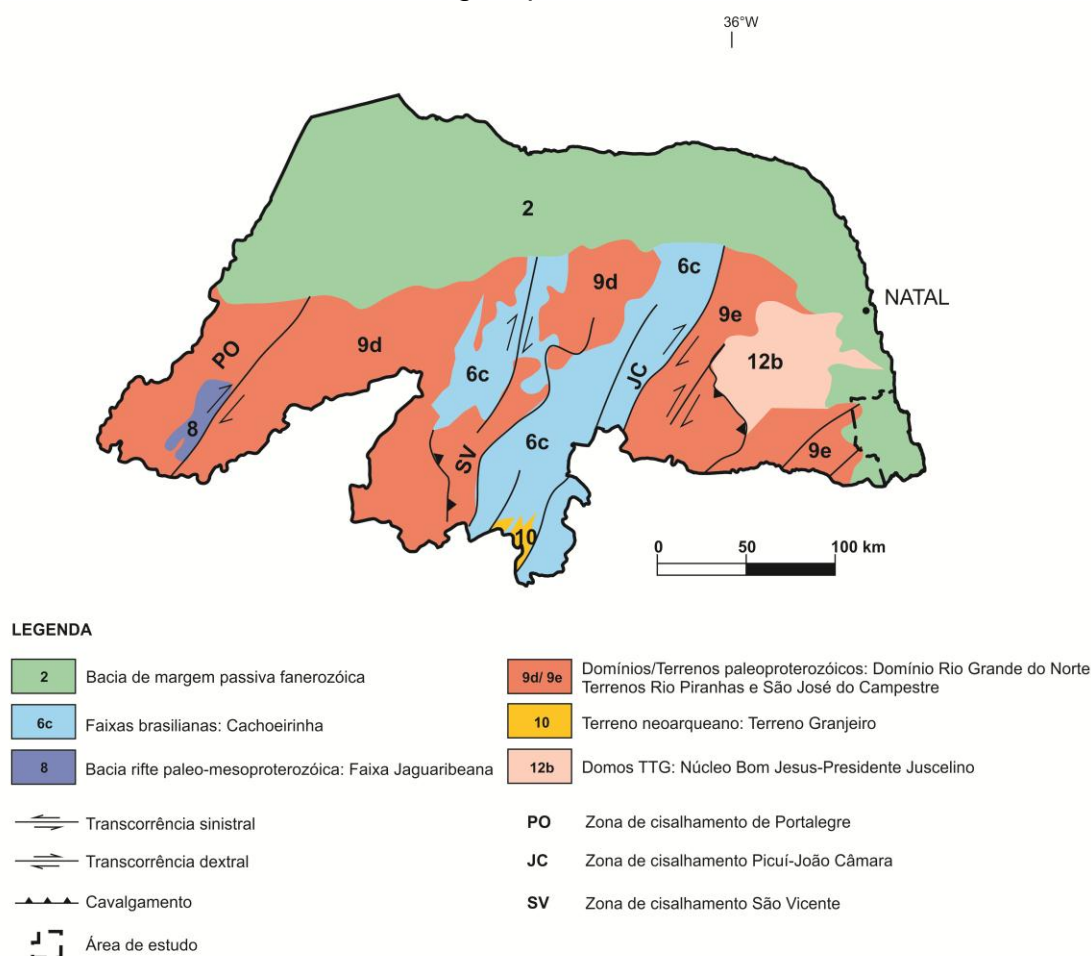


## 8 MAPA GEOLÓGICO DO BLOCO LITORAL SUL

Este capítulo apresenta uma síntese da geologia da área de estudo, através da descrição das principais características das unidades litoestratigráficas que compõem o arcabouço geológico do BLS. Em escala regional as informações foram obtidas nos principais estudos técnicos e científicos disponíveis, enquanto que em escala de detalhe, além das informações obtidas nas referências bibliográficas, também foram utilizados os dados dos perfis de poços levantados e construídos durante a execução deste projeto, observações realizadas em campo e interpretação de imagens de satélite e fotografias aéreas. Por fim, é apresentado o mapa geológico na escala 1:200.000 (em atendimento ao item 4.1.2 do TDR), destacando-se as suas principais compartimentações tectônicas e estruturas geológicas.

### 8.1 Geologia Regional

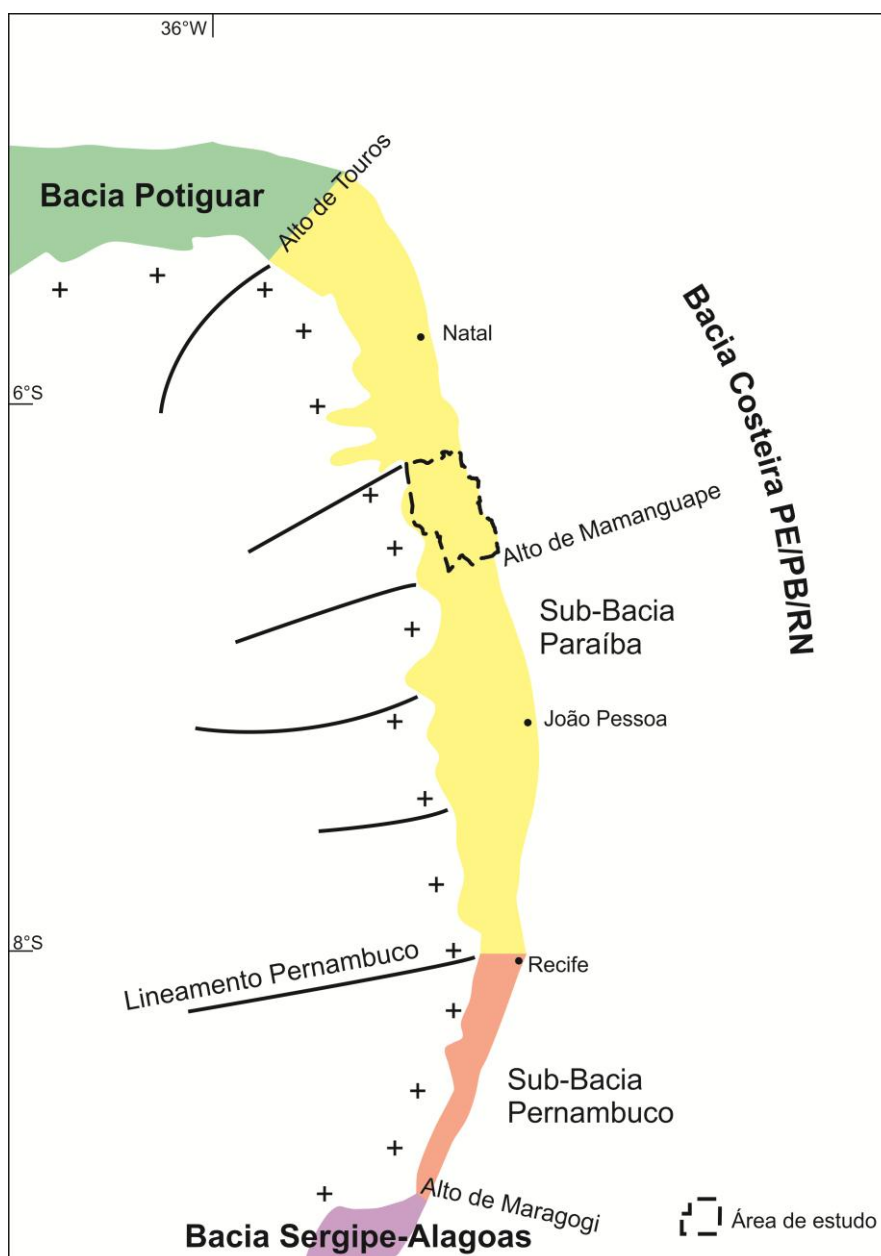
O Estado do Rio Grande do Norte abrange terrenos cristalinos e depósitos sedimentares (**Figura 8.1**), estes últimos associados principalmente ao desenvolvimento das bacias de margem passiva da costa leste do litoral brasileiro.



**Figura 8.1. Compartimentações geotectônicas do Estado do Rio Grande do Norte (adaptado de CPRM, 2003)**

Os terrenos cristalinos do RN se inserem na Província Borborema, nos domínios Jaguaribeano (9c), Rio Grande do Norte/Terreno Piranhas (9d) e Rio Grande do Norte/Terreno São José do Campestre (9e); e na Faixa Brasileira Cachoeirinha (6c) (CPRM, 2003). Os depósitos sedimentares do RN ocorrem no domínio das bacias Potiguar e Costeira RN/PB/PE.

O BLS está totalmente inserido no domínio das bacias sedimentares fanerozóicas, no âmbito da Bacia Costeira PE/PB/RN (**Figura 8.2**).



**Figura 8.2. Bacia Costeira PE/PB/RN e suas principais compartimentações (adaptado de Lima Filho, 1999)**

### Bacia Costeira PE/PB/RN

A Bacia Costeira PE/PB/RN se instalou sobre as rochas cristalinas da Província Borborema, aproveitando-se principalmente das descontinuidades pré-existentes, e limita-se a norte com a Bacia Potiguar, a sul com a Bacia Sergipe/Alagoas e a oeste com o embasamento cristalino (**Figura 8.2**), estendendo-se pelos estados do Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco.

A Bacia Costeira PE/PB/RN, em sua porção emersa, ocupa uma área aproximada de 9.000 km<sup>2</sup>, dividida em duas sub-bacias pelo lineamento de Pernambuco (**Figura 8.2**), a sub-bacia de Pernambuco ao sul e da Paraíba ao norte (LIMA FILHO, 1999; CÓRDOBA *et al.* 2007). Alguns autores sugerem ainda a divisão da sub-bacia Paraíba (MABESOONE; ALHEIROS, 1988; LIMA FILHO, 1999), entretanto, no âmbito deste projeto a sub-bacia Paraíba é tratada como uma unidade indivisa, por não conter características que conotem a necessidade de subdivisão dentro do estudo.

### Sub-Bacia Paraíba

O alto estrutural que delimita a sub-bacia Paraíba com a Bacia Potiguar ao norte é o Alto de Touros; a oeste é delimitada por um sistema de falhas que a separa do embasamento cristalino composto por rochas metamórficas da Província Borborema; e a sul é delimitada pelo Lineamento Pernambuco com a sub-bacia Pernambuco (**Figura 8.2**).

As relações estratigráficas e estruturais da sub-bacia Paraíba com a sub-bacia Pernambuco e/ou com a Bacia Potiguar ainda não são bem esclarecidas. Há diversas hipóteses sobre a evolução dessas sub-bacia (ASMUS, 1975; RAND, 1976; MABESOONE; ALHEIROS, 1988; LIMA FILHO, 1999; FEITOSA *et al.* 2002; LIMA *et al.* 2003; MORAES, 2005; FURRIER, 2006; CÓRDOBA *et al.* 2007), entretanto, não é bem compreendida a correlação principalmente dos depósitos basais cretáceos da sub-bacia Paraíba com os sedimentos da sub-bacia Pernambuco e da Bacia Potiguar.

Dessa maneira, para a porção emersa da sub-bacia Paraíba, foi adotada uma compilação simplificada das unidades litoestratigráficas propostas por diversos autores, a qual é resumidamente descrita a seguir, da base para o topo:

Rochas siliciclásticas e/ou carbonáticas: constituídas de arenitos, eventualmente com matriz calcífera, intercalados com calcarenitos, carbonatos e argilitos, de idade cretácea, correlatas às formações Beberibe e/ou Gramame da sub-bacia Pernambuco e às formações Açu e/ou Jandaíra da Bacia Potiguar (IPT, 1982; MELO, 1995; FEITOSA *et al.* 2002; CÓRDOBA *et al.* 2007), também podem receber a denominação de arenito calcífero (SERHID, 1998) ou infra-Barreiras (IPT, 1982);

- Formação Barreiras: constituída por arenitos de granulometria grossa a fina, eventualmente conglomerático, com matriz silto-argilosa, intercalado com argilitos arenosos (MABESOONE *et al.* 1977; IPT, 1982; CPRM, 2006; CÓRDOBA *et al.* 2007), de idade Tercio-Quaternária (MABESOONE *et al.* 1972; SUGUIO *et al.* 1986; CÓRDOBA *et al.* 2007). Estaria associado à deposição de sistemas fluviais entrelaçados desenvolvidos sobre leques aluviais (IPT, 1982; CPRM, 2006; CÓRDOBA *et al.* 2007);
- Depósitos recentes: sedimentos inconsolidados do Quaternário, constituídos por coberturas arenosas, aluviões, depósitos eólicos, sedimentos de mangues e praias atuais (CPRM, 2006).

Por fim, é citada a ocorrência, eventual e pontual, de rochas básicas/alcalinas, de idade neocretácea a terciária, tendo como exemplos e análogos, no continente, a intrusão alcalina de Itapororoca e os basaltos alcalinos correlatos à Suíte Macau (CÓRDOBA *et al.* 2007).

#### Sub-Bacia Pernambuco

A sub-bacia Pernambuco em sua porção emersa é limitada a norte pelo Lineamento Pernambuco com a sub-bacia Paraíba; a oeste por um sistema de falhas que a separa do embasamento cristalino composto por rochas metamórficas da Província Borborema; a sul limita-se com a Bacia Sergipe/Alagoas pelo Alto de Maragogi (**Figura 8.2**).

As unidades litoestratigráficas reconhecidas na porção emersa foram organizadas, segundo Barbosa *et al.* (2003) e Córdoba *et al.* (2007), nas seguintes sequências deposicionais: siliciclástica, englobando as formações Beberibe e Itamaracá; carbonática de mar alto/regressiva englobando as formações Gramame e Maria Farinha; formações superficiais cenozóicas, representadas pela formação Barreiras e por depósitos recentes de diversas origens, conforme descrito a seguir.

- Formação Beberibe: designa os clásticos grossos neocretáceos, correlacionável à formação Açú na Bacia Potiguar e representa a porção basal da bacia. Caracterizada por um espesso pacote de arenitos friáveis, mal selecionados, de coloração cinza a creme, argilosos, e com espessuras médias de 230 a 280 m (CÓRDOBA *et al.* 2007; LEAL E SÁ, 1998 *apud* FURRIER, 2006).
- Formação Itamaracá: caracteriza-se pela presença de clásticos grossos e finos neocretáceos interdigitados e sobrepostos aos arenitos da formação Beberibe (CÓRDOBA *et al.* 2007). Esta unidade é considerada um marco estratigráfico que ocorre em toda a sub-bacia Pernambuco.

- Formação Gramame: caracterizada por calcários fossilíferos neocretáceos aflorantes entre Recife e João Pessoa, correlacionável com a formação Jandaíra na Bacia Potiguar (CÓRDOBA *et al.* 2007).
- Formação Maria-Farinha: constituída por calcarenitos puros e argilosos terciários sobrepostos concordantemente aos carbonatos da formação Gramame (CÓRDOBA *et al.* 2007). Esta formação é definida como a continuação da sequência calcária da formação Gramame, sendo diferenciada apenas pelo seu conteúdo fossilífero (CÓRDOBA *et al.* 2007; LEAL E SÁ, 1998 *apud* FURRIER, 2006).
- Formação Barreiras: a mesma descrição apresentada no contexto da sub-bacia Paraíba.
- Depósitos recentes: a mesma descrição apresentada no contexto da sub-bacia Paraíba.

## 8.2 Compartimentação tectono-estrutural do BLS

A compartimentação estrutural da área de estudo está fortemente condicionada à evolução das bacias de margem passiva da costa leste do litoral brasileiro, a partir do Mesozóico, responsável pela formação de estruturas rúpteis no embasamento e sequências sedimentares contemporâneas aos distintos episódios tectônicos.

No BLS os principais condicionantes tectono-estruturais estão associados principalmente à evolução da Bacia Costeira PE/PB/RN, predominando os falhamentos normais.

Na Bacia Costeira PE/PB/RN foram identificados três eventos deformacionais distintos que contribuíram para o arcabouço ou estão presentes no registro estratigráfico dessa bacia, desde a fase rifte até o estágio drifte (CÓRDOBA *et al.* 2007).

O primeiro evento, ocorrido no estágio rifte, compreende uma deformação distensional, com eixo de máxima distensão na direção NW-SE, a qual teria gerado falhas normais em arranjo lítrico ou dominó na direção NE, aproveitando-se de zonas de fraqueza pretéritas do embasamento, combinadas a falhas de transferência NW (CÓRDOBA *et al.* 2007). Essas estruturas afetam o embasamento cristalino e os sedimentos mais antigos, depositados nesse estágio.

Um segundo evento, pós-rifte, também representado por estruturas distensionais, pode ser reconhecido pela ocorrência de falhas normais em unidades mais jovens, com eixo principal de distensão NE/ENE na sub-bacia Paraíba. Entre Recife e Natal, ocorrem estruturas de *grabens* com distensão NE/ENE, cujas falhas afetam tanto as



unidades do Cretáceo Superior, como o próprio embasamento cristalino. Reativações deste regime chegam a afetar inclusive a formação Barreiras, no Terciário (CÓRDOBA *et al.* 2007).

O terceiro evento envolve distensão longitudinal às bacias, na direção N-S a NNE, resultando em falhas normais E-W a ENE, e falhas de rejeito direcional, ou oblíquas, com direções NE a NW. Esta cinemática pode ser relacionada ao campo de tensões de escala continental, que afeta a Placa Sul-Americana desde o Cretáceo Superior (CÓRDOBA *et al.* 2007).

Estudos conduzidos na sub-bacia Paraíba indicam ainda que na costa leste do Estado do Rio Grande do Norte ocorreram dois eventos tectônicos distintos durante o Cenozóico, com reativações de falhas, através de movimentos transcorrentes (BEZERRA *et al.* 2001; NOGUEIRA *et al.* 2006). O primeiro evento, com idade que variaria entre o Paleoceno e o Mioceno (SOUZA *et al.* 2005), teria ocorrido contemporaneamente à deposição dos sedimentos da formação Barreiras. O segundo evento teria ocorrido posteriormente a deposição da formação Barreiras, entre o Mioceno e o Holoceno, contemporâneo a sedimentação dos depósitos quaternários (BEZERRA *et al.* 2001; NOGUEIRA *et al.* 2006).

A combinação desses eventos resultou em uma compartimentação tectônica controlada principalmente por falhas com direções NW-SE e NE-SW, com rejeitos centimétricos até algumas dezenas de metros, com ocorrência de soerguimento e abatimento de blocos falhados, exercendo controle fundamental na deposição dos sedimentos, através da geração de espaço para sua acomodação (BEZERRA *et al.* 2001; NOGUEIRA *et al.* 2006).

A ocorrência de falésias por praticamente todo o BLS, são importantes representações em superfície dessas falhas de direção NW-SE. Estudo de anomalias gravimétricas realizadas por Nogueira *et al.* (2006) indicam aumento da profundidade do embasamento cristalino de oeste (na borda bacia) para oeste (na linha de costa), demonstrando a importância dessas estruturas na evolução da bacia.

De acordo com IPT (1982), Bezerra *et al.* (2001) e Nogueira *et al.* (2006), podem ser identificados como principais compartimentos estruturais na área de estudo, resultantes dos eventos tectônicos:

- o *graben* do rio Jacu, implantado na bacia do rio homônimo;
- o alto de Goianinha implantado entre o sistema de falhas de Nísia Floresta/São José de Mipibu/Ponta do Cotovelo (ao norte) e o Sistema de Falhas de Arez/Goianinha/Canguaretama (ao sul);
- o *graben* do Vale do Canguaretama, a sul do Alto de Goianinha;
- e o alto de Mamanguape, no limite sul da área.

Essa compartimentação estrutural influenciou na distribuição, espessuras e definição da geometria tabular dos depósitos mesozóicos e terció-quaternários nos diferentes compartimentos tectônicos. Com isso, nos baixos estruturais esperam-se maiores espessuras dos sedimentos mesozóicos e terció-quaternários em relação aos altos estruturais, devido à geração de espaço para acomodação, considerando a deposição sin-tectônica para esses depósitos.

Portanto, os eventos tectônicos atuantes no Litoral Sul contribuíram para a geração de uma estruturação do tipo *horst/graben* escalonada, em duas direções principais, de NW para SE (associada ao evento que gerou as falhas NE-SW) e E-W (associada ao evento que gerou as falhas NW-SE), dividindo a área em compartimentos tectônicos distintos.

### 8.3 Geologia local

Segundo os estudos geológicos conduzidos para elaboração do PERH (SERHID, 1998), o estudo hidrogeológico regional do Estado do Rio Grande do Norte (IPT, 1982), o mapa geológico na escala 1:500.000 (CPRM, 2006), e as informações consistidas durante o projeto de 310 perfis de poços, as unidades geológicas que constituem o substrato litológico na região estudada, da mais antiga para a mais jovem, são:

- Embasamento cristalino de idade Pré-cambriana;
- Arenitos e carbonatos cretáceos do domínio da sub-bacia Paraíba, correlatos às formações Beberibe e Gramame da sub-bacia Pernambuco;
- Sedimentos terció-quaternários da formação Barreiras;
- Sedimentos recentes (dunas, aluviões e mangues).

A seguir, são tecidas considerações gerais sobre as unidades geológicas sedimentares que constituem o arcabouço geológico do BLS, e uma síntese é apresentada na **Tabela 8.1**.

**Tabela 8.1. Unidades litoestratigráficas do BLS**

|               | Unidades           | Descrição                                    |
|---------------|--------------------|--|
| Cenozóico     | Quaternário        | Depósitos de mangues e flúvio-lacustrinos    |
|               |                    | Depósitos aluvionares                        |
|               |                    | Depósitos colúvio-eluviais                   |
|               |                    | Depósitos litorâneos de praia e dunas móveis |
|               |                    | Dunas fixas (Paleodunas)                     |
|               | Tercio-Quaternário | <i>Beachrocks</i>                            |
|               |                    | Formação Barreiras                           |
| Mesozóico     | Cretáceo           | Rochas Carbonáticas                          |
| Pré-Cambriano |                    | Embasamento cristalino indiferenciado        |

### Embasamento Cristalino

Constitui o arcabouço geológico das unidades sedimentares, composto por rochas ígneas e metaígneas, principalmente ortognaisses, migmatito e metagranitos de idade pré-cambriana (JARDIM DE SÁ, 1994; CPRM, 2006). Os afloramentos dessa unidade estão restritos ao limite oeste da área de estudo, principalmente nos vales dos rios Jacu e Curimataú. O contato com os sedimentos sobrepostos se dá de forma discordante (SERHID, 1998).

Nos perfis de poços analisados, 18 interceptam o embasamento cristalino, dos quais quatro estão localizados fora da área de estudo, no município de Pedro Velho, onde o embasamento aflora, e 11 estão localizados na borda da bacia, no limite oeste da área, próximo à faixa de afloramento do embasamento, onde a espessura dos sedimentos sobrepostos é incipiente, no geral, menor que 20 metros.

Há três poços localizados mais ao interior da bacia que cortam espessuras significativas dos sedimentos, indicando que o topo do cristalino ocorre a maiores profundidades em relação à borda da bacia. Dois poços estão localizados na porção noroeste da área (PS-0646 e PS-1268), no município de Arez, no compartimento estrutural a norte do *graben* do rio Jacu, onde o topo do cristalino é interceptado a aproximadamente 85 metros de profundidade em relação à superfície. O outro poço (567) está localizado no município de Canguaretama, próximo ao rio Catu, no Alto de Goianinha, e atravessa 218 metros de sedimentos antes de atingir o embasamento cristalino.

As medianas da espessura dos sedimentos sobrepostos ao embasamento cristalino e da profundidade dos poços indicam a tendência de que os poços que atingem o embasamento localizam-se onde este encontra-se mais próximo a superfície (Tabela 8.2).

| Tabela 8.2. Dados dos perfis de poços que atingem o embasamento cristalino |                            |       |         |      |  |       |         |      |
|--|----------------------------|-------|---------|------|--|-------|---------|------|
| Número de poços  | Profundidade dos poços (m) |       |         |      | Espessura dos sedimentos sobrepostos (m) |       |         |      |
|  | Mín.                       | Média | Mediana | Máx. | Mín.                                     | Média | Mediana | Máx. |
| 18   | 8                          | 47    | 29      | 228  | 8  | 34    | 18      | 218  |

### Rochas Carbonáticas Cretáceas

Os sedimentos mesozóicos presentes na área de estudo são representados por uma sequência de rochas carbonáticas intercaladas com rochas siliciclásticas (IPT, 1982; ACCIOLY, 1995; SERHID, 1998; NOGUEIRA *et al.* 2006; dados de perfis de poços), cuja deposição ainda não foi bem esclarecida (SERHID, 1998). Neste projeto essa unidade será simplesmente denominada de rochas carbonáticas.

O estudo hidrogeológico regional do estado do Rio Grande do Norte realizado pelo IPT (1982) descreve essa unidade como sendo constituída de arenitos calcíferos

finos a médios, claros, com intercalações de argilas e calcários. Estes últimos ocorrem em lentes descontínuas, aparecendo às vezes no topo da sequência, onde surgem cavernas de dissolução que chegam a atingir alturas superiores a 3 metros.

Na literatura, são citados afloramentos pontuais de calcários no município de Canguaretama (SERHID, 1998; ACCIOLY, 1995), que recebe a denominação de Calcário Outeiros, que persiste desde a década de 1970, evidenciando a dificuldade de correlação desses calcários com a formação Gramame da sub-bacia Pernambuco ou até mesmo com a formação Jandaíra da Bacia Potiguar (SERHID, 1998). Entretanto, como a extensão desses afloramentos é bastante reduzida, a escala de trabalho utilizado neste projeto não permitiu sua representação no mapa geológico.

Em subsuperfície possui ampla distribuição, no geral, com aumento de espessura de oeste para leste (do interior do continente em direção à linha de costa), onde podem atingir 330 metros ou mais (PEREIRA *et al.* 2002). O contato entre essa unidade e o embasamento cristalino se dá de forma discordante (erosional).

Nos perfis analisados, 109 poços atingem as rochas carbonáticas, dos quais três penetram totalmente nesse pacote. Nos poços PS-0646 e PS-1268, localizados na porção noroeste da área, no município de Arez, a espessura do dessa unidade é de 22 metros em ambos os perfis. No poço 567, localizado na porção central da área de estudo, a espessura das rochas carbonáticas é de 158 metros, indicando a tendência de aumento de espessura de oeste para leste desses sedimentos.

Ressalta-se a escassez de dados dessas unidades, o que dificulta bastante o entendimento da sua geometria de deposição e suas características litoestratigráficas, entretanto, como a deposição desses sedimentos foi fortemente controlada pela tectônica, espera-se que, nos blocos com maior abatimento (*grabens*) e, conseqüentemente, maior profundidade do embasamento, seja maior a espessura desses sedimentos mesozóicos.

#### Formação Barreiras (Tercio-Quaternária)

No BLS, os litotipos da formação Barreiras encontram-se dispostos por praticamente toda a área, sendo que no limite leste estão sotopostos aos depósitos de dunas fixas e móveis. O limite de ocorrência a oeste se dá no contato com o embasamento cristalino, indicando o limite da Bacia Costeira.

Esta formação apresenta grande variação faciológica, tanto vertical quanto horizontal, com sedimentos consolidados a pouco consolidados que vão desde argilitos a conglomerados, com cores variadas e estratificações diversas. Entretanto, no geral, ocorrem sedimentos arenosos grossos na base e areno-argilosos, mais finos no topo, (IPT, 1982; SERHID, 1998).



A ausência de fósseis na formação Barreiras impede uma datação precisa, entretanto vários autores (SALIM *et al.* 1975; MABESOONE *et al.* 1972; SUGUIO *et al.* 1986) com base em datações paleomagnéticas, atribuíram a esta formação um intervalo de sedimentação entre o Paleógeno (Oligoceno) e o Neógeno, chegando até o Pleistoceno (CPRM, 2006).

Estudos realizados pela SERHID (1998) indicaram grande variação na espessura dos sedimentos da formação Barreiras no âmbito da Bacia Costeira, no trecho compreendido entre Touros (RN) e o limite com a Paraíba, apresentando média de 57,97 metros. Apesar dessa grande variação, foi evidenciado que em 96% dos casos as profundidades são inferiores a 110 m, predominando o intervalo entre 38,00 e 74,00 metros, em aproximadamente 43% dos dados (SERHID, 1998).

No limite oeste da área de estudo, próximo ao contato com o embasamento cristalino, a espessura da formação Barreiras é bastante reduzida, devido à proximidade do limite da bacia.

A avaliação das características dessa unidade foi realizada através da interpretação de 306 perfis de poços sendo que 121 destes são totalmente penetrantes na formação Barreiras (**Tabela 8.3**).

| <b>Tabela 8.3. Características da espessura da formação Barreiras</b>       |   |              |                |             |
|---|---|--------------|----------------|-------------|
| <b>Número de poços</b>  | <b>Espessura da formação Barreiras nos poços parcial e totalmente penetrantes (m)</b> |              |                |             |
|   | <b>Mín.</b>   | <b>Média</b> | <b>Mediana</b> | <b>Máx.</b> |
| 306   | 8   | 57           | 60             | 119         |
| <b>Espessura da formação Barreiras nos poços totalmente penetrantes (m)</b> |   |              |                |             |
|   | <b>Mín.</b>   | <b>Média</b> | <b>Mediana</b> | <b>Máx.</b> |
| 121   | 8   | 49           | 49             | 99          |

A espessura média da formação Barreiras considerando-se todos os poços é pouco maior que a média nos poços totalmente penetrantes (57 e 49, respectivamente). Isso provavelmente ocorre porque as maiores espessuras da formação Barreiras ocorrem próximo ao litoral (ver Capítulo 12), onde os poços possuem as maiores profundidades, porém não atravessam toda esta formação.

Na porção central da área de estudo, nos altos estruturais (altos de Goianinha e de Canguaretama) ocorrem espessuras intermediárias, de aproximadamente 70 metros (ver Capítulo 12).

No limite oeste da área e no interior dos *grabens* (do rio Jacu e do vale de Canguaretama) as espessuras são reduzidas, abaixo de 40 metros no *graben* do vale de Canguaretama e menores que 30 metros no limite oeste e no *graben* do rio Jacu (ver Capítulo 12).

### Dunas Fixas (Paleodunas) e Depósitos Litorâneos de Praia e Dunas Móveis

As paleodunas e dunas móveis ocorrem por toda a costa do litoral sul, onde formam um cordão longitudinal noroeste-sudeste, em resposta à direção dos ventos no litoral do Estado do Rio Grande do Norte. Os depósitos litorâneos de praia ocorrem em uma faixa bastante restrita e paralela à linha de costa. Esses depósitos normalmente estão sobrepostos aos sedimentos da formação Barreiras.

As dunas e as paleodunas podem atingir até 40 metros de espessura (ACCIOLY, 1995), destacando-se na topografia da área de estudo. São formadas principalmente por arenitos quartzosos amarelados, de aspecto maciço, contendo grãos bem selecionados, subarredondados a subangulosos. As paleodunas podem ser recobertas por vegetação característica ou pelas dunas móveis e aluviões recentes.

Nos perfis de poços não foi possível distinguir as dunas das paleodunas. Foram identificados 22 perfis que interceptam esses depósitos, cujos dados de espessura são apresentados na **Tabela 8.4**. A maior espessura observada nos perfis foi de 15 m, com média e mediana de 6 m.

| <b>Tabela 8.4. Espessura das dunas e paleodunas (m)</b> |               |              |                |               |
|---|---------------|--------------|----------------|---------------|
| <b>Número de poços</b>                                  | <b>Mínima</b> | <b>Média</b> | <b>Mediana</b> | <b>Máxima</b> |
| 22  | 2             | 6            | 6              | 15            |

### Depósitos Colúvio-Eluviais

Os depósitos colúvio-eluviais são sedimentos arenosos e areno-argilosos esbranquiçados e avermelhados, por vezes constituindo depósitos conglomeráticos com seixos de quartzo predominantes, localmente de natureza polimítica proveniente do retrabalhamento dos sedimentos da formação Barreiras (CPRM, 2006). Os depósitos colúvio-eluviais ocorrem de forma descontínua por toda a área de estudo, não sendo possível identificá-los nos perfis dos poços.

### Depósitos Aluvionares

Os depósitos aluvionares ocorrem ao longo dos vales dos rios que drenam a área, sendo mais desenvolvido nos vales dos rios Jacu e Curimataú. São constituídos por sedimentos arenosos e argilo-arenosos, com níveis irregulares de cascalhos, formando depósitos de canal, de barras de canal e de planície de inundação (CPRM, 2006). Nos perfis de poços não é possível identificar essa unidade.

### Depósitos de Mangues e Flúvio Lacustrinos

Os depósitos de mangues, encontrados ao longo da faixa litorânea, são constituídos por lamas arenosas plásticas, não adensadas e bioturbadas, contendo restos de vegetais em decomposição, recobertos por vegetação arbustiva característica. São originados por processos de tração/suspensão subaquosa, pela ação das marés, representando fácies de intermaré/submaré rasa (CPRM, 2006).

Esses depósitos estão associados principalmente às desembocaduras dos rios Jacu e Curimataú, sendo que neste último avança aproximadamente 8 km no continente.

Os depósitos flúvio-lacustrinos ocorrem principalmente no entorno da laguna Guaraíras e são compostos predominantemente por areia, pelito e diatomito.

Não há perfis de poços que descrevam a ocorrência dessas unidades no cadastro compilado.

### Beachrocks

O termo *beachrock* é atribuído aos sedimentos praias litificados por cimentos de carbonatos de cálcio em zona de intermaré, limitados, principalmente, às praias de baixa latitude (HOPLEY, 1986 *apud* CABRAL NETO, 2011).

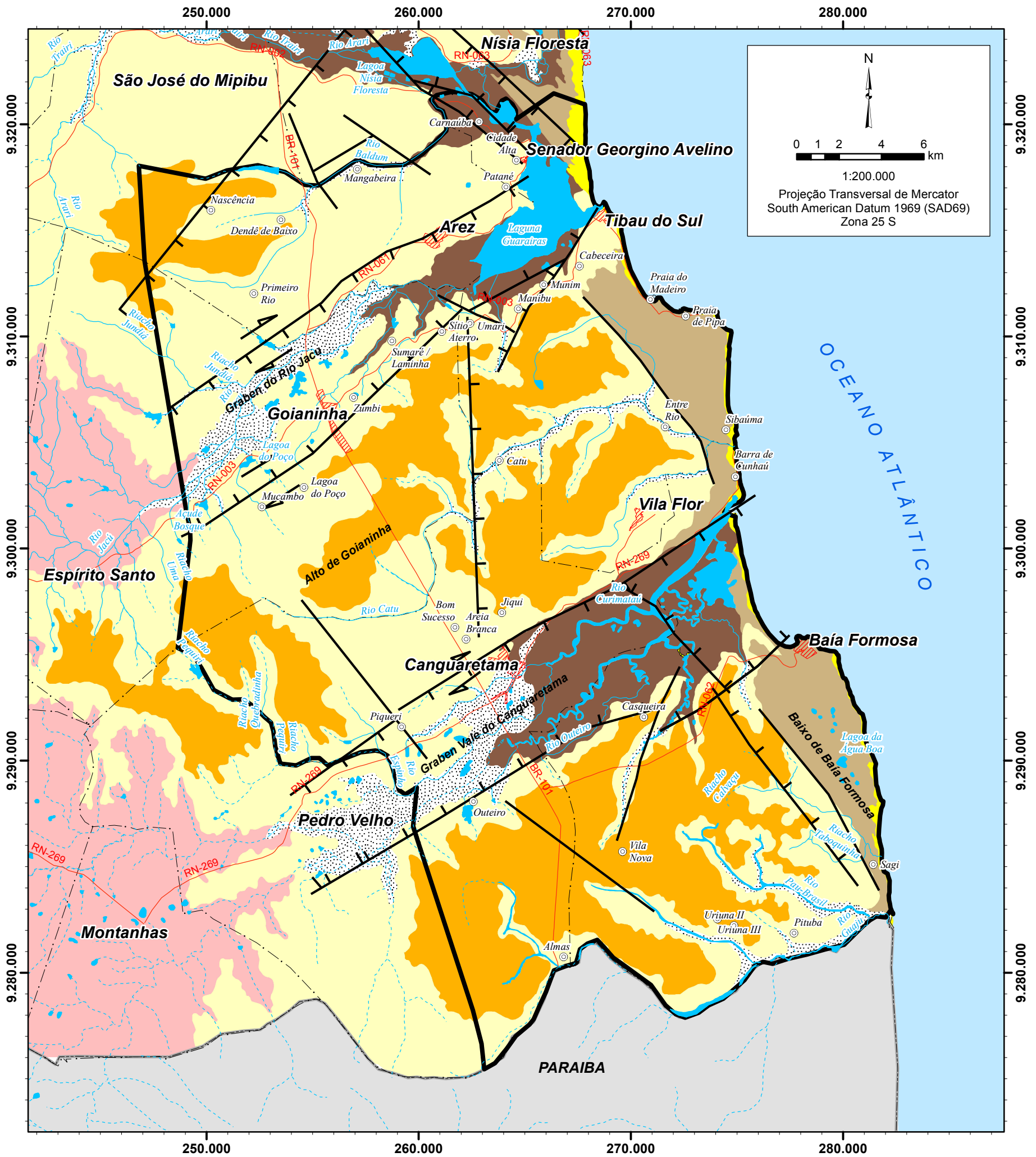
Na área de estudo essa unidade ocorre entre Barra do Cunhaú (Tibau do Sul) e a foz do rio Canguaretama, em forma de cordões alongados paralelos à linha de costa, na direção N-S, com largura variando entre 25 e 30 m (ACCIOLY, 1995; BARRETO, 2004).

Está situado nas zonas de *foreshore* e *nearshore*, permanecendo parcialmente encobertos na preamar e expostas na baixamar, agindo como quebramar para as ondas, com algumas interrupções. No geral, repousam sobre os arenitos da formação Barreiras. Devido à escala utilizada no estudo não foi possível representar essa unidade no mapa geológico. Por estar situado nas zonas de *foreshore* e *nearshore*, permanecendo parcialmente encobertos na preamar e expostas na baixamar, não são reconhecidos nos perfis de poços avaliados.

Após a caracterização das unidades geológicas e da compartimentação tectônica da área de estudo, procedeu-se a elaboração do mapa geológico do BLS, na escala 1:200.000. A base utilizada foi o mapa geológico do Estado do Rio Grande do Norte na escala 1:500.000 (CPRM, 2006) em formato digital, ao qual foram integrados mapas geológicos de detalhes disponíveis, cujo resultado foi adaptado para a escala de trabalho.

Sobre esse produto gerado, foram lançados os dados de 310 perfis litológicos de poços analisados durante o projeto, o que permitiu o refinamento dos limites das unidades geológicas aflorantes. Como apoio para delimitação das unidades geológicas aflorantes foram utilizadas fotografias aéreas e imagens de satélite.

Os compartimentos tectônicos e as principais estruturas identificadas nas referências bibliográficas foram consistidos, digitalizados e integrados ao mapa das unidades geológicas, resultando assim no mapa geológico do BLS, apresentado na **Figura 8.3**.



Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM

**Unidades Litoestratigráficas**

- Depósitos de mangue ou flúvio-lacustrinos - lamas arenosas plásticas, silte, argila, diatomito pelito e areia
- Depósitos aluvionares - areia, argila arenosa, cascalho
- Depósitos colúvio-eluviais - areia, argila arenosa
- Depósitos litorâneos de praia e dunas móveis - areia esbranquiçada quartzosa, fina a grossa
- Depósitos eólicos litorâneos de paleodunas - areia esbranquiçada fina a média
- Formação Barreiras - arenito argiloso, arenito conglomerático e argilito arenoso
- Embasamento cristalino - ortogneisse, migmatito, metagranito, metatondjemito, metagranodiorito, metatonalito

**Convenção Cartográfica**

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

**Estrutural**

- Falha normal
- Lineamento
- Falha direcional (strike-slip)

Localização da área de estudo



**Figura 8.3. Mapa geológico do Bloco Litoral Sul (modificado de CPRM, 2006)**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO LITORAL SUL DA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL (BLS)

Elaborado por: Servmar Serviços Técnicos Ambientais



Julho de 2012



## 9 NIVELAMENTO TOPOGRÁFICO

As cotas topográficas ao lado de cada poço da rede de monitoramento de quantidade foram determinadas com GPS Geodésico, tendo em vista a obtenção das cargas potenciométricas do aquífero no local de cada poço e posterior elaboração do mapa potenciométrico. O nivelamento foi orientado no sentido de se obter a maior precisão possível, para que as interpretações do nível potenciométrico sejam baseadas em resultados confiáveis.

O Datum de referencia para o nivelamento topográfico e coordenadas dos poços foi o SAD 69 (planimétrico) e Imbituba (altimétrico) adotado pelo IBGE como Datum do Sistema Geodésico Brasileiro.

O nivelamento topográfico, que ocorreu entre os dias 18 de janeiro a 05 de fevereiro de 2012, foi realizado em 71 pontos de água (poços e pontos superficiais) componentes da rede de monitoramento. Posteriormente, foi feito o nivelamento topográfico dos três poços exploratórios e seis piezômetros instalados pela empresa Servmar na área de estudo, totalizando os 80 pontos solicitados no Termo de Referência.

O ponto a ser nivelado no poço foi um referencial permanente, difícil de ser alterado com o tempo, tendo sido adotado o seguinte procedimento:

- execução de um entalhe na lateral externa do revestimento do poço, pintado com tinta vermelha, constituindo o ponto que foi nivelado;
- obtenção das altitudes referidas a esse entalhe pintado;
- medição da profundidade do nível d'água (a partir da borda da boca do poço) subtraindo-se a altura (h) e a altitude do entalhe para a obtenção da carga potenciométrica do aquífero, em cada poço.

Portanto, além do nivelamento, foi realizada a demarcação topográfica de poços tubulares, piezômetros, cacimbões e pontos superficiais providos de régua de medição.

As médias das precisões das componentes (N, E, h, sendo N coordenada UTM norte, E coordenada UTM leste e h a cota altimétrica) nos pontos adquiridos durante a execução do trabalho foram, respectivamente, de 0.01 m, 0.02 m e 0.03 m, sendo esses valores calculados com base na média aritmética de todos os pontos.

As **Fotos 52 a 54** demonstram os trabalhos de campo durante nivelamento topográfico de poços tubulares.





**Foto 52. Nivelamento topográfico com GPS Geodésico em poço tubular**



**Foto 53. Destaque da sinalização do entalhe do nivelamento topográfico**



**Foto 54. Marca de sinalização do entalhe do nivelamento topográfico**

## **9.1 Equipamentos e softwares utilizados**

Os dados altimétricos foram coletados com um GPS Geodésico da Topcon, modelo Hiper II (**Foto 55**). Este possui 72 canais universais capaz de rastrear sinais L1/L2 (L2C - ativo) dos satélites GPS e GLONASS. A precisão horizontal é de 3 mm + 0,5 ppm em levantamentos L1/L2 estático e estático-rápido, e de 10mm + 1ppm em levantamentos cinemáticos e RTK. O conjunto é composto por dois receptores, um GPS base e um GPS Rover utilizados na configuração da aquisição em tempo real (*Real Time kinematic – RTK*) e pós-processada.



**Foto 55. GPS utilizado durante a aquisição dos pontos**

As estações da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) foram utilizadas como referência para o ajuste das Bases inseridas na área do levantamento topográfico. A **Tabela 9.1** apresenta um resumo destas estações.

| Tabela 9.1. Estações da RBMC utilizadas como referência |               |                |  |
|---|---------------|----------------|--|
| Nome  | Identificação | Receptor       | Tipo da Antena                           |
| Natal   | RNNA          | TRIMBLE Net RS | ZEPHYR GEODETIC (TRM 41249)              |
| Mossoró   | RNMO          | NetR5          | ZEPHYR GNSS GEODETIC MODEL 2 (TRM 55971) |
| Campina Grande  | PBCG          | NetR5          | ZEPHYR GNSS GEODETIC MODEL 2 (TRM 55971) |

Os dados, com o receptor Rover, foram adquiridos através do método de aquisição relativo estático com pós-processamento e em tempo real (*Real Time kinematic - RTK*). Foi utilizada uma variedade de *softwares* (ex.: Excel, ArcGis, Topcon Tools, CorelDraw, Topcon Link) para processar, tabular e visualizar os dados. Os dados foram submetidos ao processamento e à análise estatística nos softwares Topcon Tools V8.2 e Topcon Link V8.2 para geração das planilhas com as coordenadas UTM e Lat/Long, e altura ortométrica (cota em relação ao nível do mar).

O software responsável por fornecer a ondulação ou altura geoidal (N) foi o MAPGEO2010 V1. Este foi utilizado na conversão de altitudes elipsoidais, compatíveis com os Sistemas Globais de Satélites para Navegação (GNSS), em altitudes consistentes com o nível médio do mar (NMM) e a Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB).

As principais atividades envolvidas no nivelamento e georreferenciamento dos poços foram: 1) determinação da posição e altura elipsoidal dos objetos deste relatório através do método de posicionamento relativo estático e cinemático (RTK); 2) processamento dos dados através dos softwares Topcon Tools V8.2 e Topcon

Link V8.2, com a finalidade de avaliar se os mesmos encontravam-se dentro da margem de erros exigida (0,05 m); 3) e geração de arquivos de dados digitais formato Excel.

Os poços utilizados para a medição do nível freático tiveram sua posição registrada através do posicionamento do GPS no modo de posicionamento relativo estático, com sessões de no mínimo 10 minutos para todas as áreas, além da solução fixa com coleta dos dados no método RTK. Todos os dados processados foram tratados com base nas estações GPS base criadas nas proximidades das áreas, onde foram corrigidas através das estações RBMC fornecidas pelo IBGE.

## **9.2 Estações GPS de referência**

Foram realizadas bases de referência nas áreas a fim de minimizar os erros ocasionados pelas distâncias entre o ponto de coleta e as RBMC's. Estas bases serviram de referência ao posicionamento por GPS dos poços, piezômetros e cacimbas adquiridos.

Todos os receptores GPS utilizados no posicionamento das estações de referência foram de dupla frequência e 12 canais, operando com intervalo de amostragem de 10 segundos e ângulo de elevação mínimo de 15°.

Em resumo, as estações GPS base de referência, utilizadas para o processamento dos dados coletados para o posicionamento dos piezômetros, poços, cacimbas e pontos superficiais, seguiram os parâmetros descritos abaixo:

- Modo de posicionamento: relativo estático convencional;
- Duração da sessão: mínimo 3 h;
- Ângulo de elevação mínimo: 15°;
- Tipo de observação: fase da portadora;
- Frequência: L1/L2
- Solução admitida: *Fixed* (recomendadas para vetores com curta distância);
- Erro padrão admissível: < 5 cm;
- Receptores utilizados: Hiper II

## **9.3 Aquisição dos dados (georreferenciamento dos pontos)**

As coordenadas dos pontos foram determinadas a partir do posicionamento relativo estático convencional e em tempo real (RTK) utilizando-se, como referência, bases de apoio transferidas e ajustadas as estações de referência da RBMC. No posicionamento dos pontos em questão, todos os receptores permaneceram fixos por um período mínimo para que a solução se enquadrasse na margem de erro admissível. Um receptor de campo foi base e o outro Rover, onde a duração das

sessões de observação da base foi no mínimo de 3 horas e do rover de no mínimo 10 minutos, dependendo de quão distante das estações de referência estivesse o ponto a ser monitorado.

Os receptores utilizados para levantamento dos poços, piezômetros e cacimbas foram dois receptores Hiper II.

No posicionamento e processamento dos pontos, foram utilizados os seguintes parâmetros:

- Modo de posicionamento: relativo estático com pós-processamento e cinemático em tempo real (RTK);
- Duração da sessão: mínimo de 10 min;
- Frequência: L1/L2
- Tipo de observação: fase da portadora;
- Ângulo de elevação mínimo: 10°;
- Solução admitida: *Fixed*;
- Erro padrão admissível: < 5 cm;
- Softwares de processamento: *Topcon Tools V.8.2* e *Topcon Link v8.2* da Topcon;
- Receptores utilizados na aquisição dos dados: 2 Hiper II;

#### Geração de arquivos de dados digitais

Os parâmetros utilizados na produção do arquivo digital formato xls (*excel*) de nivelamento e georreferenciamento dos poços, piezômetros, cacimbas e pontos superficiais são apresentados a seguir. Nestas planilhas em formato xls são apresentados os dados captados e o erro em cada vetor. O sistema de coordenadas adotado no processamento foi o *South American Datum 1969 (SAD 69)*.

As planilhas bases que fazem parte do material digital previsto nesse estudo apresentam os dados de GPS; indicação das coordenadas UTM referenciadas ao Meridiano Central (MC) da região, tendo como referencial planimétrico o Datum SAD69; identificação dos vértices do SGB adotados como referência e suas respectivas coordenadas. Os dados referentes aos pontos são caracterizados no xls, facilitando assim a visualização de suas coordenadas como outros dados que estão disponíveis. A descrição contém ainda os desvios padrões para os dados, seguidos das respectivas coordenadas N, E e h, no sistema UTM, de todos os pontos adquiridos.

#### 9.4 Coordenadas das estações de referência

A **Tabela 9.2** apresenta as coordenadas geodésicas da estação de referência, no sistema SIRGAS 2000, e a **Tabela 9.3** mostra as correspondentes precisões obtidas.

| Tabela 9.2. Coordenadas geodésicas da estação de referência |             |            |        |     |
|---|-------------|------------|--------|-----|
| Nome  | UTM N (m)   | UTM E (m)  | H (m)  | MC  |
| RBMC RNNA   | 9354429,673 | 255542,605 | 45,97  | -33 |
| RBMC RNMO   | 9424513,864 | 685597,001 | 23,40  | -33 |
| RBMC PBCG   | 9201606,165 | 178917,587 | 534,10 | -33 |

| Tabela 9.3. Erro das coordenadas da estação de referência |             |             |             |
|---|-------------|-------------|-------------|
| Nome  | Sigma N (m) | Sigma E (m) | Sigma h (m) |
| RBMC RNNA   | 0,00        | 0,00        | 0,00        |
| RBMC RNMO   | 0,00        | 0,00        | 0,00        |
| RBMC PBCG   | 0,00        | 0,00        | 0,00        |

#### 9.5 Cotas topográficas e coordenadas dos pontos georreferenciados

A **Tabela 9.4** traz, para cada um dos 71 pontos georreferenciados no BLS, a cota topográfica da marcação no poço (entalhe), a diferença de altura entre o entalhe e a boca do poço e a diferença entre o terreno e o entalhe. O georreferenciamento utilizou o sistema de coordenadas do *Datum SAD 69* (Zona 25 Sul) e as cotas topográficas estão referenciadas pelo *Datum* altimétrico de Imituba. A **Figura 9.1** apresenta a distribuição dos pontos da rede de monitoramento quantitativo com as respectivas cotas topográficas.

Os dados de nivelamento serão utilizados também em apoio à obtenção de seções topográficas do terreno para a composição de seções hidrogeológicas, bem como para determinação das cargas hidráulicas e elaboração do mapa potenciométrico mais adiante neste relatório.

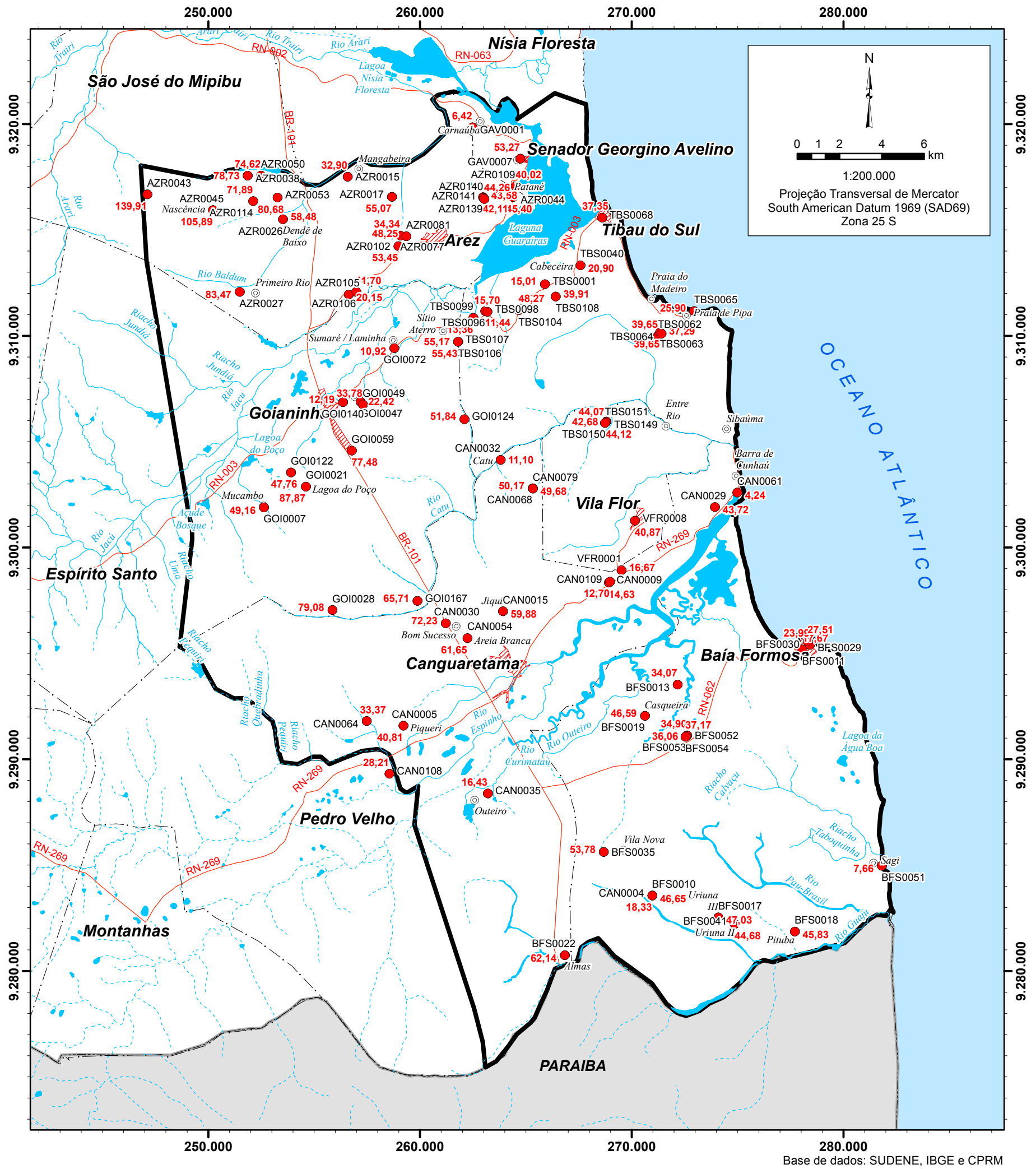


**Tabela 9.4. Dados do levantamento topográfico no BLS**

| ID Servmar | Cód. cadastro | Coord E    | Coord S     | $\Delta h_1$ boca à<br>ranhura<br>(m) | $\Delta h_2$<br>ranhura ao<br>terreno (m) | Cota da<br>ranhura<br>(m) |
|------------|---------------|------------|-------------|---------------------------------------|---|---------------------------|
| AZR0015    | PS-0691       | 256570,566 | 9317516,707 | 1,10                                  | 0,40                                      | 32,895                    |
| AZR0017    | PS-0959       | 258664,242 | 9316573,145 | 0,16                                  | 0,10                                      | 55,073                    |
| AZR0026    | PS-0744       | 253516,198 | 9315509,716 | 0,13                                  | 0,10                                      | 58,480                    |
| AZR0027    | PS-0188       | 251472,091 | 9312085,183 | 0,11                                  | 0,10                                      | 83,468                    |
| AZR0038    | PS-0748       | 251850,946 | 9317573,021 | 0,10                                  | 0,20                                      | 78,734                    |
| AZR0043    | PS-0620       | 247109,688 | 9316686,857 | 0,28                                  | 0,20                                      | 139,905                   |
| AZR0044    | PS-0761       | 264381,056 | 9316565,467 | 0,25                                  | 0,25                                      | 45,404                    |
| AZR0045    | PS-0690       | 250211,777 | 9315947,176 | 0,18                                  | 0,20                                      | 105,892                   |
| AZR0050    | PS-0946       | 252481,879 | 9317569,116 | 0,51                                  | 0,20                                      | 74,620                    |
| AZR0053    | PS-0646       | 253263,602 | 9316534,056 | 0,07                                  | 0,40                                      | 80,675                    |
| AZR0077    |               | 259063,821 | 9314745,935 | 0,25                                  | 0,20                                      | 34,339                    |
| AZR0081    |               | 259343,585 | 9314705,232 | 0,63                                  | 0,30                                      | 48,250                    |
| AZR0102    | 44            | 258969,825 | 9314241,814 | 0,15                                  | 0,10                                      | 53,449                    |
| AZR0105    | 50            | 256622,581 | 9311957,005 | 0,00                                  | 1,22                                      | 20,147                    |
| AZR0106    | 51            | 256976,964 | 9312078,760 | 0,30                                  | 0,40                                      | 11,700                    |
| AZR0109    | AZ-02         | 264498,485 | 9317071,442 | 0,07                                  | 0,05                                      | 40,021                    |
| AZR0114    | AZ-07         | 252112,937 | 9316370,774 | 0,21                                  | 0,15                                      | 71,888                    |
| BFS0010    | PS-1306       | 270962,433 | 9283570,462 | 0,28                                  | 0,30                                      | 46,653                    |
| BFS0011    | 569           | 278051,325 | 9295194,726 | 0,12                                  | 0,10                                      | 17,667                    |
| BFS0013    | 583           | 272157,715 | 9293535,705 | 0,00                                  | 0,00                                      | 34,073                    |
| BFS0017    | PS-1312       | 274084,254 | 9282540,171 | 0,18                                  | 0,30                                      | 47,029                    |
| BFS0018    | PS-1300       | 277696,216 | 9281871,419 | 0,27                                  | 0,30                                      | 45,826                    |
| BFS0019    | PS-1310       | 270614,446 | 9292062,265 | 0,27                                  | 0,30                                      | 46,589                    |
| BFS0022    | PS-1309       | 266830,594 | 9280754,800 | 0,28                                  | 0,30                                      | 62,137                    |
| BFS0029    | PT-4          | 278407,323 | 9295412,943 | 0,32                                  | 0,20                                      | 23,991                    |
| BFS0030    | PT 01C        | 278299,716 | 9295577,342 | 0,15                                  | 0,45                                      | 27,509                    |
| BFS0035    | BF-02         | 268672,338 | 9285627,254 | 0,27                                  | 0,30                                      | 53,782                    |
| BFS0041    | PS-1334       | 274863,136 | 9282224,107 | 0,05                                  | 0,45                                      | 44,675                    |
| BFS0051    | DU 378        | 281802,761 | 9284979,324 | 0,11                                  | 0,20                                      | 7,663                     |
| CAN0004    | PS-0777       | 270962,433 | 9283570,462 | 0,34                                  | 0,20                                      | 18,326                    |
| CAN0005    | 271           | 259204,326 | 9291593,501 | 0,32                                  | 0,15                                      | 40,811                    |
| CAN0009    | 741           | 268914,106 | 9298351,026 | 0,05                                  | 0,05                                      | 14,627                    |
| CAN0015    | 1369          | 263907,633 | 9296995,487 | 0,22                                  | 0,20                                      | 59,880                    |
| CAN0029    | 712           | 273920,562 | 9301915,467 | 0,40                                  | 0,15                                      | 43,719                    |
| CAN0030    | P 07          | 261203,734 | 9296434,293 | 0,11                                  | 0,23                                      | 72,226                    |
| CAN0032    | 567           | 263795,920 | 9304150,092 | 0,00                                  | 0,13                                      | 11,102                    |
| CAN0035    | 1297          | 263194,683 | 9288393,420 | 0,08                                  | 0,10                                      | 16,431                    |
| CAN0054    | P 18          | 262230,833 | 9295729,784 | 0,51                                  | 0,20                                      | 61,650                    |
| CAN0061    | CAN-02        | 274976,650 | 9302607,536 | 0,05                                  | 0,05                                      | 4,242                     |
| CAN0064    | CAN-05        | 257471,619 | 9291811,954 | 0,10                                  | 0,20                                      | 33,374                    |
| CAN0068    | PS-881        | 265316,306 | 9302811,252 | 0,60                                  | 0,30                                      | 50,171                    |
| CAN0079    | DO474         | 265326,684 | 9302793,743 | 0,32                                  | 0,20                                      | 49,679                    |
| CAN0108    |               | 258543,790 | 9289321,946 | 0,00                                  | 0,63                                      | 28,213                    |
| CAN0109    |               | 268968,490 | 9298392,993 | 0,28                                  | 0,20                                      | 12,703                    |
| GAV0001    | PS-0235       | 262467,254 | 9319859,628 | 0,13                                  | 0,20                                      | 6,419                     |
| GAV0007    | FNS RN PS 215 | 264730,423 | 9318371,954 | 0,05                                  | 0,30                                      | 53,272                    |
| GOI0007    | PS-01         | 252615,101 | 9301904,128 | 0,22                                  | 0,15                                      | 49,155                    |
| GOI0021    | PS-0455       | 254599,103 | 9302883,224 | 0,07                                  | 0,10                                      | 87,874                    |
| GOI0028    | PS-0891       | 255853,260 | 9297054,171 | 0,22                                  | 0,35                                      | 79,077                    |
| GOI0047    | PT 03 GOI     | 257183,000 | 9306894,451 | 0,20                                  | 0,20                                      | 22,417                    |
| GOI0049    | Poço 02       | 257289,016 | 9306761,694 | 0,21                                  | 0,20                                      | 33,781                    |
| GOI0059    | Poço 07       | 256769,728 | 9304591,006 | 0,04                                  | 0,27                                      | 77,481                    |

**Tabela 9.4. Dados do levantamento topográfico no BLS (continuação)**

| ID Servmar | Cód. cadastro   | Coord E    | Coord S     | $\Delta h1$ boca à<br>ranhura<br>(m) | $\Delta h2$<br>ranhura ao<br>terreno (m) | Cota da<br>ranhura<br>(m) |
|------------|-----------------|------------|-------------|--------------------------------------|--|---------------------------|
| GOI0072    | 33              | 258779,146 | 9309427,436 | 0,63                                 | 0,30                                     | 10,924                    |
| GOI0122    | GOI-04          | 253896,518 | 9303556,668 | 0,09                                 | 0,08                                     | 47,756                    |
| GOI0124    | GOI-06          | 262085,107 | 9306067,777 | 0,00                                 | 0,13                                     | 51,836                    |
| GOI0140    | PT-02 (I)       | 256352,862 | 9306870,684 | 0,09                                 | 0,15                                     | 12,193                    |
| GOI0167    |                 | 259871,363 | 9297489,673 | 0,33                                 | 0,30                                     | 65,711                    |
| TBS0001    | 1298            | 265890,415 | 9312445,578 | 0,15                                 | 0,10                                     | 15,011                    |
| TBS0040    | PS-1179         | 267569,160 | 9313335,433 | 0,20                                 | 0,30                                     | 20,895                    |
| TBS0062    | PS-SESPIPA-01   | 271236,292 | 9310014,813 | 0,28                                 | 0,20                                     | 39,650                    |
| TBS0063    | PS-SESPIPA-02   | 271325,814 | 9310171,558 | 0,25                                 | 0,20                                     | 39,650                    |
| TBS0064    | PS-SESPIPA-03   | 271393,453 | 9310111,418 | 0,24                                 | 0,20                                     | 37,290                    |
| TBS0065    | PT-01.B         | 272938,876 | 9311179,975 | 0,15                                 | 0,40                                     | 25,896                    |
| TBS0068    | PT 03 PIPA      | 268588,335 | 9315588,803 | 0,11                                 | 0,20                                     | 37,352                    |
| TBS0096    | 12              | 263068,352 | 9311175,995 | 0,00                                 | 0,19                                     | 11,440                    |
| TBS0098    | 14              | 263174,042 | 9311138,827 | 0,17                                 | 0,15                                     | 15,701                    |
| TBS0099    | 18              | 262509,333 | 9310857,739 | 0,10                                 | 0,20                                     | 13,359                    |
| TBS0104    | TS-04           | 264649,976 | 9311217,928 | 0,10                                 | 0,20                                     | 48,265                    |
| TBS0106    | TS-06           | 261787,947 | 9309725,074 | 0,00                                 | 0,22                                     | 55,173                    |
| TBS0107    | TS-07           | 261778,159 | 9309725,717 | 0,18                                 | 0,15                                     | 55,428                    |
| TBS0108    | TS-08           | 266401,849 | 9311865,492 | 0,20                                 | 0,30                                     | 39,905                    |
| VFR0001    | 1398            | 269506,303 | 9298940,409 | -0,50                                | 0,00                                     | 16,672                    |
| VFR0008    | PT 02 VFL       | 270141,737 | 9301277,083 | 0,34                                 | 0,20                                     | 40,866                    |
| BFS0052    | Servmar-PE-BFS  | 272608,821 | 9291137,422 | 0,10                                 | 0,40                                     | 34,902                    |
| BFS0053    | Servmar-PO1-BFS | 272568,170 | 9291102,716 | 0,18                                 | 0,40                                     | 36,064                    |
| BFS0054    | Servmar-PO2-BFS | 272527,666 | 9291067,983 | 0,19                                 | 0,40                                     | 37,166                    |
| TBS0149    | Servmar-PE-TBS  | 268795,825 | 9305960,140 | 0,15                                 | 0,30                                     | 42,682                    |
| TBS0150    | Servmar-PO1-TBS | 268762,935 | 9305922,607 | 0,13                                 | 0,30                                     | 44,122                    |
| TBS0151    | Servmar-PO2-TBS | 268724,187 | 9305887,721 | 0,12                                 | 0,35                                     | 44,073                    |
| AZR0139    | Servmar-PE-AZR  | 262964,325 | 9316553,815 | 0,10                                 | 0,35                                     | 42,109                    |
| AZR0140    | Servmar-PO1-AZR | 262992,440 | 9316513,762 | 0,08                                 | 0,25                                     | 43,579                    |
| AZR0141    | Servmar-PO2-AZR | 263023,540 | 9316473,801 | 0,13                                 | 0,30                                     | 44,260                    |



**Topografia**

- BFS0010  
● Pontos com leitura de cota topográfica  
46,65 (Cota topográfica)

**Convenção Cartográfica**

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

Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM

Localização da área de estudo



**Figura 9.1. Nivelamento topográfico da rede de monitoramento quantitativo do Bloco Litoral Sul**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO LITORAL SUL DA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL (BLS)

Elaborado por: Servmar Serviços Técnicos Ambientais



Julho de 2012

## 10 MONITORAMENTO DOS NÍVEIS DE ÁGUA

Em cada um dos poços da rede de monitoramento quantitativa foi medido o nível d'água após a realização do nivelamento topográfico, medidas que foram realizadas em duas campanhas, a primeira ocorreu entre os dias 18 de janeiro a 05 de fevereiro de 2012, sendo que no dia 22 de março foi feita a medição dos poços que já haviam sido instalados pela Servmar em Baía Formosa. A segunda campanha ocorreu entre os dias 08 e 24 de maio de 2012 e nesta campanha foi possível realizar a medição dos outros poços instalados pela Servmar. Para tomada das profundidades de nível d'água dos poços foi utilizado Medidor Eletrônico (sonoro) de Nível de Água, com fita de 100 m graduada a cada 5 mm.

A primeira campanha de monitoramento quantitativo correspondeu à resposta do aquífero ao período de estiagem, uma vez que, na região estudada, foi observada a tendência do período chuvoso se estender entre fevereiro e agosto, com pico de precipitação em junho (conforme apresentado no Capítulo 4). A segunda campanha correspondeu ao monitoramento de níveis mais altos do aquífero, em resposta às precipitações pluviométricas discutidas acima.

A comparação entre as duas campanhas de monitoramento permite avaliar a tendência de comportamento do aquífero em resposta às variações sazonais dos períodos, que será discutido no Capítulo 11 a seguir, que apresenta o mapa potenciométrico do BLS. As cargas hidráulicas obtidas foram utilizadas para a elaboração do mapa potenciométrico apresentado no capítulo a seguir. Ainda que a situação desejável fosse realizar as medições de níveis estáticos dos poços, nem sempre foi possível controlar o funcionamento dos poços com os respectivos proprietários, em consonância com a logística de monitoramento.

Na primeira campanha de monitoramento quantitativo, o menor valor de nível d'água a partir do terreno foi de 1,07 m e o maior foi de 54,31 m e na segunda campanha as medições de nível d'água variaram entre 1,43 e 55,18 m. Em relação às cargas hidráulicas calculadas nas duas campanhas do BLS, os valores variaram de 106,16 a -20,34 m na primeira campanha de monitoramento quantitativo e entre 103,31 e -11,46 m na segunda. As cargas hidráulicas negativas, sobretudo as de maiores valores negativos, estão associadas a poços em operação e, desse modo, correspondem a níveis dinâmicos desses poços.

A **Tabela 10.1** apresenta os dados das duas campanhas de monitoramento quantitativo, onde podemos observar a relação dos pontos da rede de monitoramento quantitativa com as datas de realização das medições, seus respectivos valores de nível d'água medido a partir da superfície do terreno e carga hidráulica calculada. A **Figura 10.1** apresenta a distribuição dos pontos da rede de monitoramento quantitativa com seus valores de carga hidráulica tanto da primeira como da segunda campanha.

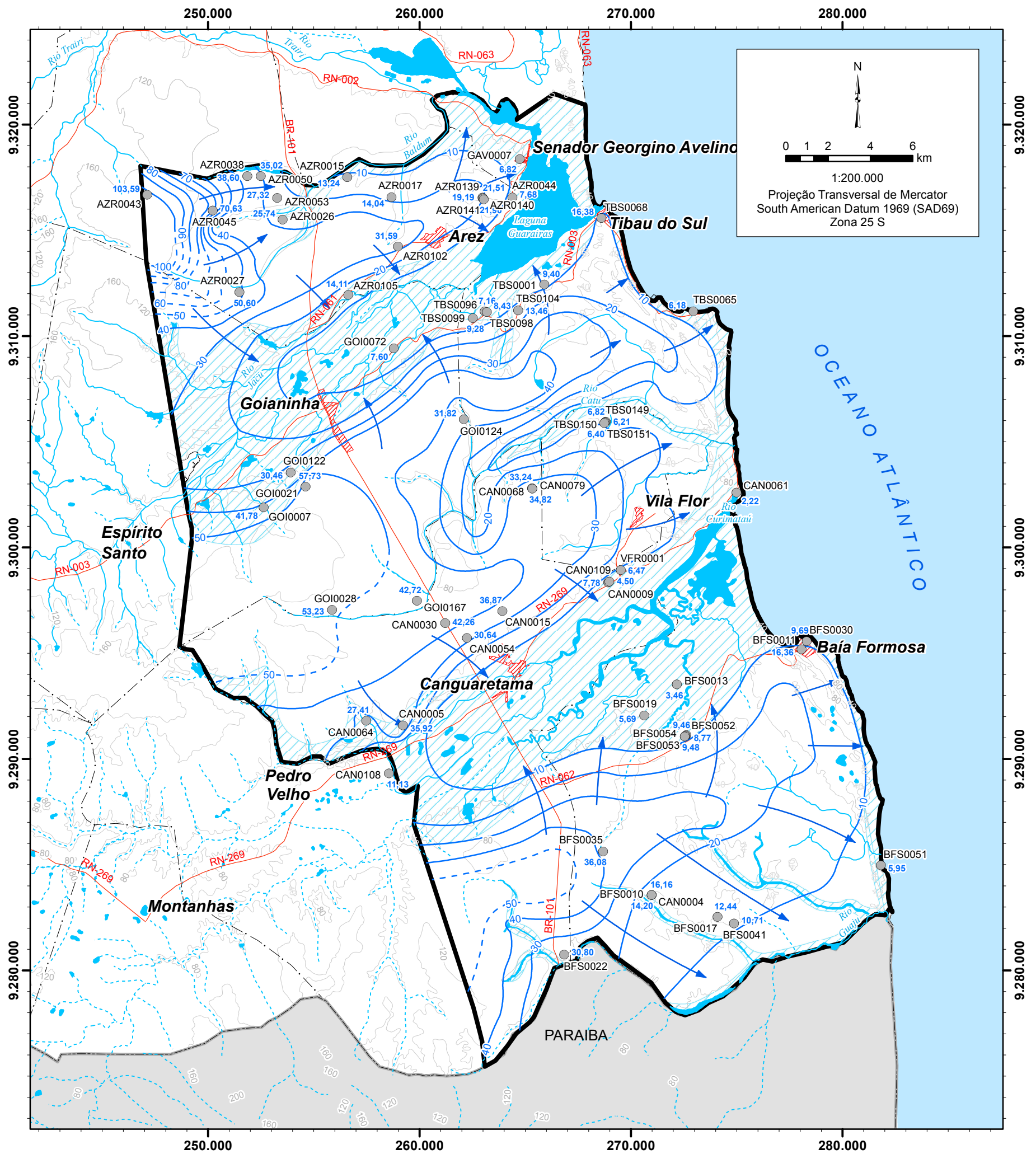
**Tabela 10.1. Rede de monitoramento quantitativa, níveis d'água e cargas hidráulicas das duas campanhas no BLS**

| Identificação | Tipo    | Coord E | Coord S | Cota do terreno (m) | 1ª campanha     |                  |                  | 2ª campanha     |                  |                  |
|---------------|---------|---------|---------|---------------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|
|               |         |         |         |                     | Data de medição | Nível d'água (m) | Carga hidráulica | Data de medição | Nível d'água (m) | Carga hidráulica |
| AZR0015       | Tubular | 256571  | 9317517 | 32,50               | 20/01/2012      | 20,32            | 13,68            | 14/05/2012      | 20,76            | 13,24            |
| AZR0017       | Tubular | 258664  | 9316573 | 54,97               | 20/01/2012      | 35,85            | 19,38            | 14/05/2012      | 41,19            | 14,04            |
| AZR0026       | Tubular | 253516  | 9315510 | 58,38               | 26/01/2012      | 31,86            | 26,75            | 14/05/2012      | 32,87            | 25,74            |
| AZR0027       | Tubular | 251472  | 9312085 | 83,37               | 23/01/2012      | 31,36            | 52,22            | 11/05/2012      | 32,98            | 50,60            |
| AZR0038       | Tubular | 251851  | 9317573 | 78,53               | 24/01/2012      | 40,02            | 38,81            | 16/05/2012      | 40,23            | 38,60            |
| AZR0043       | Tubular | 247110  | 9316687 | 139,71              | 23/01/2012      | 33,75            | 106,44           | 14/05/2012      | 36,60            | 103,59           |
| AZR0044       | Tubular | 264381  | 9316565 | 45,15               | 19/01/2012      | 37,09            | 8,56             | 11/05/2012      | 37,97            | 7,68             |
| AZR0045       | Tubular | 250212  | 9315947 | 105,69              | 23/01/2012      | 34,98            | 71,09            | 14/05/2012      | 35,44            | 70,63            |
| AZR0050       | Tubular | 252482  | 9317569 | 74,42               | 24/01/2012      | 41,25            | 33,88            | 14/05/2012      | 40,11            | 35,02            |
| AZR0053       | Tubular | 253264  | 9316534 | 80,28               | 24/01/2012      | 53,21            | 27,54            | 16/05/2012      | 53,43            | 27,32            |
| AZR0077       | Tubular | 259064  | 9314746 | 34,14               | 20/01/2012      | 17,31            | 17,28            | 10/05/2012      | 19,33            | 15,26            |
| AZR0081       | Tubular | 259344  | 9314705 | 47,95               | 20/01/2012      | 28,28            | 20,60            | 10/05/2012      | 29,42            | 19,46            |
| AZR0102       | Cacimba | 258970  | 9314242 | 53,35               | 20/01/2012      | 21,68            | 31,92            | 10/05/2012      | 22,01            | 31,59            |
| AZR0105       | Cacimba | 256623  | 9311957 | 18,93               | 20/01/2012      | 5,70             | 14,45            | 08/05/2012      | 6,04             | 14,11            |
| AZR0106       | Tubular | 256977  | 9312079 | 11,30               | 20/01/2012      | surgente         |                  | 08/05/2012      | 0,00             | 12,00            |
| AZR0109       | Tubular | 264498  | 9317071 | 39,97               | 19/01/2012      | 35,94            | 4,15             | 11/05/2012      | 37,08            | 3,01             |
| AZR0114       | Tubular | 252113  | 9316371 | 71,74               | 26/01/2012      | 40,34            | 31,76            | 14/05/2012      | 43,00            | 29,10            |
| BFS0010       | Tubular | 270962  | 9283570 | 46,35               | 25/01/2012      | 29,52            | 17,41            | 09/05/2012      | 30,77            | 16,16            |
| BFS0011       | Tubular | 278051  | 9295195 | 17,57               | 04/02/2012      | 1,07             | 16,72            | 09/05/2012      | 1,43             | 16,36            |
| BFS0013       | Tubular | 272158  | 9293536 | 34,07               | 05/02/2012      | 30,39            | 3,68             | 08/05/2012      | 30,61            | 3,46             |
| BFS0017       | Tubular | 274084  | 9282540 | 46,73               | 25/01/2012      | 33,40            | 13,81            | 09/05/2012      | 34,77            | 12,44            |
| BFS0018       | Tubular | 277696  | 9281871 | 45,53               | 25/01/2012      | 14,81            | 31,29            | 09/05/2012      | 15,25            | 30,85            |
| BFS0019       | Tubular | 270614  | 9292062 | 46,29               | 04/02/2012      | 39,51            | 7,35             | 08/05/2012      | 41,17            | 5,69             |
| BFS0022       | Tubular | 266831  | 9280755 | 61,84               | 25/01/2012      | 34,21            | 28,21            | 09/05/2012      | 31,62            | 30,80            |
| BFS0029       | Tubular | 278407  | 9295413 | 23,79               | 03/02/2012      | 22,73            | 1,58             | 09/05/2012      | 23,98            | 0,33             |
| BFS0030       | Tubular | 278300  | 9295577 | 27,06               | 03/02/2012      | 17,81            | 9,85             | 09/05/2012      | 17,97            | 9,69             |
| BFS0035       | Cacimba | 268672  | 9285627 | 53,48               | 18/01/2012      | 16,89            | 37,16            | 09/05/2012      | 17,97            | 36,08            |
| BFS0041       | Tubular | 274863  | 9282224 | 44,23               | 18/01/2012      | 33,22            | 11,51            | 09/05/2012      | 34,02            | 10,71            |
| BFS0051       | Tubular | 281803  | 9284979 | 7,46                | 18/01/2012      | 1,68             | 6,09             | 09/05/2012      | 1,82             | 5,95             |
| CAN0004       | Tubular | 270962  | 9283570 | 18,13               | 27/01/2012      | 4,45             | 14,22            | 08/05/2012      | 4,47             | 14,20            |
| CAN0005       | Tubular | 259204  | 9291594 | 40,66               | 27/01/2012      | 5,12             | 36,01            | 08/05/2012      | 5,21             | 35,92            |



| Tabela 10.1 Rede de monitoramento quantitativa, níveis d'água e cargas hidráulicas das duas campanhas no BLS (continuação) |            |         |         |                     |                 |                  |                  |                 |                  |                  |
|--|------------|---------|---------|---------------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|
| Identificação  | Tipo       | Coord E | Coord S | Cota do terreno (m) | 1ª campanha     |                  |                  | 2ª campanha     |                  |                  |
|  |            |         |         |                     | Data de medição | Nível d'água (m) | Carga hidráulica | Data de medição | Nível d'água (m) | Carga hidráulica |
| CAN0009  | Tubular    | 268914  | 9298351 | 14,58               | 31/01/2012      | 5,71             | 8,97             | 16/05/2012      | 6,90             | 7,78             |
| CAN0015  | Tubular    | 263908  | 9296995 | 59,68               | 31/01/2012      | 21,63            | 38,47            | 16/05/2012      | 23,23            | 36,87            |
| CAN0029  | Tubular    | 273921  | 9301915 | 43,57               | 30/01/2012      | 54,31            | -10,19           | 21/05/2012      | 55,18            | -11,06           |
| CAN0030  | Tubular    | 261204  | 9296434 | 72,00               | 31/01/2012      | 29,30            | 43,04            | 21/05/2012      | 30,08            | 42,26            |
| CAN0032  | Tubular    | 263796  | 9304150 | 10,97               | 01/02/2012      | 2,68             | 8,42             | 10/05/2012      | 3,98             | 7,12             |
| CAN0035  | Tubular    | 263195  | 9288393 | 16,33               | 27/01/2012      | 18,35            | -1,84            | 08/05/2012      | 19,03            | -2,52            |
| CAN0054  | Tubular    | 262231  | 9295730 | 61,45               | 31/01/2012      | 30,28            | 31,88            | 16/05/2012      | 31,52            | 30,64            |
| CAN0061  | Tubular    | 274977  | 9302608 | 4,19                | 30/01/2012      | 1,75             | 2,54             | 16/05/2012      | 2,07             | 2,22             |
| CAN0064  | Tubular    | 257472  | 9291812 | 33,17               | 03/02/2012      | 5,98             | 27,49            | 08/05/2012      | 6,06             | 27,41            |
| CAN0068  | Tubular    | 265316  | 9302811 | 49,87               | 01/02/2012      | 15,51            | 35,26            | 21/05/2012      | 17,53            | 33,24            |
| CAN0079  | Tubular    | 265327  | 9302794 | 49,48               | 01/02/2012      | 13,42            | 36,58            | 10/05/2012      | 15,18            | 34,82            |
| CAN0108  | Cacimba    | 258544  | 9289322 | 27,58               | 27/01/2012      | 16,32            | 11,89            | 08/05/2012      | 17,08            | 11,13            |
| CAN0109  | Cacimba    | 268968  | 9298393 | 12,50               | 31/01/2012      | 8,13             | 4,85             | 16/05/2012      | 8,48             | 4,50             |
| GAV0001  | Tubular    | 262467  | 9319860 | 6,22                | 19/01/2012      | 2,39             | 4,16             | poço trancado   |                  |                  |
| GAV0007  | Tubular    | 264730  | 9318372 | 52,97               | 19/01/2012      | 45,64            | 7,68             | 14/05/2012      | 46,50            | 6,82             |
| GOI0007  | Tubular    | 252615  | 9301904 | 49,01               | 29/01/2012      | 5,07             | 44,31            | 17/05/2012      | 7,60             | 41,78            |
| GOI0021  | Tubular    | 254599  | 9302883 | 87,77               | 29/01/2012      | 44,44            | 43,50            | 17/05/2012      | 30,21            | 57,73            |
| GOI0028  | Tubular    | 255853  | 9297054 | 78,73               | 31/01/2012      | 26,41            | 52,89            | 21/05/2012      | 26,07            | 53,23            |
| GOI0047  | Tubular    | 257183  | 9306894 | 22,22               | 01/02/2012      | 7,45             | 15,17            | 17/05/2012      | 9,06             | 13,56            |
| GOI0049  | Tubular    | 257289  | 9306762 | 33,58               | 01/02/2012      | 16,41            | 17,58            | 17/05/2012      | 19,15            | 14,84            |
| GOI0059  | Tubular    | 256770  | 9304591 | 77,21               | 01/02/2012      | 29,23            | 48,29            | 21/05/2012      | 30,06            | 47,46            |
| GOI0072  | Tubular    | 258779  | 9309427 | 10,62               | 01/02/2012      | 3,81             | 7,74             | 17/05/2012      | 3,95             | 7,60             |
| GOI0122  | Tubular    | 253897  | 9303557 | 47,68               | 29/01/2012      | 18,28            | 29,57            | 17/05/2012      | 17,39            | 30,46            |
| GOI0124  | Tubular    | 262085  | 9306068 | 51,71               | 01/02/2012      | 18,81            | 33,03            | 10/05/2012      | 20,02            | 31,82            |
| GOI0140  | Tubular    | 256353  | 9306871 | 12,04               | 05/02/2012      | 6,19             | 6,09             | 17/05/2012      | 6,02             | 6,26             |
| GOI0167  | Cacimba    | 259871  | 9297490 | 65,41               | 31/01/2012      | 22,24            | 43,80            | 21/05/2012      | 23,32            | 42,72            |
| TBS0001  | Tubular    | 265890  | 9312446 | 14,91               | 28/01/2012      | 4,59             | 10,57            | 22/05/2012      | 5,76             | 9,40             |
| TBS0040  | Tubular    | 267569  | 9313335 | 20,60               | 05/02/2012      | 41,23            | -20,14           | 22/05/2012      | 26,45            | -5,36            |
| TBS0062  | Piezômetro | 271236  | 9310015 | 39,45               | 24/01/2012      | 18,81            | 21,12            | 22/05/2012      | 22,88            | 17,05            |
| TBS0063  | Piezômetro | 271326  | 9310172 | 39,45               | 24/01/2012      | 15,77            | 24,13            | 22/05/2012      | 19,52            | 20,38            |
| TBS0064  | Piezômetro | 271393  | 9310111 | 37,09               | 24/01/2012      | 14,49            | 23,04            | 22/05/2012      | 18,03            | 19,50            |
| TBS0065  | Tubular    | 272939  | 9311180 | 25,50               | 02/02/2012      | 40,70            | -14,65           | 22/05/2012      | 19,87            | 6,18             |
| TBS0068  | Tubular    | 268588  | 9315589 | 37,15               | 24/01/2012      | 19,21            | 18,25            | 22/05/2012      | 21,08            | 16,38            |

| Tabela 10.1 Rede de monitoramento quantitativa, níveis d'água e cargas hidráulicas das duas campanhas (continuação) |            |         |         |                     |                 |                  |                  |                 |                  |                  |
|---|------------|---------|---------|---------------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|
| Identificação   | Tipo       | Coord E | Coord S | Cota do terreno (m) | 1ª campanha     |                  |                  | 2ª campanha     |                  |                  |
|   |            |         |         |                     | Data de medição | Nível d'água (m) | Carga hidráulica | Data de medição | Nível d'água (m) | Carga hidráulica |
| TBS0096   | Cacimba    | 263068  | 9311176 | 11,25               | 28/01/2012      | 3,19             | 8,25             | 17/05/2012      | 4,28             | 7,16             |
| TBS0098   | Cacimba    | 263174  | 9311139 | 15,55               | 28/01/2012      | 6,29             | 9,58             | 21/05/2012      | 7,44             | 8,43             |
| TBS0099   | Cacimba    | 262509  | 9310858 | 13,16               | 28/01/2012      | 3,40             | 10,06            | 17/05/2012      | 4,18             | 9,28             |
| TBS0104   | Tubular    | 264650  | 9311218 | 48,07               | 28/01/2012      | 32,43            | 15,94            | 21/05/2012      | 34,91            | 13,46            |
| TBS0106   | Tubular    | 261788  | 9309725 | 54,95               | 28/01/2012      | 3,54             | 51,63            | 17/05/2012      | 3,87             | 51,30            |
| TBS0107   | Tubular    | 261778  | 9309726 | 55,28               | 28/01/2012      | 25,96            | 29,65            | 17/05/2012      | 28,60            | 27,01            |
| TBS0108   | Tubular    | 266402  | 9311865 | 39,61               | 05/02/2012      | 17,68            | 22,43            | 21/05/2012      | 20,33            | 19,78            |
| VFR0001   | Tubular    | 269506  | 9298940 | 16,67               | 30/01/2012      | 8,38             | 7,79             | 16/05/2012      | 9,70             | 6,47             |
| VFR0008   | Tubular    | 270142  | 9301277 | 40,67               | 31/01/2012      | 24,02            | 17,19            | 16/05/2012      | 41,66            | -0,45            |
| BFS0052   | Tubular    | 272609  | 9291137 | 34,50               | 22/03/2012      | 25,67            | 9,33             | 22/05/2012      | 26,23            | 8,77             |
| BFS0053   | Piezômetro | 272568  | 9291103 | 35,66               | 22/03/2012      | 26,59            | 9,65             | 22/05/2012      | 26,78            | 9,46             |
| BFS0054   | Piezômetro | 272528  | 9291068 | 36,77               | 22/03/2012      | 27,44            | 9,92             | 22/05/2012      | 27,88            | 9,48             |
| TBS0149   | Tubular    | 268796  | 9305960 | 42,38               | não instalado   |                  |                  | 24/05/2012      | 36,62            | 6,21             |
| TBS0150   | Piezômetro | 268763  | 9305923 | 43,82               | não instalado   |                  |                  | 24/05/2012      | 37,43            | 6,82             |
| TBS0151   | Piezômetro | 268724  | 9305888 | 43,72               | não instalado   |                  |                  | 24/05/2012      | 37,79            | 6,40             |
| AZR0139   | Tubular    | 262964  | 9316554 | 41,76               | não instalado   |                  |                  | 24/05/2012      | 23,02            | 19,19            |
| AZR0140   | Piezômetro | 262992  | 9316514 | 43,33               | não instalado   |                  |                  | 24/05/2012      | 22,15            | 21,51            |
| AZR0141   | Piezômetro | 263024  | 9316474 | 43,96               | não instalado   |                  |                  | 24/05/2012      | 22,49            | 21,90            |



Legenda

- Poços e carga hidráulica
- Direção do fluxo subterrâneo
- Curvas equipotenciais
- Lago, lagoa, laguna ou açude
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Zona de recarga do SAB
- Zona de descarga do SAB
- Curvas de nível

Convenção Cartográfica

- Sedes municipais
- Estradas pavimentadas
- Limites municipais
- Área de estudo

Geologia

- Embasamento cristalino

Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM

Localização da área de estudo



**Figura 11.3. Potenciometria do Sistema Aquífero Barreiras no Bloco Litoral Sul (maio/2012)**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO LITORAL SUL DA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL (LS/RMN)

Elaborado por: Servmar Serviços Técnicos Ambientais

Julho de 2012

## 11 MAPA POTENCIOMÉTRICO E FLUXO SUBTERRÂNEO

O mapa potenciométrico do Bloco Litoral Sul foi elaborado na escala 1:200.000, a partir dos dados de nível d'água e cotas obtidos no âmbito deste projeto e objetivou a caracterização do fluxo subterrâneo do Sistema Aquífero Barreiras, das relações entre as águas superficiais e as águas subterrâneas e a indicação das zonas predominantes de recarga e descarga.

O Sistema Aquífero Barreiras no Bloco Litoral Sul, tal como ocorre com os demais sistemas aquíferos livres, está limitado na sua parte superior pela própria superfície livre das águas, identificada como superfície potenciométrica, cuja morfologia está sujeita a modificações em função da recarga direta proveniente das águas de precipitação pluviométrica.

O mapa potenciométrico é formado de curvas de igual carga de nível d'água, ou de igual carga potenciométrica, e a sua configuração permitiu indicar as direções de fluxo das águas subterrâneas e as zonas preferenciais de recarga e descarga de água. As características do movimento das águas subterrâneas também podem levar a obtenção de informações importantes quanto às reservas, recarga e recursos explotáveis do sistema aquífero em avaliação e a identificação de setores com riscos potenciais de contaminação.

### 11.1 Campanhas de medição do nível potenciométrico e avaliação das variações de carga

As medições dos níveis de água foram efetuadas em duas campanhas de monitoramento, com a primeira campanha ocorrendo em janeiro/fevereiro de 2012 e a segunda campanha em maio de 2012, portanto com um período de 3 meses entre as duas campanhas. Os dados dos poços e os resultados de todas as medições efetuadas estão apresentados no Capítulo 10, relativo ao monitoramento dos níveis de água.

Na primeira campanha de medição foram medidas as cargas potenciométricas de 76 poços, dos quais 19 estavam em operação (25%) (AZR0043, AZR0050, AZR0077, AZR0081, AZR0109, AZR0114, BFS0029, CAN0029, CAN0035, GOI0028, GOI0047, GOI0049, GOI0059, GOI0140, TBS0001, TBS0040, TBS0065, TBS0106, TBS0107), 3 poços apresentaram queda de nível muito acima da média (TBS0062, TBS0063 e TBS0064), um poço era surgente (AZR0106) e um ponto apresentou dados incompatíveis com as informações no entorno (BFS0018). Desta forma, o número de poços para elaboração do mapa potenciométrico da primeira campanha foi reduzido para 52 unidades (**Tabela 11.1**). Entre estes, estão incluídos 9 poços cacimbas (17%) e 42 poços tubulares (83%).



**Tabela 11.1. Pontos utilizados na elaboração do mapa potenciométrico referente à 1ª campanha de monitoramento de nível d'água (jan-fev/2012)**

|    | ID      | Coord. E   | Coord. S    | Município    | Tipo    | Cota do terreno (m) | Distância do terreno a boca do poço (m) <sup>1</sup> | NE (m) (jan-fev/12) | h1 (m) (mai/12) <sup>2</sup> |
|----|---------|------------|-------------|--------------|---------|---------------------|--|---------------------|------------------------------|
| 1  | AZR0015 | 256570,566 | 9317516,707 | Arez         | Tubular | 32,495              | 1,50   | 20,32               | 13,68                        |
| 2  | AZR0017 | 258664,242 | 9316573,145 | Arez         | Tubular | 54,973              | 0,26   | 35,85               | 19,38                        |
| 3  | AZR0026 | 253516,198 | 9315509,716 | Arez         | Tubular | 58,380              | 0,23   | 31,86               | 26,75                        |
| 4  | AZR0027 | 251472,091 | 9312085,183 | Arez         | Tubular | 83,368              | 0,21   | 31,36               | 52,22                        |
| 5  | AZR0038 | 251850,946 | 9317573,021 | Arez         | Tubular | 78,534              | 0,30   | 40,02               | 38,81                        |
| 6  | AZR0044 | 264381,056 | 9316565,467 | Arez         | Tubular | 45,154              | 0,50   | 37,09               | 8,56                         |
| 7  | AZR0045 | 250211,777 | 9315947,176 | Arez         | Tubular | 105,692             | 0,38   | 34,98               | 71,09                        |
| 8  | AZR0053 | 253263,602 | 9316534,056 | Arez         | Tubular | 80,275              | 0,47   | 53,21               | 27,54                        |
| 9  | AZR0102 | 258969,825 | 9314241,814 | Arez         | Cacimba | 53,349              | 0,25   | 21,68               | 31,92                        |
| 10 | AZR0105 | 256622,581 | 9311957,005 | Arez         | Cacimba | 18,927              | 1,22   | 5,70                | 14,45                        |
| 11 | BFS0010 | 270962,433 | 9283570,462 | Baía Formosa | Tubular | 46,353              | 0,58   | 29,52               | 17,41                        |
| 12 | BFS0011 | 278051,325 | 9295194,726 | Baía Formosa | Tubular | 17,567              | 0,22   | 1,07                | 16,72                        |
| 13 | BFS0013 | 272157,715 | 9293535,705 | Baía Formosa | Tubular | 34,073              | 0,00   | 30,39               | 3,68                         |
| 14 | BFS0017 | 274084,254 | 9282540,171 | Baía Formosa | Tubular | 46,729              | 0,48   | 33,40               | 13,81                        |
| 15 | BFS0019 | 270614,446 | 9292062,265 | Baía Formosa | Tubular | 46,289              | 0,57   | 39,51               | 7,35                         |
| 16 | BFS0022 | 266830,594 | 9280754,800 | Baía Formosa | Tubular | 61,837              | 0,58   | 34,21               | 28,21                        |
| 17 | BFS0030 | 278299,716 | 9295577,342 | Baía Formosa | Tubular | 27,059              | 0,60   | 17,81               | 9,85                         |
| 18 | BFS0035 | 268672,338 | 9285627,254 | Baía Formosa | Cacimba | 53,482              | 0,57   | 16,89               | 37,16                        |
| 19 | BFS0041 | 274863,136 | 9282224,107 | Baía Formosa | Tubular | 44,225              | 0,50   | 33,22               | 11,51                        |
| 20 | BFS0051 | 281802,761 | 9284979,324 | Baía Formosa | Tubular | 7,463               | 0,31   | 1,68                | 6,09                         |
| 21 | CAN0004 | 270962,433 | 9283570,462 | Canguaretama | Tubular | 18,126              | 0,54   | 4,45                | 14,22                        |



**Tabela 11.1. Pontos utilizados na elaboração do mapa potenciométrico referente à 1ª campanha de monitoramento de nível d'água (jan-fev/2012) - continuação**

|    | ID      | Coord E    | Coord S     | Município           | Tipo    | Cota do terreno (m) | Distância do terreno a boca do poço (m) <sup>1</sup> | NE (m) (jan-fev/12) | h1 (m) (mai/12) <sup>2</sup> |
|----|---------|------------|-------------|---------------------|---------|---------------------|--|---------------------|------------------------------|
| 22 | CAN0005 | 259204,326 | 9291593,501 | Canguaretama        | Tubular | 40,661              | 0,47   | 5,12                | 36,01                        |
| 23 | CAN0009 | 268914,106 | 9298351,026 | Canguaretama        | Tubular | 14,577              | 0,10   | 5,71                | 8,97                         |
| 24 | CAN0015 | 263907,633 | 9296995,487 | Canguaretama        | Tubular | 59,680              | 0,42   | 21,63               | 38,47                        |
| 25 | CAN0030 | 261203,734 | 9296434,293 | Canguaretama        | Tubular | 71,996              | 0,34   | 29,30               | 43,04                        |
| 26 | CAN0032 | 263795,920 | 9304150,092 | Canguaretama        | Tubular | 10,972              | 0,13   | 2,68                | 8,42                         |
| 27 | CAN0054 | 262230,833 | 9295729,784 | Canguaretama        | Tubular | 61,450              | 0,71   | 30,28               | 31,88                        |
| 28 | CAN0061 | 274976,650 | 9302607,536 | Canguaretama        | Tubular | 4,192               | 0,10   | 1,75                | 2,54                         |
| 29 | CAN0064 | 257471,619 | 9291811,954 | Canguaretama        | Tubular | 33,174              | 0,30   | 5,98                | 27,49                        |
| 30 | CAN0068 | 265316,306 | 9302811,252 | Canguaretama        | Tubular | 49,871              | 0,90   | 15,51               | 35,26                        |
| 31 | CAN0079 | 265326,684 | 9302793,743 | Canguaretama        | Tubular | 49,479              | 0,52   | 13,42               | 36,58                        |
| 32 | CAN0108 | 258543,790 | 9289321,946 | Canguaretama        | Cacimba | 27,583              | 0,63   | 16,32               | 11,89                        |
| 33 | CAN0109 | 268968,490 | 9298392,993 | Canguaretama        | Cacimba | 12,503              | 0,48   | 8,13                | 4,85                         |
| 34 | GAV0001 | 262467,254 | 9319859,628 | S. Georgino Avelino | Tubular | 6,219               | 0,33   | 2,39                | 4,16                         |
| 35 | GAV0007 | 264730,423 | 9318371,954 | S. Georgino Avelino | Tubular | 52,972              | 0,35   | 45,64               | 7,68                         |
| 36 | GOI0007 | 252615,101 | 9301904,128 | Goianinha           | Tubular | 49,005              | 0,37   | 5,07                | 44,31                        |
| 37 | GOI0021 | 254599,103 | 9302883,224 | Goianinha           | Tubular | 87,774              | 0,17   | 44,44               | 43,50                        |
| 38 | GOI0072 | 258779,146 | 9309427,436 | Goianinha           | Tubular | 10,624              | 0,93   | 3,81                | 7,74                         |
| 39 | GOI0122 | 253896,518 | 9303556,668 | Goianinha           | Tubular | 47,676              | 0,17   | 18,28               | 29,57                        |
| 40 | GOI0124 | 262085,107 | 9306067,777 | Goianinha           | Tubular | 51,706              | 0,13   | 18,81               | 33,03                        |
| 41 | GOI0167 | 259871,363 | 9297489,673 | Goianinha           | Cacimba | 65,411              | 0,63   | 22,24               | 43,80                        |
| 42 | TBS0068 | 268588,335 | 9315588,803 | Tibau do Sul        | Tubular | 37,152              | 0,31   | 19,21               | 18,25                        |

**Tabela 11.1. Pontos utilizados na elaboração do mapa potenciométrico referente à 1ª campanha de monitoramento de nível d'água (jan-fev/2012) - continuação**

|    | ID      | Coord E    | Coord S     | Município    | Tipo       | Cota do terreno (m) | Distância do terreno a boca do poço (m) <sup>1</sup> | NE (m) (jan-fev/12) | h1 (m) (mai/12) <sup>2</sup> |
|----|---------|------------|-------------|--------------|------------|---------------------|--|---------------------|------------------------------|
| 43 | TBS0096 | 263068,352 | 9311175,995 | Tibau do Sul | Cacimba    | 11,250              | 0,19   | 3,19                | 8,25                         |
| 44 | TBS0098 | 263174,042 | 9311138,827 | Tibau do Sul | Cacimba    | 15,551              | 0,32   | 6,29                | 9,58                         |
| 45 | TBS0099 | 262509,333 | 9310857,739 | Tibau do Sul | Cacimba    | 13,159              | 0,30   | 3,40                | 10,06                        |
| 46 | TBS0104 | 264649,976 | 9311217,928 | Tibau do Sul | Tubular    | 48,065              | 0,30   | 32,43               | 15,94                        |
| 47 | TBS0108 | 266401,849 | 9311865,492 | Tibau do Sul | Tubular    | 39,605              | 0,50   | 17,68               | 22,43                        |
| 48 | VFR0001 | 269506,303 | 9298940,409 | Vila Flor    | Tubular    | 16,672              | -0,50  | 8,38                | 7,79                         |
| 49 | VFR0008 | 270141,737 | 9301277,083 | Vila Flor    | Tubular    | 40,666              | 0,54   | 24,02               | 17,19                        |
| 50 | BFS0052 | 272608,821 | 9291137,422 | Baía Formosa | Tubular    | 34,502              | 0,50   | 25,67               | 9,33                         |
| 51 | BFS0053 | 272568,170 | 9291102,716 | Baía Formosa | Piezômetro | 35,664              | 0,58   | 26,59               | 9,65                         |
| 52 | BFS0054 | 272527,666 | 9291067,983 | Baía Formosa | Piezômetro | 36,766              | 0,59   | 27,44               | 9,92                         |

ID: identificação do poço; NE: nível estático medido; h1: carga hidráulica obtida na primeira campanha; 1: local onde foi realizada a leitura da profundidade do nível d'água;

2:  $h1 = (\text{cota do terreno (m)} + \text{distância do terreno a boca do poço (m)}) - \text{NE (m)}$

Na segunda campanha de medição foram obtidas as cargas potenciométricas de 82 pontos, sendo que 16 poços estavam operando (AZR0077, AZR0081, AZR0109, AZR0114, BFS0029, CAN0029, CAN0032, CAN0035, GOI0047, GOI0049, GOI0059, GOI0140, TBS0106, TBS0107, TBS0108 e VFR0008), 3 poços apresentaram queda de nível muito acima da média (TBS0062, TBS0063 e TBS0064), um poço era surgente (AZR0106), um ponto apresentou variação de carga negativa, indicando recuperação de nível entre as duas campanhas (TBS0040), um poço estava lacrado e não foi possível medir o nível (GAV0005) e um ponto, ao se plotar no mapa, apresentou dados incompatíveis com os dados do entorno (BFS0018), o que resultou em 59 pontos utilizados para a elaboração do mapa potenciométrico (**Tabela 11.2**). Neste caso, estão incluídos 9 poços cacimbas (15%) e 50 poços tubulares (85%).

Conforme discutido, na elaboração dos mapas potenciométrico foram utilizados poços rasos (principalmente cacimbas) e poços profundos (tubulares), o que se justifica pelo fato de que o Sistema Aquífero Barreiras captado é do tipo livre, com ocorrência de semiconfinamento apenas localmente. No âmbito geral e em condições de equilíbrio, poços rasos e profundos tendem a se ajustar a uma mesma superfície potenciométrica, conforme mostra a configuração das equipotenciais e distribuição da rede hidrográfica apresentado neste trabalho.

As cargas potenciométricas nos poços foram obtidas mediante o conhecimento da profundidade dos níveis de água dos mesmos e das correspondentes cotas topográficas do terreno, conforme apresentado no Capítulo 10. Efetivamente, a carga hidráulica  $h$  em cada ponto de medição foi obtida através da soma da cota do terreno ( $Z$ ) com a altura da boca do poço e o seu resultado subtraído ao correspondente nível estático (NE) (ver **Tabela 10.1** - Capítulo 10).

Para a avaliação da variação de carga entre a primeira e a segunda campanhas foram comparados os níveis potenciométricos apenas dos poços que se encontravam em condições de equilíbrio, ou seja, aqueles que não estavam sob influência de bombeamento. As diferenças de carga variaram de um mínimo de 0,02 m a um máximo de 2,53 m, com média de 0,87 m e mediana de 0,79 m (**Tabela 11.3**), evidenciando o processo de rebaixamento do nível potenciométrico entre as duas campanhas.

**Tabela 11.2. Pontos utilizados na elaboração do mapa potenciométrico referente à 2ª campanha de monitoramento de nível d'água (mai/2012)**

|    | ID      | Coord E    | Coord S     | Município    | Tipo    | Cota do terreno (m) | Distância do terreno a boca do poço (m) <sup>1</sup> | NE (m) (mai/12) | h2 (m) (mai/12) <sup>2</sup> |
|----|---------|------------|-------------|--------------|---------|---------------------|--|-----------------|------------------------------|
| 1  | AZR0015 | 256570,566 | 9317516,707 | Arez         | Tubular | 32,50               | 1,50   | 20,76           | 13,24                        |
| 2  | AZR0017 | 258664,242 | 9316573,145 | Arez         | Tubular | 54,97               | 0,26   | 41,19           | 14,04                        |
| 3  | AZR0026 | 253516,198 | 9315509,716 | Arez         | Tubular | 58,38               | 0,23   | 32,87           | 25,74                        |
| 4  | AZR0027 | 251472,091 | 9312085,183 | Arez         | Tubular | 83,37               | 0,21   | 32,98           | 50,60                        |
| 5  | AZR0038 | 251850,946 | 9317573,021 | Arez         | Tubular | 78,53               | 0,30   | 40,23           | 38,60                        |
| 6  | AZR0043 | 247109,688 | 9316686,857 | Arez         | Tubular | 139,71              | 0,48   | 36,60           | 103,59                       |
| 7  | AZR0044 | 264381,056 | 9316565,467 | Arez         | Tubular | 45,15               | 0,50   | 37,97           | 7,68                         |
| 8  | AZR0045 | 250211,777 | 9315947,176 | Arez         | Tubular | 105,69              | 0,38   | 35,44           | 70,63                        |
| 9  | AZR0050 | 252481,879 | 9317569,116 | Arez         | Tubular | 74,42               | 0,71   | 40,11           | 35,02                        |
| 10 | AZR0053 | 253263,602 | 9316534,056 | Arez         | Tubular | 80,28               | 0,47   | 53,43           | 27,32                        |
| 11 | AZR0102 | 258969,825 | 9314241,814 | Arez         | Cacimba | 53,35               | 0,25   | 22,01           | 31,59                        |
| 12 | AZR0105 | 256622,581 | 9311957,005 | Arez         | Cacimba | 18,93               | 1,22   | 6,04            | 14,11                        |
| 13 | BFS0010 | 270962,433 | 9283570,462 | Baía Formosa | Tubular | 46,35               | 0,58   | 30,77           | 16,16                        |
| 14 | BFS0011 | 278051,325 | 9295194,726 | Baía Formosa | Tubular | 17,57               | 0,22   | 1,43            | 16,36                        |
| 15 | BFS0013 | 272157,715 | 9293535,705 | Baía Formosa | Tubular | 34,07               | 0,00   | 30,61           | 3,46                         |
| 16 | BFS0017 | 274084,254 | 9282540,171 | Baía Formosa | Tubular | 46,73               | 0,48   | 34,77           | 12,44                        |
| 17 | BFS0019 | 270614,446 | 9292062,265 | Baía Formosa | Tubular | 46,29               | 0,57   | 41,17           | 5,69                         |
| 18 | BFS0022 | 266830,594 | 9280754,800 | Baía Formosa | Tubular | 61,84               | 0,58   | 31,62           | 30,80                        |
| 19 | BFS0030 | 278299,716 | 9295577,342 | Baía Formosa | Tubular | 27,06               | 0,60   | 17,97           | 9,69                         |
| 20 | BFS0035 | 268672,338 | 9285627,254 | Baía Formosa | Cacimba | 53,48               | 0,57   | 17,97           | 36,08                        |

**Tabela 11.2. Pontos utilizados na elaboração do mapa potenciométrico referente à 2ª campanha de monitoramento de nível d'água (mai/2012) - continuação**

|    | ID      | Coord E    | Coord S     | Município             | Tipo    | Cota do terreno (m) | Distância do terreno a boca do poço (m) <sup>1</sup> | NE (m) (mai/12) | h2 (m) (mai/12) <sup>2</sup> |
|----|---------|------------|-------------|-----------------------|---------|---------------------|--|-----------------|------------------------------|
| 21 | BFS0041 | 274863,136 | 9282224,107 | Baía Formosa          | Tubular | 44,23               | 0,50   | 34,02           | 10,71                        |
| 22 | BFS0051 | 281802,761 | 9284979,324 | Baía Formosa          | Tubular | 7,46                | 0,31   | 1,82            | 5,95                         |
| 23 | CAN0004 | 270962,433 | 9283570,462 | Canguaretama          | Tubular | 18,13               | 0,54   | 4,47            | 14,20                        |
| 24 | CAN0005 | 259204,326 | 9291593,501 | Canguaretama          | Tubular | 40,66               | 0,47   | 5,21            | 35,92                        |
| 25 | CAN0009 | 268914,106 | 9298351,026 | Canguaretama          | Tubular | 14,58               | 0,10   | 6,90            | 7,78                         |
| 26 | CAN0015 | 263907,633 | 9296995,487 | Canguaretama          | Tubular | 59,68               | 0,42   | 23,23           | 36,87                        |
| 27 | CAN0030 | 261203,734 | 9296434,293 | Canguaretama          | Tubular | 72,00               | 0,34   | 30,08           | 42,26                        |
| 28 | CAN0054 | 262230,833 | 9295729,784 | Canguaretama          | Tubular | 61,45               | 0,71   | 31,52           | 30,64                        |
| 29 | CAN0061 | 274976,650 | 9302607,536 | Canguaretama          | Tubular | 4,19                | 0,10   | 2,07            | 2,22                         |
| 30 | CAN0064 | 257471,619 | 9291811,954 | Canguaretama          | Tubular | 33,17               | 0,30   | 6,06            | 27,41                        |
| 31 | CAN0068 | 265316,306 | 9302811,252 | Canguaretama          | Tubular | 49,87               | 0,90   | 17,53           | 33,24                        |
| 32 | CAN0079 | 265326,684 | 9302793,743 | Canguaretama          | Tubular | 49,48               | 0,52   | 15,18           | 34,82                        |
| 33 | CAN0108 | 258543,790 | 9289321,946 | Canguaretama          | Cacimba | 27,58               | 0,63   | 17,08           | 11,13                        |
| 34 | CAN0109 | 268968,490 | 9298392,993 | Canguaretama          | Cacimba | 12,50               | 0,48   | 8,48            | 4,50                         |
| 35 | GAV0007 | 264730,423 | 9318371,954 | Sen. Georgino Avelino | Tubular | 52,97               | 0,35   | 46,50           | 6,82                         |
| 36 | GOI0007 | 252615,101 | 9301904,128 | Goianinha             | Tubular | 49,01               | 0,37   | 7,60            | 41,78                        |
| 37 | GOI0021 | 254599,103 | 9302883,224 | Goianinha             | Tubular | 87,77               | 0,17   | 30,21           | 57,73                        |
| 38 | GOI0028 | 255853,260 | 9297054,171 | Goianinha             | Tubular | 78,73               | 0,57   | 26,07           | 53,23                        |
| 39 | GOI0072 | 258779,146 | 9309427,436 | Goianinha             | Tubular | 10,62               | 0,93   | 3,95            | 7,60                         |
| 40 | GOI0122 | 253896,518 | 9303556,668 | Goianinha             | Tubular | 47,68               | 0,17   | 17,39           | 30,46                        |



**Tabela 11.2. Pontos utilizados na elaboração do mapa potenciométrico referente à 2ª campanha de monitoramento de nível d'água (mai/2012) - continuação**

|    | ID      | Coord E    | Coord S     | Município    | Tipo       | Cota do terreno (m) | Distância do terreno a boca do poço (m) <sup>1</sup> | NE (m) (mai/12) | h2 (m) (mai/12) <sup>2</sup> |
|----|---------|------------|-------------|--------------|------------|---------------------|--|-----------------|------------------------------|
| 41 | GOI0124 | 262085,107 | 9306067,777 | Goianinha    | Tubular    | 51,71               | 0,13   | 20,02           | 31,82                        |
| 42 | GOI0167 | 259871,363 | 9297489,673 | Goianinha    | Cacimba    | 65,41               | 0,63   | 23,32           | 42,72                        |
| 43 | TBS0001 | 265890,415 | 9312445,578 | Tibau do Sul | Tubular    | 14,91               | 0,25   | 5,76            | 9,40                         |
| 44 | TBS0065 | 272938,876 | 9311179,975 | Tibau do Sul | Tubular    | 25,50               | 0,55   | 19,87           | 6,18                         |
| 45 | TBS0068 | 268588,335 | 9315588,803 | Tibau do Sul | Tubular    | 37,15               | 0,31   | 21,08           | 16,38                        |
| 46 | TBS0096 | 263068,352 | 9311175,995 | Tibau do Sul | Cacimba    | 11,25               | 0,19   | 4,28            | 7,16                         |
| 47 | TBS0098 | 263174,042 | 9311138,827 | Tibau do Sul | Cacimba    | 15,55               | 0,32   | 7,44            | 8,43                         |
| 48 | TBS0099 | 262509,333 | 9310857,739 | Tibau do Sul | Cacimba    | 13,16               | 0,30   | 4,18            | 9,28                         |
| 49 | TBS0104 | 264649,976 | 9311217,928 | Tibau do Sul | Tubular    | 48,07               | 0,30   | 34,91           | 13,46                        |
| 50 | VFR0001 | 269506,303 | 9298940,409 | Vila Flor    | Tubular    | 16,67               | -0,50  | 9,70            | 6,47                         |
| 51 | BFS0052 | 272608,821 | 9291137,422 | Baía Formosa | Tubular    | 34,50               | 0,50   | 26,23           | 8,77                         |
| 52 | BFS0053 | 272568,170 | 9291102,716 | Baía Formosa | Piezômetro | 35,66               | 0,58   | 26,78           | 9,46                         |
| 53 | BFS0054 | 272527,666 | 9291067,983 | Baía Formosa | Piezômetro | 36,77               | 0,59   | 27,88           | 9,48                         |
| 54 | TBS0149 | 268795,825 | 9305960,140 | Tibau do Sul | Tubular    | 42,38               | 0,45   | 36,62           | 6,21                         |
| 55 | TBS0150 | 268762,935 | 9305922,607 | Tibau do Sul | Piezômetro | 43,82               | 0,43   | 37,43           | 6,82                         |
| 56 | TBS0151 | 268724,187 | 9305887,721 | Tibau do Sul | Piezômetro | 43,72               | 0,47   | 37,79           | 6,40                         |
| 57 | AZR0139 | 262964,325 | 9316553,815 | Arez         | Tubular    | 41,76               | 0,45   | 23,02           | 19,19                        |
| 58 | AZR0140 | 262992,440 | 9316513,762 | Arez         | Piezômetro | 43,33               | 0,33   | 22,15           | 21,51                        |
| 59 | AZR0141 | 263023,540 | 9316473,801 | Arez         | Piezômetro | 43,96               | 0,43   | 22,49           | 21,90                        |

ID: identificação do poço; NE: nível estático medido; h2: carga hidráulica obtida na segunda campanha; 1: local onde foi realizada a leitura da profundidade do nível d'água;

2:  $h2 = (\text{cota do terreno (m)} + \text{distância do terreno a boca do poço (m)}) - \text{NE (m)}$

| Tabela 11.3. Variação da carga hidráulica entre as duas campanhas de monitoramento |         |            |             |                     |         |              |          |                   |
|--|---------|------------|-------------|---------------------|---------|--------------|----------|-------------------|
|  | ID      | Coord E    | Coord S     | Município           | Tipo    | h1 (m)       | h2 (m)   | $\Delta h$<br>(m) |
|  |         |            |             |                     |         | (jan-fev/12) | (mai/12) |                   |
| 1  | AZR0015 | 256570,566 | 9317516,707 | Arez                | Tubular | 13,68        | 13,24    | 0,44              |
| 2  | AZR0026 | 253516,198 | 9315509,716 | Arez                | Tubular | 26,75        | 25,74    | 1,01              |
| 3  | AZR0027 | 251472,091 | 9312085,183 | Arez                | Tubular | 52,22        | 50,60    | 1,62              |
| 4  | AZR0038 | 251850,946 | 9317573,021 | Arez                | Tubular | 38,81        | 38,60    | 0,21              |
| 5  | AZR0044 | 264381,056 | 9316565,467 | Arez                | Tubular | 8,56         | 7,68     | 0,88              |
| 6  | AZR0045 | 250211,777 | 9315947,176 | Arez                | Tubular | 71,09        | 70,63    | 0,46              |
| 7  | AZR0053 | 253263,602 | 9316534,056 | Arez                | Tubular | 27,54        | 27,32    | 0,22              |
| 8  | AZR0102 | 258969,825 | 9314241,814 | Arez                | Cacimba | 31,92        | 31,59    | 0,33              |
| 9  | AZR0105 | 256622,581 | 9311957,005 | Arez                | Cacimba | 14,45        | 14,11    | 0,34              |
| 10   | BFS0010 | 270962,433 | 9283570,462 | Baía Formosa        | Tubular | 17,41        | 16,16    | 1,25              |
| 11   | BFS0011 | 278051,325 | 9295194,726 | Baía Formosa        | Tubular | 16,72        | 16,36    | 0,36              |
| 12   | BFS0013 | 272157,715 | 9293535,705 | Baía Formosa        | Tubular | 3,68         | 3,46     | 0,22              |
| 13   | BFS0017 | 274084,254 | 9282540,171 | Baía Formosa        | Tubular | 13,81        | 12,44    | 1,37              |
| 14   | BFS0019 | 270614,446 | 9292062,265 | Baía Formosa        | Tubular | 7,35         | 5,69     | 1,66              |
| 15   | BFS0030 | 278299,716 | 9295577,342 | Baía Formosa        | Tubular | 9,85         | 9,69     | 0,16              |
| 16   | BFS0035 | 268672,338 | 9285627,254 | Baía Formosa        | Cacimba | 37,16        | 36,08    | 1,08              |
| 17   | BFS0041 | 274863,136 | 9282224,107 | Baía Formosa        | Tubular | 11,51        | 10,71    | 0,80              |
| 18   | BFS0051 | 281802,761 | 9284979,324 | Baía Formosa        | Tubular | 6,09         | 5,95     | 0,14              |
| 19   | CAN0004 | 270962,433 | 9283570,462 | Canguaretama        | Tubular | 14,22        | 14,20    | 0,02              |
| 20   | CAN0005 | 259204,326 | 9291593,501 | Canguaretama        | Tubular | 36,01        | 35,92    | 0,09              |
| 21   | CAN0009 | 268914,106 | 9298351,026 | Canguaretama        | Tubular | 8,97         | 7,78     | 1,19              |
| 22   | CAN0015 | 263907,633 | 9296995,487 | Canguaretama        | Tubular | 38,47        | 36,87    | 1,60              |
| 23   | CAN0030 | 261203,734 | 9296434,293 | Canguaretama        | Tubular | 43,04        | 42,26    | 0,78              |
| 24   | CAN0054 | 262230,833 | 9295729,784 | Canguaretama        | Tubular | 31,88        | 30,64    | 1,24              |
| 25   | CAN0061 | 274976,650 | 9302607,536 | Canguaretama        | Tubular | 2,54         | 2,22     | 0,32              |
| 26   | CAN0064 | 257471,619 | 9291811,954 | Canguaretama        | Tubular | 27,49        | 27,41    | 0,08              |
| 27   | CAN0068 | 265316,306 | 9302811,252 | Canguaretama        | Tubular | 35,26        | 33,24    | 2,02              |
| 28   | CAN0079 | 265326,684 | 9302793,743 | Canguaretama        | Tubular | 36,58        | 34,82    | 1,76              |
| 29   | CAN0108 | 258543,790 | 9289321,946 | Canguaretama        | Cacimba | 11,89        | 11,13    | 0,76              |
| 30   | CAN0109 | 268968,490 | 9298392,993 | Canguaretama        | Cacimba | 4,85         | 4,50     | 0,35              |
| 31   | GAV0007 | 264730,423 | 9318371,954 | S. Georgino Avelino | Tubular | 7,68         | 6,82     | 0,86              |
| 32   | GOI0007 | 252615,101 | 9301904,128 | Goianinha           | Tubular | 44,31        | 41,78    | 2,53              |
| 33   | GOI0072 | 258779,146 | 9309427,436 | Goianinha           | Tubular | 7,74         | 7,60     | 0,14              |
| 34   | GOI0124 | 262085,107 | 9306067,777 | Goianinha           | Tubular | 33,03        | 31,82    | 1,21              |
| 35   | GOI0167 | 259871,363 | 9297489,673 | Goianinha           | Cacimba | 43,80        | 42,72    | 1,08              |
| 36   | TBS0068 | 268588,335 | 9315588,803 | Tibau do Sul        | Tubular | 18,25        | 16,38    | 1,87              |
| 37   | TBS0096 | 263068,352 | 9311175,995 | Tibau do Sul        | Cacimba | 8,25         | 7,16     | 1,09              |

**Tabela 11.3. Variação da carga hidráulica entre as duas campanhas de monitoramento - continuação**

|                | ID      | Coord E    | Coord S     | Município    | Tipo       | h1 (m)       | h2 (m)   | $\Delta h$<br>(m) |
|----------------|---------|------------|-------------|--------------|------------|--------------|----------|-------------------|
|                |         |            |             |              |            | (jan-fev/12) | (mai/12) |                   |
| 38             | TBS0098 | 263174,042 | 9311138,827 | Tibau do Sul | Cacimba    | 9,58         | 8,43     | 1,15              |
| 39             | TBS0099 | 262509,333 | 9310857,739 | Tibau do Sul | Cacimba    | 10,06        | 9,28     | 0,78              |
| 40             | TBS0104 | 264649,976 | 9311217,928 | Tibau do Sul | Tubular    | 15,94        | 13,46    | 2,48              |
| 41             | VFR0001 | 269506,303 | 9298940,409 | Vila Flor    | Tubular    | 7,79         | 6,47     | 1,32              |
| 42             | BFS0052 | 272608,821 | 9291137,422 | Baía Formosa | Tubular    | 9,33         | 8,77     | 0,56              |
| 43             | BFS0053 | 272568,170 | 9291102,716 | Baía Formosa | Piezômetro | 9,65         | 9,46     | 0,19              |
| 44             | BFS0054 | 272527,666 | 9291067,983 | Baía Formosa | Piezômetro | 9,92         | 9,48     | 0,44              |
| <b>Mínimo</b>  |         |            |             |              |            |              |          | 0,02              |
| <b>Máximo</b>  |         |            |             |              |            |              |          | 2,53              |
| <b>Média</b>   |         |            |             |              |            |              |          | 0,87              |
| <b>Mediana</b> |         |            |             |              |            |              |          | 0,79              |

ID: identificação do poço; h1: carga hidráulica da 1ª campanha; h2: carga hidráulica da 2ª campanha;  $\Delta h$ : variação de carga entre as duas campanhas ( $h1 - h2$ ).

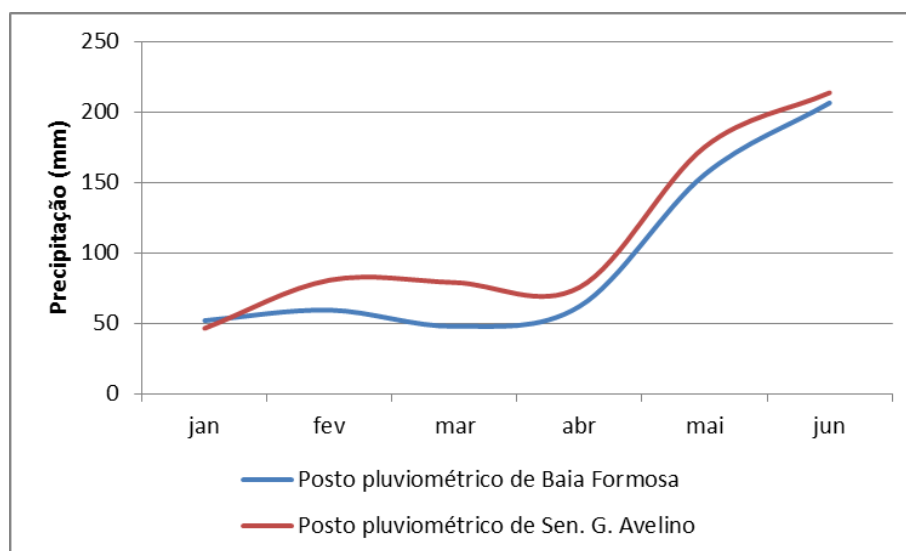
O rebaixamento do nível potenciométrico no período analisado reflete a condição de estiagem, que ocorre de agosto a fevereiro na área de estudo, e, consequentemente, representa o período de deficiência hídrica para o aquífero, conforme discutido no balanço hídrico climatológico no Capítulo 4 deste relatório, resultando nas quedas dos níveis potenciométricos. A **Tabela 11.4** e a **Figura 11.1** apresentam os dados de precipitação no período das duas campanhas de amostragem.

**Tabela 11.4. Precipitação mensal nos postos inseridos no BLS no período das medições de níveis d'água**

| Posto Pluviométrico      | jan | fev | mar | abr | mai | jun |
|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Baía Formosa             | 52  | 59  | 48  | 62  | 156 | 206 |
| Senador Georgino Avelino | 46  | 81  | 79  | 76  | 175 | 214 |

Fonte: EMPARN, 2012

A precipitação nos meses de janeiro e fevereiro que correspondem ao período de monitoramento dos níveis d'água da primeira campanha foram, respectivamente, 52 mm e 59 mm no posto de Baía Formosa e 46 mm e 81 mm no posto de Senador Georgino Avelino (**Tabela 11.4** e **Figura 11.1**), ou seja, pleno período de estiagem.



**Figura 11.1. Precipitação mensal nos postos inseridos no BLS no período das medições de níveis d'água**

No mês de maio, período da segunda campanha de monitoramento, a precipitação foi de 156 mm em Baía Formosa e 175 mm em Senador Georgino Avelino, que representa o início do período chuvoso no BLS. Apesar de ter iniciado o período chuvoso, os níveis potenciométricos observados provavelmente refletem ainda o período de estiagem já que a recarga do aquífero não acontece no mesmo tempo em que se iniciam as chuvas, conforme discutido no Capítulo 4 (balanço hídrico climatológico do BLS).

Dessa maneira, a variação de carga média de 0,87 m obtida é indicativa do período analisado e provavelmente não representa a máxima amplitude de carga nas variações sazonais do SAB e, por esse motivo, não foi utilizado na estimativa de recargas e reservas, conforme discutido no Capítulo 12.

Recomenda-se, portanto, a medição contínua dos níveis d'água da rede de monitoramento, com periodicidade mensal, para que se possam definir melhor os períodos de rebaixamento e recuperação dos níveis potenciométricos do SAB no BLS e assim obter a variação de carga referente à sua amplitude sazonal máxima.

## **11.2 Caracterização do fluxo subterrâneo e zonas de recarga e descarga das águas subterrâneas do SAB**

Os resultados das campanhas de monitoramento permitiram a elaboração de dois mapas potenciométricos, um referente ao período de janeiro/fevereiro de 2012, e outro referente ao mês de maio de 2012, ou seja, com espaço de três meses entre eles.

Ambos os mapas foram elaborados na escala 1:200.000, com curvas equipotenciais com intervalo de 10 m, de maneira a permitir uma comparação do comportamento das curvas equipotenciais nos períodos avaliados. Conforme pode ser visto na **Figura 11.2**, ambos os mapas possuem a mesma configuração, pois a variação de carga entre as duas campanhas foi muito pequena para gerar alteração significativa nas equipotenciais, em função da escala de trabalho exigida no TDR.

Portanto, para a caracterização do sistema de fluxo subterrâneo no BLS, foi adotado o mapa potenciométrico referente à segunda campanha de monitoramento (**Figura 11.3**), realizada no mês de maio de 2012, que representa uma situação de maior estiagem em relação ao mapa da primeira campanha, conforme já discutido anteriormente e apresentado na **Tabela 11.3**.

A configuração das equipotenciais obtidas indica a ocorrência de fluxo subterrâneo regional no sentido aproximado de oeste para leste em direção ao mar. Em escala mais detalhada, o fluxo subterrâneo segue em direção aos principais rios que drenam a área: Trairi, Jacu, Curimataú, Catu e Guaju, alimentando o fluxo superficial de base desses rios e caracterizando as condições de efluência dos mesmos com relação às águas subterrâneas. Este comportamento reflete, portanto o caráter “livre” do Sistema Aquífero Barreiras. Próximo à linha de costa, o fluxo é em direção ao mar (**Figura 11.3**).

Para avaliação da vazão total do fluxo subterrâneo natural no Bloco Litoral Sul foram consideradas as frentes de escoamento em direção aos principais rios que drenam a área e em direção ao mar (**Tabela 11.5**).

As vazões do fluxo subterrâneo natural, nas diferentes direções, foram estimadas a partir da lei de Darcy, conforme a seguir:

$$Q = TIL$$

Onde:

$Q$  é a vazão do fluxo subterrâneo natural em  $m^3/s$ ;

$T$  é a transmissividade do aquífero em  $m^2/s$ ;

$L$  é a frente de escoamento em km;

$I$  é o gradiente hidráulico.



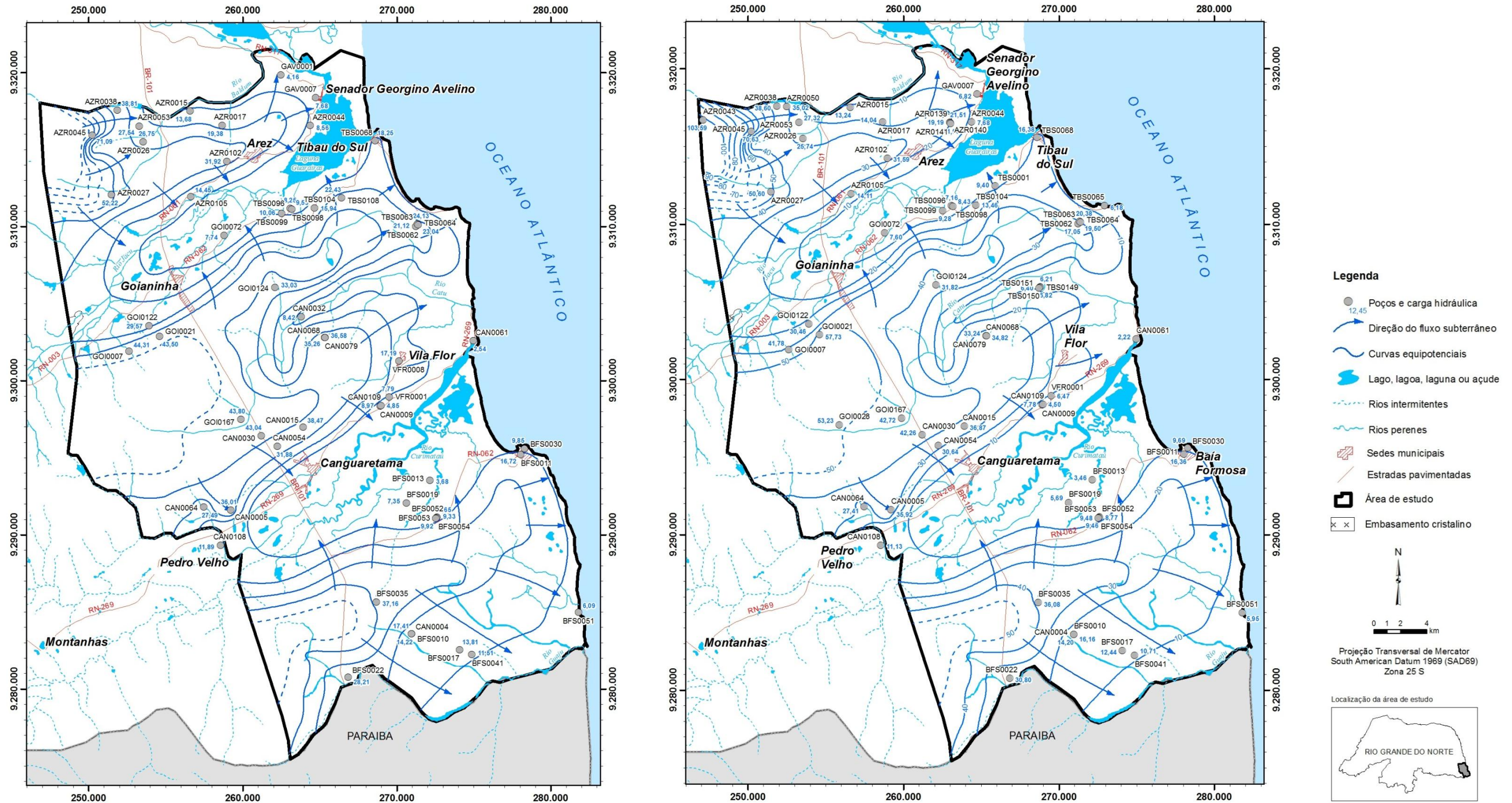
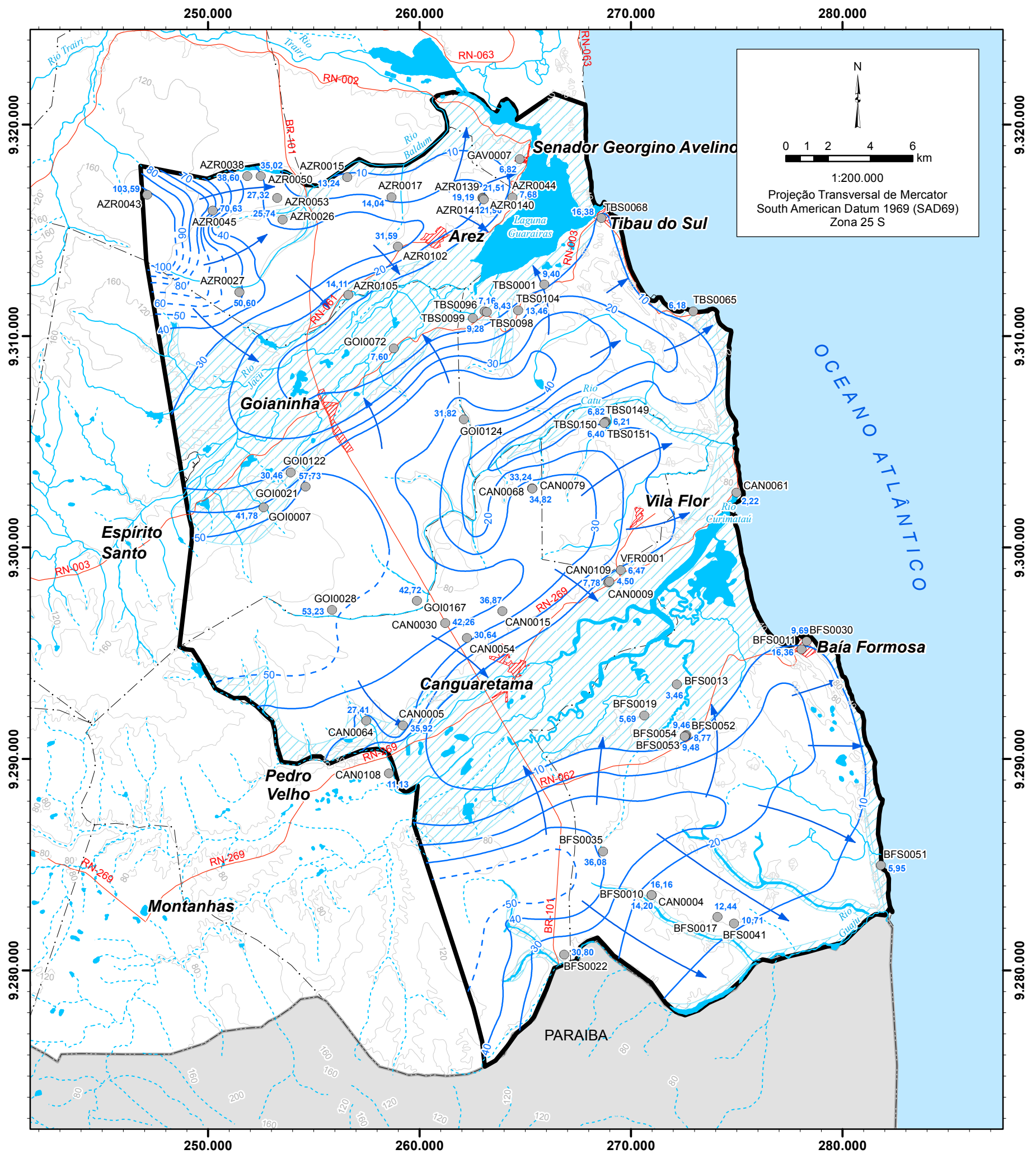


Figura a – Mapa potenciométrico da 1ª campanha de monitoramento (jan-fev/2012)

Figura b – Mapa potenciométrico da 2ª campanha de monitoramento (mai/2012)

Figura 11.2. Mapas potenciométricos das duas campanhas de monitoramento de nível d'água do SAB no BLS





Legenda

- Poços e carga hidráulica
- Direção do fluxo subterrâneo
- Curvas equipotenciais
- Lago, lagoa, laguna ou açude
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Zona de recarga do SAB
- Zona de descarga do SAB
- Curvas de nível

Convenção Cartográfica

- Sedes municipais
- Estradas pavimentadas
- Limites municipais
- Área de estudo

Geologia

- Embasamento cristalino

Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM

Localização da área de estudo



Figura 11.3. Potenciometria do Sistema Aquífero Barreiras no Bloco Litoral Sul (maio/2012)

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO LITORAL SUL DA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL (LS/RMN)

Elaborado por: Servmar Serviços Técnicos Ambientais



Julho de 2012

A vazão total do fluxo subterrâneo do Sistema Aquífero Barreiras, no Bloco Litoral Sul, corresponde ao somatório das vazões parciais, e foi estimada em 4,269 m<sup>3</sup>/s (**Tabela 11.5**).

| <b>Tabela 11.5. Vazão do fluxo subterrâneo do SAB no BLS</b> |   |          |                 |                              |
|--|---|----------|-----------------|------------------------------|
| <b>Frente de Escoamento</b>                                  | <b>T<br/>x10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>/seg</b> | <b>I</b> | <b>L<br/>km</b> | <b>Q<br/>m<sup>3</sup>/s</b> |
| Trairi   | 2,3   | 0,02     | 16,4            | 0,075                        |
| Jacu 1   | 4,6   | 0,02     | 21,4            | 0,197                        |
| Jacu 2   | 6,3   | 0,02     | 25,2            | 0,318                        |
| Catu 1   | 17,4  | 0,02     | 17,7            | 0,616                        |
| Catu 2   | 17,4  | 0,02     | 16,2            | 0,566                        |
| Curimataú 1  | 9,3   | 0,02     | 21,9            | 0,407                        |
| Curimataú 2  | 9,3   | 0,02     | 22,4            | 0,417                        |
| Guaju  | 5,3   | 0,02     | 21,3            | 0,225                        |
| Costeira   | 17,4  | 0,02     | 41,63           | 1,448                        |
| <b>Vazão total do Fluxo Subterrâneo</b>                      |   |          |                 | <b>4,269</b>                 |

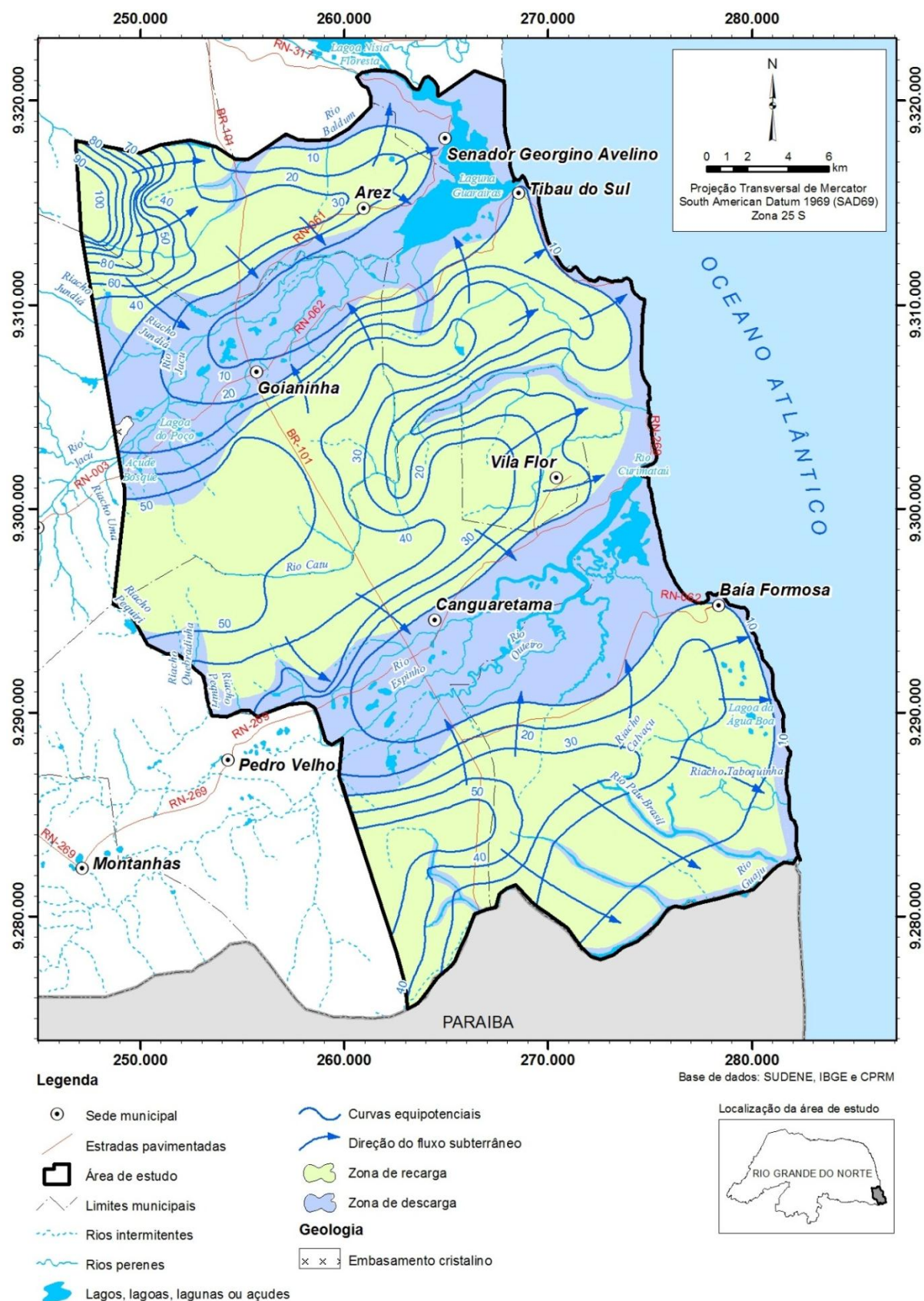
T: transmissividade; I: gradiente hidráulico; L: frente de escoamento; Q: vazão natural do fluxo subterrâneo

Os gradientes hidráulicos nas encostas dos vales são mais elevados, variando de 1,5 a 3%. Nas superfícies dos tabuleiros ou nas superfícies mais planas, os gradientes hidráulicos são inferiores a 0,5%. Para efeito de cálculo das vazões do fluxo subterrâneo natural, foi tomado o gradiente hidráulico médio de 2%. No caso da transmissividade, os correspondentes valores obtidos nas diferentes direções do fluxo subterrâneo, são apresentados na **Tabela 11.5**. Para efeito de caracterização das frentes de escoamento, foi tomada como referência a curva potenciométrica de 20 m e, em algumas situações, a curva de 10 m.

As zonas de recarga das águas subterrâneas correspondem às superfícies elevadas arenosas dos tabuleiros dos sedimentos Barreiras e as zonas de descarga situam-se nas encostas e nos fundos dos vales dos principais rios que drenam a área e, por último, as descargas finais ocorrem no mar (**Figura 11.4**).

Deve-se destacar o importante papel das dunas em potencializar localmente a recarga do SAB, devido a sua constituição predominantemente arenosa e elevada condutividade hidráulica, o que condiciona elevadas taxas de infiltração das águas de precipitação pluviométrica. Entretanto, esta influência deve ser considerada de forma limitada, já que estão situadas em áreas próximas ao mar, em regiões de descarga do fluxo subterrâneo.





**Figura 11.4. Zonas de recarga e descarga do Sistema Aquífero Barreiras no BLS**

### 11.3 Relações hidráulicas entre as águas subterrâneas e superficiais

Os rios que drenam a área do BLS estão encravados nos sedimentos superiores do Sistema Aquífero Barreiras, constituindo juntamente com as águas subterrâneas freáticas um sistema hidráulico único. A perenidade desses rios está associada à elevada precipitação pluviométrica na área e as contribuições de águas subterrâneas que se verificam no período de estiagem.

As bacias hidrográficas no BLS estão estruturalmente condicionadas em compartimentos dados por estruturas do tipo *graben* e *horst*. As bacias dos rios Jacu e Curimataú, caracterizadas por vales amplos com largas planícies de inundação, drenam as águas direcionadas aos *grabens* de Goianinha e Canguaretama, respectivamente. As bacias dos rios Catu e Guaju estão posicionadas nas estruturas tipo *horsts*, com vales encaixados, situados em cotas topográficas relativamente elevadas, em comparação com as demais bacias.

Em todas as bacias hidrográficas do BLS fica evidenciada a forte relação entre as águas subterrâneas do SAB e as águas superficiais. A configuração do mapa potenciométrico e a caracterização das áreas de recarga e descarga do SAB (**Figura 11.4**) demonstra a contribuição do fluxo subterrâneo às principais bacias, definindo a condição de efluência desses rios.

Deve-se ressaltar, ainda, que as avaliações hidrogeoquímicas e isotópicas das águas do SAB permitiram contribuir com detalhes das condições de fluxo imperceptíveis ao mapa potenciométrico. Os zoneamentos da qualidade natural das águas do SAB e das assinaturas isotópicas sugerem que as bacias do Jacu e Curimataú drenam fluxos subterrâneos locais, das áreas de recarga do BLS, e regionais, provenientes das áreas de recarga a oeste da área. Já os rios Catu e Guaju drenam fluxos subterrâneos locais das áreas de recarga existentes nas próprias bacias desses rios.

A descarga de base dos rios depende das potencialidades do sistema aquífero situado no domínio da bacia hidrográfica. O conhecimento das descargas de rios, riachos ou fontes pode contribuir na estimativa das reservas reguladoras do aquífero, e, por conseguinte, da recarga das águas subterrâneas no âmbito de uma determinada bacia hidrográfica. Neste caso, entretanto, é necessário avaliar o coeficiente de esgotamento da bacia hidrográfica correspondente. Este estudo contemplou a medição de vazões nos principais rios do BLS, no período de dezembro/2011 a maio/2012, conforme apresentado no Capítulo 4. Apesar dos resultados não permitirem a elaboração de curvas de recessão, foram importantes no conhecimento da drenagem dessas bacias que não possuíam monitoramento.



#### **11.4 Limitações apresentadas na caracterização do fluxo subterrâneo e variações de carga do Sistema Aquífero Barreiras no Bloco Litoral Sul**

Os mapas potenciométricos elaborados neste estudo devem ser considerados como um resultado preliminar das condições de fluxo do SAB na área, devendo ser refinados a partir de campanhas de monitoramento periódicas, preferencialmente constituindo uma série histórica de medições. Entretanto, este trabalho possui consistência sobre as condições gerais de fluxo do SAB no BLS e compatibilidade com a escala determinada para este estudo. Deve-se, porém, discutir algumas limitações avaliadas, em contribuição a futuros estudos, visando o aperfeiçoamento deste resultado preliminar.

O espaço de tempo entre a primeira e a segunda campanha, correspondente aos cinco primeiros meses do ano (jan-fev/2012 a primeira campanha e mai/2012 a segunda), foi definido em função dos cronogramas ajustados dos estudos, porém pequeno para expressar a máxima amplitude das variações sazonais do nível d'água. Diante disso, as considerações sobre o fluxo subterrâneo são apresentadas com base no mapa potenciométrico obtido com os resultados da segunda campanha de medição, que reflete o período de maior estiagem, o que melhor justifica o conhecimento do comportamento do fluxo subterrâneo.

A seleção da rede de monitoramento considerou critérios técnicos em consonância com os termos de referência, porém ocorreram limitações relacionadas ao controle operacional dos poços, sobretudo em relação a poços de abastecimento público. Essa limitação impediu que algumas medições do nível de água ocorressem em condições livres de interferência de bombeamento, do próprio poço e/ou de poços no entorno. Foram considerados poços sob influência de bombeamento, além daqueles que estavam em operação no momento da medição do nível d'água, e também os que apresentaram quedas de níveis muito elevadas entre as duas campanhas, desproporcional ao rebaixamento médio avaliado.

Os dados dos poços que se encontravam nessa situação de interferência durante as medições de nível d'água não foram utilizados na elaboração dos mapas potenciométricos. Essa metodologia foi adotada devido à escala utilizada (1:200.000), pois qualquer indicação de rebaixamento no entorno desses poços resultaria em áreas muito maiores do que aquelas que realmente sofrem influência de bombeamento, caracterizando um rebaixamento dos níveis potenciométricos do aquífero muito maior do que acontece na realidade.

## **12 RECARGA, RESERVAS, POTENCIALIDADES E RECURSOS EXPLOTÁVEIS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

O presente capítulo expressa as potencialidades do Sistema Aquífero Barreiras no Bloco Litoral Sul, as quais foram avaliadas a partir da integração dos resultados das investigações hidrogeológicas, que compreenderam suas dimensões, litologia, estrutura, parâmetros hidráulicos e características do fluxo subterrâneo. São considerados não somente os estudos de âmbito local ou restrito ao respectivo Bloco, como também os aspectos de caráter regional que contribuíram na definição da área efetiva do Sistema Aquífero Barreiras e de seus limites hidrogeológicos.

Todos os componentes envolvidos na caracterização das potencialidades do Sistema Aquífero Barreiras na presente avaliação, que inclui as reservas, disponibilidades, recarga e recursos de águas subterrâneas explotáveis serão criteriosamente abordados. Isto, dentro de uma visão não somente de avaliação e uso dos recursos de águas subterrâneas, como também no contexto ambiental, cujo conhecimento seja capaz de contribuir para o conhecimento da vulnerabilidade e dos riscos potenciais de águas subterrâneas.

A seguir, é feita uma conceituação relativa a esses componentes, que definem as potencialidades do Sistema Aquífero Barreiras, no Bloco Litoral Sul como um todo e por municípios.

### **12.1 Recursos hídricos subterrâneos do BLS**

A avaliação dos recursos hídricos subterrâneos do Bloco Litoral Sul foi efetuada tomando por base as seguintes atividades metodológicas:

- Análise do material técnico bibliográfico existente e disponibilizado pela SEMARH, CAERN, IDEMA e Empresas de perfuração;
- Mapeamento das unidades geológicas e hidrogeológicas;
- Cadastro de poços realizado em campo;
- Caracterização climática;
- Avaliação da recarga potencial das águas subterrâneas a partir de balanço hidroclimatológico e características físicas da área, especificamente configuração do relevo, declividade do terreno e tipos e características dos solos dominantes;
- Resultados de perfuração de poços (já existentes e poço perfurado no âmbito deste trabalho);
- Análise de resultados de testes de bombeamento de poço disponibilizados pelas Empresas e entidades relacionadas.

A hidrogeologia do Bloco Litoral Sul foi contemplada nos estudos regionais desenvolvidos pelo IPT (1982), o qual se estendeu por toda Faixa Costeira Leste do Estado do Rio Grande do Norte. Posteriormente SERHID (1998) realizou estudos hidrogeológicos regionais para o Plano Estadual de Recursos Hídricos, baseado fundamentalmente em dados existentes e apresentou estimativas de potencialidades e disponibilidades de águas subterrâneas por município.

No âmbito das bacias hidrográficas, foram realizados estudos na bacia hidrográfica do rio Jacu (SERHID, 2006), cujas informações apresentadas no referido trabalho, principalmente no que diz respeito aos resultados das perfurações dos poços e resultados dos testes de aquífero, serão integrados na avaliação hidrogeológica no presente trabalho. Também foi utilizado um estudo de caráter local desenvolvido para compor EIA/RIMA do empreendimento turístico e hoteleiro Santana Golf, em Tibau do Sul, existente nos processos de licenciamento do IDEMA.

O uso dos resultados de perfurações, resultados dos testes de aquífero e do comportamento do fluxo subterrâneo, obtidos destes estudos, foi fundamental na elaboração do presente trabalho haja vista a boa qualidade e representatividade das informações apresentadas e a oportunidade de maior detalhamento dos estudos desenvolvidos.

Na avaliação dos recursos hídricos subterrâneos do BLS, três componentes principais foram ser considerados: Clima, geologia e os aspectos estruturais envolvidos, já que os mesmos influem de forma acentuada na ocorrência, distribuição e potencialidades das águas subterrâneas.

#### 12.1.1 Condicionamento climático

No aspecto climático, foram identificadas três zonas no Bloco Litoral Sul com diferentes valores de precipitação pluviométrica, conforme apresentado no Capítulo 4. Tendo sido classificadas a Zona 1, com precipitação pluviométrica em média de 1.165 mm/ano, situada no setor ocidental da área de estudo, a Zona 2, com precipitação pluviométrica em média de 1.375 mm/anuais, nas partes nordeste, central e sul da área de estudo, e a Zona 3, na parte centro-leste, com precipitações pluviométricas em média de 1.500 mm/anuais.

O conhecimento dessas zonas é fundamental na avaliação dos recursos potenciais das águas subterrâneas de cada um dos municípios situados no Bloco Litoral Sul e do respectivo bloco como um todo, juntamente com os parâmetros hidrogeológicos definidos no âmbito dos estudos realizados.

### 12.1.2 Geologia e os aspectos estruturais envolvidos

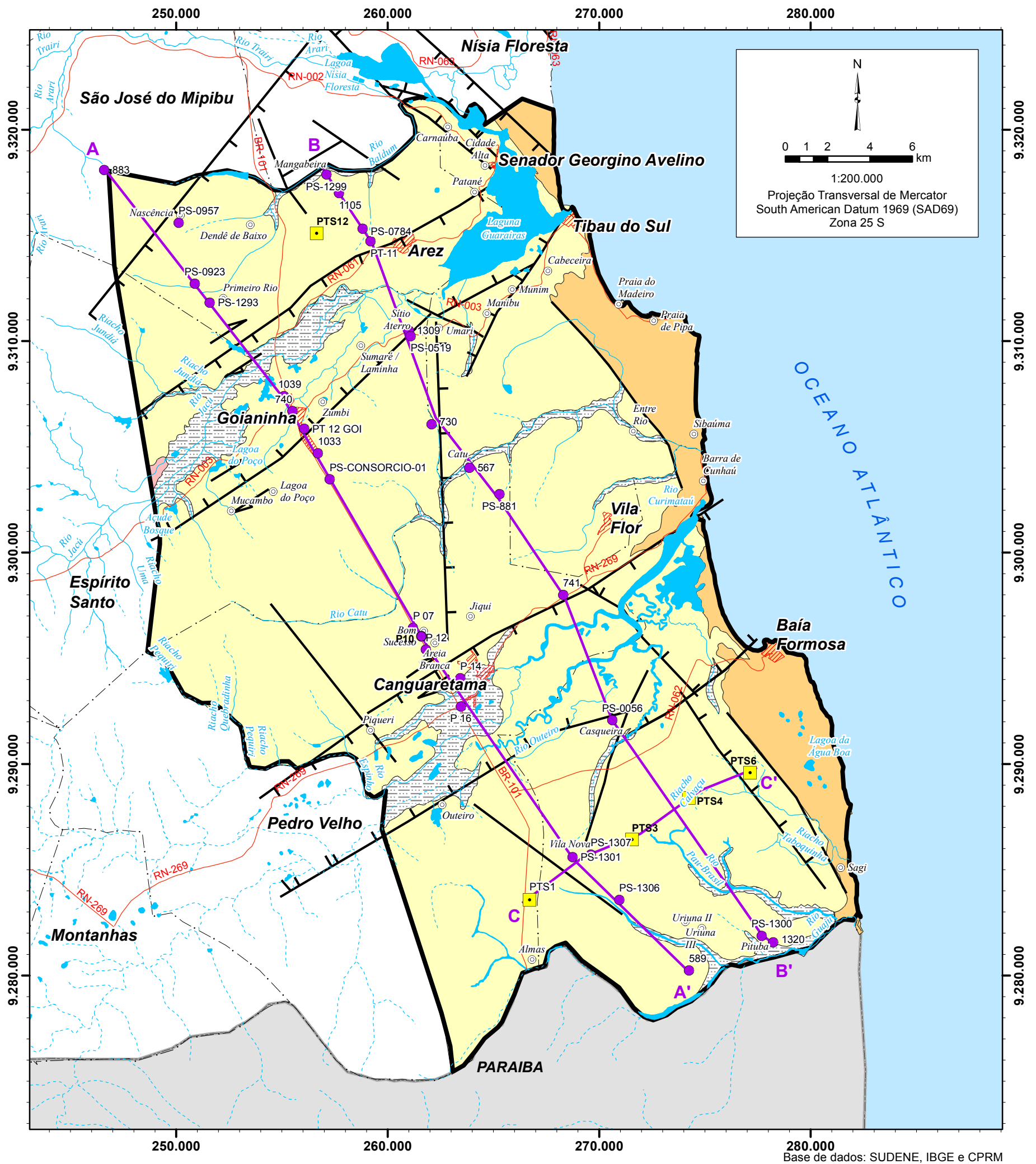
Do ponto de vista geológico, o Bloco Litoral Sul é constituído pelas seguintes unidades que fazem parte do sistema hidrogeológico: dunas, aluviões, coberturas recentes colúvio-eluvionares, formação Barreiras, rochas carbonáticas e cristalino (conforme apresentado na **Figura 8.3** do Capítulo 8 deste relatório).

Conforme é apresentado e justificado posteriormente, as unidades compostas pelas dunas, coberturas recentes colúvio-eluvionares e o aquífero Barreiras, constituem um sistema hidráulico único que foi designado de Sistema Aquífero Barreiras (SAB). O SAB, as aluviões, as rochas carbonáticas e as rochas cristalinas são, portanto, as unidades aquíferas do sistema hidrogeológico do Bloco Litoral Sul.

A **Figura 12.1** apresenta a localização das seções geológicas. As potencialidades hidrogeológicas dessas unidades estão condicionadas a ocorrência de falhamentos que se desenvolvem nas bacias hidrográficas dando como resultado maiores espessuras para o Sistema Aquífero Barreiras nos domínios dos tabuleiros e menores espessuras nos vales tal como ocorre com os vales do Jacu e Curimataú (**Figuras 12.2, 12.3 e 12.4**).

As unidades geológicas que constituem aquíferos estão também afetadas por falhamentos no sentido geral oeste-leste ou ao longo dos cursos de água superficiais, com movimento de blocos de rocha que condicionam a ocorrência em superfície (ou em pequena profundidade) de rochas carbonáticas e rochas cristalinas no setor ocidental da área, onde as potencialidades hidrogeológicas são bem mais modestas. Esse aspecto é apresentado e discutido no Capítulo 8 deste relatório que trata das características litológicas e estruturais do Sistema Aquífero Barreiras.

Este estudo apresenta a caracterização de todas as unidades geológicas que compõem o sistema hidrogeológico do Bloco Litoral Sul. No entanto, o Sistema Aquífero Barreiras constitui o objeto principal deste trabalho e seus parâmetros hidráulicos, comportamento do fluxo subterrâneo, potencialidades, disponibilidades e recursos exploráveis serão avaliados e apresentados nos capítulos subsequentes de forma detalhada e atualizada.



Seções Hidrogeológicas

- A A'** Localização
- Pontos com perfis litológicos
- SEV (Sondagem Elétrica Vertical)

Unidades Aquíferas

- Aluvião
- Dunas
- Barreiras
- Cristalino

Convenção Cartográfica

- Sedes municipais
- Povoados ou assentamentos
- Estradas pavimentadas
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- Limites municipais
- Área de estudo
- Estruturas**
- Falha normal
- Lineamento
- Falha direcional (strike-slip)

Localização da área de estudo



**Figura 12.1. Localização das seções hidrogeológicas AA', BB' e CC' no Bloco Litoral Sul**

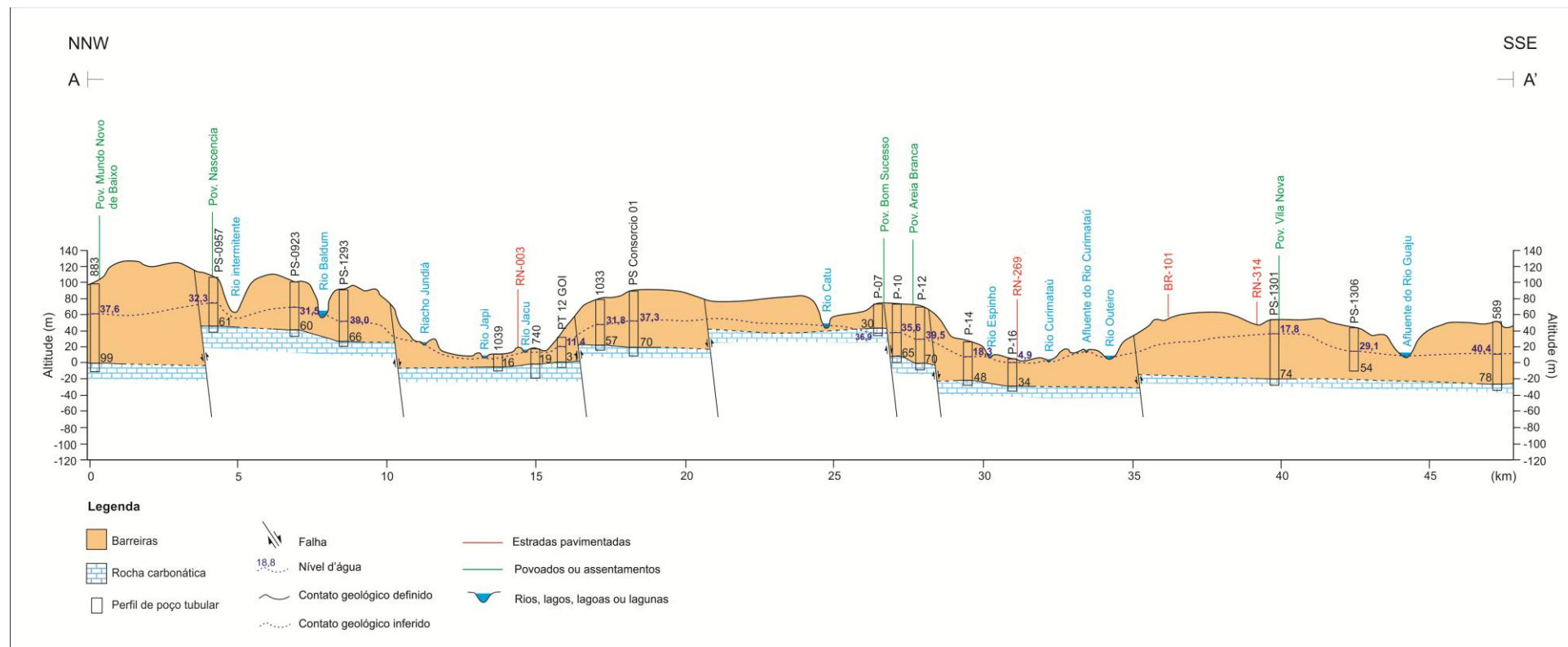
ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO LITORAL SUL DA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL (BLS)

Elaborado por: Servmar Serviços Técnicos Ambientais

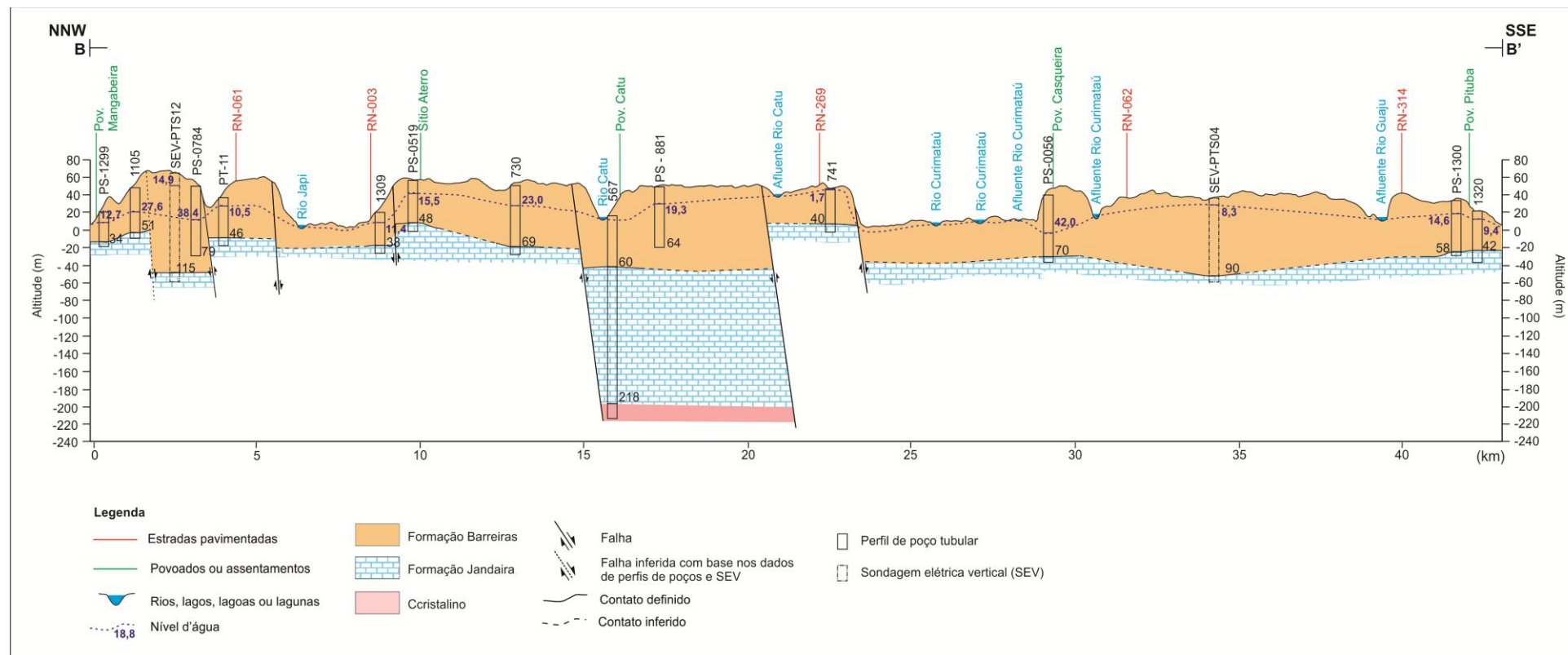


Julho de 2012

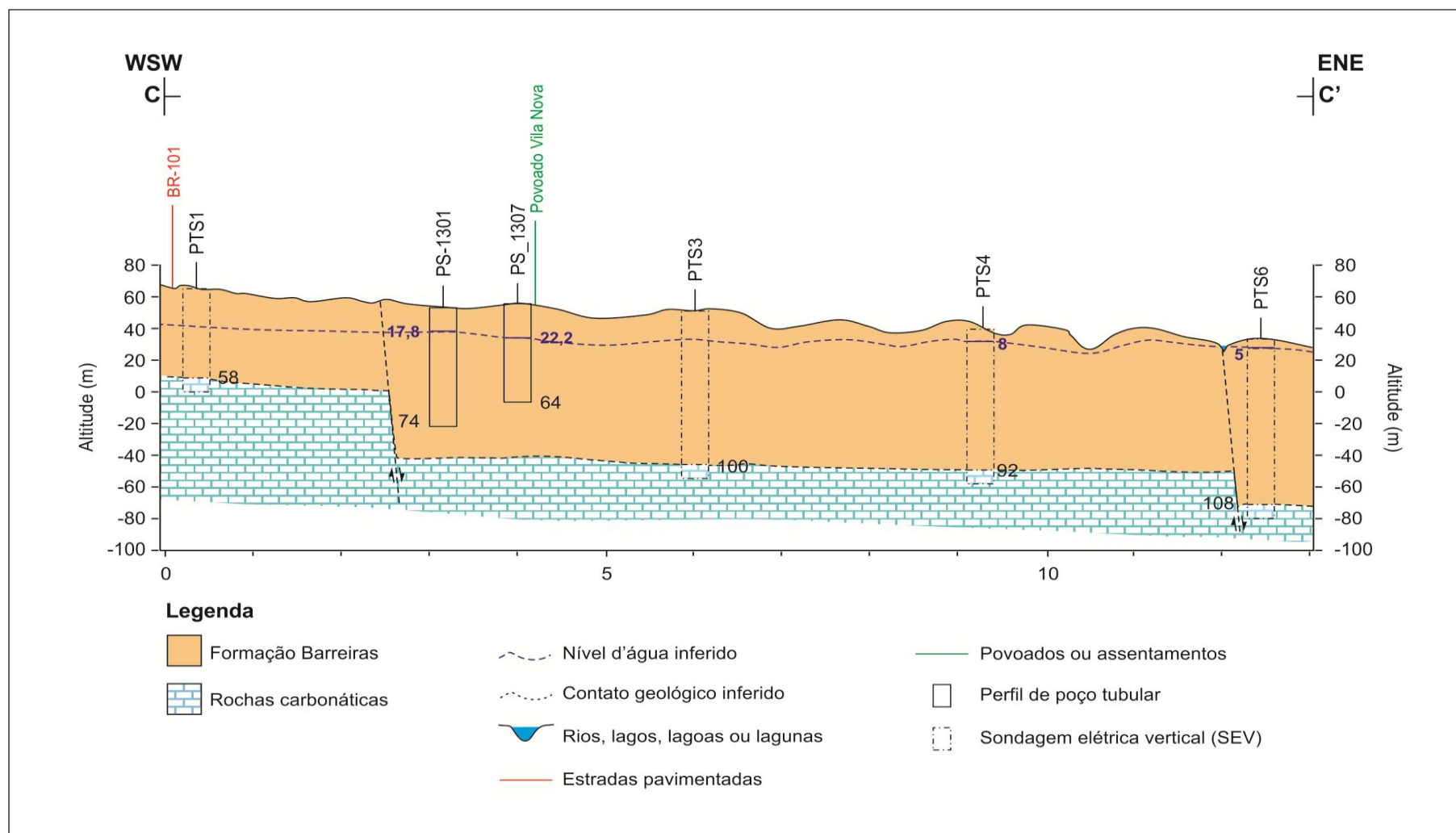




**Figura 12.2. Seção hidrogeológica AA'**



**Figura 12.3. Seção hidrogeológica BB'**



**Figura 12.4. Seção hidrogeológica CC'**

### 12.1.3 Caracterização, uso e potencialidades das unidades do sistema hidrogeológico do Bloco Litoral Sul

É feita a seguir uma descrição das unidades geológicas do sistema hidrogeológico do Bloco Litoral Sul, com informações sobre ocorrência, dimensões, litologia, estrutura, recursos explorados. Entretanto, para fundamentar essas considerações será apresentada inicialmente a metodologia utilizada na estimativa do volume de água subterrânea explorado por cada município.

#### Avaliação do volume de água subterrânea explorado nos municípios

A estimativa do volume de água subterrânea explorado nos municípios através dos poços de produção foi obtida com base no regime de operação dos mesmos e a partir da avaliação do cadastro compilado de poços, utilizando os dados disponíveis sobre os tipos de uso, os perfis de consumo da água subterrânea e as vazões de exploração dos poços. No cadastro foram obtidas as informações de tipo de uso, perfil de consumo e vazões de exploração dos poços, sendo necessário definir um regime de operação para os poços para então poder se estimar o volume de água explorado.

Inicialmente separaram-se os poços em três grupos, com base no tipo de uso e perfil de consumo da água subterrânea, conforme descrito a seguir: poços de abastecimento público de propriedade da CAERN; poços de abastecimento público de propriedade das prefeituras ou comunidades; poços de uso industrial e agrícola; poços com demais usos. Após essa classificação, definiu-se um regime de exploração dos poços para cada um desses grupos, com base nos critérios discutidos a seguir.

Para definição do regime de operação dos poços de abastecimento público da CAERN utilizou-se os dados de volume explorado disponibilizado pela concessionária, o número de poços em operação nos respectivos municípios e a vazão de exploração desses poços em operação, de acordo com os dados do cadastro. A **Tabela 12.1** apresenta os dados para a determinação do regime de exploração que foram calculados através da seguinte equação:

$$R = (V_{exp} \div Q_p) \div 365$$

Onde:

$R$ : regime de operação dos poços (horas);

$V_{exp}$ : Volume explorado pelos poços por município ( $m^3$ /ano);

$Q_p$ : Somatória da vazão captada pelos poços de um município ( $m^3$ /h)

A partir dos dados apresentados na **Tabela 12.1**, chegou-se a um regime médio de 15 h/dia para operação dos poços da CAERN nesses municípios. Esse regime foi adotado para todos os poços da CAERN existentes no cadastro compilado e multiplicado pelas respectivas vazões indicadas, obtendo-se então um volume anual explotado para os poços da concessionária de abastecimento público. Para os poços que não possuíam dado de vazão foi adotada a média obtida com os poços com dados de vazão.

| <b>Tabela 12.1. Dados utilizados na definição do regime de operação dos poços</b> |                          |   |   |                                     |
|---|--------------------------|---|---|-------------------------------------|
| <b>Município</b>  | <b>Poços em operação</b> | <b><math>Q_p</math> (m<sup>3</sup>/h)</b> | <b><math>V_{exp}</math> (m<sup>3</sup>/ano)</b> | <b><math>R_{exp}</math> (h/dia)</b> |
| Arez  | 16                       | 120,6                                     | 711.195   | 16                                  |
| Sen. Georgino Avelino   | 2                        | 16,2                                      | 149.761   | 25*                                 |
| Tibau do Sul  | 8                        | 193,8                                     | 1.379.426                                       | 20                                  |
| Goianinha   | 10                       | 133,3                                     | 487.915   | 10                                  |
| Vila Flor   | 2                        | 50,0                                      | 150.949   | 8                                   |
| Canguaretama  | 23                       | 411,9                                     | 3.218.797                                       | 21                                  |
| Baía Formosa  | 8                        | 81,8                                      | 887.190   | 30*                                 |
| <b>Média</b>  |                          |   |   | <b>15</b>                           |

$Q_p$  = somatória da vazão captada pelos poços da concessionária no município;  $V_{exp}$  = volume explotado pela concessionária no município (dados do ano de 2010, disponibilizados pela CAERN);  $R_{exp}$  = regime de operação dos poços; (\*): valores incompatíveis, não foram considerados para cálculo da média.

Para os poços de abastecimento público que contemplam as comunidades, povoados e assentamentos, e são de responsabilidade da prefeitura municipal ou da própria comunidade, foi admitido um regime de exploração de 6 h/dia, com base no cadastro de poços e no levantamento realizado em campo. O mesmo regime foi adotado para os poços para uso industrial e agrícola, pelos mesmos motivos apontados acima. Definido o regime, foi multiplicado pela vazão indicada no cadastro e obtido o volume explotado por poço. Para os poços sem dados de vazão foi adotado o volume médio explotado por esses poços.

Nos poços com demais usos ou sem tipificação de uso foi adotado o regime de 4 h/dia, com base nas informações obtidas no levantamento em campo, que foi multiplicado pela vazão indicada no cadastro e obtidas o volume explotado por poço. Para os poços sem dados de vazão adotou-se a média de cada poço, como nos casos anteriores. A vazão total explotada em cada município corresponde à somatória do volume retirado de todos os poços em operação do cadastro compilado (**Tabela 12.2**).



| Tabela 12.2. Características das unidades hidrogeológicas nos municípios do BLS |                |                 |                |                     |             |                |                     |                |
|---|----------------|-----------------|----------------|---------------------|-------------|----------------|---------------------|----------------|
| Município   | USH            | A               | Poços          |                     |             |                |                     |                |
|   |                |                 | Quant.         | W                   | Prof. Média |                | Q/s média           |                |
|   |                | km <sup>2</sup> | n <sup>1</sup> | m <sup>3</sup> /ano | m           | n <sup>2</sup> | m <sup>3</sup> /h/m | n <sup>3</sup> |
| Arez  | Aluvião        | 2,3             | -              | -                   | -           | -              | -                   | -              |
|   | Barreiras      | 112,6           | 111            | 1.453.554           | 56,0        | 99             | 0,73                | 56             |
|   | R. carbonática | NC              | 1              | 6.949               | -           | -              | -                   | -              |
|   | Misto          | NA              | 5              | 44.345              | 96,0        | 5              | 0,44                | 5              |
|   | <b>Total</b>   |                 | <b>117</b>     | <b>1.504.848</b>    |             |                |                     |                |
| Sen. G. Avelino   | Dunas          | 7,0             | -              | -                   | -           | -              | -                   | -              |
|   | Barreiras      | 26,4            | 30             | 413.767             | 43,0        | 28             | 3,40                | 14             |
|   | <b>Total</b>   |                 | <b>30</b>      | <b>413.767</b>      |             |                |                     |                |
| Canguaretama  | Dunas          | 6,5             | -              | -                   | -           | -              | -                   | -              |
|   | Aluvião        | 21,4            | -              | -                   | -           | -              | -                   | -              |
|   | Barreiras      | 245,5           | 97             | 3.178.954           | 52,0        | 78             | 2,60                | 45             |
|   | <b>Total</b>   |                 | <b>97</b>      | <b>3.178.954</b>    |             |                |                     |                |
| Goianinha   | Aluvião        | 20,8            | -              | -                   | -           | -              | -                   | -              |
|   | Barreiras      | 191,7           | 146            | 1.673.559           | 38,0        | 102            | 1,70                | 47             |
|   | Cristalino     | 0,7*            | -              | -                   | -           | -              | -                   | -              |
|   | <b>Total</b>   |                 | <b>146</b>     | <b>1.673.559</b>    |             |                |                     |                |
| Vila Flor   | Aluvião        | 2,9             | -              | -                   | -           | -              | -                   | -              |
|   | Barreiras      | 47,7            | 14             | 412.160             | 60,0        | 14             | 2,80                | 5              |
|   | <b>Total</b>   |                 | <b>14</b>      | <b>412.160</b>      |             |                |                     |                |
| Baía Formosa  | Aluvião        | 10,2            | -              | -                   | -           | -              | -                   | -              |
|   | Dunas          | 41,9            | -              | -                   | -           | -              | -                   | -              |
|   | Barreiras      | 245,6           | 42             | 930.389             | 59,0        | 37             | 2,40                | 24             |
|   | <b>Total</b>   |                 | <b>42</b>      | <b>930.389</b>      |             |                |                     |                |
| Tibau do Sul  | Aluvião        | 2,7             | -              | -                   | -           | -              | -                   | -              |
|   | Dunas          | 29,1            | -              | -                   | -           | -              | -                   | -              |
|   | Barreiras      | 101,9           | 127            | 2.341.579           | 62,0        | 98             | 1,80                | 60             |
|   | <b>Total</b>   |                 | <b>127</b>     | <b>2.341.579</b>    |             |                |                     |                |
| Bloco Litoral Sul   | Aluvião        | 38,9            | -              | -                   | -           | -              | -                   | -              |
|   | Dunas          | 84,5            | -              | -                   | -           | -              | -                   | -              |
|   | Barreiras      | 971,4           | 567            | 10.403.962          | 52,9        | 456            | 2,20                | 251            |
|   | R. carbonática | NC              | 1              | 6.949               | -           | -              | -                   | -              |
|   | Cristalino     | 0,7*            | -              | -                   | -           | -              | -                   | -              |
|   | Misto          | NA              | 5              | 44.345              | 96,0        | 5              | 0,44                | 5              |
|   | <b>Total</b>   |                 | <b>573</b>     | <b>10.455.256</b>   |             |                |                     |                |

USH: unidades do sistema hidrogeológico; A: área de ocorrência da unidade hidrogeológica; W: retirada de água subterrânea; n<sup>1</sup>: número de poços cadastrados por UHS; n<sup>2</sup>: número de poços com informação de profundidade média; Q/s média: vazão específica média; n<sup>3</sup>: número de poços com informação de vazão específica; NC: não calculado; NA: não se aplica; (-): dado inexistente ou indisponível; (\*): área de afloramento do embasamento cristalino.

### Dunas

São areias eólicas, granulometria fina a média, que ocorrem adjacentes à linha da costa em praticamente toda área, cobrindo uma superfície de 84,9 km<sup>2</sup>. Não foi cadastrado nenhum poço, captando água desses sedimentos. Com exceção do município de Arez, todos os demais municípios do Bloco Litoral Sul contém esta unidade hidrogeológica. As dunas apresentam pouca representatividade como aquífero, haja vista o caráter de disposição das mesmas sobre os sedimentos da formação Barreiras e a elevada condutividade hidráulica, o que condiciona baixa ou nenhuma espessura saturada para esta unidade hidrogeológica. Assim sendo, as dunas desempenham o importante papel de conduzirem as águas de precipitação pluviométrica em direção aos estratos inferiores da formação Barreiras que constitui o aquífero Barreiras.

### Aluvião

São sedimentos formados de areias, argilas e cascalhos, que ocorrem principalmente as margens dos principais rios. Com exceção do município de Senador Georgino Avelino, todos os demais municípios contém esta unidade hidrogeológica, desenvolvendo uma superfície total de 60 km<sup>2</sup> no âmbito do Bloco Litoral Sul. Os sedimentos aluvionares em geral são mais grosseiros na base dos perfis mudando para clásticos mais finos em direção ao topo dos mesmos. São de dimensões reduzidas, limitando-se a espessuras que se estima de 1,0 a 6,0 m. As aluviões apresentam uma comunicação hidráulica direta com as águas do fluxo superficial. Não foram cadastrados poços captando água nessa unidade hidrogeológica.

### Barreiras

É a unidade geológica mais importante do Bloco Litoral Sul por constituir aquífero, reconhecidamente, de elevado potencial hidrogeológico e com águas de boa qualidade em suas condições naturais, o que lhe atribui o caráter de fonte principal de abastecimento das cidades e comunidades em geral e de uso das águas na irrigação de culturas conforme será apresentado posteriormente. O aquífero Barreiras é formado na sua parte inferior por arenitos finos a grosseiros podendo ocorrer intercalações argilosas e na parte superior é composto de arenitos argilosos e argilitos.

Os sedimentos da formação Barreiras, juntamente com as dunas, aluviões e coberturas arenosas superficiais em geral, formam o Sistema Aquífero Barreiras, que abrange uma superfície da ordem de 971,4 km<sup>2</sup> no BLS. Foram cadastrados 567 poços que no conjunto produzem 10,4x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ano. A profundidade média destes é da ordem de 53,0 m e a vazão específica em média de 2,2 m<sup>3</sup>/h/m (**Tabela 12.2**).

O Sistema Aquífero Barreiras constitui o objeto principal deste trabalho e seus parâmetros hidráulicos, comportamento do fluxo subterrâneo, potencialidades, disponibilidades e recursos explotáveis serão avaliados e apresentados nos capítulos subsequentes de forma detalhada e atualizada.

### Rochas carbonáticas

Esta unidade não aflora, ocorrendo em subsuperfície na maior parte do Bloco Litoral Sul. As informações hidrogeológicas são escassas. Apenas um (1) poço foi cadastrado penetrando esta unidade, produzindo 6.949 m<sup>3</sup>/ano ou aproximadamente 0,007x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ano.

As rochas carbonáticas são datadas do cretáceo superior e estão subjacentes ao aquífero Barreiras, desenvolvendo sistemas cársticos e fraturas associadas que permitem o armazenamento de água. Informações de âmbito regional (IPT, 1982 e SERHID, 1998) indicam que são litologicamente constituídas de calcários, folhelhos e arenitos calcíferos.

Foram cadastrados 5 poços mistos, ou seja, penetrando o aquífero das rochas carbonáticas e, captando água desta unidade hidrogeológica e do Barreiras, que produzem um total de 44.345 m<sup>3</sup>/ano ou aproximadamente 0,04x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ano. A profundidade média desses poços é de 96 m e a vazão específica média de 0,44 m<sup>3</sup>/h/m.

### Cristalino

Esta unidade é restrita a porção ocidental da área de estudo, sendo formada de rochas ígneas e metamórficas pré-cambrianas, do embasamento cristalino, cujas águas subterrâneas se armazenam nas zonas de fraqueza das rochas (fendas, falhas e fissuras). Suas potencialidades hidrogeológicas são reconhecidamente baixas e podem apresentar problemas de salinização nas águas. Em subsuperfície, subjacente ao aquífero Barreiras, sua ocorrência é de menor interesse, haja vista a ocorrência expressiva do Sistema Aquífero Barreiras. Não foram cadastrados poços penetrando esta unidade hidrogeológica. No Alto de Goianinha a margem do rio Catu e no povoado homônimo, as rochas cristalinas foram atingidas a uma profundidade de 218 m (**Figura 12.2**).

#### 12.1.4 Potencialidade dos aquíferos e exploração das águas subterrâneas nos municípios do Bloco Litoral Sul

As informações apresentadas neste item são fundamentadas no conteúdo apresentado na **Tabela 12.2**.

##### Água subterrânea no município de Arez

As águas subterrâneas do município de Arez estão armazenadas em três unidades hidrogeológicas, que são: o sistema aquífero Barreiras (SAB), o aquífero das rochas carbonáticas e o aquífero aluvial.

O SAB abrange todo o município de Arez, com uma superfície de 112,6 km<sup>2</sup>. Foram cadastrados 111 poços com produção total de 1.453.554 m<sup>3</sup>/ano ou aproximadamente 1,5x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ano. A profundidade média dos poços é de 56 m, tomando por base informação de 99 unidades (n). A vazão específica média verificada em 56 poços é de 0,73 m<sup>3</sup>/h/m.

O aquífero das Rochas Carbonáticas, em conformidade com a estratigrafia da área, ocorre em subsuperfície em toda área do município de Arez, portanto, abrangendo 112,6 km<sup>2</sup>. O aquífero é muito pouco conhecido e o interesse o pelo mesmo como unidade produtora de água é reduzido, haja vista a ocorrência do SAB com elevada potencialidade e facilidades de captação de água. Foi cadastrado apenas 1(um) poço penetrando esse aquífero, fornecendo 6.949 m<sup>3</sup>/ano ou aproximadamente 0,007x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ano. Em relação a Poços mistos, penetrando o aquífero de rochas carbonáticas e captando água do mesmo e do aquífero Barreiras, foram cadastradas 5 unidades, com produção total de 44.345 m<sup>3</sup>/ano ou 0,04x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ano. A profundidade média desses poços é de 96 m, segundo dados disponíveis de 5 unidades. A vazão específica média dos 5 poços (n) é de 0,44 m<sup>3</sup>/h/m.

As aluviões cobrem uma superfície de 2,3 km<sup>2</sup>. Não foram cadastrados poços nessa unidade.

Tomando o município de Arez como um todo, são 117 poços cadastrados que disponibilizam um volume de 1.504.848 m<sup>3</sup>/ano ou aproximadamente 1,5x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ano de água para o atendimento a população do município nos seus diversos usos.

##### Água subterrânea no município de Senador Georgino Avelino

No município de Senador Georgino Avelino, as águas subterrâneas do SAB ocorrem em toda a área do município, numa superfície de 26,4 km<sup>2</sup>. Foram cadastrados 30 poços que produzem 413.767 m<sup>3</sup>/ano ou aproximadamente 0,4x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ano. Tomando como base dados de profundidade de 28 poços (n), obteve-se

uma profundidade média de 43 m. A vazão específica média dos poços cadastrados é de  $3,4 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$  ( $n=14$ ).

Conforme já apresentado, as dunas, que ocorrem numa área de  $7 \text{ km}^2$ , não constituem aquífero e formam juntamente com os sedimentos Barreiras o SAB. O aquífero das rochas carbonáticas, tal como verificado para o município de Arez, ocorre também em subsuperfície, não se dispondo, entretanto, de informações sobre o mesmo.

#### Água subterrânea no município de Canguaretama

As águas subterrâneas do município de Canguaretama estão armazenadas principalmente no SAB que se desenvolve em todo o município, cuja área é de  $245,5 \text{ km}^2$ . Foram cadastrados 97 poços penetrando o Sistema Aquífero Barreiras, que fornecem  $3.178.954 \text{ m}^3/\text{ano}$  ou aproximadamente  $3,2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ . A profundidade média desses poços, tomando por base a informação existente de 78 unidades ( $n$ ), é de 52 m, e, a vazão específica média de  $2,6 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$  (neste caso para a condição de  $n=45$ ).

As aluviões cobrem uma superfície da ordem de  $21,4 \text{ km}^2$ . São de importância restrita como aquífero, notadamente pela expressiva presença do aquífero Barreiras. As dunas, que ocorrem na área sobre o aquífero Barreiras, numa superfície de  $6,5 \text{ km}^2$ , como já ressaltado, não constituem aquífero, porém, integram o SAB. Não se dispõem de informações sobre as unidades geológicas subjacentes ao aquífero Barreiras representadas rochas carbonáticas e cristalino, como unidades passíveis de constituírem aquífero.

#### Água subterrânea no município de Goianinha

As águas subterrâneas no município de Goianinha estão armazenadas no SAB que abrange praticamente todo o município, com uma superfície da ordem de  $191,7 \text{ km}^2$ .

Foram cadastrados 146 poços no município de Goianinha penetrando o Sistema Aquífero Barreiras, que produzem  $1.673.559 \text{ m}^3/\text{ano}$  ou aproximadamente  $1,7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ . A profundidade média dos poços num universo de 62 unidades ( $n$ ) é de 38 m, e, a vazão específica é de  $1,7 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ , neste caso, com base em informações de 47 unidades ( $n$ ).

No município de Goianinha as águas subterrâneas ocorrem, também, no aquífero cristalino, porém, de forma restrita, numa superfície de apenas  $0,7 \text{ km}^2$ . Em subsuperfície sua ocorrência não é conhecida. Trata-se de um aquífero heterogêneo e anisotrópico, cujas águas se armazenam nas fissuras das rochas. Suas potencialidades conforme já assinalado são reconhecidamente baixas e suas



águas podem apresentar problemas de salinização. No município de Goianinha, não foram cadastrados poços nesta unidade aquífera.

A ocorrência de águas subterrâneas nas rochas carbonáticas no município de Goianinha, em domínio subjacente ao aquífero Barreiras, não é conhecida.

#### Águas subterrâneas no município de Vila Flor

As águas subterrâneas no município de Vila Flor estão armazenadas fundamentalmente no sistema aquífero Barreiras, abrangendo uma superfície de 47,7 km<sup>2</sup>. Foram cadastrados 14 poços com produção total de 412.160 m<sup>3</sup>/ano ou aproximadamente 0,4x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ano. A profundidade média dos poços é 60 m, e, a vazão específica média de 2,8 m<sup>3</sup>/h/m, neste caso, considerando informações de 5 unidades (n = 5). As dunas integram o sistema aquífero Barreiras no domínio de uma área com apenas 0,4 km<sup>2</sup>.

No município de Vila Flor as águas subterrâneas ocorrem de forma restrita nas aluviões, no domínio de uma área de 2,9 km<sup>2</sup>, com pouca importância como unidade produtora de água, diante da expressiva ocorrência do Sistema Aquífero Barreiras. A ocorrência de águas subterrâneas no município de Vila Flor, na unidade geológica subjacente ao sistema aquífero Barreiras, rochas carbonáticas, não é conhecida.

#### Águas subterrâneas no município de Baía Formosa

No município de Baía Formosa as águas subterrâneas estão armazenadas principalmente no SAB, que abrange uma superfície de 245,6 km<sup>2</sup>, ressaltando-se a importância da cobertura de dunas no contexto hidrogeológico, que cobre uma superfície de 41,9 km<sup>2</sup>.

Foram cadastrados 42 poços penetrando o SAB, que produzem um total de 930.389 m<sup>3</sup>/ano ou aproximadamente 0,9x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ano. Num universo de 37 unidades (n), a profundidade média dos poços é de 59 m, e, a vazão específica, com base em informações de 24 unidades (n) é de 2,4 m<sup>3</sup>/h/m.

Ocorrem águas subterrâneas nas aluviões, numa área que atinge 10,2 km<sup>2</sup>, ressalta-se, entretanto, a pouca importância desta unidade como produtora de água diante da expressiva ocorrência do Sistema Aquífero Barreiras. Quanto à ocorrência de águas subterrâneas na unidade geológica representada pelas rochas carbonáticas, subjacentes ao aquífero Barreiras, não se tem informação.

## Águas subterrâneas no município de Tibau do Sul

As águas subterrâneas no município de Tibau do Sul estão armazenadas no Sistema Aquífero Barreiras num área de 101,9 km<sup>2</sup>, com cobertura de dunas em 42% dessa superfície, ou seja, 29,1 km<sup>2</sup>.

Foram cadastrados no município de Tibau do Sul 127 poços penetrando o sistema aquífero Barreiras, que no total produzem 2.341.579 m<sup>3</sup>/ano ou aproximadamente 2,3x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ano. Num universo de 98 unidades (n), a profundidade média dos poços é de 62 m, e, a vazão específica, com base em informações de 60 unidades, é de 1,8 m<sup>3</sup>/h/m. No município de Tibau do Sul ocorrem, também, águas subterrâneas em aluviões, numa área de apenas 2,7 km<sup>2</sup>, ressaltando-se mais uma vez a pouca importância desta unidade como produtora de água diante da notável ocorrência de águas no Sistema Aquífero Barreiras.

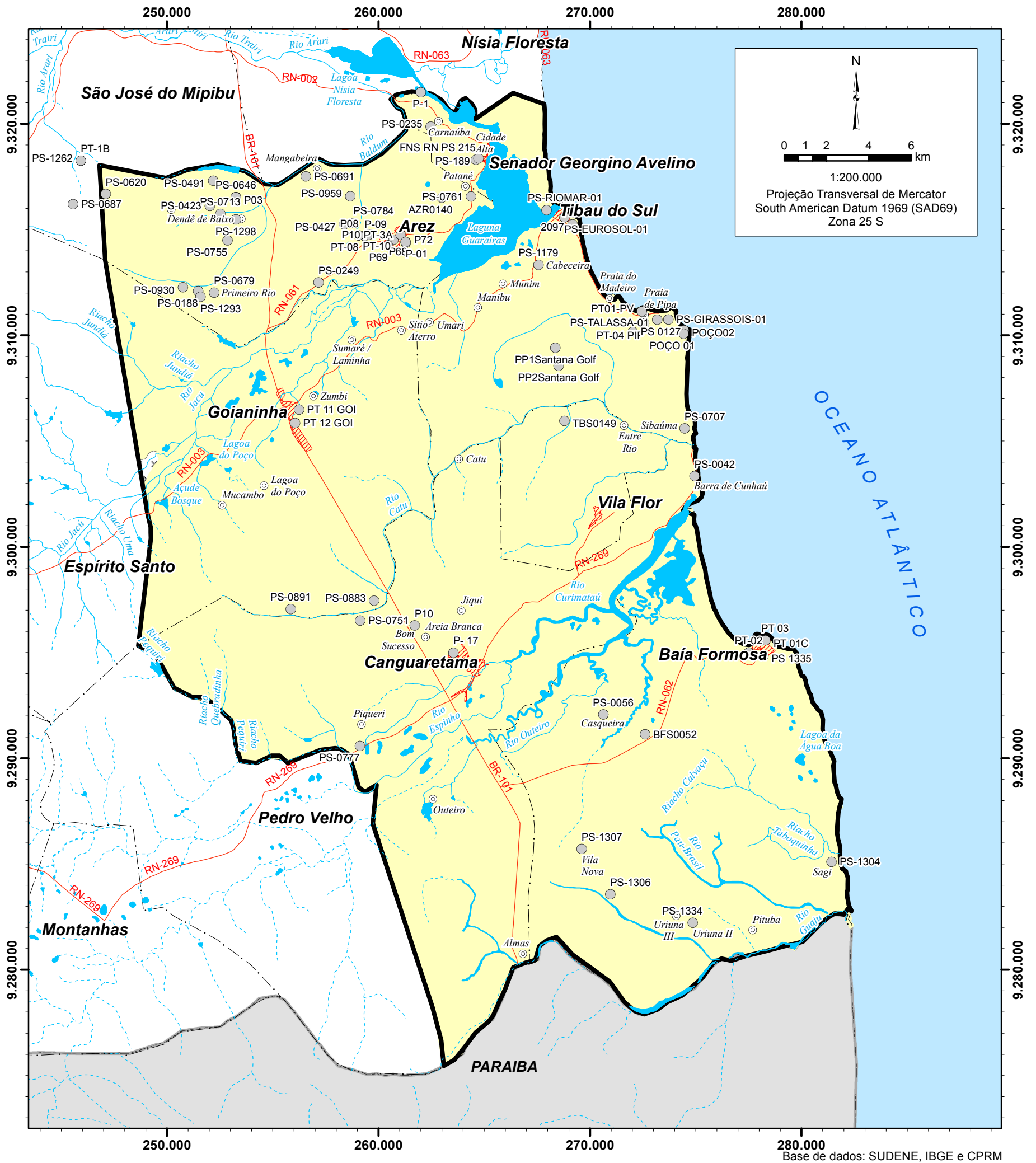
Quanto às rochas carbonáticas, subjacentes ao Sistema Aquífero Barreiras, também não se tem informações sobre as mesmas como unidade produtora de água.

### **12.2 Parâmetros hidráulicos do Sistema Aquífero Barreiras**

Os parâmetros hidráulicos do Sistema Aquífero Barreiras são apresentados inicialmente numa visão global do BLS. Ressalta-se que após as considerações globais alusivas ao BLS, será feita apresentação e discussão dos parâmetros por município.

Nesse contexto, as considerações sobre dimensões, litologia e estrutura serão apresentadas e discutidas com base nos resultados do mapeamento hidrogeológico e em seções hidrogeológicas elaboradas com esta finalidade. Uma primeira indicação do tipo de aquífero quanto às pressões relativas, ou seja, livre, semiconfinado ou confinado, é apresentada. A distribuição espacial dos parâmetros e os correspondentes mapas de curvas de isovalores de espessura e respectivos zoneamentos são apresentados em mapa na escala 1:200.000.

Os parâmetros hidrodinâmicos do Sistema Aquífero Barreiras, que compreendem a transmissividade, condutividade hidráulica, porosidade eficaz e ou coeficiente de armazenamento, juntamente com os demais parâmetros hidráulicos quais sejam: espessura do Sistema Aquífero Barreiras, espessura saturada do aquífero, espessura da camada semiconfinante, são sintetizados sob a forma de tabela (**Apêndice D**) como critério metodológico tendo em vista a elaboração dos respectivos produtos relativos aos mapas hidrogeológicos que constituem a base para a elaboração deste trabalho. Os poços utilizados nas avaliações são distribuídos na **Figura 12.5**.



Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM

#### Aquíferos

- Sistema Aquífero Barreiras
- Cristalino

#### Convenção Cartográfica

- Sedes municipais
- Povoados ou assentamentos
- Estradas pavimentadas
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- Limites municipais
- Área de estudo
- Poços com testes de bombeamento interpretados

Localização da área de estudo



#### Figura 12.5. Localização dos poços e piezômetros utilizados nas avaliações hidrogeológicas no BLS

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO LITORAL SUL DA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL (BLS)

Elaborado por: Servmar Serviços Técnicos Ambientais



Julho de 2012

### 12.2.1 Dimensões, litologia e estrutura do Sistema Aquífero Barreiras no BLS

O Sistema Aquífero Barreiras, no Bloco Litoral Sul, abrange uma superfície efetiva de 970 km<sup>2</sup>. De forma similar ao que se verifica no Bloco Litoral Norte e na Região Metropolitana de Natal, sua espessura varia bastante e está condicionada a ocorrência de falhamentos, o que é bastante comum na área conforme já apresentado.

As espessuras são maiores nos tabuleiros e menores nos vales dos principais rios que drenam a área, cuja configuração está associada, principalmente, aos *grabens* dos rios Jacu e Curimataú (**Figuras 12.2 e 12.3**).

Também, as espessuras tendem a aumentar no sentido oeste-leste, ou seja, do interior, a partir da ocorrência das rochas do embasamento cristalino em superfície, em direção ao mar. Localmente, podem ocorrer alterações nas espessuras do pacote sedimentar, devido à falhamentos que propiciam a formação de *horsts* e *grabens*. A espessura mínima do Sistema Aquífero Barreiras registrada foi de 19 m (poço PT-11-G), no município de Goianinha e, a máxima, de 100 m (Poço 01 e Poço 02, na localidade de Pipa) no município de Tibau do Sul. A espessura média é da ordem de 62 m.

Com base na distribuição dos valores de espessura do sistema aquífero Barreiras, obtidos dos perfis de poços totalmente penetrantes juntamente com a compartimentação estrutural, foi feita a interpolação dos valores e a obtenção do mapa de isópacas (**Figura 12.6**) e em seguida estabelecido o mapa de zoneamento das espessuras (**Figura 12.7**), que permitiu a caracterização de quatro subáreas com a seguinte definição:

- Zona com espessura inferior a 30 m, no domínio dos *grabens* dos rios Jacu e Curimataú, e, no setor centro oeste do Bloco Litoral Sul;
- Zona com espessura compreendida entre 30 e 50 m, que representa uma faixa estreita de transição para a zona com espessura de 50 a 70 m;
- Zona com espessura compreendida entre 50 e 70 m, que se desenvolve nos altos estruturais situados ao norte e sul do *graben* do rio Jacu e ao sul do *graben* do rio Curimataú;
- Zona com espessura superior a 70 m que correspondem aos *grabens* associados a faixa costeira.

O comportamento observado quanto às espessuras saturadas é similar ao das espessuras totais do Sistema Aquífero Barreiras, ou seja, há um aumento das espessuras saturadas no sentido de oeste para leste, em direção ao mar. A

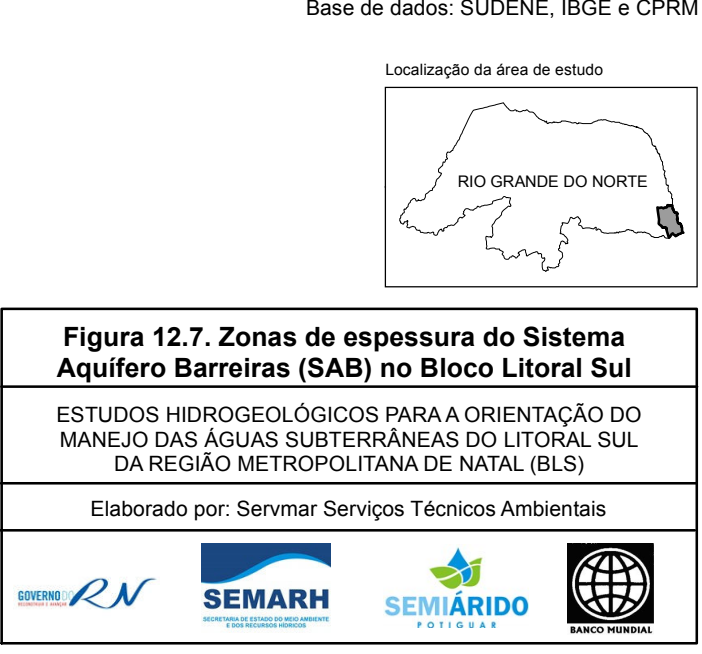
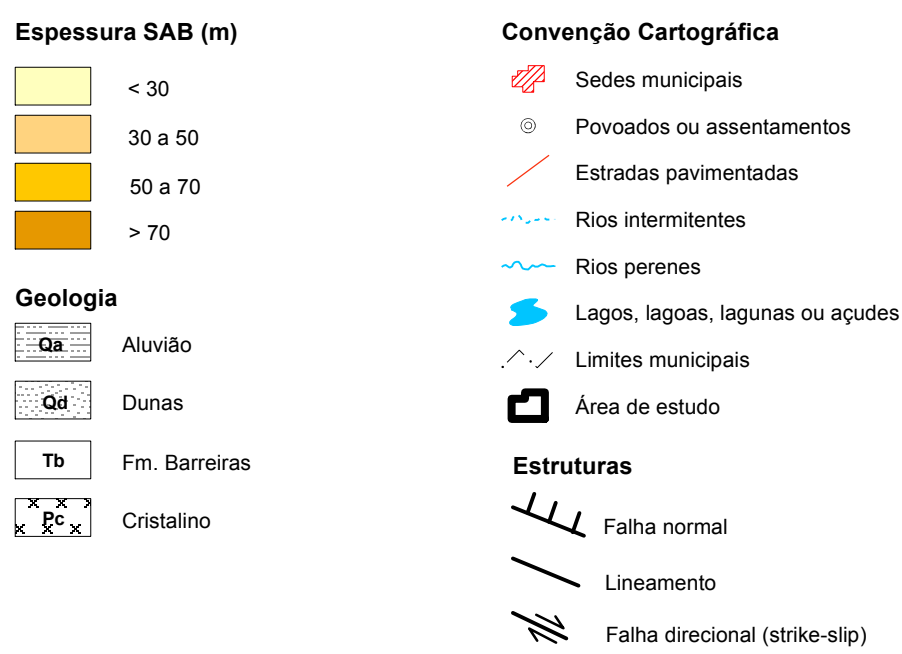
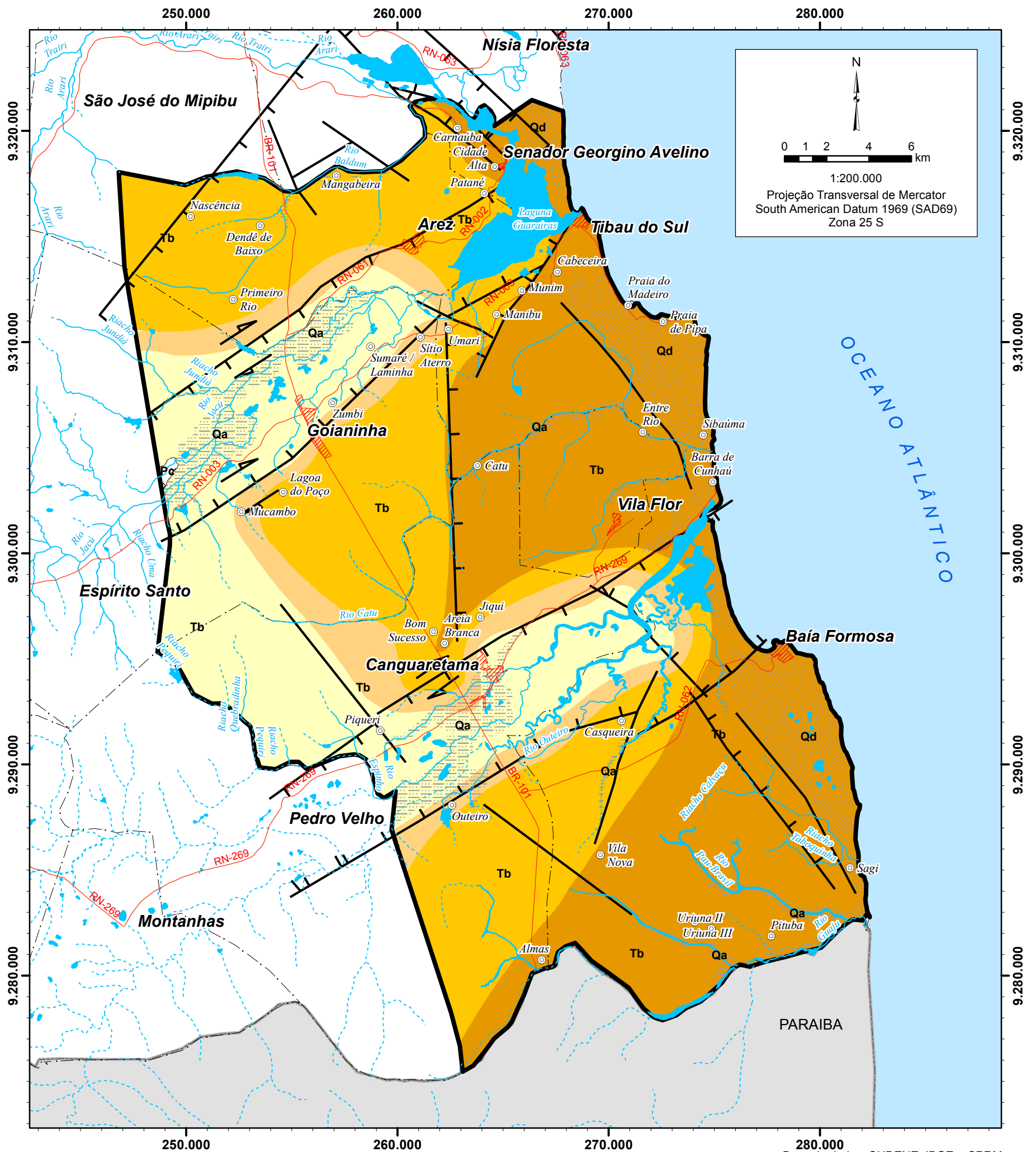
espessura saturada mínima observada foi de 8 m (poço PS-0491 no município de Arez na localidade de Urucará), e, máxima, de 74,8 m (poço 1 localidade Pipa no município de Tibau do Sul). A espessura saturada média avaliada foi de 35,92 m. Foi possível caracterizar a ocorrência de três subáreas de conformidade com suas espessuras saturadas, conforme a seguir (**Figura 12.8**):

- Zona com espessura inferior a 20 m, no setor oeste do Bloco Litoral Sul, notadamente no domínio dos *grabens* de Jacu e Curimataú;
- Zona com espessura saturada entre 20 e 40 m que se desenvolvem de norte para sul numa área extensa de transição para a zona com espessura superior a 40 m;
- Zona com espessura saturada superior a 40 m, no setor oriental do Bloco Litoral Sul, que refletem a presença dos *grabens* associados à faixa costeira.

Para uma melhor caracterização lito-estrutural do Sistema Aquífero Barreiras foram elaboradas seções hidrogeológicas, obtidas a partir da correlação de perfis de poços. As localizações das seções hidrogeológicas podem ser observadas na **Figura 12.9** e, a seguir, as mesmas serão apresentadas individualmente (**Figuras 12.10 a 12.12**) e serão discutidos os aspectos relevantes ao sistema hidrogeológico da área.

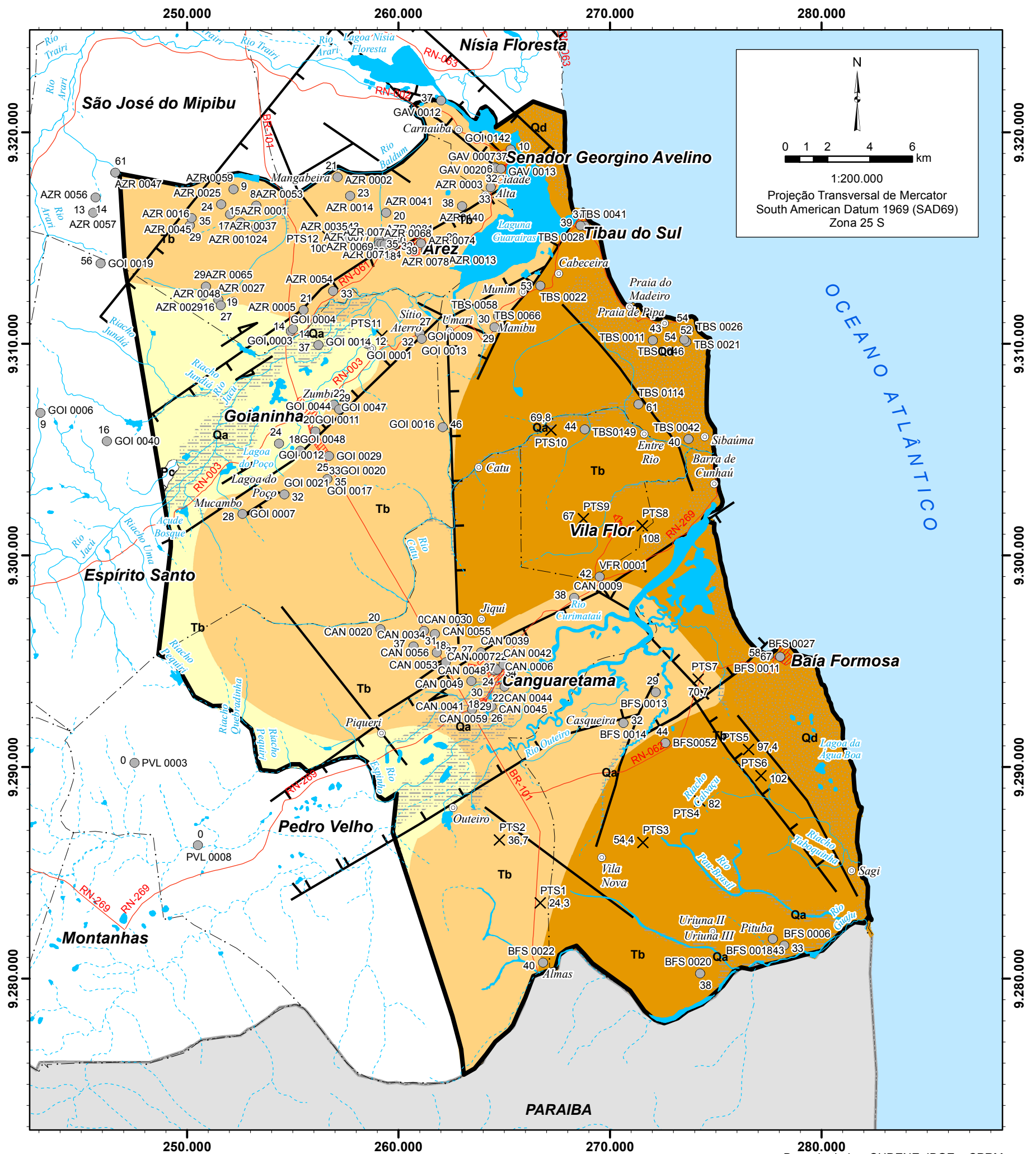






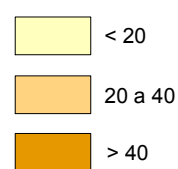
Julho de 2012



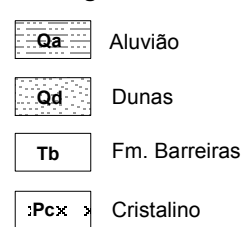


Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM

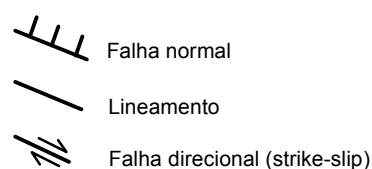
#### Espessura Saturada do SAB (m)



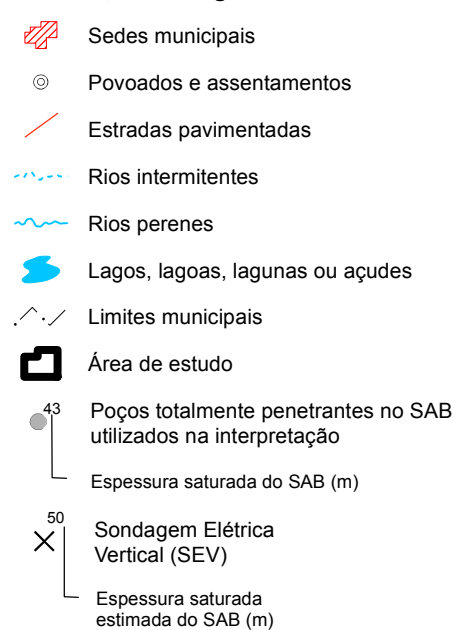
#### Geologia



#### Estruturas



#### Convenção Cartográfica



Localização da área de estudo



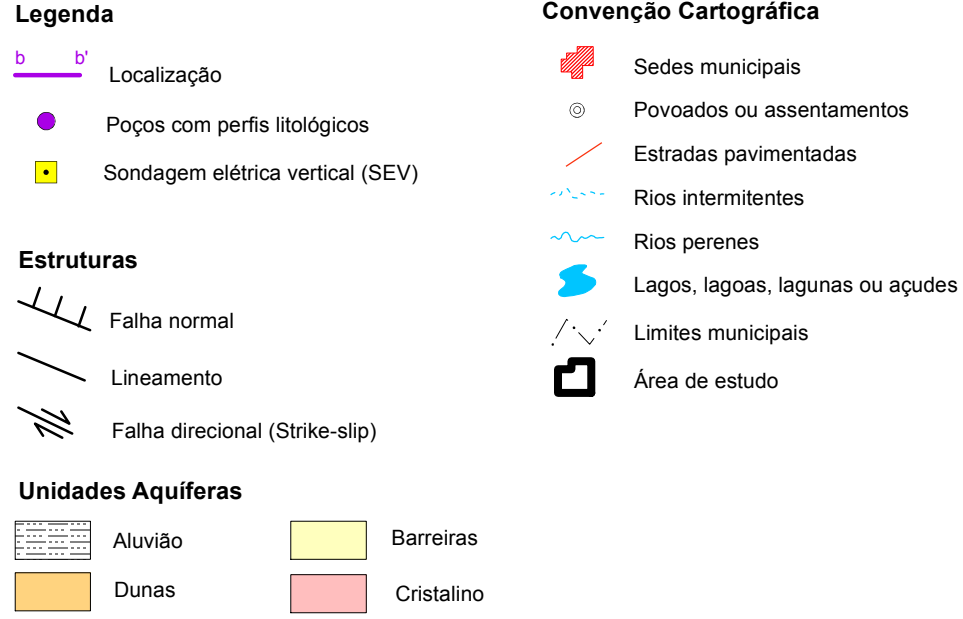
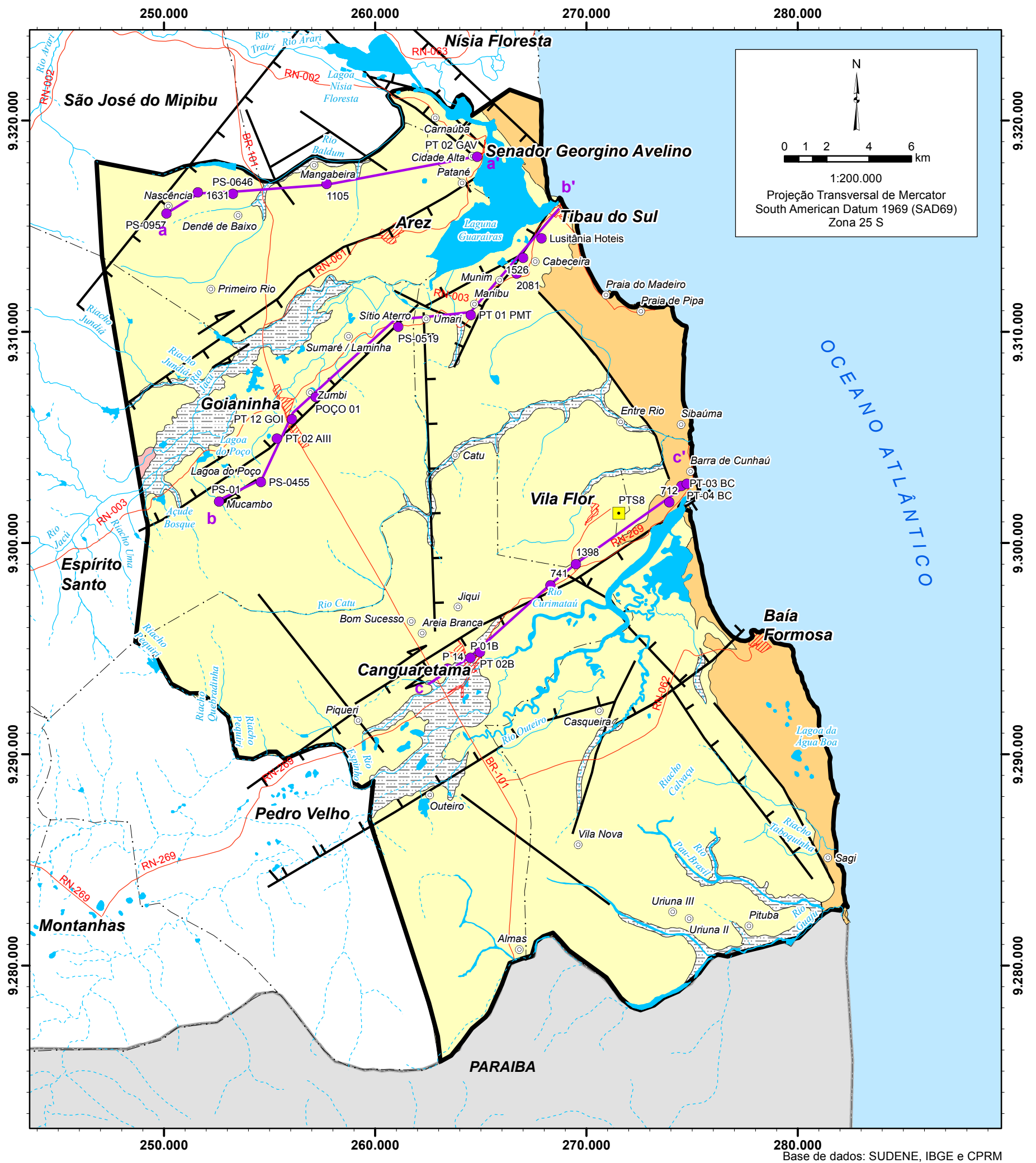
#### Figura 12.8. Zonas de espessura saturada do SAB no Bloco Litoral Sul

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO LITORAL SUL DA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL (BLS)

Elaborado por: Servmar Serviços Técnicos Ambientais

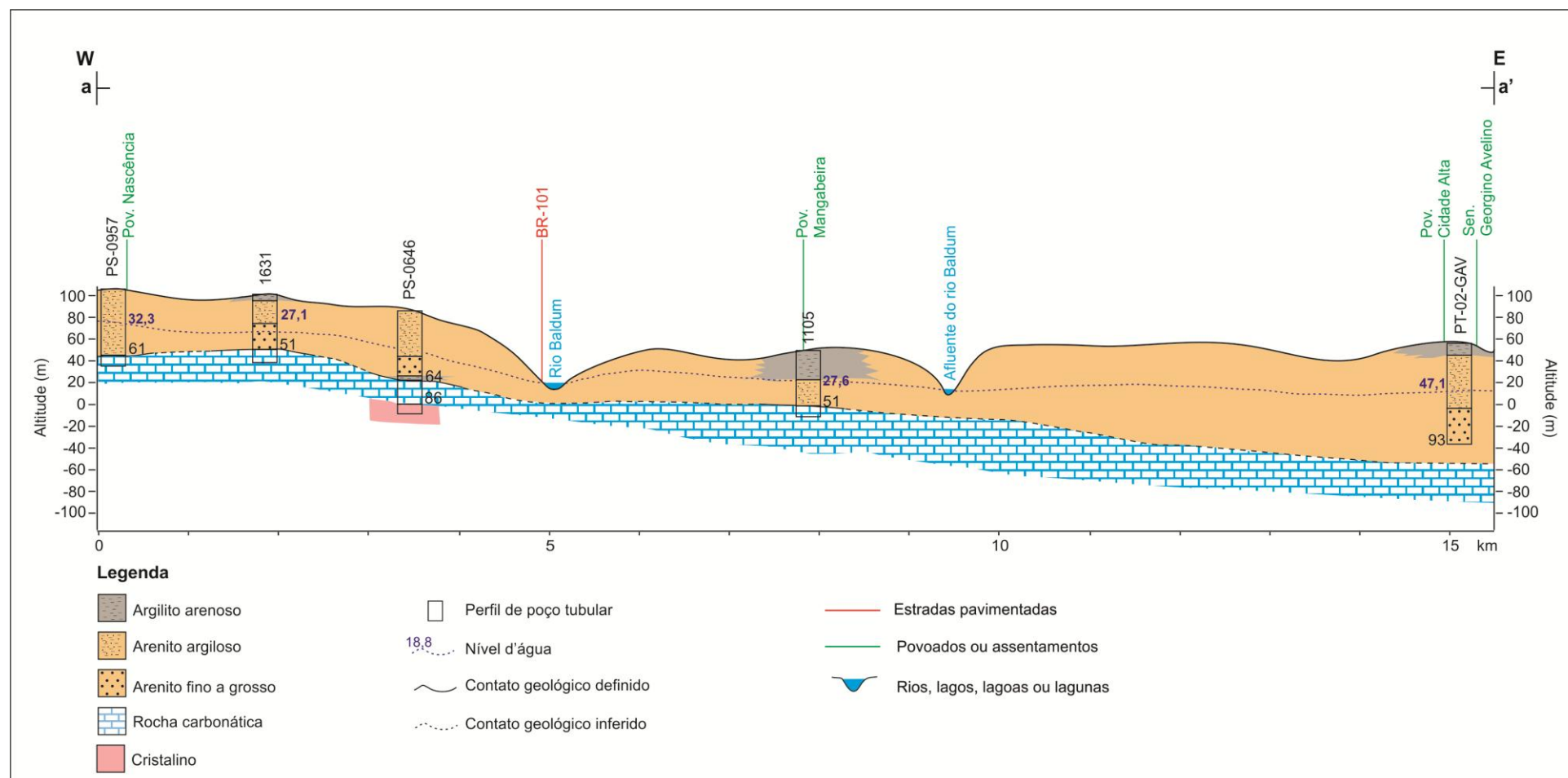


Julho de 2012



Julho de 2012





**Figura. 12.10. Seção hidrogeológica aa'**



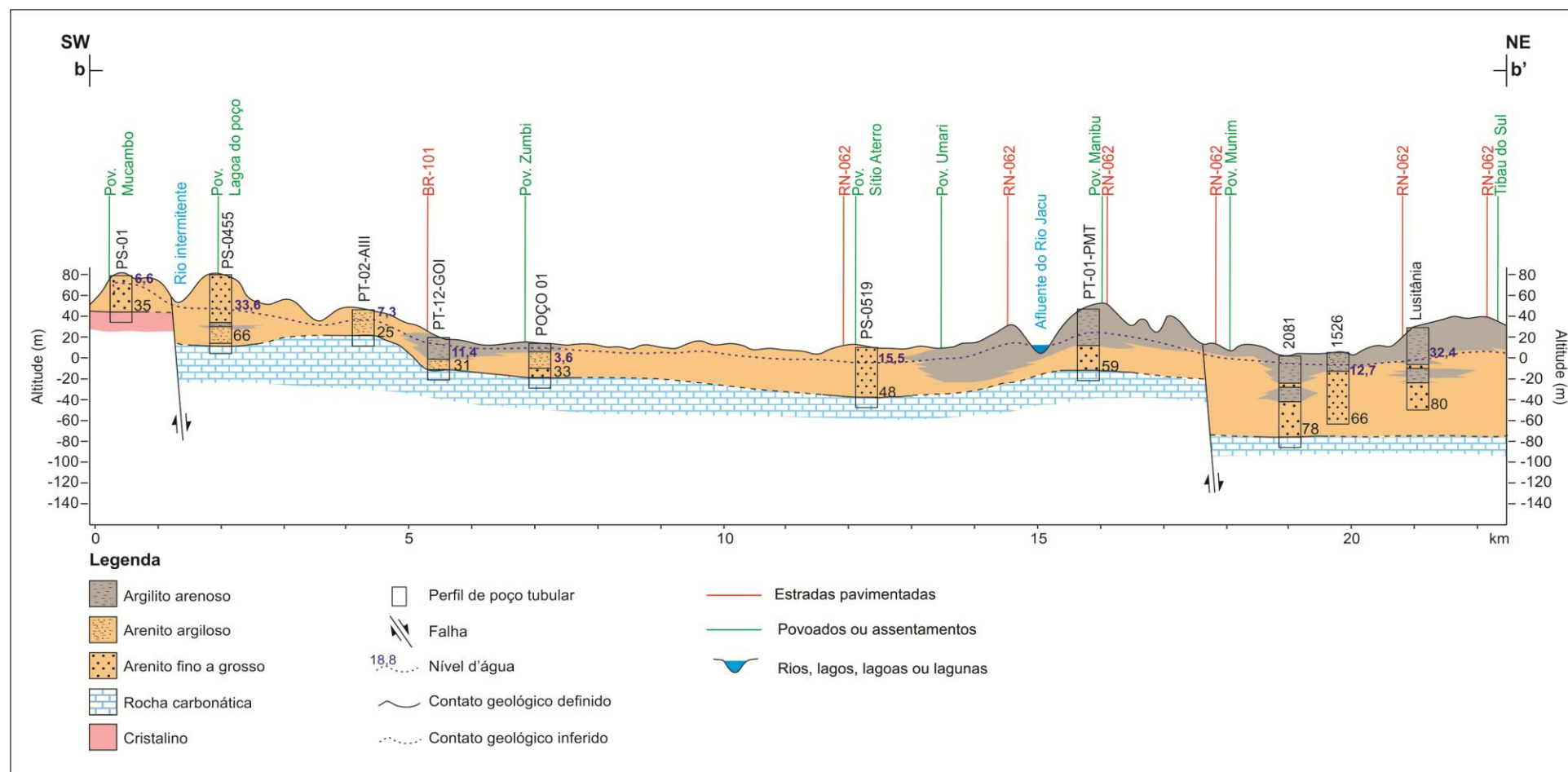
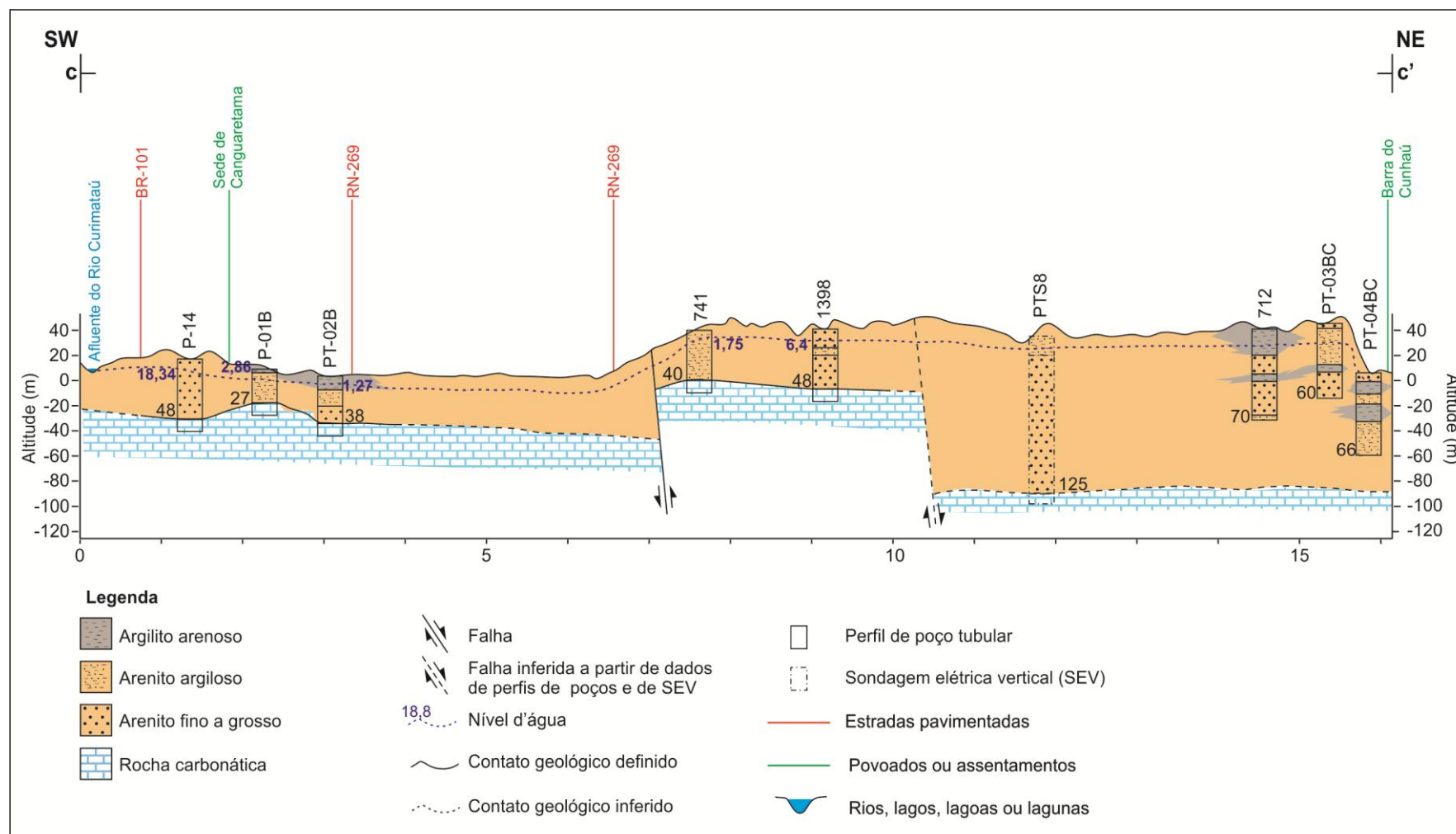


Figura 12.11. Seção hidrogeológica bb'



**Figura 12.12. Seção hidrogeológica cc'**

### Seção hidrogeológica aa' (Figura 12.10)

Trata de uma seção de direção W -L no município de Arez que retrata o comportamento do Sistema Aquífero Barreiras no extremo norte do Bloco Litoral Sul. Pode-se observar que a variação de espessura ao longo da seção sugere ocorrência de falhamento, o que se verifica nas proximidades do Povoado Mangabeira, condicionando maiores espessuras para o SAB nessa direção, e, também a ocorrência do embasamento cristalino a profundidade de 86 m. A parte superior dos perfis é em geral argilosa, com mudanças de argilitos no setor oeste para arenitos argilosos na direção para leste. Na parte inferior tem-se a ocorrência de arenitos argilosos com variação lateral de fácies para arenito fino a grosso, o que neste caso poderia sugerir condições de semiconfinamento, mas que de um modo geral não deve ocorrer, já que o nível d'água está situado abaixo da camada argilosa, com exceção apenas do observado no Povoado Cidade Alta no extremo leste da seção.

### Seção hidrogeológica bb' (Figura 12.11)

Seção de direção SW – NE mostrando o comportamento lito-estrutural a margem direita do rio Jacu, desde imediações da cidade de Goianinha até a cidade de Tibau do Sul. A seção inicia com um falhamento entre o Povoado Mucambo e Lagoa do Poço, no município de Goianinha evidenciado pela presença do embasamento cristalino sob o SAB com profundidades inferiores a 35 m. Entre o Povoado Lagoa do poço até o povoado Sítio Aterro, já próximo à divisa do município de Goianinha com o município de Tibau do Sul, o perfil exhibe espessura pequena para o SAB, o que se verifica por influência do *graben* do rio Jacu. A partir daí os perfis sugerem movimentos alternados de blocos de rocha, para cima e para baixo, que levam à maiores espessuras para o Sistema Aquífero Barreiras no setor oeste. Do ponto de vista litológico verifica-se uma frequente mudança lateral de fácies de arenitos argilosos para arenitos finos a grossos, quer seja atribuído a possível falhamento ou por simples variação faciológica. O perfil, no quadro geral, sugere condições de um sistema aquífero livre para o SAB.

### Seção hidrogeológica cc' (Figura 12.12)

Seção de direção SW-NE a margem esquerda do rio Curimataú, entre as imediações da cidade de Canguaretama e imediações de Vila Flor até Barra de Cunhaú no município de Tibau do Sul, mostrando em toda a porção oeste da seção o SAB com espessura bastante reduzida sob influência do *graben* de Curimataú. Na porção leste da seção, a estrutura geológica favorece o aumento das espessuras do SAB nesta direção. Em termos de litologia dos estratos sedimentares não se percebe maiores diferenças com relação ao já observado, ou seja, os sedimentos são bastante heterogêneos com variação lateral de fácies de arenitos finos a

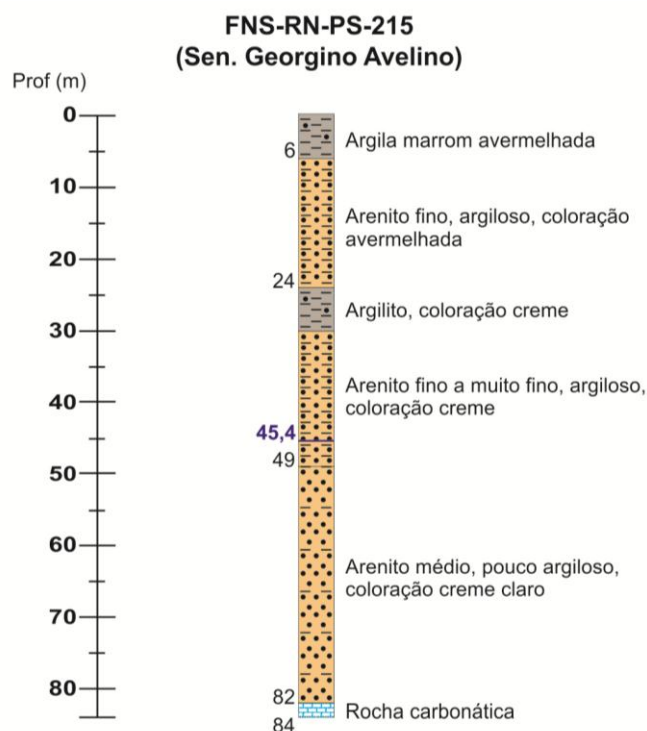
grossos para arenitos argilosos e para argilitos. A configuração da seção no quadro geral indica a condição de um sistema aquífero livre para o SAB.

A seguir será apresentada a discussão sobre o comportamento do Sistema Aquífero Barreiras no âmbito de cada município.

#### Dimensões e litologia do SAB no município de Senador Georgino Avelino

A área de ocorrência do Sistema Aquífero Barreiras no município de Senador Georgino Avelino é de 26,4 km<sup>2</sup>, que corresponde à área do município. Este, está sob influência da Lagoa da Guaraíras que divide o município em duas partes. As informações disponíveis sobre o Sistema Aquífero Barreiras no município de Senador Georgino Avelino são escassas, e são baseadas em dados de quatro (4) poços totalmente penetrantes (**Apêndice D**). As espessuras variam de 30,8 m (PS-0235 na localidade de Carnaúba) a 90 m (Poço PS-189 Sede - Estádio de Futebol), com média de 63,7 m, abrangendo principalmente a faixa de zoneamento da espessura superior a 70 m, e, de forma pouco expressiva, a faixa entre 50 e 70 m (**Figura 12.13**).

A **Figura 12.13** apresenta um perfil litológico de um poço totalmente penetrante representativo do Sistema Aquífero Barreiras no município de Senador Georgino Avelino. São arenitos argilosos e argilitos na parte superior do perfil e arenito médio na parte inferior, com a rocha carbonática sendo atingida a uma profundidade de 82 m.



**Figura 12.13. Perfil litológico em S. Georgino Avelino (poço PS-215 – NE: 45,4 m)**

A espessura saturada varia de 28,8 (Poço PS-0235) a 47,9 m (P-1), com média de 39,14 m (**Apêndice D**). Tomando por base as faixas de espessuras definidas no zoneamento de espessura saturada (**Figura 12.8**), uma parte do município está situada na faixa de espessura saturada superior a 40,0 m, no setor oriental, e a outra parte na faixa identificada de 20 a 40 m, na porção oeste da área.

No município de Senador Georgino Avelino, os sedimentos do Sistema Aquífero Barreiras constituem arenitos argilosos na parte superior dos perfis e na parte inferior são arenitos finos a grossos (setor leste da seção aa', **Figura 12.9**).

#### Dimensões e litologia do SAB no município de Arez

A área de ocorrência do Sistema Aquífero Barreiras no município de Arez corresponde a área do próprio município (112,6 km<sup>2</sup>). Sua superfície é drenada por afluentes da bacia do rio Trairi. O município é limitado no setor leste pela Lagoa de Guaraíras.

Existe um número de informações bastante expressivo do Sistema Aquífero Barreiras no município de Arez, com dados pontuais de 24 poços. A espessura mínima registrada foi de 20 m (PS-0713 na localidade de Rio do Meio) e a espessura máxima foi de 79,0 m (PS-0784 na localidade de Sítio Areias de Cima), com valor médio de 58,9 m (n = 30), conforme tabela apresentada no **Apêndice D**.

Na maior parte da área do município, de conformidade com as faixas de espessura definidas (**Figura 12.6**), o SAB ocorre na faixa de espessura de 50 m a 70 m.

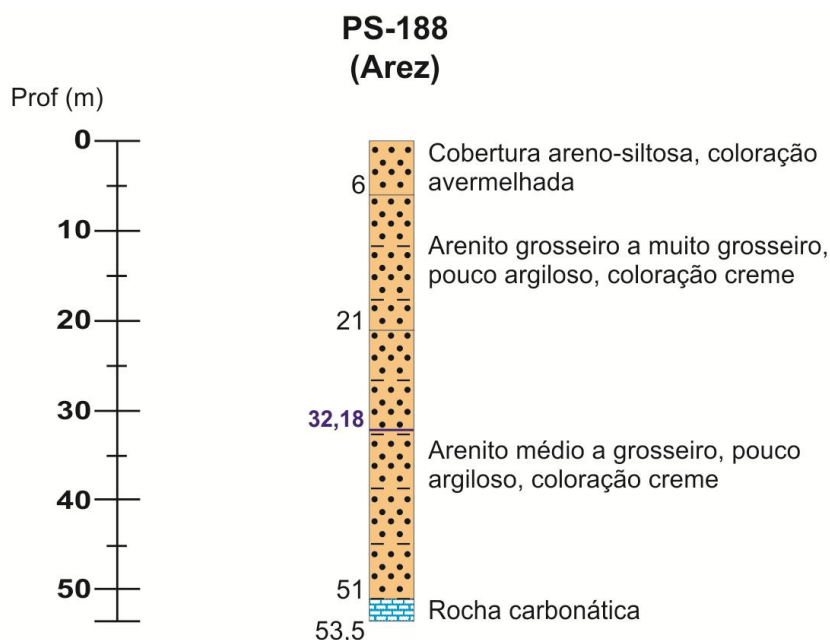
A espessura saturada varia de um mínimo de 8,0 m (PS-0491 na localidade de Urucará) a um máximo de 57,6 m (P-01 na localidade de Bica de Arez). A média da espessura saturada no município obtida foi de 28,20 m (n = 26). No contexto geral definido para o Bloco Litoral Sul (**Figura 12.8**), o município de Arez está situado na faixa de espessura saturada de 20 a 40 m.

No município de Arez, o SAB apresenta uma constituição predominantemente argilosa na parte superior dos perfis, formada de argilitos no setor oeste da área e de arenitos argilosos no setor central e leste; na parte inferior dos perfis são arenitos finos a grossos com variação lateral de fácies para arenitos argilosos. A condição de um sistema aquífero livre é em geral sugerida, já que o nível d'água nos poços está situado abaixo de camadas com características de *aquitarde*. Nos casos de todo o perfil mostrar-se argiloso, as condições de um sistema um aquífero livre fica também caracterizada (**Figura 12.10** e tabela do **Apêndice D**).

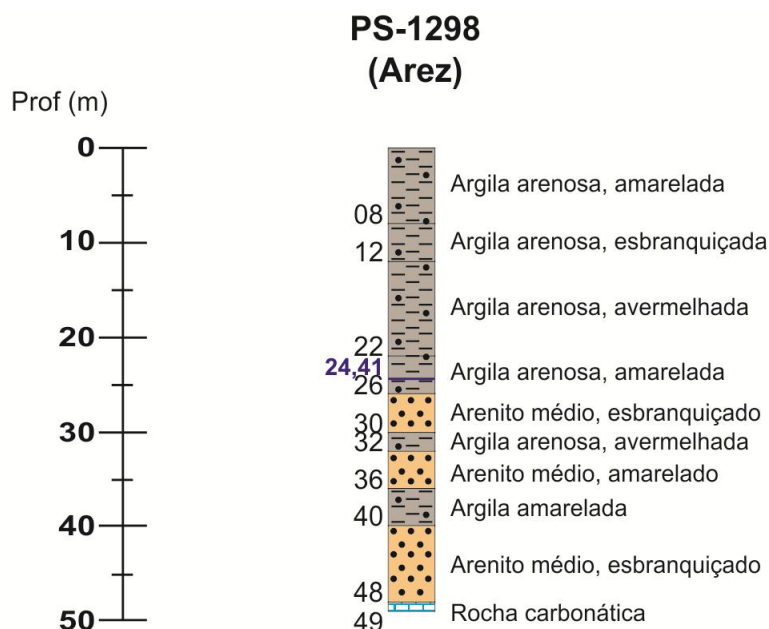
As **Figuras 12.14** e **12.15** apresentam os perfis litológicos de dois poços totalmente penetrantes no Sistema Aquífero Barreiras no município de Arez com características bastante diferentes. Em um deles (PS-188), a espessura do Sistema Aquífero



Barreiras é de 51 m e todo o perfil é constituído de arenitos, sugerindo condições de aquífero livre. No outro poço (PS-1298), a parte superior do perfil é composta de argilito e a parte inferior são arenitos com intercalações de argilito, o que pode gerar condições de semiconfinamento.



**Figura 12.14. Perfil litológico no município de Arez (poço PS-188 - NE: 32,18 m)**



**Figura 12.15. Perfil litológico no município de Arez (poço PS-1298 - NE: 24,41 m)**

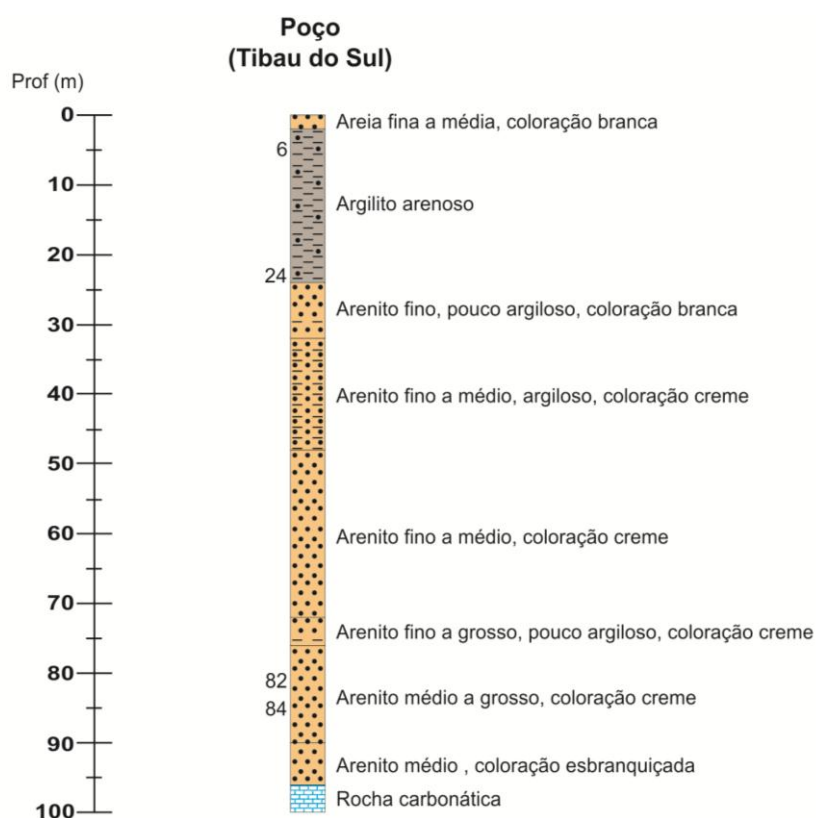
### Dimensões e litologia do SAB no município de Tibau do Sul

O Sistema Aquífero Barreiras ocupa todo o município de Tibau do Sul, cuja superfície é de 101,8 km<sup>2</sup>. Sua superfície é drenada por afluentes dos cursos médio e inferior do rio Catu.

A espessura do SAB varia de um mínimo de 58,0 m (PS-EUROSOL-0,1 na localidade de Pipa) a um máximo de 100 m (Poço 01 e Poço-02, em Pipa), com média de 76,9 m, tomando como base informações de 14 poços. A espessura saturada varia de 24,8 m (PS-EUROSOL-01) e 74,8 m (Poço 01 na localidade de Pipa), com média de 48,38 m (n = 14).

No contexto das faixas de espessura definidas para o bloco como um todo (**Figura 12.7**), o município de Tibau do Sul está situado em geral na faixa de espessuras superior a 70 m, e, de forma pouco expressiva na faixa de 50 – 70 m ao norte do município, contíguo a lagoa de Guaraíras. No que concerne a espessura saturada, a faixa de espessura dominante correspondente é maior que 40 m (**Figura 12.8**).

A seguir, é apresentado o perfil litológico de um poço totalmente penetrante no SAB no município de Tibau do Sul na localidade de Sibaúma, no qual as rochas carbonáticas são atingidas a profundidade de 96 m (**Figura 12.16**). Na parte superior do perfil são argilitos arenosos e arenitos argilosos, e, na parte inferior são arenitos finos a grossos, sugerindo condições de semiconfinamento.



**Figura 12.16. Perfil litológico em Tibau do Sul (poço P-2/Sibaúma – NE: 20,35 m)**

No município de Tibau do Sul, a espessuras do sistema aquífero Barreiras são afetadas por falhamentos, com elevação de bloco entre o Povoado Manibu e o povoado Munim, resultando, localmente, numa redução da espessura, com mais de 66 m (setor leste da seção bb' na **Figura 12.11**).

Os perfis litológicos dos poços na parte superior dos mesmos indicam a presença dominante de argilitos com intercalações de arenitos argilosos, e, na parte inferior são arenitos médios a grossos com variação de fácies para arenitos argilosos. A disposição dos estratos sedimentares, a posição do nível da água nos perfis dos terrenos e o caráter estrutural dominante nas unidades do sistema hidrogeológico do 'Barreiras', no município de Tibau do Sul, sugerem em geral condições de um sistema aquífero livre, apesar de que condições de semiconfinamento existem (**Apêndice D**).

#### Dimensões e litologia do SAB no município de Goianinha

O sistema aquífero Barreiras no município de Goianinha abrange praticamente todo o município, com cerca de 190 km<sup>2</sup>.

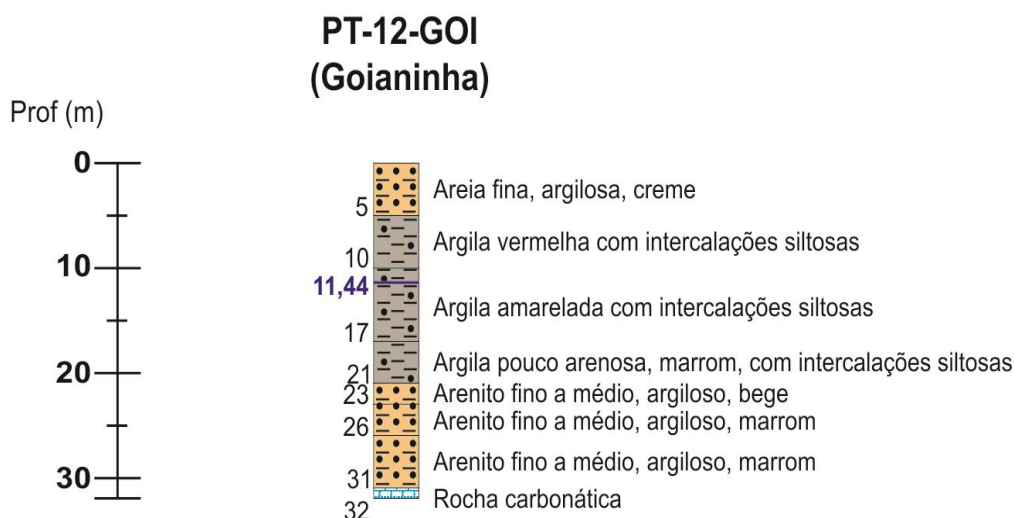
A área de ocorrência do Sistema Aquífero Barreiras é drenada em parte pelo rio Jacu ao norte do município e em parte pelo rio Catu no seu setor sul, ressalta-se, entretanto, grande parte do município está situado sobre o domínio de tabuleiros.

A espessura do Sistema Aquífero Barreiras de acordo com as informações levantadas varia de um mínimo de 19,0 m (poço PT-11-GOI) a 60,0 m (PS-0891, na localidade de Catu/Gruta do Bode), com média de 35,7 m (n = 5), conforme tabela do **Apêndice D**. Com relação à espessura saturada, o valor mínimo obtido foi de 12,5 m (poço P-03) a um máximo de 30,0 (Poço PS-0891), com média de 20,9 m. Essas informações, convém ressaltar, é resultado de uma amostragem de apenas 5 poços, porém, totalmente penetrantes no Sistema Aquífero Barreiras.

No contexto das faixas de espessura definidas (**Figura 12.7**), o Sistema Aquífero Barreiras no município de Goianinha, é assim caracterizado: setor oriental do município, faixa de 50 a 70 m de espessura; setor ocidental do município, espessuras inferiores a 30 m; entre essas ocorrências, uma faixa estreita com espessuras compreendidas entre 30,0 e 50,0 m. Observa-se que as faixas de espessuras de 50 a 70 m, e, 30 a 50 m, para o Sistema Aquífero Barreiras no município de Goianinha foram definidas com base em dados de poços situados nos municípios de Tibau do Sul e Canguaretama, próximo às respectivas divisões municipais, já que não se dispunha de informações nas áreas desse município.

No caso das espessuras saturadas, o município de Goianinha situa-se principalmente na faixa de 20 a 40 m, e, em menor extensão, no setor oeste do município, na faixa de espessura saturada inferior a 20,0 m (**Figura 12.8**).

Os perfis dos poços situados no domínio do município de Goianinha indicam uma constituição bastante argilosa para o Sistema Aquífero Barreiras, sugerindo condições de aquífero livre. A **Figura 12.17** apresenta o perfil litológico de um poço totalmente penetrante no Sistema Aquífero Barreiras (31 m) no município de Goianinha, com essas características.



**Figura 12.17. Perfil litológico em Goianinha (poço PT-12-Goi – NE: 11,44 m)**

#### Dimensões e litologia do SAB no município de Canguaretama

O sistema aquífero Barreiras no município de Canguaretama ocupa toda área do município, com 245,5 km<sup>2</sup>. A área ocorre em grande parte sob o domínio de tabuleiros, sendo drenada parcialmente pelos rios Catu ao norte e Curimataú ao sul.

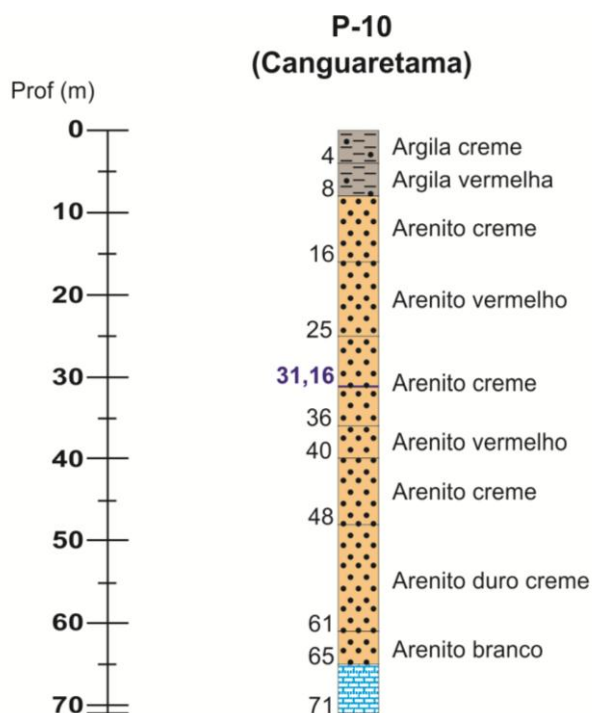
As informações de caráter hidrogeológico do Sistema Aquífero Barreiras são baseadas em um número muito pequeno de dados, de forma que extrapolações serão inevitáveis considerando desta feita a configuração estrutural definida em torno do município. A espessura do Sistema Aquífero Barreiras, de conformidade com as informações levantadas (**Apêndice D**), varia de 30 m (PS-0777 na localidade de Piquiri) a 65 m (P10), com média de 49,6 m (n = 5). A espessura saturada varia de 20,4 m (poço PS- 0751 na localidade de Catu) a 53,0 m (poço PS – 0042 na localidade de Barra do Cunhaú-Aquatec), com média de 33,81 m (n = 5).

No contexto das faixas de espessuras definidas para o SAB (**Figura 12.7**), no vale do rio Curimataú prevalecem as espessuras inferiores a 30 m; na parte norte do município verifica-se na direção de oeste para leste a ocorrência de todas as faixas, desde inferior a 30 m até superior a 70 m; ao sul do município, as espessuras

compreendidas entre 50 a 70 m prevalecem. Quanto às faixas de espessura saturada (**Figura 12.8**) predomina a faixa entre 20 e 40 m no contexto geral.

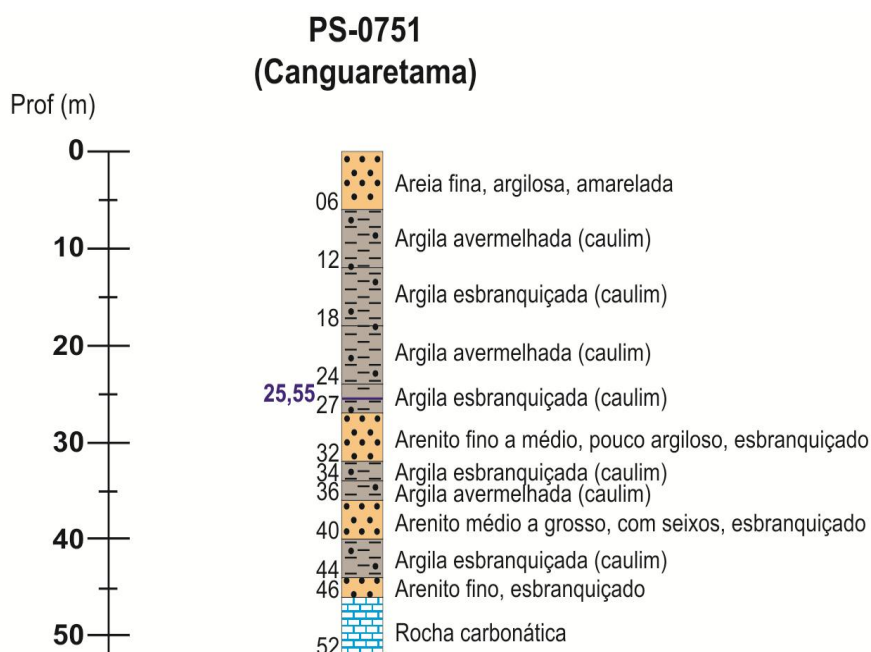
A constituição litológica e estrutural da área do município de Canguaretama pode ser em parte visualizada na seção hidrogeológica cc' (**Figura 12.11**) que atravessa todo o município na direção de maior extensão. No âmbito de toda a seção, os perfis sugerem a ocorrência de um sistema aquífero livre com uma mudança lateral acentuada de fácies de arenito fino a grosso para arenitos argilosos e argilitos. Observa-se também o controle estrutural, no qual as pequenas espessuras no setor oeste são influência do *horst* do rio Curimataú e no setor leste, novos falhamentos são sugeridos em função das variações de espessura do Sistema Aquífero Barreiras. A avaliação do comportamento estrutural do Sistema Aquífero Barreiras foi em parte prejudicada pela ausência de poços totalmente penetrantes na extremidade leste do município, notadamente na localidade de Barra do Cunhaú.

As **Figuras 12.18** e **12.19** apresentam perfis de dois poços totalmente penetrantes no Sistema Aquífero Barreiras no município de Canguaretama com características bem diferenciadas. O poço P-10 exibe uma constituição litológica predominantemente arenosa, sendo formado por arenitos característicos de aquífero livre e, o poço PS-0751 que apresenta argilitos na parte superior do perfil e argilitos com intercalações de arenito na parte inferior. Neste caso, condições de semiconfinamento podem ocorrer.



**Figura 12.18. Perfil litológico em Canguaretama (poço P-10 – NE: 31,16 m)**





**Figura 12.19. Perfil litológico em Canguaretama (poço PS-0751 – NE: 25,55 m)**

#### Dimensões e litologia do SAB no município de Vila Flor

O sistema aquífero Barreiras abrange todo o município de Vila Flor, cuja superfície é de 47,7 km<sup>2</sup>. Todo o setor norte do município está situado sobre os tabuleiros do 'Barreiras', e, a parte sul, é cortada e drenada por um afluente do rio Catu.

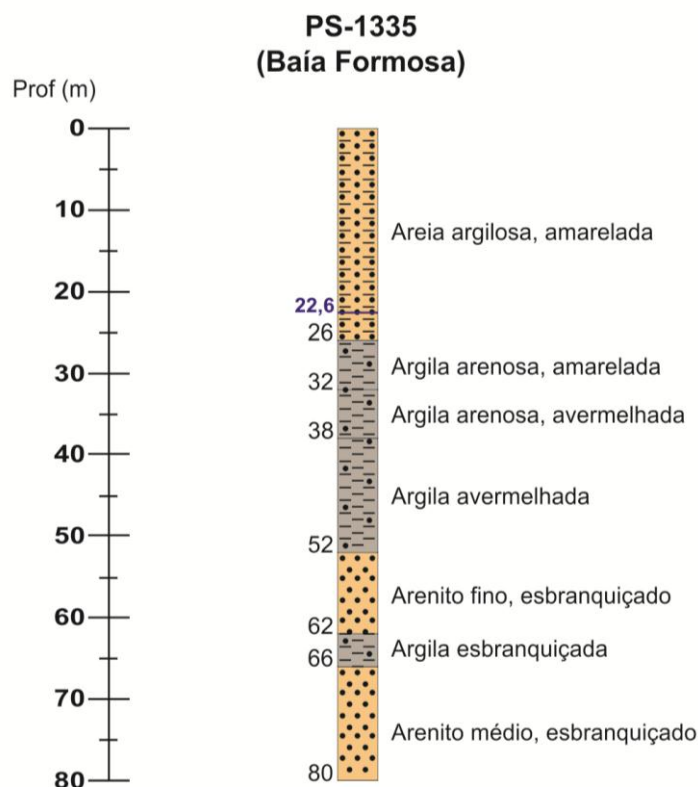
As informações hidrogeológicas apresentadas são fruto da interpretação e extrapolação de dados hidrogeológicos e estruturais associados aos municípios vizinhos, no caso Tibau do Sul e Canguaretama.

A maior parte do município está situada na faixa de espessura total do SAB superior a 70 m, e, espessura saturada superior a 40 m, de conformidade com as avaliações efetuadas num contexto mais regional.

#### Dimensões e litologia do SAB no município de Baía Formosa

Tal como ocorre com a maioria dos municípios do Bloco Litoral Sul, o Sistema Aquífero Barreiras abrange todo o município de Baía Formosa, cuja superfície é da ordem de 245,5 km<sup>2</sup>. O município é drenado ao norte pelo rio Curimataú e ao sul por afluentes do rio Guaju, que faz fronteira com o Estado da Paraíba.

A **Figura 12.20** apresenta o perfil litológico padrão identificado para o município de Baía Formosa com a seguinte constituição litológica: arenitos argilosos e argilitos na parte superior do perfil e arenito com intercalação argilosa na parte inferior.



**Figura 12.20. Perfil litológico no município Baía Formosa (poço PS-1335 - NE: 22,6 m)**

A espessura do sistema aquífero Barreiras varia de 54,0 m (PS – 1306 na localidade de Sítio Santa Luzia) a 80,5 m (poço PT – 1B - Captação da CAERN), com média de 71,7 m ( $n = 11$ ). A espessura saturada varia de 24,9 m (PS-1306) a 62,3 m (P-01A -181), com média de 45,0 m ( $n = 11$ ), conforme **Apêndice D**.

Praticamente, todo o município está situado na faixa de espessura do SAB superior a 70 m (**Figura 12.7**) e de espessura saturada superior a 40 m, conforme a **Figura 12.8**.

Os perfis litológicos no município de Baía Formosa são em geral argilosos e sugerem condições de aquífero livre, com ocorrência localizada de condições de semiconfinamento. Ocorre variação lateral de fácies de argilito para arenitos argilosos.

### 12.2.2 Parâmetros hidrodinâmicos do Sistema Aquífero Barreiras

Após a caracterização do Sistema Aquífero Barreiras nos seus aspectos dimensionais, litológicos e estruturais, serão avaliados os seus parâmetros hidrodinâmicos que compreendem efetivamente a transmissividade, condutividade hidráulica, coeficiente de armazenamento e ou porosidade específica. Esses parâmetros serão fundamentais nas avaliações potenciais e efetivas dos recursos de águas subterrâneas, que inclui reservas, recarga e recursos exploráveis, além do

estudo das relações águas subterrâneas com as águas superficiais. A concepção do modelo hidrogeológico conceitual, a realização de balanços hidrogeológicos e a elaboração da carta hidrogeológica do Bloco Litoral Sul é possível mediante o conhecimento desses parâmetros associado ao conhecimento adquirido sobre a ocorrência de águas subterrâneas nos seus aspectos dimensionais e estruturais já levados a efeito no âmbito deste trabalho.

Os parâmetros hidrodinâmicos do Sistema Aquífero Barreiras no Bloco Litoral Sul serão apresentados com base na interpretação de resultados de testes de bombeamento disponibilizados pela SEMARH, CAERN, IDEMA e empresas de perfuração de poços.

Para efeito de interpretação foram considerados apenas os dados que se mostraram confiáveis na avaliação previamente realizada. Prioritariamente, serão utilizados os resultados dos ensaios em poços totalmente penetrantes. Entende-se que a utilização de dados nas condições de poço com penetração parcial poderá levar mais facilmente a uma subavaliação dos recursos disponíveis.

O **Apêndice D** resume os valores dos parâmetros hidrodinâmicos obtidos para o Bloco Litoral Sul que compreende transmissividade (T), condutividade hidráulica (K) e porosidade efetiva ( $\mu$ ) e/ou coeficiente de armazenamento (S) do Sistema Aquífero Barreiras. Além desses parâmetros, a tabela contém informações sobre os seguintes parâmetros hidráulicos: vazão específica de poço (Q/s); espessura do Sistema Aquífero Barreiras (EaB); espessura saturada do aquífero ( $h_0$  no caso do aquífero se comportar como livre e b, no caso do aquífero se comportar semiconfinado); e condutividade hidráulica do *aquífero*. Poços indicados por um asterisco na tabela do **Apêndice D** correspondem a poços cujas vazões específicas foram utilizadas na avaliação da transmissividade do aquífero no local.

Os parâmetros hidrodinâmicos do Sistema Aquífero Barreiras apresentados foram obtidos com os seguintes procedimentos:

- Utilização de parâmetros de estudos anteriores, fruto da análise de resultados de testes de aquífero com dispositivo (s) de poço de observação (piezômetros);
- Interpretação de resultados de testes de bombeamento de poço de produção ou de dados já existentes de poços do cadastro;
- Estimativa da transmissividade do aquífero e da condutividade hidráulica a partir do conhecimento da vazão específica do poço.

Os parâmetros hidrodinâmicos, transmissividade e condutividade hidráulica, avaliados no âmbito deste trabalho, em sua maioria, foram resultados da interpretação de dados de testes de bombeamento, utilizando os dados do próprio poço bombeado, já que nesses casos não se dispunha de dados de poço de

observação (piezômetros). Na interpretação dos resultados foi utilizando o software *AquiferTest* da Schlumberger Water Services. Foi aplicado o método aproximativo de Cooper-Jacob que é válido para aquíferos confinados, porém aplicáveis a condição de aquífero livre mediante correção dos rebaixamentos. As equações utilizadas na avaliação da transmissividade e condutividade hidráulica foram as seguintes:

$$\Delta s = \frac{0,183 Q}{T} \log \frac{t_2}{t_1}$$

$$T = kb \text{ ou } T = kh_0$$

Onde:

$\Delta s$ : variação de rebaixamento em m entre os correspondentes tempos  $t_1$  e  $t_2$ ;

Q: vazão bombeada em  $m^3/s$  (mantida constante durante o bombeamento);

T: transmissividade do aquífero em  $m^2/s$ ;

K: condutividade hidráulica em m/s;

b: espessura saturada do aquífero, no caso de aquífero confinado e  $h_0$  a espessura do aquífero, no caso do aquífero livre.

No caso do aquífero ser caracterizado como livre, os rebaixamentos, sempre que necessário devem ser submetidos à correção de Jacob definida pela seguinte equação:

$$s' = s - \frac{s^2}{2h_0}$$

Onde:

$s'$ : rebaixamento corrigido em m;

s: rebaixamento observado em m;

$h_0$ : espessura saturada do aquífero em m.

O método de Cooper-Jacob aplicado é uma simplificação do método de Theis, para a condição de tempo de bombeamento grande e menores distâncias ao poço bombeado. Assim sendo, o método pode ser aplicado na estimativa dos parâmetros T e K no próprio poço bombeado tal como foi realizado. Os coeficientes de armazenamento, entretanto não puderam ser avaliados por não se dispor de resultados de teste em poço de observação (piezômetro).

O procedimento de aplicação do método de Cooper-Jacob consiste na caracterização de uma reta em uma representação gráfica dos rebaixamentos ao longo do tempo (tempo em escala logarítmica) em função da vazão bombeada. O **Apêndice E** apresenta os resultados dos testes e os respectivos gráficos interpretativos obtidos.

Durante o processo de interpretação procurou-se identificar o trecho mais reto possível, da disposição dos pontos de rebaixamento ao longo do tempo, na representação semilogarítmica dos dados. Os pontos iniciais da representação gráfica, sempre que suspeitos, foram desprezados, haja vista as dificuldades de

uma medição precisa dos níveis dinâmicos, já que os abaixamentos do nível de água no início dos testes ocorrem com uma velocidade muito maior. O trecho final, em grande parte dos casos, com a propagação do cone de rebaixamento estão sujeitos a interferências, inclusive recarga da própria água bombeada, de forma que os mesmos foram também desprezados, sempre que necessário. Assim sendo, dentro do possível e necessário, a regra foi priorizar os trechos intermediários. Em muitos casos, entretanto, os rebaixamentos nos tempos iniciais não foram registrados, de forma que os primeiros rebaixamentos registrados podem fazer parte do trecho reto caracterizado no gráfico.

Convém ressaltar, que as estimativas dos parâmetros hidrodinâmicos feitas a partir dos dados dos abaixamentos obtidos no próprio poço bombeado expressam de forma aproximada as potencialidades.

Tendo em vista um maior detalhamento dos estudos na escala de trabalho proposta, poços sem resultado de testes, porém com dados de vazão específica, foram avaliados e, dentro do possível, utilizados na avaliação da transmissividade e da condutividade hidráulica do Sistema Aquífero Barreiras.

O procedimento adotado na avaliação da transmissividade a partir da vazão específica foi a utilização da fórmula sugerida por Custódio e Llamas (2001):

$$T = 1,4 q$$

Onde:

q é a vazão específica em m<sup>2</sup>/dia/m.

A adoção dessa fórmula na avaliação pretendida, parte do pressuposto de que a vazão específica é independente da vazão e só depende das características do aquífero. O método foi desenvolvido para as condições de um aquífero confinado, entretanto o mesmo pode ser aplicado no caso de aquíferos livres em condições similares ao que se faz com a aplicação do método de Cooper Jacob, ou seja, convém utilizar os rebaixamentos corrigidos sempre que necessário. Os valores de vazão específica disponíveis são em geral superiores aos valores reais, dado o curto período de bombeamento dos poços ou condições precárias de realização dos testes, de forma que nas estimativas de transmissividade procurou-se dentro do possível considerar esta realidade, a fim de evitar superavaliação de resultados. Também, convém lembrar que o bombeamento de um poço em um aquífero livre com poucas horas de bombeamento comporta-se como confinado, portanto a correção de Jacob não é aconselhada.

Para utilização da equação  $T = 1,4q$  foi feito um teste com a aplicação da mesma em poços com transmissividade já conhecidas, e, se obteve resultados satisfatórios na avaliação geral (**Tabela 12.3** e **Figura 12.21**), de forma similar ao que aconteceu



nos estudos desenvolvidos para a Região Metropolitana de Natal e para o Bloco Litoral Norte.

Conforme já apresentado, os valores de transmissividade obtidos por este método correspondem aos com valores de T com asterisco na tabela do **Apêndice D**.

| Tabela 12.3. Transmissividade e vazão específica do SAB no BLS |                             |                             |                            |
|--|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Poço   | T(x)<br>m <sup>2</sup> /dia | T(y)<br>m <sup>2</sup> /dia | Q/s<br>m <sup>3</sup> /h/m |
| PS-0713  | 74,13                       | 107,52                      | 3,2                        |
| PS-0423  | 7,80                        | 13,78                       | 0,4                        |
| PS-930   | 11,40                       | 9,07                        | 0,3                        |
| PS-1298  | 1,14                        | 4,70                        | 0,1                        |
| PS-188   | 12,90                       | 13,10                       | 0,4                        |
| P – 03   | 27,12                       | 26,20                       | 0,8                        |
| P – 08   | 28,68                       | 30,24                       | 0,9                        |
| P – 10   | 52,27                       | 50,40                       | 1,5                        |
| PT - 3 <sup>a</sup>  | 21,90                       | 20,16                       | 0,6                        |
| P – 09   | 59,70                       | 63,84                       | 1,9                        |
| P – 10   | 120,00                      | 50,40                       | 1,5                        |
| P -01  | 11,57                       | 16,80                       | 0,5                        |
| FNS RN PS 215  | 81,50                       | 84,00                       | 2,5                        |
| PT 01 – PV   | 200,00                      | 168,00                      | 5,0                        |
| P - 1B   | 432,00                      | 369,60                      | 11,0                       |
| PS – 0056  | 7,68                        | 11,76                       | 0,4                        |
| PT -12 GOI   | 55,03                       | 40,32                       | 1,2                        |
| PP1 SANTANA GOLF   | 172,80                      | 80,64                       | 2,4                        |
| PP2 SANTANA GOLF   | 146,80                      | 84,00                       | 2,5                        |

T(x): valores de transmissividade obtidos com base na interpretação de testes de bombeamento;  
T(y): valores de transmissividade obtidos a partir da equação  $T=1,4q$  (Custódio e Llamas, 2001); Q/s: valores de vazão específica.

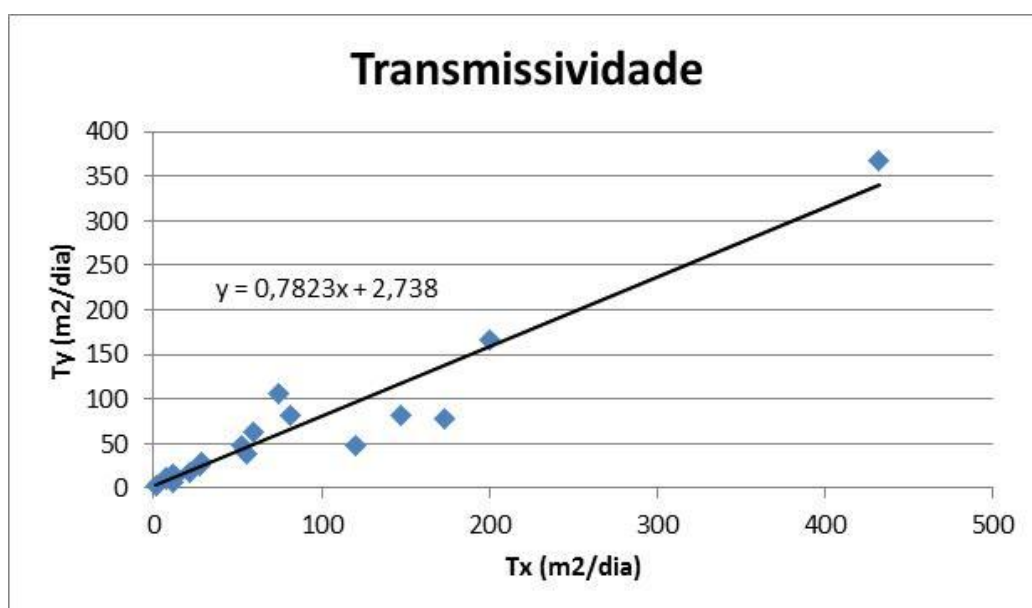


Figura 12.21. Diagrama de dispersão “T(y)/T(x)” com tendência linear

Após a consolidação dos valores de transmissividade do Sistema Aquífero Barreiras no Bloco Litoral Sul e a distribuição dos pontos (com valores de transmissividade) procedeu-se a elaboração do mapa de zoneamento das transmissividades (**Figura 12.22**) na escala 1:200.000.

O valor máximo de transmissividade obtido foi de 436,8 m<sup>2</sup>/dia (poço PT 01C, Escritório da CAERN, no município de Baía Formosa) e o mínimo de 1,14 m<sup>2</sup>/dia (poço PS-1298, na localidade de Dendê de Baixo/escola, no município de Arez).

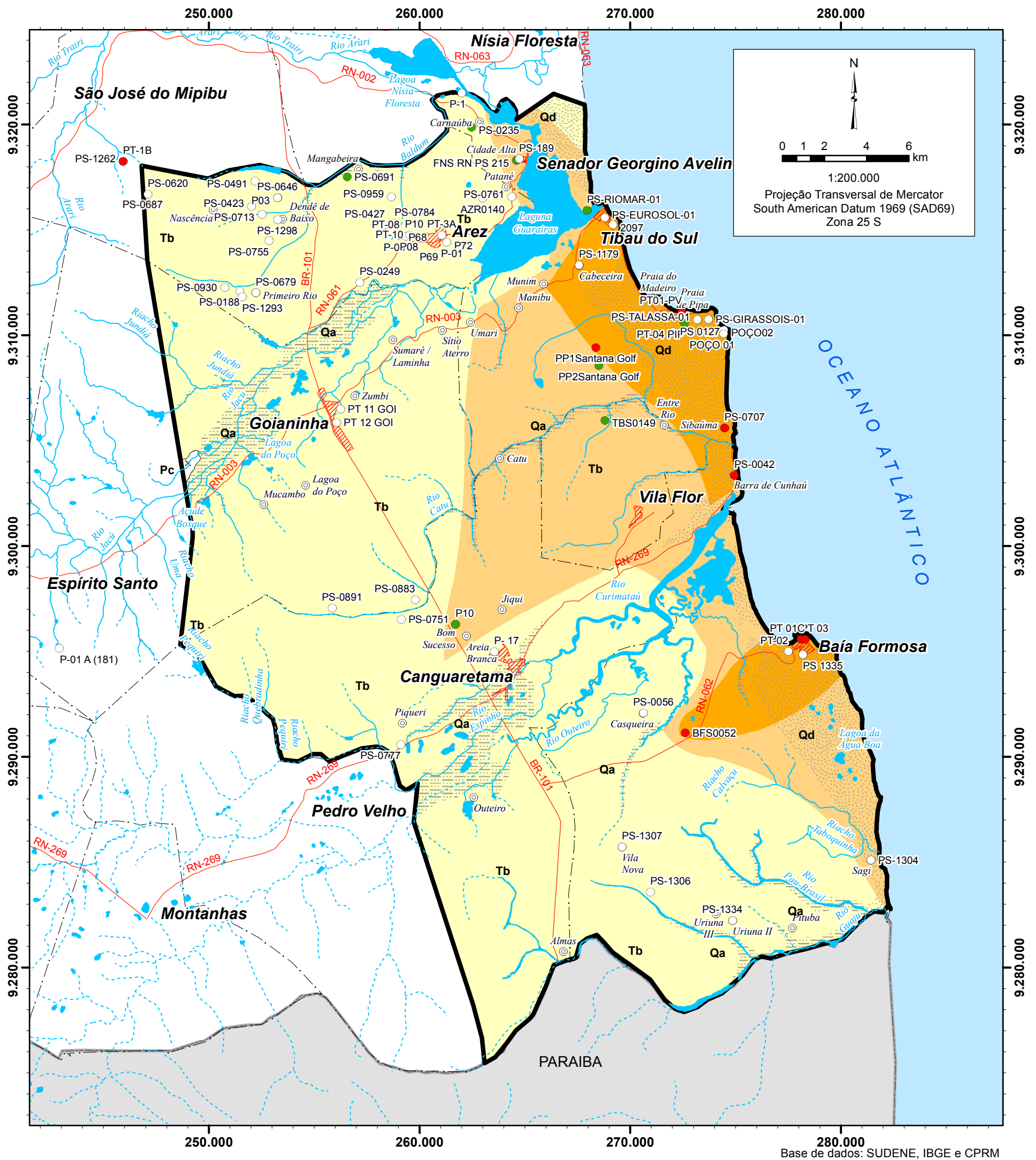
Foram definidas três zonas de transmissividade:

- Zona de transmissividade inferior a 75 m<sup>2</sup>/dia, que corresponde a área de maior abrangência e se desenvolve principalmente na parte ocidental do Bloco Litoral Sul;
- Zona com valores de transmissividade compreendidos entre 75 e 150 m<sup>2</sup>/dia que corresponde em grande parte aos *grabens* associados a faixa costeira;
- Zona com transmissividade superior a 150 m<sup>2</sup>/dia, que corresponde a uma ocorrência relativamente pequena que se desenvolve contígua a linha de costa nos municípios de Tibau do Sul e Vila Flor e entre a sede de Baía Formosa e próximo à comunidade de Casqueira.

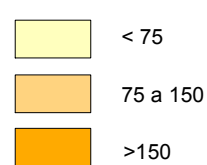
Os sedimentos do Sistema Aquífero Barreiras no Bloco Litoral Sul são bastante heterogêneos, de forma que os valores de condutividade hidráulica obtidos variam muito, impossibilitando o traçado de curvas de isovalores e o respectivo zoneamento. Além disso, convém ressaltar que o número de dados obtidos é pequeno para a dimensão da área que está sendo estudada.

Assim sendo, foi feita uma representação da distribuição dos pontos avaliados com os correspondentes valores (**Figura 12.23**).

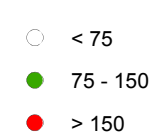
O valor máximo de condutividade hidráulica obtido foi de 16,18 m/dia (poço PT 01C na localidade do Escritório da CAERN, no município de Baía Formosa) e o mínimo foi de 0,04 m/dia (poço PS-1262 na localidade de Mundo Novo de Baixo, no município de Arez), com média de 1,91 m<sup>2</sup>/dia, considerando 63 dados na estatística.



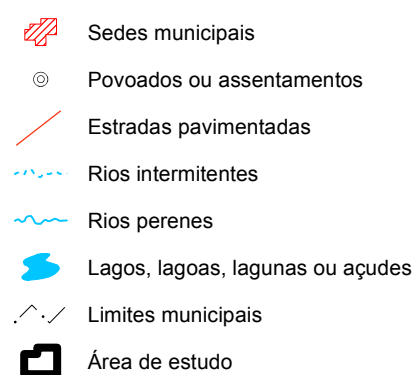
**Transmissividade do SAB (m²/dia)**



**Dados de Transmissividade (m²/dia)**



**Convenção Cartográfica**



**Geologia**



**Localização da área de estudo**



**Figura 12.22. Zonas de transmissividade do SAB no Bloco Litoral Sul**

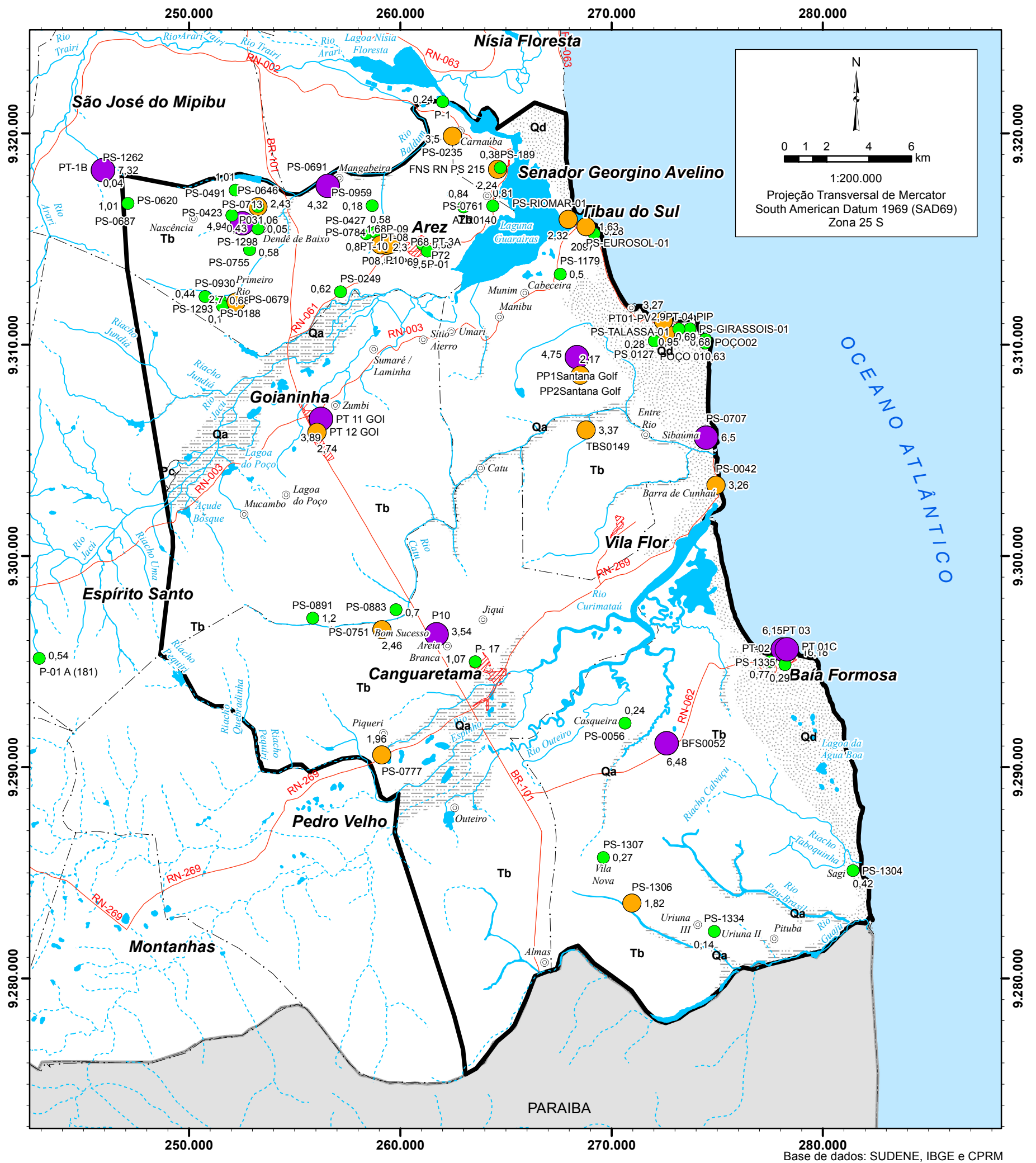
ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO LITORAL SUL DA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL (BLS)

Elaborado por: Servmar Serviços Técnicos Ambientais



Julho de 2012





**Condutividade Hidráulica do SAB (m/dia)**

- < 1,5
- 1,5 a 3,5
- > 3,5

**Geologia**

- Aluvião
- Dunas
- Fm. Barreiras
- Cristalino

**Convenção Cartográfica**

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

**Figura 12.23. Dados de condutividade hidráulica do SAB no Bloco Litoral Sul**

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO LITORAL SUL DA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL (BLS)

Elaborado por: Servmar Serviços Técnicos Ambientais



Julho de 2012

Com base no conhecimento dos parâmetros hidráulicos do Sistema Aquífero Barreiras no domínio BLS, são apresentados os parâmetros hidráulicos no domínio de cada município.

#### Parâmetros hidrodinâmicos no município de Senador Georgino Avelino

As informações sobre os parâmetros hidrodinâmicos do Sistema Aquífero Barreiras no município de Senador Georgino Avelino são escassas, dispondo-se de dados de apenas 4 poços. O município, entretanto, é pequeno com superfície de apenas 26,4 km<sup>2</sup>. Os dados existentes foram compilados na **Tabela 12.4**.

A vazão específica dos poços varia de um mínimo de 0,5 m<sup>3</sup>/h/m (poço PS-189, na localidade da Sede-Estádio de Futebol, e poço P1) a um máximo de 3,0 m<sup>3</sup>/h/m (poço PS-0235 na localidade de Carnaúba), com média de 1,63 m<sup>3</sup>/h/m (n = 4).

A Transmissividade varia de 11,57 m<sup>2</sup>/dia (poço P-1) a um máximo de 100,8 m<sup>2</sup>/dia (Poço PS-0235), com média de 52,67m<sup>2</sup>/dia (n =4). Os valores de condutividade hidráulica variaram de 0,24 m/dia (poço P-1) a 3,5 m/dia (PS- 0235), com média de 1,59 m/dia.

A condição de um sistema aquífero livre é sugerida em todos os casos (b' = 0).

| Tabela 12.4. Parâmetros hidráulicos do SAB em Senador Georgino Avelino |                           |         |                         |             |        |                       |         |
|--|---------------------------|---------|-------------------------|-------------|--------|-----------------------|---------|
| Poço   | Localidade                | EaB (m) | Q/s m <sup>3</sup> /h/m | b ou h0 (m) | b' (m) | T m <sup>2</sup> /dia | K m/dia |
| FNS RN PS 215  | Cidade Alta               | 82,0    | 2,5                     | 36,2        | 0      | 81,50                 | 2,24    |
| P-1  |                           | 52,0    | 0,5                     | 47,9        | 0      | 11,57                 | 0,24    |
| PS-0235  | Carnaúba                  | 30,8    | 3,0                     | 28,8        | 0      | 100,80                | 3,50    |
| PS-189   | Sede - Estádio de Futebol | 90,0    | 0,5                     | 43,7        | 0      | 16,80                 | 0,38    |
| Média  |                           | 63,7    | 1,6                     | 39,1        |        | 52,67                 | 1,59    |
| Máximo   |                           | 90,0    | 3,0                     | 47,9        |        | 100,80                | 3,50    |
| Mínimo   |                           | 30,8    | 0,5                     | 28,8        |        | 11,57                 | 0,24    |
| Contagem   |                           | 4,0     | 4,0                     | 4,0         |        | 4,00                  | 4,00    |

EaB: espessura do SAB (m); Q/s: vazão específica (m<sup>3</sup>/h/m); b: espessura do aquífero; b': espessura da camada semiconfinante; T: transmissividade (m<sup>2</sup>/dia); K: condutividade hidráulica do aquífero (m/dia).

#### Parâmetros hidrodinâmicos no município de Arez

Existem 25 poços totalmente penetrantes no Sistema Aquífero Barreiras no município de Arez com dados de vazão específica. O menor valor de vazão específica é 0,05 m<sup>3</sup>/h/m (poço PS-1262 na localidade de Mundo Novo de Baixo), e, o maior, 3,20 m<sup>3</sup>/h/m (poço PS-0713 na localidade de Rio do Meio), com média de 0,84 m<sup>3</sup>/h/m.

Os valores de transmissividade variaram de um mínimo de 1,14 m<sup>2</sup>/dia (poço PS-1298 na localidade de Dendê de Baixo/escola), a um máximo de 90,72 m<sup>2</sup>/dia (PS-



0691 na localidade de Faz. Muriaé), com média de 28,20 m<sup>2</sup>/dia (n = 25). Os correspondentes valores de condutividade hidráulica variaram de um mínimo de 0,04 m/dia (PS-1262) a um máximo de 4,94 m/dia (PS-0713), com média de 1,22 m/dia (n = 25), conforme **Tabela 12.5**.

| <b>Tabela 12.5. Parâmetros hidráulicos do SAB no município de Arez</b> |                         |            |                            |            |            |                            |                |
|--|-------------------------|------------|----------------------------|------------|------------|----------------------------|----------------|
| <b>Poço</b>  | <b>Localidade</b>       | <b>EaB</b> | <b>Q/s</b>                 | <b>b</b>   | <b>b'</b>  | <b>T</b>                   | <b>K</b>       |
|  |                         | <b>(m)</b> | <b>(m<sup>3</sup>/h/m)</b> | <b>(m)</b> | <b>(m)</b> | <b>(m<sup>2</sup>/dia)</b> | <b>(m/dia)</b> |
| PS-0713  | Rio do Meio             | 20         | 3,20                       | 15         | 0          | 74,13                      | 4,94           |
| PS-1298  | Dendê de Baixo/escola   | 48         | 0,14                       | 24         | 0          | 1,14                       | 0,05           |
| PS-0691  | Faz. Muriaé             | 42         | 2,70                       | 21         | 0          | 90,72                      | 4,32           |
| PS-0959  | Sítio Sapê              | 63         | 0,16                       | 31         |            | 5,38                       | 0,18           |
| PS-0188  | Primeiro Rio            | 51         | 0,39                       | 19         | 0          | 12,90                      | 0,68           |
| PS-0755  | Horta Comunitária       | 64         | 0,61                       | 35         | 0          | 20,50                      | 0,58           |
| PS-0930  | Primeiro Rio de Baixo   | 56         | 0,27                       | 26         | 0          | 11,40                      | 0,44           |
| PS-0427  | Sítio Areia             | 58         | 0,76                       | 31         | 0          | 25,54                      | 0,82           |
| PS-0423  | Rio do Meio             | 58         | 0,41                       | 18         | 0          | 7,80                       | 0,43           |
| PS-0620  | Estádio de Futebol      | 68         | 1,00                       | 33         | 0          | 33,60                      | 1,01           |
| PS-0761  | Patané                  | 69         | 0,75                       | 31         | 0          | 25,20                      | 0,81           |
| PS-1293  | Primeiro Rio            | 66         | 0,08                       | 29         | 0          | 2,76                       | 0,10           |
| PS-0784  | Sítio Areias de Cima    | 79         | 0,67                       | 39         | 0          | 22,51                      | 0,58           |
| PS-0646  | Dendê de Cima           | 64         | 0,60                       | 8          | 0          | 20,16                      | 2,43           |
| PS-0679  | Primeiro Rio            | 71         | 1,44                       | 24         | 0          | 64,50                      | 2,70           |
| PS-0687  | Mundo Novo II - Defunto | 66         |                            |            |            |                            |                |
| PS-0249  | Cametá                  | 76         | 0,62                       | 33         | 0          | 20,83                      | 0,62           |
| PS-0491  | Uruará                  | 71         | 0,24                       | 8          | 0          | 8,06                       | 1,01           |
| P-09   |                         | 52         | 1,90                       | 35         | 0          | 59,70                      | 1,68           |
| PT-10  | Monte Castelo / Areias  | 60         |                            | 46         | 0          |                            |                |
| PT-08  | Portal da Cidade        | 44         |                            | 26         | 0          |                            |                |
| PT-3A  | Escritório CAERN        | 64         | 0,60                       | 32         | 0          | 21,90                      | 0,68           |
| P-01   | Bica de Arez            | 59         | 1,00                       | 58         | 0          | 33,60                      | 0,58           |
| PS-1262  | Mundo Novo de Baixo     | 52         | 0,05                       | 38         | 0          | 1,68                       | 0,04           |
| P03  |                         | 63         | 0,78                       | 26         | 0          | 27,12                      | 1,06           |
| P08  |                         | 42         | 0,90                       | 12         | 12         | 27,90                      | 2,30           |
| P10  |                         | 60         | 1,50                       | 34         | 0          | 52,27                      | 1,52           |
| P68  |                         | 62         |                            |            |            |                            |                |
| P69  |                         | 60         |                            |            |            |                            |                |
| P72  |                         | 60         |                            |            |            |                            |                |
| AZR0139  | Patané                  | 60         | 0,28                       | 41         | 0          | 33,70                      | 0,83           |
| Média  |                         | 59         | 0,84                       | 29         |            | 28,20                      | 1,22           |
| Máximo   |                         | 79         | 3,20                       | 58         |            | 90,72                      | 4,94           |
| Mínimo   |                         | 20         | 0,05                       | 8          |            | 1,14                       | 0,04           |
| Contagem   |                         | 31         | 25                         | 27         |            | 25                         | 25             |

EaB: espessura do SAB (m); Q/s: vazão específica (m<sup>3</sup>/h/m); b: espessura do aquífero; b': espessura da camada semiconfinante; T: transmissividade (m<sup>2</sup>/dia); K: condutividade hidráulica do aquífero (m/dia).

Parâmetros hidrodinâmicos no município de Tibau do Sul

As informações e discussões sobre os parâmetros hidrodinâmicos do sistema aquífero Barreiras no município de Tibau do Sul são apresentados com base em dados de 15 poços totalmente penetrantes no mesmo.

As vazões específicas desses poços variam de 0,35 m<sup>3</sup>/h/m (poço PS-0127 na localidade de Praia da Pipa), a 7,08 m<sup>3</sup>/h/m (poço PS-0707 na localidade de Praia de Sibaúma), com média de 2,21 m<sup>3</sup>/h/m (**Tabela 12.6**).

| <b>Tabela 12.6. Parâmetros hidráulicos do SAB no município de Tibau do Sul</b> |            |                            |            |            |                            |                |                |                       |
|--|------------|----------------------------|------------|------------|----------------------------|----------------|----------------|-----------------------|
| <b>Poço</b>  | <b>EaB</b> | <b>Q/s</b>                 | <b>b</b>   | <b>b'</b>  | <b>T</b>                   | <b>K</b>       | <b>K'</b>      | <b>S ou μ</b>         |
|  | <b>(m)</b> | <b>(m<sup>3</sup>/h/m)</b> | <b>(m)</b> | <b>(m)</b> | <b>(m<sup>2</sup>/dia)</b> | <b>(m/dia)</b> | <b>(m/dia)</b> |                       |
| PS-RIOMAR-01   | 60         | 3,29                       | 45         | 0          | 103,70                     | 2,32           |                |                       |
| PT-04 PIP  | 92         | 2,80                       | 36         | 24         | 104,50                     | 2,90           |                |                       |
| PS 0127  | 70         | 0,35                       | 43         | 0          | 11,76                      | 0,28           |                |                       |
| PS-GIRASSOIS-01  | 60         | 0,80                       | 40         | 0          | 26,88                      | 0,68           |                |                       |
| POÇO02   | 100        | 1,50                       | 73         | 0          | 50,40                      | 0,69           |                |                       |
| 2097   | 83         | 0,41                       | 48         | 0          | 13,78                      | 0,28           |                |                       |
| PS-0707  | 64         | 7,08                       | 40         | 0          | 259,20                     | 6,50           |                |                       |
| PS-1179  | 74         | 0,78                       | 52         | 0          | 26,21                      | 0,50           |                |                       |
| PS-TALASSA-01  | 60         | 1,10                       | 39         | 0          | 36,96                      | 0,95           |                |                       |
| PT01-PV  | 64         | 5,00                       | 61         | 0          | 200,00                     | 3,27           |                |                       |
| POÇO 01  | 100        | 1,40                       | 75         | 0          | 47,04                      | 0,63           |                |                       |
| PS-EUROSOL-01  | 58         | 1,20                       | 25         | 0          | 40,32                      | 1,63           |                |                       |
| PP1Santana Golf  | 96         | 2,40                       | 48         | 28         | 172,80                     | 4,75           | 0,0016         | 1,25x10 <sup>-4</sup> |
| PP2Santana Golf  | 95         | 2,50                       | 53         | 12         | 146,80                     | 2,17           |                |                       |
| TBS0149  | 80         | 2,59                       | 44         | 0          | 148,61                     | 3,37           |                |                       |
| Média  | 77         | 2,21                       | 48         |            | 92,60                      | 2,06           |                |                       |
| Máximo   | 100        | 7,08                       | 75         |            | 259,20                     | 6,50           |                |                       |
| Mínimo   | 58         | 0,35                       | 25         |            | 11,76                      | 0,28           |                |                       |
| Contagem   | 15         | 15                         | 15         |            | 15                         | 15             | 1              | 1                     |

EaB: espessura do SAB (m); Q/s: vazão específica (m<sup>3</sup>/h/m); b: espessura do aquífero (m); b': espessura da camada semiconfinante (m); T: transmissividade (m<sup>2</sup>/dia); K: condutividade hidráulica do aquífero (m/dia); k': condutividade hidráulica da camada semiconfinante (m/dia); S ou μ: coeficiente de armazenamento (adimensional).

Quanto à transmissividade, verificou-se uma variação de 11,76 m<sup>2</sup>/dia, (poço PS-0127) a 259,20 m<sup>2</sup>/dia (poço PS-0707). O valor médio de transmissividade é da ordem de 92,60 m<sup>2</sup>/dia. Os valores de condutividade hidráulica do aquífero variaram numa faixa de 0,28 m/dia (PS - 0127) a 6,50 m/dia (poço PS-0707), com média de 2,06 m/dia.

Entre os 15 poços avaliados, 3 deles (o poço PT04-Pip na localidade de Pipa, e os poços PP1-Santana Golf e PP2-Santana Golf, na localidade de Sibaúma) sugerem

comportamento de aquífero semiconfinado nos respectivos locais. Nos demais, o caráter de um sistema livre predomina (**Tabela 12.6**).

A condutividade hidráulica da camada semiconfinante foi avaliada na localidade de Sibaúma, no teste do poço PP1-Santana Golf com dispositivo de poço de observação (piezômetro), com a obtenção de um valor de  $1,9 \times 10^{-8}$  m/s ou  $1,6 \times 10^{-3}$  m/dia, o que é característico de argilitos arenosos. O coeficiente de armazenamento, nesse mesmo teste, foi avaliado com a obtenção de  $2,3 \times 10^{-4}$ . Os testes nos poços PP1-Santana Golf e PP2-Santana Golf e as respectivas interpretações foram realizados segundo o EIA/RIMA deste empreendimento.

#### Parâmetros hidrodinâmicos no município de Goianinha

O número de poços cadastrados, totalmente penetrantes no sistema aquífero Barreiras, no município de Goianinha, foi apenas de 5 unidades e dois deles sugerem condições de aquífero semiconfinado, que é o caso do poço PT 12-Goi, na localidade da Sede (Bairro da Batalha), cuja espessura da camada com características de aquitarde (semiconfinante) é 9,5 m (b') e o caso do poço P-03, cuja espessura da camada com características de aquitarde (semiconfinante) é de 8,9 m (b'), conforme demonstrado no **Apêndice D** e na **Tabela 12.7**.

A vazão específica dos poços varia de  $0,4 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$  (poço PS-0883 na localidade da Fazenda Pituba/Catu I) a  $2,2 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$  (poço PT-11 Goi), com valor médio de  $1,26 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$  ( $n = 5$ ).

Quanto à transmissividade, com disponibilidade de dados de apenas três poços ( $n = 3$ ), o coeficiente T variou de  $14,78 \text{ m}^2/\text{dia}$  (Poço PS-0883) a  $73,9 \text{ m}^2/\text{dia}$  (Poço PT 11-Goi), com média de  $47,8 \text{ m}^2/\text{dia}$ . A condutividade hidráulica variou de  $0,7 \text{ m}/\text{dia}$  (poço PS-0883) a  $3,9 \text{ m}/\text{dia}$  (poço PT11-Goi), com um valor médio de  $2,15 \text{ m}/\text{dia}$  ( $n = 3$ ).

| Tabela 12.7. Parâmetros hidráulicos do SAB no município de Goianinha |                          |            |   |          |           |                                  |                                |
|--|--------------------------|------------|---|----------|-----------|----------------------------------|--------------------------------|
| Poço   | Localidade               | EaB<br>(m) | Q/s<br>( $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ ) | b<br>(m) | b'<br>(m) | T<br>( $\text{m}^2/\text{dia}$ ) | K<br>( $\text{m}/\text{dia}$ ) |
| PT 11 GOI  |                          | 19         | 2,20                                      | 19       | 0,0       | 73,92                            | 3,89                           |
| PT 12 GOI  | Sede (Bairro da Batalha) | 31         | 1,20                                      | 22       | 9,5       | 55,03                            | 2,74                           |
| PS-0883  | Fazenda Pituba (Catu I)  | 45         | 0,44                                      | 21       | 0,0       | 14,78                            | 0,70                           |
| PS-0891  | Catu/Gruta do bode       | 60         | 1,20                                      | 30       | 0,0       | 44,60                            | 1,20                           |
| P-03   |                          | 23         | 1,26                                      | 13       | 8,9       | 50,60                            | 2,20                           |
| Média  |                          | 36         | 1,26                                      | 21       |           | 47,79                            | 2,15                           |
| Máximo   |                          | 60         | 2,20                                      | 30       |           | 73,92                            | 3,89                           |
| Mínimo   |                          | 19         | 0,44                                      | 13       |           | 14,78                            | 0,70                           |
| Contagem   |                          | 5          | 5   | 5        | 5         | 3                                | 3                              |

EaB: espessura do SAB (m); Q/s: vazão específica ( $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ ); b: espessura do aquífero; b': espessura da camada semiconfinante; T: transmissividade ( $\text{m}^2/\text{dia}$ ); K: condutividade hidráulica do aquífero ( $\text{m}/\text{dia}$ ).

### Parâmetros hidrodinâmicos no município de Canguaretama

No município de Canguaretama dispõem-se de informações de apenas 5 poços e em todos eles os perfis litológicos sugerem condições de aquífero livre ( $b' = 0$ ), conforme demonstrado no **Apêndice D** e na **Tabela 12.8**.

A vazão específica dos poços varia de 1,2 m<sup>3</sup>/h/m (poço P-17, na localidade de Estádio Municipal Uruá) a 3,36 m<sup>3</sup>/h/m (poço PS-0042 na localidade de Barra do Cunhaú-Aquatec) com média de 1,8 m<sup>3</sup>/h/m ( $n = 5$ ).

A transmissividade do aquífero varia de 38,44 m<sup>2</sup>/dia (poço P-17) a 172,8 m<sup>2</sup>/dia (poço PS-0042), com média de 86,5 m<sup>2</sup>/dia ( $n = 5$ ). O valor mínimo da condutividade hidráulica obtido foi de 1,07 m/dia (poço P - 17) e o máximo, de 3,54 m/dia (poço P-10), com média de 2,46 m/dia.

| Tabela 12.8. Parâmetros hidráulicos do SAB no município de Canguaretama |                        |         |                           |       |        |                         |           |
|---|------------------------|---------|---------------------------|-------|--------|-------------------------|-----------|
| Poço  | Localidade             | EaB (m) | Q/s (m <sup>3</sup> /h/m) | b (m) | b' (m) | T (m <sup>2</sup> /dia) | K (m/dia) |
| P10   |                        | 65      | 1,50                      | 33,8  | 0      | 120,00                  | 3,54      |
| PS-0751   | Catu                   | 46      | 1,23                      | 20,4  | 0      | 50,20                   | 2,46      |
| P- 17   | Estádio Municipal Uruá | 46      | 1,20                      | 35,8  | 0      | 38,44                   | 1,07      |
| PS-0042   | Barra do Cunhaú        | 61      | 3,36                      | 53,0  | 0      | 172,80                  | 3,26      |
| PS-0777   | Piquiri                | 30      | 1,65                      | 26,0  | 0      | 51,06                   | 1,96      |
| Média   |                        | 50      | 1,79                      | 33,8  |        | 86,50                   | 2,46      |
| Máximo  |                        | 65      | 3,36                      | 53,0  |        | 172,80                  | 3,54      |
| Mínimo  |                        | 30      | 1,20                      | 20,4  |        | 38,44                   | 1,07      |
| Contagem  |                        | 5       | 5                         | 5     | 5      | 5                       | 5         |

EaB: espessura do SAB (m); Q/s: vazão específica (m<sup>3</sup>/h/m); b: espessura do aquífero; b': espessura da camada semiconfinante; T: transmissividade (m<sup>2</sup>/dia); K: condutividade hidráulica do aquífero (m/dia).

### Parâmetros hidrodinâmicos no município de Baía Formosa

No município de Baía Formosa dispõe-se de dados de 12 poços. Em apenas um deles, PT 1C, o perfil litológico sugere condições de aquífero semiconfinado, cuja espessura da camada semiconfinante ( $b'$ ) é de 36,0. A vazão específica dos poços varia de 0,20 m<sup>3</sup>/h/m (poço PS-1334 na localidade de Uriuma II) a 13,00 m<sup>3</sup>/h/m (Poço PT 01C na localidade de Escritório da CAERN), com média de 3,29 m<sup>3</sup>/h/m ( $n = 12$ ). O coeficiente de transmissividade do aquífero variou de 6,72 m<sup>2</sup>/dia (PS-1334) a 436,80 m<sup>2</sup>/dia (Poço PT 01C), com média de 128,72 m<sup>2</sup>/dia ( $n = 12$ ). No caso da condutividade hidráulica, o valor mínimo obtido foi de 0,14 m/dia (PS-1334), e, o máximo de 16,18 m/dia (Poço PT 01C), com média de 3,36 m/dia (**Tabela 12.9**).

**Tabela 12.9. Parâmetros hidráulicos do SAB no município de Baía Formosa**

| Poço         | Localidade          | EaB | Q/s                   | b   | b'  | T                     | K       |
|--------------|---------------------|-----|-----------------------|-----|-----|-----------------------|---------|
|              |                     | (m) | (m <sup>3</sup> /h/m) | (m) | (m) | (m <sup>2</sup> /dia) | (m/dia) |
| PS-1304      | Sagi                | 80  | 0,60                  | 48  | 0   | 20,16                 | 0,42    |
| PS-1334      | Uriuma II           | 80  | 0,20                  | 47  | 0   | 6,72                  | 0,14    |
| PS-1306      | Sítio Santa Luzia   | 54  | 1,20                  | 25  | 0   | 45,40                 | 1,82    |
| PS-0056      | Faz. Casqueira      | 74  | 0,40                  | 32  | 0   | 7,68                  | 0,24    |
| PS-1307      | Vila Nova           | 64  | 0,30                  | 38  | 0   | 10,08                 | 0,27    |
| PT 03        | Baía Formosa        | 55  | 7,00                  | 38  | 0   | 235,20                | 6,15    |
| PS 1335      | Morro do Pelo       | 80  | 0,50                  | 57  | 0   | 16,80                 | 0,29    |
| PT-1B        | Captação da CAERN   | 81  | 11,00                 | 59  | 0   | 432,00                | 7,32    |
| P-01 A (181) |                     | 80  | 1,00                  | 62  | 0   | 33,60                 | 0,54    |
| PT-02        | Sede                | 71  | 1,00                  | 61  | 0   | 47,04                 | 0,77    |
| PT 01C       | Escritório da CAERN | 71  | 13,00                 | 27  | 36  | 436,80                | 16,18   |
| BFS0052      | Vila Operária       | 69  | 3,25                  | 43  | 0   | 251,15                | 6,13    |
| Média        |                     | 72  | 3,29                  | 45  |     | 128,72                | 3,36    |
| Máximo       |                     | 81  | 13,00                 | 62  |     | 436,80                | 16,18   |
| Mínimo       |                     | 54  | 0,20                  | 25  |     | 6,72                  | 0,14    |
| Contagem     |                     | 12  | 12                    | 12  | 12  | 12                    | 12      |

EaB: espessura do SAB (m); Q/s: vazão específica (m<sup>3</sup>/h/m); b: espessura do aquífero; b': espessura da camada semiconfinante; T: transmissividade (m<sup>2</sup>/dia); K: condutividade hidráulica do aquífero (m/dia).

O presente capítulo expressa as potencialidades do Sistema Aquífero Barreiras no Bloco Litoral Sul, as quais foram avaliadas a partir da integração dos resultados das investigações hidrogeológicas, que compreenderam suas dimensões, litologia, estrutura, parâmetros hidráulicos e características do fluxo subterrâneo. São considerados não somente os estudos de âmbito local ou restrito ao respectivo 'Bloco', como também os aspectos de caráter regional que contribuiriam na definição da área efetiva do Sistema Aquífero Barreiras e de seus limites hidrogeológicos.

Todos os componentes envolvidos na caracterização das potencialidades do Sistema Aquífero Barreiras na presente avaliação, que inclui as reservas, disponibilidades, recarga e recursos de águas subterrâneas exploráveis serão criteriosamente abordados. Isto, dentro de uma visão não somente de avaliação e uso dos recursos de águas subterrâneas, como também no contexto ambiental, cujo conhecimento seja capaz de contribuir para o conhecimento da vulnerabilidade e dos riscos potenciais de águas subterrâneas.

A seguir, é feita uma conceituação relativa a esses componentes, que definem as potencialidades do sistema aquífero Barreiras, no Bloco Litoral Sul como um todo e por municípios.



## 12.3 Reservas

No contexto mais básico do ciclo hidrológico, as águas de chuva precipitam-se sobre a superfície da terra e parte dessa água se infiltra no terreno e alcançam as águas subterrâneas ou os estratos sedimentares que constituem aquíferos. Esses estratos geológicos contêm dimensões definidas e diferentes condições no armazenamento de água que dependem da litologia, disposição relativa das camadas e caráter estrutural das mesmas, podendo comportar uma quantidade maior ou menor água. Parte dessas águas que ficam armazenadas nos estratos geológicos ficam presas nos interstícios das mesmas devido às forças moleculares (coesão) e adesão, e o restante é liberável por ação gravitacional ou bombeamento de poços. Este volume de água liberável constitui o que se chama de **reservas**, as quais em geral são referidas a um ano hidrológico. Na avaliação das reservas de um aquífero ou camada geológica saturada com água, um parâmetro fundamental a ser considerado é a porosidade eficaz ou porosidade específica que representa o volume de água liberável armazenado sobre o volume total da rocha, que é característico de aquífero livre sob pressão atmosférica, o qual no caso de aquífero confinado constitui o coeficiente de armazenamento do aquífero, em geral submetidos a pressões maiores que a da atmosfera.

As reservas de águas subterrâneas no caso de aquíferos livre, de forma didática, podem ser reguladoras, permanentes e totais; enquanto que no caso de aquífero confinado as reservas podem ser permanentes, do volume de água sob pressão e reservas totais. O Sistema Aquífero Barreiras é um sistema predominantemente livre, recarregado diretamente pelas chuvas, embora apresente semiconfinamentos localizados, que se pronunciam mais predominantemente durante o bombeamento de poços. Assim sendo, na avaliação de reservas o Barreiras será tratado como um sistema aquífero livre, portanto, serão definidas para o conjunto, as reservas reguladoras, as reservas permanentes e as reservas totais. Convém ressaltar, o grau de dificuldade ou até mesmo impossibilidade de delimitação de uma área onde o sistema aquífero Barreiras seja semiconfinado, haja vista a grande heterogeneidade do mesmo.

### 12.3.1 Reservas reguladoras (RR)

Reservas reguladoras correspondem ao volume de água livre armazenado em um aquífero limitado por dois níveis potenciométricos extremos, mínimo e máximo, da superfície potenciométrica no curso de um período considerado: um ano hidrológico determinado ou um ano hidrológico médio (CASTANY, 1975). Ainda, as reservas reguladoras correspondem a variação das reservas dentro de um ano e são as que contribuem para a vazão de base dos rios (CUSTODIO; LLAMAS, 2001). Na avaliação das reservas reguladoras é necessário conhecer essas variações e a porosidade eficaz da parte do aquífero sujeito a variação sazonal.

A equação utilizada na avaliação das reservas reguladoras (RR) de um aquífero livre é a seguinte:

$$RR = dhS_y \text{ ou } RR = AdhS_y$$

Onde:

A é área de ocorrência do aquífero livre, sujeito a variação sazonal do nível d'água;

dh é a variação de carga entre o nível d'água máximo e mínimo da superfície potenciométrica (m);

$S_y$  é a porosidade eficaz ou rendimento específico (*specific yield*) do aquífero (adimensional). Ver Healy e Cook (2002).

O problema relativo à aplicação dessa equação na avaliação das reservas reguladoras decorre das dificuldades de conhecer as variações de cargas hidráulicas (dh) e a porosidade eficaz ou rendimento específico ( $S_y$ ). Para se obter o valor de dh com certa precisão é necessário o monitoramento de poços em número e distribuição compatível com os objetivos e escala de trabalho, o que deverá ser feito durante no mínimo um ano hidrológico para se ter uma única informação, já que as cargas potenciométricas deverão variar em função do regime das chuvas. Quanto maior o período de observação maior será a precisão dos resultados.

A informação da variação sazonal do nível de água conhecida na bacia do rio Pirangi, contígua a bacia do rio do Trairi que limita o Bloco Litoral Sul no seu extremo norte, já na Região Metropolitana de Natal, no qual a variação sazonal de nível d'água foi avaliada, em média, com aproximadamente 2,0 m (ANA, 2012 e LUCENA *et al.* 2004). Este resultado foi obtido com dados correspondentes ao final do período chuvoso (Agosto 2000) e do final do período de estiagem (março de 2001). Estes dois anos, entretanto, foram considerados como anos atípicos em termos de precipitações pluviométricas em Parnamirim, cuja precipitação em 2000 foi bastante elevada, com 2092 mm, e, no ano 2001, foi muito baixa, atingindo apenas 988 mm; assim sendo, a variação pluviométrica observada nos anos consecutivos está mais elevada que em condições de precipitações médias. Com efeito, a precipitação pluviométrica média em Parnamirim é da ordem de 1539 mm (Posto Parnamirim período 1995 – 2010, dados disponibilizados pela EMPARN), portanto, 33% inferior ao valor máximo referido (2092 mm) e 33% superior ao valor mínimo (988 mm). Admitindo situação similar com relação às variações de carga potenciométrica, ou seja, tomando 33% da variação de carga média observada (de 2 m) resulta em um valor 1,28 m.

Admite-se que em geral, os efeitos nas variações de carga das águas subterrâneas são inferiores às correspondentes variações de precipitação, haja vista as possíveis perdas de água durante o processo de infiltração. Diante disso, será tomada como referência a variação de carga de 1,5 m para o Sistema Aquífero Barreiras no Bloco

Litoral Sul, que corresponde ao valor avaliado no Bloco Litoral Norte e está bastante próximo do valor considerado em estudos regionais (IPT, 1982).

No caso da porosidade eficaz ou rendimento específico ( $S_y$ ), a mesma foi estimada com base na equação de Bieciniski (PAZDRO, 1983; ALVARES; NIEDZIELSKI, 1996; MAZIERO; WENDLAND, 2005; VASCONCELOS, 2010):

$$S_y = 0,117\sqrt[3]{K}$$

Onde:

K é condutividade hidráulica em m/dia.

A condutividade hidráulica média, do Sistema Aquífero Barreiras, foi avaliada para cada município nas suas correspondentes zonas de precipitação pluviométrica (Z1; Z2; e, Z3), e em seguida foi avaliado o valor de  $S_y$ , que varia de 12 a 15%.

Para efeito de comparação e avaliação de resultados, convém informar sobre valores de porosidade específica referidos na literatura: a porosidade específica de arenitos finos varia de 2% a 40%, com média de 21%; no caso de arenito médio, a porosidade específica varia de 12% a 41%, com média de 27%; e no caso de siltitos varia de 1% a 33%, com média de 12% (BATU, 1998). O sistema aquífero Barreiras no Bloco Litoral Sul é constituído de arenitos finos a grossos com percentual argiloso, de forma que a taxa obtida de 12 a 15% se mostra aceitável.

De posse das áreas dos municípios e das áreas dos correspondentes zonas de precipitação pluviométrica; da variação de carga de 1,5 m e dos valores de porosidade específica, foram estimadas as reservas reguladoras (RR) do Sistema Aquífero Barreiras no Bloco Litoral Sul. As RR variaram de  $4,9 \times 10^6 \text{ m}^3$  (município de Senador Georgino Avelino) a  $47,8 \times 10^6 \text{ m}^3$  (no município de Canguaretama). Considerando todos os municípios, as reservas reguladoras (RR) do Bloco Litoral Sul, foram avaliadas em  $187,91 \times 10^6 \text{ m}^3$ .

### 12.3.2 Reservas permanentes (RP)

São as reservas situadas abaixo do nível potenciométrico mínimo definido para as reservas reguladoras. Portanto, não sofrem o efeito das variações sazonais do nível d'água. São também conhecidas como reservas seculares.

Teoricamente, a exploração das RP mesmo que parcialmente não é recomendável, sob risco de comprometer as captações de água e afetar o próprio aquífero. O uso de parte das mesmas, em casos de extrema necessidade, deve ser acompanhado de monitoramento dos níveis d'água como medida de precaução e tomada de decisões. Convém ressaltar, entretanto, que no caso de regiões úmidas e sistemas aquíferos livres, como é em apreço, a exploração de uma pequena parcela das RP

pode induzir a ocorrência de maior recarga, o que poderia ser levado a efeito dentro dos devidos cuidados e mediante análise dos resultados do monitoramento.

As RP podem ser avaliadas com a aplicação da seguinte equação:

$$RP = hSy \text{ ou } RP = AhS_y$$

Onde:

A é a área de ocorrência do aquífero em m<sup>2</sup>;

h é a altura de carga medida entre o nível de água mínimo das RR e a base do aquífero em m;

Sy é a porosidade específica ou rendimento específico (adimensional)

As reservas permanentes do Sistema Aquífero Barreiras foram avaliadas no âmbito dos respectivos municípios de conformidade com a **Tabela 12.10**. Os valores de Sy são os mesmos atribuídos ao cálculo das RR. No caso da carga hidráulica h adotou-se os seguintes procedimentos: os valores de h<sub>0</sub> ou b (**Apêndice D**) foram subtraídos do valor de Δh atribuído as variações sazonais de carga potenciométrica e em seguida foi tomado 20% do valor obtido, que corresponde ao % médio de conteúdo de argilas nos perfis dos poços.

| Tabela 12.10. Reservas reguladoras e reservas permanentes do SAB nos municípios do BLS |                 |       |         |      |       |    |                                |        |
|--|-----------------|-------|---------|------|-------|----|--------------------------------|--------|
| Município  | Área            |       | Δh<br>m | H    | K     | Sy | RR                             | RP     |
|  | Km <sup>2</sup> |       |         | M    | m/dia | %  | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> |        |
| Arez   | Z1              | 41,6  | 1,5     | 21,6 | 1,27  | 12 | 7,49                           | 107,8  |
|  | Z2              | 71,0  |         | 19,2 | 1,57  | 12 | 12,78                          | 163,6  |
|  | Total           | 112,6 |         |      |       |    | 20,27                          | 271,4  |
| Sen. G. Avelino  | Z2              | 8,3   |         | 34,4 | 2,32  | 13 | 1,62                           | 34,3   |
|  | Z3              | 18,1  |         | 29,6 | 1,24  | 12 | 3,26                           | 64,3   |
|  | Total           | 26,4  |         |      |       |    | 4,88                           | 98,6   |
| Tibau do Sul   | Z2              | 84,2  |         | 37,6 | 3,38  | 14 | 17,68                          | 443,2  |
|  | Z3              | 17,7  |         | 30,4 | 6,50* | 15 | 3,98                           | 80,7   |
|  | Total           | 101,9 |         |      |       |    | 21,66                          | 523,9  |
| Goianinha  | Z1              | 137,0 |         | 17,4 | 1,97  | 13 | 26,71                          | 309,9  |
|  | Z2              | 54,7  |         | 12,0 | 2,20* | 13 | 10,67                          | 85,3   |
|  | Total           | 191,7 |         |      |       |    | 37,38                          | 395,2  |
| Canguaretama   | Z1              | 36,1  |         | 24,0 | 1,20  | 12 | 6,50                           | 104,0  |
|  | Z2              | 174,2 |         | 21,6 | 2,26  | 13 | 33,97                          | 489,2  |
|  | Z3              | 35,2  |         | 40,8 | 3,26  | 14 | 7,39                           | 201,1  |
|  | Total           | 245,5 |         |      |       |    | 47,86                          | 794,3  |
| Vila Flor  | Z3              | 47,7  |         | 35,2 | 4,88  | 15 | 10,73                          | 251,9  |
|  | Total           | 47,7  |         |      |       |    | 10,73                          | 251,9  |
| Baía Formosa   | Z2              | 198,8 |         | 28,8 | 1,03  | 12 | 35,68                          | 687,1  |
|  | Z3              | 46,8  |         | 35,2 | 1,75  | 13 | 9,13                           | 214,2  |
|  | Total           | 245,6 |         |      |       |    | 44,81                          | 901,3  |
| BLS  |                 | 971,4 |         |      |       |    | 187,59                         | 3236,6 |

P: precipitação; Δh: variação sazonal de carga; h: carga abaixo do nível d'água mínimo da variação sazonal; k: condutividade hidráulica; Sy: porosidade específica; RR: reserva reguladora; RP: reserva permanente.

As RP variaram de  $98,6 \times 10^6 \text{ m}^3$  (no município de Senador Georgino Avelino) a  $901,3 \times 10^6 \text{ m}^3$  (no município de Baía Formosa). Considerando todo o contexto do Bloco Litoral Sul, as reservas reguladoras foram avaliadas em  $3.136,6 \times 10^6 \text{ m}^3$ .

Este resultado sugere que as reservas reguladoras constituem uma parcela muito pequena (5,8%) com relação às reservas permanentes, o que poderá influenciar no uso de parte dessas reservas.

## 12.4 Disponibilidades de água subterrânea

As disponibilidades correspondem aos recursos de águas subterrâneas explorados ou ao volume de suprimento no curso de um período determinado ou o volume de água disponibilizado pela infraestrutura hídrica instalada. No âmbito dos municípios, as mesmas foram obtidas com base no resultado do cadastro de poços realizado em campo, tomando como referência a vazão dos poços e regime de bombeamento, conforme detalhado no item 5.3 deste relatório.

As disponibilidades de águas subterrâneas no Bloco Litoral Sul são bastante modestas, atingindo o montante de apenas  $10,4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ . Ela é máxima para o município de Canguaretama, que atinge  $3,2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ , seguido de Tibau do Sul, com  $2,3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ . A exploração de água subterrânea é menor nos municípios de Senador Georgino Avelino e Vila Flor, com  $0,4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ , cada um deles.

## 12.5 Recarga urbana

As disponibilidades obtidas com base no cadastro de poços correspondem às retiradas (*withdrawals*) de água do aquífero que incluem a recarga urbana (Ru), que é a recarga propiciada pelos vazamentos na rede de distribuição de água das sedes municipais e pela infiltração de efluentes domésticos, haja vista a disposição local de efluentes com o uso de fossas e sumidouros. Para que se tenha uma informação mais precisa sobre as potencialidades do aquífero Barreiras, a recarga urbana foi avaliada no âmbito de cada cidade (**Tabela 12.2**) e, em seguida, obteve-se as retiradas de água sem considerar a recarga urbana.

A recarga urbana foi avaliada pela seguinte equação:

$$\begin{aligned}RU &= q_e + q_p \\ q_e &= 0,90V_f \text{ e } V_f = 0,60W \\ q_p &= 0,40W_u\end{aligned}$$

Onde:

$q_e$  é a vazão de infiltração de efluentes ( $\text{m}^3/\text{a}$  ou  $\text{mm}/\text{ano}$ );

$q_p$  é a vazão de perdas na rede de abastecimento ( $\text{m}^3/\text{a}$  ou  $\text{mm}/\text{ano}$ );

$V_f$  é o volume faturado;

$W_u$  é volume de suprimento, correspondente ao volume explorado na sede urbana.



Com base nos volumes de suprimento atribuído a cada cidade dos correspondentes municípios (**Tabela 12.11**), foi inicialmente avaliado o volume faturado ( $V_f$ ) em cada uma delas, seguido da estimativa do volume de esgotos infiltrados ( $q_e$ ). As perdas de água na rede ( $q_p$ ) foram estimadas em 40% do volume de suprimento. As cidades são pequenas e pouco desenvolvidas de forma que a recarga urbana é pouco expressiva. No âmbito dos municípios, a recarga urbana variou de um mínimo de  $0,09 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$  no caso da cidade de Senador Georgino Avelino a um máximo de  $1,06 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ , referente a cidade de Canguaretama. A recarga urbana ( $R_u$ ) considerando todos os municípios foi estimada em  $2,95 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ .

| <b>Tabela 12.11. Recursos explotados no SAB nas sedes municipais e recarga urbana</b> |                         |               |  |             |
|---|-------------------------|---------------|--|-------------|
| <b>Sede Municipal</b>   | <b>A</b>                | <b>P</b>      | <b>Wu</b>  | <b>Ru</b>   |
|   | <b>(km<sup>2</sup>)</b> | <b>(mm/a)</b> | <b><math>\times 10^6 \text{ (m}^3/\text{a)}</math></b> |             |
| Arez  | 0,65                    | 1.500         | 0,18   | 0,17        |
| Sen. G. Avelino   | 0,18                    | 1.600         | 0,10   | 0,09        |
| Canguaretama  | 1,24                    | 1.500         | 1,13   | 1,06        |
| Goianinha   | 1,10                    | 1.200         | 0,56   | 0,53        |
| Vila Flor   | 0,44                    | 1.600         | 0,19   | 0,18        |
| Baía Formosa  | 0,48                    | 1.600         | 0,24   | 0,23        |
| Tibau do Sul  | 0,90                    | 1.500         | 0,72   | 0,68        |
| <b>TOTAL</b>  |                         |               | <b>3,12</b>  | <b>2,95</b> |

A: Área; P: precipitação; Wu: recurso explotado na sede municipal; Ru: Recarga urbana.

## 12.6 Recarga das águas subterrâneas

A recarga de águas subterrâneas constitui um parâmetro de fundamental importância no conhecimento e manejo adequado dos aquíferos (HEALY; COOK, 2002). Não se pode explorar e garantir o uso sustentável de um aquífero ou reserva de água subterrânea sem o conhecimento dos mecanismos e montante da recarga anual a que o mesmo é submetido. A exploração de um volume maior do que sua própria recarga pode induzir a rebaixamentos indesejáveis e afetar as captações d'água e o próprio aquífero. A própria recarga nem sempre pode ser explotada integralmente, devendo, por conseguinte, serem observados os aspectos ambientais envolvidos.

Em sistemas aquíferos livres, como é o caso do aquífero Barreiras, suas potencialidades estão condicionadas principalmente as infiltrações diretas das águas de chuva, cujo volume efetivamente infiltrado restitui as reservas de águas subterrâneas que se perdem nos escoamentos naturais e exploração por poços e, também, alimentam o fluxo subterrâneo. Por definição, em condições de equilíbrio, sem considerar a exploração por poços, a infiltração eficaz é equivalente a vazão do fluxo subterrâneo natural e as reservas reguladoras.

Várias técnicas são disponíveis para quantificar recarga, entretanto a escolha de técnicas apropriadas é frequentemente difícil. Técnicas baseadas em dados de águas superficiais e da zona insaturada geralmente fornecem estimativas da recarga potencial, enquanto que aquelas baseadas em dados de águas subterrâneas fornecem estimativas da recarga real (SCANLON *et al.* 2002).

A aplicação da lei de Darcy, no caso de fluxos no meio saturado, é particularmente vantajosa quando o aquífero é alimentado por várias fontes (KRUSEMAN, 1997). As dificuldades ou imprecisões na aplicação deste método são apontadas pela susceptibilidade de ocorrência de fluxos verticais. No caso de fluxos de mais de um ano ou mais o método vai fornecer uma boa estimativa da recarga (LERNER *et al.* 1990). As dúvidas associadas a cada método corroboram a necessidade de aplicar várias técnicas distintas para aumentar a confiabilidade nas estimativas da recarga.

Ressalta-se, que a recarga foi estimada com a aplicação de diferentes metodologias para que se pudesse comparar e adequar resultados e, por conseguinte se ter um valor o mais real possível, devendo-se ressaltar possíveis aproximações para aplicação de um determinado método devido a escassez de dados.

#### 12.6.1 Método climatológico

A avaliação da recarga do Sistema Aquífero Barreiras (SAB) no Bloco Litoral Sul através do balanço climatológico foi realizada pelo método proposto por Thornthwaite e Matter (1955), modificado segundo as técnicas desenvolvidas pelo LAMO-CEPAS – IGc/USP. Neste caso, a parcela do escoamento superficial dos excedentes de água, foi avaliada de conformidade com o tipo de solo e declividade topográfica do terreno. Essa metodologia foi detalhadamente discutida no Relatório Parcial 01 (RP-01), sendo que neste capítulo serão retomados os principais resultados obtidos, permitindo uma comparação com os resultados alcançados nos demais métodos utilizados para cálculo da recarga do SAB no Bloco Litoral Sul.

Devido as suas características climatológicas bastante distintas, o bloco foi dividido em três zonas, baseadas nas pluviosidades (**Figura 4.10**). A zona 1 corresponde ao domínio com menor precipitação, com média de 1.165 mm/ano; a zona 2 é a faixa predominante com precipitação média anual de 1.375 mm; e a zona 3 corresponde as áreas com precipitação anual média de 1.495 mm.

As estimativas obtidas pelo balanço hídrico indicam maiores taxas potenciais de recarga em setores ao longo da linha de costa (zona 3), na área de ocorrência das dunas e paleodunas, diminuindo em direção ao interior do continente (zona 1), conforme apresentado na **Figura 12.24**.

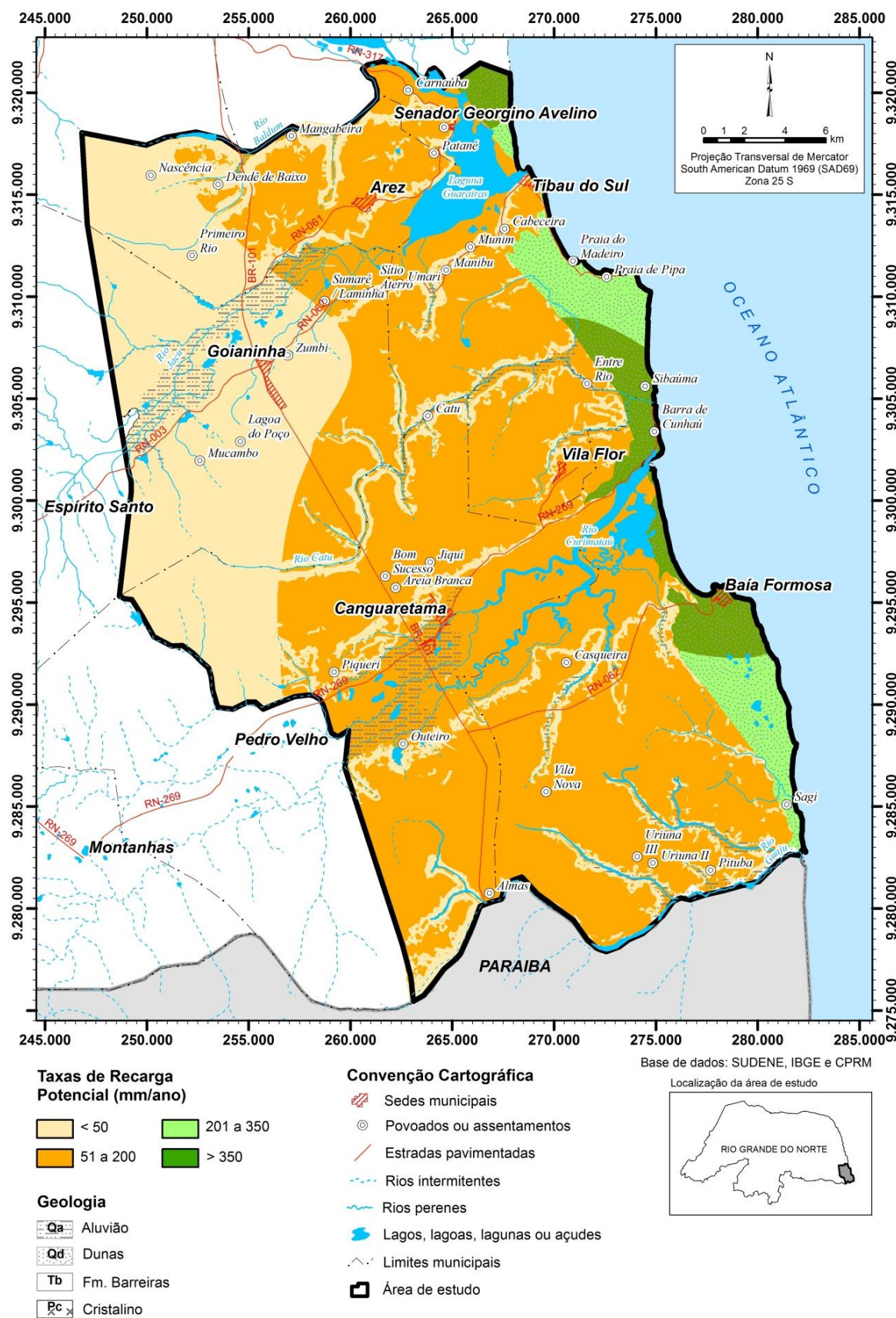


Figura 12.24. Taxas potenciais de recarga no Bloco Litoral Sul

Com base nos valores potenciais de infiltração obtidos (**Figura 12.24**), foi estimada a recarga do Sistema Aquífero Barreiras (**Tabela 12.12**) nas diferentes zonas e suas respectivas taxas de infiltração. Também foi estimada a recarga nos municípios do BLS, com base na área de ocorrência do SAB nesses municípios.

A taxa de infiltração variou de 5%, na porção oeste da área de estudo, até 17% na porção oriental, onde a precipitação média é mais elevada. Com base nessa metodologia, foi avaliada uma recarga total de  $120,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$  para toda a área, o que corresponde a uma taxa de infiltração média de 10 %.

| <b>Tabela 12.12. Recarga estimada nos municípios do BLS pelo método climatológico</b> |              |                       |           |           |  |
|---|--------------|-----------------------|-----------|-----------|--|
| <b>Município</b>  | <b>A</b>     |                       | <b>P</b>  | <b>I</b>  |  |
|   |              | <b>Km<sup>2</sup></b> | <b>mm</b> | <b>%</b>  | <b>x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ano</b> |
| Arez  | Z1           | 41,6                  | 1165      | 5         | 2,08                                     |
|   | Z2           | 71                    | 1365      | 8         | 7,81                                     |
|   | <b>Total</b> | <b>112,6</b>          |           |           | <b>9,89</b>                              |
| Senador G. Avelino  | Z2           | 8,3                   | 1365      | 11        | 1,24                                     |
|   | Z3           | 18,1                  | 1495      | 17        | 4,65                                     |
|   | <b>Total</b> | <b>26,4</b>           |           |           | <b>5,89</b>                              |
| Tibau do Sul  | Z2           | 84,2                  | 1365      | 11        | 12,63                                    |
|   | Z3           | 17,7                  | 1495      | 15        | 4,00                                     |
|   | <b>Total</b> | <b>101,9</b>          |           |           | <b>16,63</b>                             |
| Goianinha   | Z1           | 137                   | 1165      | 5         | 6,85                                     |
|   | Z2           | 54,7                  | 1365      | 7         | 5,06                                     |
|   | <b>Total</b> | <b>192,4</b>          |           |           | <b>11,91</b>                             |
| Canguaretama  | Z1           | 36,1                  | 1165      | 5         | 1,80                                     |
|   | Z2           | 174,2                 | 1365      | 9         | 20,90                                    |
|   | Z3           | 35,2                  | 1495      | 13        | 7,04                                     |
|   | <b>Total</b> | <b>245,5</b>          |           |           | <b>29,74</b>                             |
| Vila Flor   | Z3           | 47,7                  | 1495      | 12        | 8,82                                     |
|   | <b>Total</b> | <b>47,7</b>           |           |           | <b>8,82</b>                              |
| Baía Formosa  | Z2           | 198,8                 | 1365      | 10        | 27,03                                    |
|   | Z3           | 46,8                  | 1495      | 15        | 10,57                                    |
|   | <b>Total</b> |                       |           |           | <b>37,60</b>                             |
| <b>BLS</b>  | <b>TOTAL</b> | <b>971,4</b>          |           | <b>10</b> | <b>120,48</b>                            |

A: área do SAB; P: precipitação média; I: infiltração ou recarga

### 12.6.2 Aplicação da lei de Darcy ao meio poroso saturado

A recarga das águas subterrâneas foi também avaliada a partir da vazão do fluxo subterrâneo natural pela aplicação da lei de Darcy. Em regime de equilíbrio, sem exploração por poços ou retiradas de outra natureza, e, também na ausência de recarga por irrigação ou recarga urbana, a vazão do fluxo subterrâneo natural corresponde a recarga das águas subterrâneas. No caso em apreço, o Sistema Aquífero Barreiras encontra-se em regime de não equilíbrio devido à exploração de



águas subterrâneas e uma pequena parcela atribuída à recarga urbana. Assim sendo é necessário considerar esses componentes na estimativa da recarga.

A avaliação de recarga utilizando a lei de Darcy geralmente fornece valores inferiores aos reais (SCANLON *et al.* 2002).

A vazão do fluxo subterrâneo no Bloco Litoral Sul foi estimada através de frentes de escoamento caracterizadas conforme apresentado no Capítulo 11 e a partir de valores de transmissividade e gradientes hidráulicos adotados para cada uma das correspondentes seções (**Tabela 11.2**).

Convém ressaltar que os valores obtidos são simples estimativas, com incertezas, haja vista as extrapolações e aproximações realizadas pela ausência de dados em quantidade suficiente para a caracterização do problema apresentado.

A vazão total do fluxo subterrâneo obtida para o Bloco Litoral Sul foi de  $4,427 \text{ m}^3/\text{s}$ , o que corresponde a aproximadamente  $139,6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ . A exploração de águas subterrâneas no Bloco Litoral Sul totalizou  $10,4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$  e retirando o volume correspondente a recarga urbana ( $2,95 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ ), obtém-se o valor de  $7,45 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ , que somado a vazão de fluxo subterrâneo natural anual obtém-se a recarga de  $147 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ , que corresponde a uma taxa de infiltração de aproximadamente 11%.

#### 12.6.3 Método da flutuação do nível d'água

O método da flutuação do nível d'água (*Water Table Fluctuation Method*) é baseado na premissa de que a elevação do nível d'água em um aquífero livre ocorre devido à água de infiltração que alcança a superfície freática (HEALY; COOK, 2002). A aplicação do método, portanto, requer o conhecimento das variações sazonais do nível da água e, por conseguinte, das reservas reguladoras. Sua aplicação requer condições de equilíbrio, ou seja, não admite exploração ou retiradas de água como também não admite recarga por irrigação ou por atividades urbanas.

Tendo em vista que o Sistema Aquífero Barreiras no Bloco Litoral Sul está sob exploração e que existe uma parcela atribuída à recarga urbana, torna-se necessário considerar esses fatores na avaliação da recarga.

As reservas reguladoras (RR) foram avaliadas para cada “Zona de Precipitação” dos respectivos municípios (**Tabela 12.13**), com a obtenção de um valor total de  $187,92 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ . Para obtenção da recarga foi acrescentado a este valor as retiradas de água nos municípios sem influência de recarga urbana (WsRu), avaliada em  $7,45 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ . A recarga do Sistema Aquífero Barreiras no Bloco



Litoral Sul, portanto, atinge o montante de  $195,04 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano (195 milhões de m<sup>3</sup>/ano), conforme demonstrado na **Tabela 12.13**.

A taxa de recarga ou de água infiltrada no aquífero que chega as águas subterrâneas varia de 13 a 17%, com média de 14,6%.

Ressalta-se que as retiradas de água sem influência da recarga urbana (WsRu) foram obtidas a partir do conhecimento dos volumes de água explorados (WcRu) menos os valores correspondentes das recargas urbanas (Ru), conforme **Tabelas 12.13 e 12.14**.

#### 12.6.4 Abordagem sobre as técnicas na avaliação da recarga e avaliação dos resultados

Na avaliação da recarga do Sistema Aquífero Barreiras do Bloco Litoral Sul foram utilizados os métodos do balanço climatológico, da lei de Darcy e da variação de carga.

Os valores obtidos para a recarga do Sistema Aquífero Barreiras pela aplicação do método do balanço climatológico foi da ordem de  $120 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano, correspondendo a uma taxa de infiltração média de 10%. Com aplicação da lei de Darcy, foi estimada uma recarga de  $147 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano, correspondendo a uma taxa de infiltração média de 11%. E com o método da variação de carga obteve-se uma recarga de  $195 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano, que corresponde a uma taxa de recarga de 14,6%.

O método climatológico fornece uma indicação potencial da recarga, que corresponde ao excedente de água do balanço hídrico, o qual inclui água subterrânea e água superficial. No caso em apreço, a parcela correspondente ao escoamento superficial foi estimada, de modo que a informação apresentada sobre recarga representa efetivamente o volume da água infiltrado no curso de um ano hidrológico. O método, entretanto, não considera os aspectos hidrogeológicos, sendo baseado fundamentalmente em resultados de um balanço hídrico climatológico na faixa mais superior do perfil do solo. O método é exploratório e fornece uma ordem de grandeza da recarga, servindo de base para comparação de resultados obtidos por outros métodos.

A estimativa da recarga baseada na lei de Darcy em geral fornece resultados duvidosos, e, reconhecidamente mais baixos que os reais. As estimativas de recarga no âmbito dos municípios não foram consideradas, haja vista a falta de dados para uma caracterização satisfatória das frentes de escoamento. De fato, os melhores resultados são obtidos em áreas de dimensões regionais compatíveis com as dimensões do Bloco Litoral Sul.

O método da variação de carga em geral fornece melhores resultados, apesar de que também apresentam suas limitações. É necessário conhecer a porosidade específica do aquífero, que é um componente de difícil avaliação, e, também, a flutuação sazonal do nível d'água, que requer investimentos consideráveis. No caso em apreço foi considerada uma variação de carga média de 1,5m para todos os municípios, tomada com base em resultados obtidos na bacia do rio Pirangi. Corresponde ao mesmo valor adotado nos estudos hidrogeológicos no Bloco Litoral Norte e, é bastante próximo do valor obtido em estudos regionais (IPT, 1982), que é de 1,6 m.

A porosidade específica do aquífero foi avaliada em função do conhecimento da condutividade hidráulica média obtida para cada município e os resultados obtidos são compatíveis com valores já conhecidos, referidos na literatura, de conformidade com os tipos litológicos dos sedimentos penetrados. Diante dessa abordagem, o método de avaliação de recarga a ser considerado neste trabalho, é o método de variação de carga que fornece a recarga por município. Assim sendo, a recarga do Bloco Litoral Sul é de aproximadamente  $195 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ , que corresponde a taxa de infiltração média de 14,6%. A taxa de recarga é mais baixa no município de Senador Georgino Avelino, com uma média de 13,5 %, e mais elevada no município de Goianinha, com taxa de infiltração de 15,5%.

| Tabela 12.13. Recarga das águas subterrâneas do SAB pelo método da variação de carga |              |                 |      |                                      |             |             |               |    |
|--|--------------|-----------------|------|--------------------------------------|-------------|-------------|---------------|----|
| Município  | Área         |                 | P    | RR                                   | WcRu        | WsRu        | R             |    |
|  |              | Km <sup>2</sup> | mm   | X10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /ano |             |             |               | %  |
| Arez   | Z1           | 41,6            | 1165 | 7,49                                 |             | 0,20        | 7,69          | 16 |
|  | Z2           | 71,0            | 1365 | 12,78                                | 1,25        | 1,08        | 13,86         | 14 |
|  | <b>Total</b> | <b>112,6</b>    |      | <b>20,27</b>                         | <b>1,25</b> | <b>1,28</b> | <b>21,55</b>  |    |
| Senador Georgino Avelino   | Z2           | 8,3             | 1365 | 1,62                                 |             |             | 1,62          | 14 |
|  | Z3           | 18,1            | 1495 | 3,26                                 | 0,41        | 0,32        | 3,58          | 13 |
|  | <b>Total</b> | <b>26,4</b>     |      | <b>4,88</b>                          | <b>0,41</b> | <b>0,32</b> | <b>5,20</b>   |    |
| Tibau do Sul   | Z2           | 84,2            | 1365 | 17,68                                | 2,20        | 1,52        | 19,20         | 17 |
|  | Z3           | 17,7            | 1495 | 3,98                                 |             | 0,14        | 4,12          | 16 |
|  | <b>Total</b> | <b>101,9</b>    |      | <b>21,66</b>                         | <b>2,20</b> | <b>1,66</b> | <b>23,32</b>  |    |
| Goianinha  | Z1           | 137,0           | 1165 | 26,71                                | 1,55        | 1,02        | 27,73         | 17 |
|  | Z2           | 54,7            | 1365 | 10,67                                |             | 0,13        | 10,80         | 14 |
|  | <b>Total</b> | <b>191,7</b>    |      | <b>37,38</b>                         | <b>1,55</b> | <b>1,15</b> | <b>38,53</b>  |    |
| Canguaretama   | Z1           | 36,1            | 1165 | 6,50                                 |             |             | 6,50          | 15 |
|  | Z2           | 174,2           | 1365 | 33,97                                | 2,45        | 1,39        | 35,36         | 15 |
|  | Z3           | 35,2            | 1495 | 7,39                                 |             | 0,72        | 8,11          | 15 |
|  | <b>Total</b> | <b>245,5</b>    |      | <b>47,86</b>                         | <b>2,45</b> | <b>2,11</b> | <b>49,97</b>  |    |
| Vila Flor  | Z3           | 47,7            | 1495 | 10,73                                | 0,41        | 0,23        | 10,96         | 15 |
|  | <b>Total</b> | <b>47,7</b>     |      | <b>10,73</b>                         | <b>0,41</b> | <b>0,23</b> | <b>10,96</b>  |    |
| Baía Formosa   | Z2           | 198,8           | 1365 | 35,68                                |             | 0,59        | 36,27         | 13 |
|  | Z3           | 46,8            | 1495 | 9,13                                 | 0,34        | 0,11        | 9,24          | 13 |
|  | <b>Total</b> | <b>245,6</b>    |      | <b>44,81</b>                         | <b>0,34</b> | <b>0,70</b> | <b>45,51</b>  |    |
| <b>Bloco Litoral Sul</b>   | <b>TOTAL</b> | <b>971,4</b>    |      | <b>187,59</b>                        | <b>8,61</b> | <b>7,45</b> | <b>195,04</b> | 15 |

P: precipitação; Δh: variação sazonal de carga; k: condutividade hidráulica; Sy: porosidade específica; RR: reserva reguladora; WcRu: retirada com recarga urbana; WsRu: retiradas sem recarga urbana; R: recarga

| Tabela 12.14. Síntese dos valores obtidos para recarga com aplicação de diferentes técnicas |              |                 |      |                                      |           |                                      |           |                                      |           |
|---|--------------|-----------------|------|--------------------------------------|-----------|--------------------------------------|-----------|--------------------------------------|-----------|
| Município   | Área         |                 | P    | Balanço Hídrico                      |           | Lei de Darcy                         |           | Variação de carga                    |           |
|   |              | Km <sup>2</sup> | mm   | x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /ano | %         | x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /ano | %         | x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /ano | %         |
| Arez  | Z1           | 41,6            | 1165 | 2,1                                  | 5         |                                      |           | 7,7                                  | 16        |
|   | Z2           | 71,0            | 1365 | 7,8                                  | 8         |                                      |           | 13,9                                 | 14        |
|   | <b>Total</b> | <b>112,6</b>    |      | <b>9,9</b>                           |           |                                      |           | <b>21,6</b>                          |           |
| Senador Georgino Avelino  | Z2           | 8,3             | 1365 | 1,2                                  | 11        |                                      |           | 1,6                                  | 14        |
|   | Z3           | 18,1            | 1495 | 4,7                                  | 17        |                                      |           | 3,6                                  | 13        |
|   | <b>Total</b> | <b>26,4</b>     |      | <b>5,9</b>                           |           |                                      |           | <b>5,2</b>                           |           |
| Tibau do Sul  | Z2           | 84,2            | 1365 | 12,6                                 | 11        |                                      |           | 19,2                                 | 17        |
|   | Z3           | 17,7            | 1495 | 4,0                                  | 15        |                                      |           | 4,1                                  | 16        |
|   | <b>Total</b> | <b>101,9</b>    |      | <b>16,6</b>                          |           |                                      |           | <b>23,3</b>                          |           |
| Goianinha   | Z1           | 137,0           | 1165 | 6,9                                  | 5         |                                      |           | 27,7                                 | 17        |
|   | Z2           | 54,7            | 1365 | 5,1                                  | 7         |                                      |           | 10,8                                 | 14        |
|   | <b>Total</b> | <b>191,7</b>    |      | <b>11,9</b>                          |           |                                      |           | <b>38,5</b>                          |           |
| Canguaretama  | Z1           | 36,1            | 1165 | 1,8                                  | 5         |                                      |           | 6,5                                  | 15        |
|   | Z2           | 174,2           | 1365 | 20,9                                 | 9         |                                      |           | 35,4                                 | 15        |
|   | Z3           | 35,2            | 1495 | 7,0                                  | 13        |                                      |           | 8,1                                  | 15        |
|   | <b>Total</b> | <b>245,5</b>    |      | <b>29,7</b>                          |           |                                      |           | <b>50,0</b>                          |           |
| Vila Flor   | Z3           | 47,7            | 1495 | 8,8                                  | 12        |                                      |           | 11,0                                 | 15        |
|   | <b>Total</b> | <b>47,7</b>     |      | <b>8,8</b>                           |           |                                      |           | <b>11,0</b>                          |           |
| Baía Formosa  | Z2           | 198,8           | 1365 | 27,0                                 | 10        |                                      |           | 36,3                                 | 13        |
|   | Z3           | 46,8            | 1495 | 10,6                                 | 15        |                                      |           | 9,2                                  | 13        |
|   | <b>Total</b> | <b>245,6</b>    |      | <b>37,6</b>                          |           |                                      |           | <b>45,5</b>                          |           |
| <b>Bloco Litoral Sul</b>  |              | <b>971,4</b>    |      | <b>120,5</b>                         | <b>10</b> | <b>147</b>                           | <b>11</b> | <b>195,0</b>                         | <b>15</b> |

P: precipitação

## 12.7 Potencialidades e recursos exploráveis

Potencialidade é a descarga anual de água que pode ser extraída de um determinado aquífero sem que se produza um efeito indesejável, enquanto que os recursos exploráveis correspondem à diferença entre potencialidade e disponibilidade. Assim sendo, em condições de equilíbrio sem exploração ou retiradas de água por bombeamento, os recursos exploráveis correspondem às potencialidades. Os cálculos relativos às potencialidades e recursos exploráveis no BLS são demonstrados na **Tabela 12.15**.

| <b>Tabela 12.15. Potencialidade e recurso explorável de águas subterrâneas no BLS</b> |              |                       |  |               |             |                         |            |
|---|--------------|-----------------------|--|---------------|-------------|-------------------------|------------|
| <b>Município</b>  | <b>Área</b>  |                       | <b>R</b>                                 | <b>Pot</b>    | <b>WsRu</b> | <b>R<sub>expt</sub></b> | <b>Uso</b> |
|   |              | <b>Km<sup>2</sup></b> | <b>x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ano</b> |               |             |                         | <b>%</b>   |
| Arez  | Z1           | 41,6                  | 7,69                                     | 7,69          | 0,20        | 7,49                    |            |
|   | Z2           | 71,0                  | 13,86                                    | 13,86         | 1,08        | 12,78                   |            |
|   | <b>Total</b> | <b>112,6</b>          | <b>21,55</b>                             | <b>21,55</b>  | <b>1,28</b> | <b>20,27</b>            | <b>5,9</b> |
| Senador Georgino Avelino  | Z2           | 8,3                   | 1,62                                     | 1,62          |             | 1,62                    |            |
|   | Z3           | 18,1                  | 3,58                                     | 3,58          | 0,32        | 3,26                    |            |
|   | <b>Total</b> | <b>26,4</b>           | <b>5,20</b>                              | <b>5,20</b>   | <b>0,32</b> | <b>4,88</b>             | <b>6,2</b> |
| Tibau do Sul  | Z2           | 84,2                  | 19,20                                    | 19,20         | 1,52        | 17,68                   |            |
|   | Z3           | 17,7                  | 4,12                                     | 4,12          | 0,14        | 3,98                    |            |
|   | <b>Total</b> | <b>101,9</b>          | <b>23,32</b>                             | <b>23,32</b>  | <b>1,66</b> | <b>21,66</b>            | <b>7,1</b> |
| Goianinha   | Z1           | 137,0                 | 27,73                                    | 27,73         | 1,02        | 26,71                   |            |
|   | Z2           | 54,7                  | 10,80                                    | 10,80         | 0,13        | 10,67                   |            |
|   | <b>Total</b> | <b>191,7</b>          | <b>38,53</b>                             | <b>38,53</b>  | <b>1,15</b> | <b>37,38</b>            | <b>3</b>   |
| Canguaretama  | Z1           | 36,1                  | 6,50                                     | 6,50          |             | 6,50                    |            |
|   | Z2           | 174,2                 | 35,36                                    | 35,36         | 1,39        | 33,97                   |            |
|   | Z3           | 35,2                  | 8,11                                     | 8,11          | 0,72        | 7,39                    |            |
|   | <b>Total</b> | <b>245,5</b>          | <b>49,97</b>                             | <b>49,97</b>  | <b>2,11</b> | <b>47,86</b>            | <b>4,2</b> |
| Vila Flor   | Z3           | 47,7                  | 10,96                                    | 10,96         | 0,23        | 10,73                   |            |
|   | <b>Total</b> | <b>47,7</b>           | <b>10,96</b>                             | <b>10,96</b>  | <b>0,23</b> | <b>10,73</b>            | <b>2,1</b> |
| Baía Formosa  | Z2           | 198,8                 | 36,27                                    | 36,27         | 0,59        | 35,68                   |            |
|   | Z3           | 46,8                  | 9,24                                     | 9,24          | 0,11        | 9,13                    |            |
|   | <b>Total</b> | <b>245,6</b>          | <b>45,51</b>                             | <b>45,51</b>  | <b>0,70</b> | <b>44,81</b>            | <b>1,5</b> |
| <b>BLS</b>  |              | <b>971,4</b>          | <b>195,04</b>                            | <b>195,04</b> | <b>7,45</b> | <b>187,59</b>           | <b>4,3</b> |

P: precipitação; R: recarga; Pot: potencialidade; WsRu: retirada sem recarga urbana; R<sub>expt</sub>: recurso explorável.



As potencialidades do Sistema Aquífero Barreiras do Bloco Litoral Sul corresponde em uma primeira aproximação à recarga. Assim sendo, as potencialidades do Bloco Litoral Sul são de uma ordem de grandeza de  $195 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ .

Tomando por base as retiradas de água dos municípios sem considerar a recarga urbana, verifica-se que é bombeado apenas 4,3 % dos recursos que poderão ser disponibilizados para o desenvolvimento dos municípios de Bloco Litoral Sul.

Considerando os municípios individualmente, as potencialidades são mais baixas em Senador Georgino Avelino ( $5,2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ ), que é o menor município, cujos recursos exploráveis são da ordem de  $4,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$  e mais elevados no município de Canguaretama (aproximadamente  $50 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ ), onde os recursos exploráveis somam  $47,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ .

Com relação ao uso, o município de Baía Formosa é quem menos explora águas subterrâneas do Sistema Aquífero Barreiras, cujo percentual de uso é de apenas 1,5%. Entre os municípios, aquele que mais faz uso das águas subterrâneas é o município de Tibau do Sul, com 7,1% de uso.

### 13 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL DO BLS

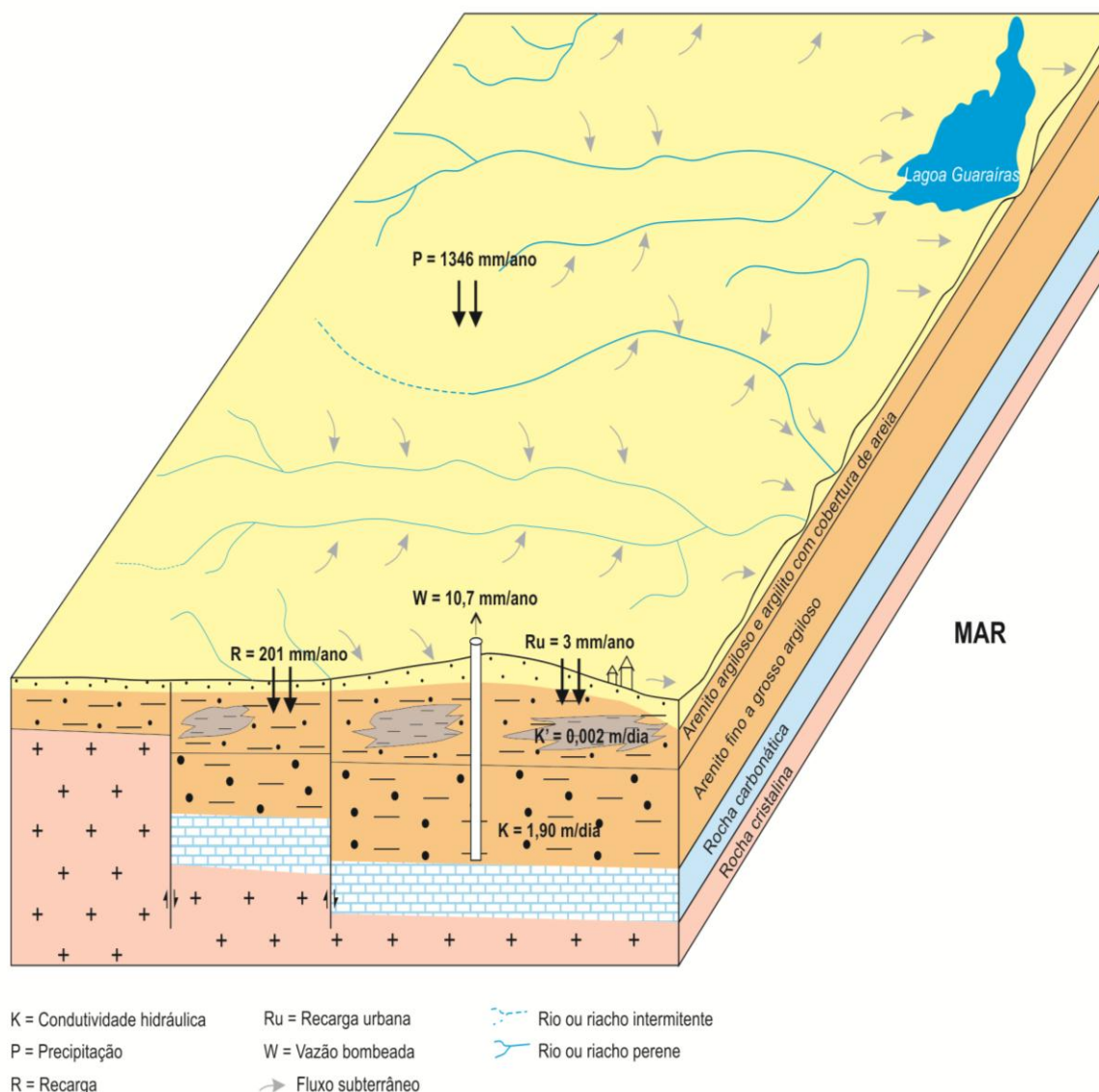
Os modelos hidrogeológicos conceituais constituem uma simplificação e representação de sistemas aquíferos em diagramas que podem ser bidimensionais ou tridimensionais, no qual se tenta reproduzir de forma mais realística possível às condições de campo.

A configuração, conteúdo e natureza das informações que se procura representar podem mudar em conformidade com os objetivos do trabalho, cujo interesse maior seja enfatizar as condições hidrogeológicas naturais em potencial ou os aspectos ambientais envolvidos, em especial aqueles de natureza antrópica. Qualquer que seja a condição estabelecida, os modelos devem expressar um conhecimento suficiente que permita despertar um sentimento de uso adequado e de gestão sustentável dos recursos hídricos.

Os modelos hidrogeológicos conceituais constituem a base para a elaboração dos modelos matemáticos e computacionais, podendo, entretanto, serem utilizados no conhecimento da origem e dos mecanismos de contaminação e ou salinização das águas subterrâneas.

O modelo hidrogeológico conceitual elaborado para o Bloco Litoral Sul (**Figura 13.1**) fornece uma visão tridimensional do Sistema Aquífero Barreiras, no qual se pode visualizar:

- a geometria e dimensões relativas das unidades do sistema hidrogeológico;
- as características climáticas, com indicação das precipitações pluviométricas no domínio do Bloco Litoral Sul;
- a compartimentação lito-estrutural e sua influência no caráter do Sistema Aquífero Barreiras notadamente nas suas potencialidades;
- o tipo de aquífero e aquitardes;
- os parâmetros hidrodinâmicos do sistema aquífero, especificamente condutividade hidráulica de aquífero e aquitardes;
- o comportamento do sistema de fluxo subterrâneo e sua relação com as superficiais;
- Balanço hidrogeológico compreendendo a precipitação pluviométrica no Bloco; a lâmina d'água infiltrada que constitui a recarga; a recarga urbana e as retiradas de água por bombeamentos.



**Figura 13.1. Modelo hidrogeológico conceitual do SAB no Bloco Litoral Sul**

Portanto, em síntese o modelo integra todo o conhecimento adquirido sobre o Sistema Aquífero Barreiras nos seus aspectos dimensionais, estruturais e hidrodinâmicos, de funcionamento hidráulico do sistema aquífero, de potencialidade e usos, além do componente ambiental expresso pela recarga urbana.

O modelo hidrogeológico conceitual do Sistema Aquífero Barreiras no Bloco Litoral Sul constitui uma importante ferramenta no diagnóstico da origem e dos mecanismos de contaminação das águas subterrâneas, em associação com os estudos hidroquímicos e isotópicos desenvolvidos na área estudada. Também podem servir de base na elaboração do modelo matemático e computacionais do fluxo subterrâneo.

O modelo foi elaborado a partir do conhecimento hidrogeológico adquirido sobre o Sistema Aquífero Barreiras integrando informações de campo e de laboratório, de modo a se ter uma visão mais real possível do funcionamento hidráulico do sistema. Neste contexto, o aspecto fundamental a ser considerado foi a elaboração de um modelo capaz de representar os diferentes comportamentos hidrogeológicos observados em diferentes setores de ocorrência, atribuídos a fatores climáticos, geológicos; geomorfológicos e estruturais. A elaboração do mesmo passou por uma série de atividades metodológicas e didáticas conforme descrito a seguir:

Pesquisa bibliográfica abordando os aspectos relativos a hidrogeologia do Bloco Litoral Sul;

Utilização de estudos hidrogeológicos desenvolvidos no âmbito da área e até o momento não publicados;

Utilização do cadastro de poços do Sistema Aquífero Barreiras, realizado em campo, destacando o uso da água e profundidade do nível das águas subterrâneas;

Utilização, prioritariamente, de dados de poços totalmente penetrantes no Sistema Aquífero Barreiras, visando a obtenção de parâmetros hidráulicos o mais representativos possível;

Elaboração de planilha reunindo informações sobre espessura do Sistema Aquífero Barreiras; vazão específica dos poços; espessura do aquífero no caso do aquífero ser semiconfinado ou espessura saturada no caso do aquífero comportar-se como livre; espessura da camada semiconfinante; transmissividade; condutividade hidráulica; condutividade da camada semiconfinante no caso do aquífero se comportar como semiconfinado; coeficiente de armazenamento e ou porosidade específica;

Elaboração do mapa potenciométrico e caracterização do fluxo subterrâneo, com obtenção de informações sobre direções do fluxo subterrâneo, gradiente hidráulico, vazão do fluxo subterrâneo natural e avaliação das relações da água subterrânea com as águas superficiais.

Em linhas gerais o modelo conceitual do Sistema Aquífero Barreiras no Bloco Litoral Sul pode ser descrito conforme a seguir.

Trata-se de um sistema aquífero livre, como comportamento em locais específicos de aquífero semiconfinado. A condição de aquífero livre, que é mais comum, existe quando os sedimentos penetrados são constituídos de arenitos ou de arenitos argilosos, em todo o seu perfil. No caso de semiconfinado, a parte superior do perfil é formada de argilitos ou arenitos argilosos com características de aquítarde e a parte inferior é formada de arenitos que constituem o aquífero propriamente dito. A

condição de livre ou semiconfinado está condicionada ao caráter litológico e estrutural dos estratos sedimentares, o que é identificado pela mudança lateral de fácies de argilitos para arenitos. Isto pode ocorrer devido a falhamentos ou simples mudança lateral de fácies.

A espessura do aquífero cresce no sentido de oeste para leste em direção ao mar. São identificados três blocos, cuja compartimentação ocorre provavelmente devido a falhamentos escalonados nessa direção.

A condutividade hidráulica do aquífero é em média de 1,9 m/dia ou  $2,1 \times 10^{-5}$  m/s, o que é característico de arenitos finos a grossos com percentual de argila.

No caso do aquífero ser semiconfinado, o aquífero Barreiras é limitado no topo por uma camada semipermeável caracterizada como *aquitarde* formada de argilitos arenosos, cuja condutividade hidráulica média é da ordem de  $2 \times 10^{-3}$  m/dia ou  $2,3 \times 10^{-8}$  m/s. No caso do aquífero se comportar como livre, os estratos superiores são em geral formados de areias finas e maioria dos casos com percentual argiloso.

No setor oeste do bloco, o aquífero Barreiras está limitado na base por rochas do embasamento cristalino, enquanto que no setor central e leste o mesmo está limitado por rochas carbonáticas com características de *aquitarde*.

O fluxo subterrâneo é em geral dirigido para os principais rios, alimentando o fluxo de base dos mesmos, e, em seguida vai em direção ao mar.

Precipita-se sobre a superfície do Sistema Aquífero Barreiras, uma lâmina de água de 1346 mm anuais; do total precipitado se infiltra e recarrega as águas subterrâneas cerca de 201 mm anuais. As retiradas por bombeamento são de apenas 10,7 mm/anuais e a recarga urbana, de 3 mm anuais.

As unidades que constituem o modelo hidrogeológico conceitual foram definidas conforme descrito a seguir:

As dimensões, litologia e estrutura do Sistema Aquífero Barreiras foram definidos e avaliados a partir de informações de geologia de superfície e correlação de perfis de poços;

Os tipos de aquífero e aquitardes foram definidos pela disposição relativa dos estratos sedimentares, pela litologia e posição relativa das cargas hidráulicas;

Os parâmetros hidráulicos e hidrodinâmicos do sistema aquífero Barreiras foram avaliados com base em resultados de ensaio de bombeamento, bem como nos perfis litológicos e construtivos de poços e piezômetros utilizados nos testes; Esses ensaios constituem, na maioria dos casos, simples resultados de testes de



bombeamento de produção de poço que fazem parte do cadastro de poços realizado pela Servmar; apenas um teste de aquífero com dispositivo de poço de observação (piezômetro). Ainda fazendo parte do referido cadastro, foram utilizados dados de vazão específica de poços, no caso de não se dispor de resultados de testes, e em seguida avaliada a transmissividade e a condutividade hidráulica do aquífero com o uso de metodologia específica e considerada mais adequada para a situação apresentada;

A recarga das águas subterrâneas foi avaliada por município e para o Bloco Litoral Sul como um todo, com a aplicação de diferentes metodologias, que incluiu técnica do balaço hídrico; aplicação da lei de Darcy aplicada ao meio poroso saturado e técnica da variação de carga. A análise comparativa dos resultados levou a indicação dos valores de recarga obtidos pelo método da variação de carga. O método da variação de carga é válido para condições de equilíbrio, de modo que a recarga efetiva foi obtida através de balaço hidrogeológico considerando as retiradas de água (bombeamento) e a recarga urbana;

A recarga urbana representa a recarga propiciada pela infiltração de efluentes urbanos e os vazamentos na rede de distribuição de água, os quais foram criteriosamente avaliados;

As retiradas de água corresponde ao recurso explorado, o qual foi estimado com base no cadastro de poços realizado e demandas de água avaliadas para cada município;

No caso do aquífero se comportar como semiconfinado é indicado o fenômeno de drenança vertical descendente, apesar de que na maioria dos casos a diferença de carga é muito pequena. A drenança, na realidade, ocorre durante o bombeamento de poços.

## 14 MAPA HIDROGEOLÓGICO DO BLS

Os mapas hidrogeológicos constituem ferramentas úteis para representar espacialmente as diversas características hidrogeológicas e hidrogeológicas de uma determinada área ou aquífero. A quantidade de dados a representar varia com os objetivos do mapa, com a escala a ser utilizada e o estado de conhecimentos sobre a região estudada. As escalas detalhadas requerem uma densidade maior de pontos quanto ao conhecimento do aquífero, não sendo recomendadas extrapolações exageradas que possam por em dúvida a qualidade do mapa. A escala de 1:200.000 adotada nos estudos do Bloco Litoral Sul se enquadra no tipo de estudos gerais, podendo o referido mapa ser utilizado como ferramenta de planificação e gestão.

Os componentes de um mapa hidrogeológicos são definidos de acordo com os objetivos do trabalho e disponibilização de dados a representar, porém, em linhas gerais deverão incluir:

- Dados climáticos, no qual se destaca a distribuição das precipitações pluviométricas sob a forma de isoietas;
- Dados geológicos, que se referem as unidades geológicas que constituem aquíferos, incluindo área de ocorrência, espessuras e litologia, além de aspectos estruturais relevantes;
- Dados de hidrologia superficial, principalmente toda a configuração da rede drenagem com localização de barragens, estações de medição de descargas de rios, riachos e fontes;
- Dados de hidrologia subterrânea, que compreendem a distribuição espacial dos poços de captação de água, a representação dos parâmetros hidrodinâmicos, notadamente transmissividade, condutividade hidráulica e espessura saturada, características do fluxo subterrâneo e representação de zonas segundo suas potencialidades;
- Dados hidroquímicos, notadamente representação dos sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica e dureza das águas subterrâneas, além de cátions e ânions específicos.

Em atendimento aos Termos de Referência apresentado pela SEMARH e Proposta Técnica apresentada pela Empresa Servmar foi elaborado o Mapa Hidrogeológico do Bloco Litoral Sul, apresentando na **Figura 14.1**.

O mapa hidrogeológico apresentado é uma representação das condições da água subterrânea do BLS (**Figura 14.1**) e o mesmo poderá ser utilizado em atividades de

planejamento e gestão de águas subterrâneas. O referido mapa serve de ponto de partida para o desenvolvimento de estudos mais detalhados, podendo ser então facilmente atualizado assim que novas informações e conhecimentos tornam-se disponíveis.

O mapa hidrogeológico do BLS é uma integração das informações obtidas e dos mapas hidrogeológicos específicos elaborados. Nesse contexto, são reunidas informações sobre condições climáticas e unidades geológicas que constituem aquíferos, com suas características lito-estruturais, parâmetros hidráulicos e hidrodinâmicos, potencialidades e infraestrutura hídrica instalada.

#### **a) Unidades do sistema hidrogeológico**

##### **Sistema Aquífero Barreiras**

Abrange praticamente todo o Bloco Litoral Sul com diferentes potencialidades hidrogeológicas condicionadas pelo clima, contexto geológico regional e caráter lito-estrutural dos estratos sedimentares da formação Barreiras.

No setor Oriental do Bloco as condições hidrogeológicas são em geral mais favoráveis. Isto se verifica, devido as precipitações pluviométricas mais elevadas, notadamente no setor centro-leste do Bloco, onde as precipitações são em média de 1.495 mm, aliado ao caráter geológico e estrutural favorável ao armazenamento de águas subterrâneas. No setor ocidental do Bloco as precipitações pluviométricas são mais baixas, da ordem 1.165 mm e o caráter lito-estrutural dominante condiciona a ocorrência de reservatórios de águas subterrâneas mais modestos.

O Sistema Aquífero Barreiras é formado na sua parte superior por arenitos argilosos e argilitos, não raro com mudança lateral de fácies para arenitos menos argilosos; Apresenta uma cobertura de sedimentos com a seguinte constituição: areias eólicas, finas e homogêneas, que constituem as dunas, na faixa oriental do Bloco Litoral Sul; areias argilosas com cascalho e material lamoso, que constituem as aluviões, que ocorrem nos vales dos principais rios; cobertura areno-argilosa menos representativa formada de elúvios e colúvios de pequena espessura que ocorrem em praticamente todo o domínio dos tabuleiros do Barreiras.

As dunas devido a sua constituição arenosa e disposição no terreno são em geral insaturadas e não constituem aquífero, entretanto exercem a função importante de conduzir as águas de infiltração no terreno em direção aos estratos inferiores do aquífero Barreiras.

## **Rochas carbonáticas**

As rochas carbonáticas são datadas do Cretáceo Superior e estão subjacentes ao aquífero Barreiras. Desenvolvem sistemas cársticos e fraturas associadas que permitem o armazenamento de água. São litologicamente constituídas de calcários, folhelhos e arenitos calcíferos. Sob o domínio do Sistema Aquífero Barreiras, o topo das rochas carbonáticas situa-se a profundidades que variam de 19 a 100 m, com média de 62 m. Trata-se de uma unidade muito pouco conhecida do ponto de vista hidrogeológico, e o seu conhecimento não tem despertado interesse diante da ocorrência do Sistema Aquífero Barreiras com elevada potencialidade hidrogeológica e facilidades de captação de água.

## **Cristalino**

Esta unidade ocorre em superfície numa pequena porção no setor ocidental da área de estudo, sendo formada de rochas ígneas e metamórficas pré-cambrianas, do embasamento cristalino, cujas águas subterrâneas se armazenam nas zonas de fraqueza das rochas (fendas, falhas e fissuras). Suas potencialidades hidrogeológicas são reconhecidamente baixas e podem apresentar problemas de salinização nas águas. Em subsuperfície, subjacente ao aquífero Barreiras, sua ocorrência é ainda mais duvidosa e de menor interesse, haja vista a ocorrência expressiva do Sistema Aquífero Barreiras. No Alto de Goianinha, a margem do rio Catu, as rochas cristalinas foram atingidas a uma profundidade de 218 m.

### **b) O controle estrutural**

O caráter estrutural do Bloco Litoral Sul teve uma influência fundamental nas potencialidades do Sistema Aquífero Barreiras, condicionando maiores espessuras nos domínios dos tabuleiros ou altos estruturais e menores espessuras nos vales notadamente nos domínios dos *grabens* dos rios Jacu e Curimataú. Ainda, sob o controle estrutural, as espessuras dos SAB tendem a aumentar no sentido oeste-leste, em direção ao mar, haja vista a ocorrência de falhamentos nesta direção que favorecem este comportamento.

### **c) Infra estrutura hídrica instalada**

O mapa hidrogeológico elaborado apresenta uma visão espacial da infraestrutura hídrica instalada no Bloco Litoral Sul, incluídos poços públicos e poços privados (Figura 7.1), explicitando a importância das águas subterrâneas no contexto socioeconômico e na qualidade de vida da população. No total são 567 poços penetrando o Sistema aquífero Barreiras com profundidade média de 53 m e vazão específica de  $2,2 \text{ m}^3/\text{h/m}$ , que no total fornece  $10,4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$  para atendimento a população do Bloco Litoral Sul no abastecimento humano, desenvolvimento agrícola e industrial. Denota-se uma maior concentração de poços no Município de Tibau do

Sul e Goianinha, que inclui poços públicos e particulares. Todas as cidades do Bloco Litoral Sul são abastecidas por águas subterrâneas do Sistema Aquífero Barreiras.

#### **d) Potencialidades do Sistema Aquífero Barreiras**

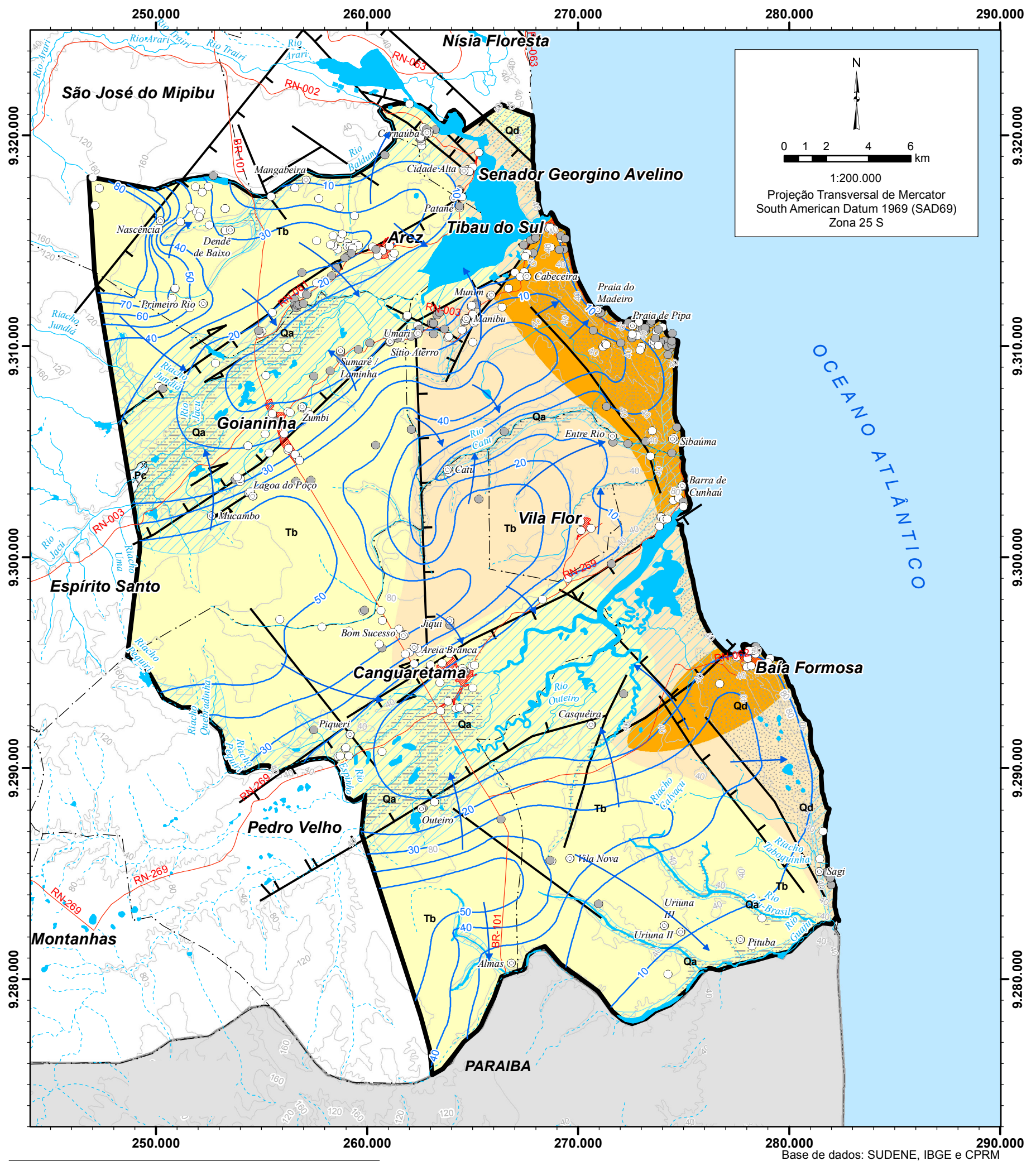
As potencialidades hidrogeológicas de uma área podem ser definidas em função da transmissividade dos aquíferos. O mapa hidrogeológico do Bloco Litoral Sul apresenta as potencialidades hidrogeológicas em conformidade com as zonas de transmissividade definidas para Sistema Aquífero Barreiras, conforme apresentado a seguir:

Zona de transmissividade inferior a  $75 \text{ m}^2/\text{dia}$ , que corresponde a área de maior abrangência e se desenvolve principalmente na parte Ocidental do Bloco Litoral Sul;

Zona com valores de transmissividade compreendidos entre  $75$  e  $150 \text{ m}^2/\text{dia}$  que corresponde em grande parte aos *grabens* associados a faixa costeira;

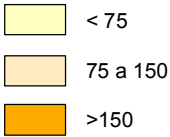
Zona com transmissividade superior a  $150 \text{ m}^2/\text{dia}$ , que corresponde a uma ocorrência relativamente pequena que se desenvolve contígua a linha de costa nos municípios de Tibau do Sul e Vila Flor.





| Unidades Hidrogeológicas   | Descrição  |
|--|--|
| <div><div>Qa</div><div>Aluvião</div></div> <div><div>Qd</div><div>Dunas</div></div> <div><div>Tb</div><div>Barreiras</div></div> | Parte superior formada por depósitos recentes de dunas, aluviões, elúvios e colúvios, de natureza arenosa e areno-argilosa. Parte intermediária composta por argilitos arenosos e arenitos argilosos e na parte inferior composta por arenitos de textura fina a grosseira, com intercalações argilosas. Sistema livre a semi-confinado, com transmissividade variando de 1,1 a 436,8 m <sup>2</sup> (média 64,8 m <sup>2</sup> /dia); vazão específica de 0,05 a 13 m <sup>3</sup> /h/m (média 1,74 m <sup>3</sup> /h/m); espessura saturada até 75 m (média 35,9 m); nível estático surgente até 60 m (média 21,15 m); condutividade hidráulica de 0,04 até 16,18 m/dia (média 1,91 m/dia); pH de 4,20 a 7,90 (média 6,09), indicando águas predominantemente ácidas; e STD de 20 a 1218 mg/l (média 161 mg/l), com águas de baixa salinidade. |
| <div><div>Pc</div><div>Cristalino</div></div>  | Rochas carbonáticas representadas por calcários e arenitos calcíferos que constituem um aquífero cárstico-fissural. Não há informações de parâmetros desse aquífero no cadastro.   |
| <div><div>Pc</div><div>Cristalino</div></div>  | Rochas ígneas e metamórficas pré-cambrianas, do embasamento cristalino, cujas águas subterrâneas se armazenam nas zonas de fraqueza das rochas (fendas, falhas e fissuras). Não há informações de parâmetros desse aquífero no cadastro.   |

Transmissividade do SAB (m<sup>2</sup>/dia)



Legenda

- Poços de produção privados
- Poços de produção públicos
- Curvas equipotenciais
- Fluxo subterrâneo
- Área de recarga do SAB
- Área de descarga do SAB
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Lagos, lagoas, lagunas ou açudes

Convenção Cartográfica

- Sedes municipais
- Povoados ou assentamentos
- Estradas pavimentadas
- Limites municipais
- Área de estudo
- Curva de nível

Estruturas

- Falha normal
- Lineamento
- Falha direcional (Strike-slip)

Localização da área de estudo



Figura 14.1. Mapa hidrogeológico do Bloco Litoral Sul

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO LITORAL SUL DA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL (LS/RMN)

Elaborado por: Servmar Serviços Técnicos Ambientais



Julho de 2012



