

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



Volume III – Hidrogeologia e Modelo
Numérico de Fluxo da PHA no Brasil

Dezembro/2015

República Federativa do Brasil

Dilma Vana Roussef

Presidenta

Ministério do Meio Ambiente

Izabella Mônica Vieira Teixeira

Ministra

Agência Nacional de Águas

Diretoria Colegiada

Vicente Andreu Guillo - Diretor-Presidente

Gisela Forattini

João Gilberto Lotufo Conejo

Ney Maranhão

Paulo Lopes Varella Neto

Superintendência de Implementação e Programas e Projetos

Ricardo Medeiros de Andrade

Tibério Magalhães Pinheiro

Coordenação de Águas Subterrâneas

Fernando Roberto de Oliveira

Adriana Niemeyer Pires Ferreira

Fabício Bueno da Fonseca Cardoso (Gestor)

Leonardo de Almeida

Letícia Lemos de Moraes

Márcia Tereza Pantoja Gaspar

Comissão Técnica de Acompanhamento e Fiscalização

Aline Maria Meiguins de Lima (SEMAS/PA)

Audrey Nery Oliveira Ferreira (FEMARH/RR)

Cléa Maria de Almeida Dore (FEMARH/RR)

Fabício Bueno da Fonseca Cardoso (ANA)

Fernando Roberto de Oliveira (ANA)

Flávio Soares do Nascimento (ANA)

Glauco Lima Feitosa (IMAC/AC)

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

Consórcio PROJETEC/TECHNE (Coordenação Geral)

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

Gerência do Contrato

Marcelo Casiuch
Roberta Alcoforado

Membros da Equipe Técnica Executora

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

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

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA

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

Volume III - Hidrogeologia e Modelo
Numérico de Fluxo da PHA no Brasil

Tomo I - Texto

Dezembro/2015

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

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

Elaboração e execução:
Consórcio TECHNE- PROJETEC

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

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

Volume III – Hidrogeologia e Modelo Numérico de Fluxo da PHA no Brasil.

Brasília: ANA, SIP, 2015.

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

APRESENTAÇÃO

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

- Volume I – Balanço Hídrico da Província Hidrogeológica Amazonas
- Volume II – Geologia da Província Hidrogeológica Amazonas
- Volume III – Hidrogeologia e Modelo Numérico de Fluxo da PHA no Brasil
 - ✓ Tomo I - Texto
 - ✓ Tomo II - Mapas
- Volume IV – Hidrogeoquímica da Província Hidrogeológica Amazonas
 - ✓ Tomo I - Aquíferos: Aluvial, Rio Branco, Içá e Tucunaré
 - ✓ Tomo II - Aquífero Alter do Chão, Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, Barreiras, Pirabas, Monte Alegre, Itaituba e Inominado (Cruzeiro do Sul)
- Volume V – Cidade Piloto: Macapá – AP
 - ✓ Tomo I - Texto
 - ✓ Tomo II - Mapas
- Volume VI – Cidade Piloto: Porto Velho – RO
 - ✓ Tomo I - Texto
 - ✓ Tomo II - Mapas
- Volume VII – Cidade Piloto: Rio Branco – AC
 - ✓ Tomo I - Texto
 - ✓ Tomo II - Mapas
- Volume VIII – Cidade Piloto: Santarém – PA
 - ✓ Tomo I - Texto
 - ✓ Tomo II - Mapas
- Volume IX – Cidade Piloto: Tabatinga – AM
 - ✓ Tomo I - Texto
 - ✓ Tomo II - Mapas
- Volume X – Proposta de Projeto para Proteção Ambiental e Gestão Sustentável das Águas Subterrâneas na Região Amazônica a ser Desenvolvido pelo Brasil e Países Vizinhos
- Volume XI – Banco de Dados
- Volume XII – Resumo Executivo

SUMÁRIO

1 – Hidrogeologia da PHA.....	18
1.1 – Revisão Bibliográfica da Província Hidrogeológica Amazonas no Brasil.....	19
1.1.1 - Principais Aquíferos da Província Hidrogeológica Amazonas no Brasil ..	20
1.1.1.1 - Aquífero Alter do Chão	20
1.1.1.2 - Aquífero Içá	22
1.1.1.3 - Aquífero Aluvial	22
1.1.1.4 - Aquitardo Solimões-Repouso.....	23
1.1.1.5 - Aquífero Barreiras	24
1.1.1.6 - Aquífero Pirabas.....	25
1.1.1.7 - Aquífero Tucunaré.....	27
1.1.1.8 - Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho.....	28
1.1.1.9 - Aquífero Rio Branco	29
1.1.2 – Síntese da Geologia e suas Relações com a Hidrogeologia da PHA no Brasil	30
1.1.3 - Discussão Sobre os Sistemas Aquíferos Regionais Descritos na PHA...	43
1.1.3.1 - Sistema Aquífero Amazonas (SAA) - Ferreira <i>et al.</i> (2006).....	44
1.1.3.2 – O Sistema Aquífero Tikuna (SAT) - Rosário (2011)	45
1.1.3.3 - Sistema Aquífero Grande Amazonas (SAGA) – Abreu <i>et al.</i> (2013)	50
1.2 - Sistema Aquífero Amazonas no Brasil (SAAB)	52
1.2.1 - Modelo Litoestratigráfico do SAAB	55
1.2.2 – Litologia, Dimensões e Perfis Elaborados.....	58
1.2.2.1 - Perfil Longitudinal	61
1.2.2.2 - Perfis Transversais.....	63
1.2.2.3 - Discussão dos Perfis	76
1.2.2.4 - Mapas Elaborados.....	79
1.3 – Execução de Testes de Bombeamento.....	84
1.4 – Interpretação dos Testes de Bombeamento	87
1.5 – Parâmetros Hidráulicos Obtidos	94
1.5.1 – Aquífero Alter do Chão.....	99
1.5.2 - Aquífero Içá.....	103
1.5.3 - Aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul).....	104
1.5.4 – Sistema Aquífero Barreiras-Pirabas	108
1.5.5 - Aquífero Tucunaré	110
1.5.6 - Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	112
1.5.7 - Aquífero Rio Branco.....	114
1.5.8 - Aquífero Aluvial	115

1.5.9 – Conclusões Sobre os Resultados Obtidos.....	117
1.5.10 – Parâmetros Hidráulicos do Método de Neuman (1975).....	118
1.6 – Reservas	119
1.6.1 - Reserva Reguladora ou Recarga Potencial Direta	120
1.6.2 - Reserva Potencial Explotável Estimada - RPE	120
1.6.3 - Reserva Permanente	120
1.7 – Situação da Exploração dos Aquíferos na PHA no Brasil	122
1.7.1 – Poços Catalogados e Cadastrados.....	122
1.7.2 - Preenchimento das lacunas das vazões.....	122
1.7.3 - Preenchimento das lacunas dos regimes de bombeamento	125
1.7.4 - Produção Geral dos Poços da PHA no Brasil.....	126
1.7.5 – Potencialidade dos Aquíferos.....	126
1.8 - Considerações Finais.....	138
2 – Modelagem Numérica de Fluxo na PHA no Brasil.....	140
2.1 - Introdução	141
2.2 – Construção do Modelo Numérico.....	143
2.2.1 - A Área Modelada	143
2.2.2 – Discretização da Área do Modelo	143
2.2.3 – Condições de Contorno.....	145
2.2.3.1 - Cobertura Fontes e Sumidouros	145
2.2.3.2 - Cobertura Recarga	145
2.2.3.3 – Cargas Iniciais	146
2.2.3.4 - Cobertura de Condutividade Hidráulica.....	148
2.3 – Solução Manual.....	150
2.4 – Calibração do Modelo.....	152
2.4.1 - Sensibilidade dos parâmetros	153
2.4.2 - Cargas Calculadas e Cargas Observadas.....	157
2.5 – Resultados.....	158
2.5.1 – Mapa Potenciométrico de Equilíbrio.....	158
2.5.2 – Vazão de Escoamento Natural.....	160
2.5.3 – Comparação entre a Vazão de Escoamento Natural e a Descarga de Base do SAAB.....	164
2.6 - Conclusões	164
3 – Referências Bibliográficas.....	166
4. ANEXOS.....	176
4.1 – Testes de Bombeamento – Planilhas, Gráficos e Parâmetros Hidráulicos	177
4.1.1 – Aquífero Alter do Chão em Almeirim.....	178

4.1.1a - Poço Matinha 1	178
4.1.1b - Poço Matinha 2 – observado (20 m)	181
4.1.1c - Poço Matinha 2 - bombeado	184
4.1.1d - Poço Matinha 1 – observado (20 m)	187
4.1.2 – Aquífero Alter do Chão em Santarém – PA	190
4.1.2a – Poço T. R. Ville.....	190
4.1.2b – Poço A. M. Jutaf	193
4.1.3 – Aquífero Alter do Chão em Manaus - AM.....	196
4.1.3a – Poço São José	196
4.1.3b – Poço Nova Floresta.....	199
4.1.3c – Poço Novo Israel	202
4.1.3d – Poço Cidade de Deus	205
4.1.4 – Aquífero Aluvial em Tabatinga - AM.....	208
4.1.4a – Poço Portobras.....	208
4.1.4b – Poço Brilhante	210
4.1.5 – Aquífero Cruzeiro do Sul em Cruzeiro do Sul – AC	212
4.1.5a – Poço Eta do DEPASA	212
4.1.5b – Poço Observado Teatro Navas	215
4.1.5c – Poço DEPASA 2.....	218
4.1.6 – Aquífero Coberturas Cenozoicas em Porto Velho - RO	221
4.1.6a – Poço Escola Pública.....	221
4.1.6b – Poço Cuniã.....	224
4.1.7 – Aquífero Içá em Coari - AM.....	227
4.1.7a – Poço União.....	227
4.1.7b – Poço Coari União 2	229
4.1.8 – Aquífero Içá em Eirunepé – AM	231
4.1.8a – Poço ETA Fátima	231
4.1.9 – Aquífero Içá em Lábrea - AM	233
4.1.9a – Poço ETA SAAE.....	233
4.1.9b – Poço Centro	236
4.1.10 – Aquífero Içá em Fonte Boa - AM.....	239
4.1.10a – Poço Centro FB06.....	239
4.1.10b – Poço Centro FB07	241
4.1.11 – Aquífero Içá em Barcelos - AM	243
4.1.11a – Poço C. Turístico.....	243
4.1.12 – Aquífero Rio Branco em Rio Branco - AC	245
4.1.12a – Poço Bombeiros	245

4.1.12b – Poço Belo Jardim I	248
4.1.13 – Sistema Aquífero Barreiras-Pirabas em Belém - PA.....	251
4.1.13a – Poço Infraero	251
4.1.13b - Poço UFPA	254
4.1.13c – Poço 3 CERPA.....	257
4.1.13d – Poço COSANPA Cidade Nova 2.....	260
4.1.14 – Aquífero Tucunaré em Macapá.....	263
4.1.14a - Poço CAESA 1	263
4.1.14b - Poço CAESA 2.....	266
4.2 – Gráficos de ajuste das curvas de campo às curvas padrão para o cálculo dos parâmetros hidráulicos dos 30 testes realizados no âmbito do Projeto ANA-PHA, pelo método de Neuman (1975).	269
4.3 – Variações de nível de água registradas no período chuvoso e na estiagem de 2012 na rede de monitoramento quantitativo nas 18 cidades do Projeto PHA no Brasil.....	296
4.4 – Perfis de Poços Perfurados em Formações Paleozoicas Aflorantes	303
4.5 – Espessuras e percentuais de areia do Pacote Aquífero Alter do Chão-Jazida da Fazendinha	313
4.6 – Cotas de Topo, de Base e Espessuras do SAAB.....	316
4.7 – Resultados da calibração do modelo numérico em 256 pontos com estimativa de parâmetros pelo método PEST Zonal	323

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1 – Características hidrogeológicas da Formação Barreiras, na Região Metropolitana de Belém.....	25
Tabela 1.2 - Faixas de variação das características dos poços na Formação Pirabas (adaptado de Matta, 2002).	26
Tabela 1.3 - Parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Tucunaré em Macapá.....	28
Tabela 1.4 – Espessuras da seção argilosa superior da fase Pós-Rifte acima do topo da Formação Ramon em poços estratigráficos do BDEP perfurados na Bacia do Acre...	40
Tabela 1.5 – Unidades Litoestratigráficas (ULs) quaternárias, cenozoicas e cretácicas das bacias sedimentares da Amazônia e suas correlações (Abreu <i>et al.</i> , 2013).	50
Tabela 1.6 – Reservas do SAGA (segundo Abreu <i>et al.</i> , 2013) e espessuras obtidas considerando as áreas das bacias indicadas no item 1.2.	51
Tabela 1.7 – Profundidades do topo da Formação Ramon e do embasamento cristalino em 5 (cinco) poços estratigráficos do BDEP na bacia do Acre.	51
Tabela 1.8 – Poços utilizados na elaboração do perfil longitudinal.	61
Tabela 1.9 – Poços utilizados na elaboração do perfil transversal 1.....	63
Tabela 1.10 – Poços utilizados na elaboração do perfil transversal 2.....	65
Tabela 1.11 – Poços utilizados na elaboração do perfil transversal 3.....	65
Tabela 1.12 – Poços utilizados na elaboração do perfil transversal 4.....	68
Tabela 1.13 – Poços utilizados na elaboração do perfil transversal 5.....	68
Tabela 1.14 – Poços utilizados na elaboração do perfil transversal 6.....	71
Tabela 1.15 – Poços utilizados na elaboração do perfil transversal 7.....	71
Tabela 1.16 – Poços utilizados na elaboração do perfil transversal 8.....	74
Tabela 1.17 – Características dos 30 testes de bombeamento realizados no âmbito do Projeto ANA-PHA.	86
Tabela 1.18 – Faixa de valores de condutividade hidráulica em depósitos inconsolidados de natureza análoga à dos aquíferos granulares da Amazônia em m/s e m/dia (Adaptado de Fetter, 1994).	87
Tabela 1.19 – Parâmetros hidráulicos obtidos pelo método de Cooper & Jacob (1946) nos testes de aquífero realizados na Província Hidrogeológica Amazonas no Brasil – PHA.	95
Tabela 1.20 – Parâmetros hidráulicos obtidos pelo método de Neuman (1975) nos testes de aquífero realizados na Província Hidrogeológica Amazonas no Brasil – PHA.	96
Tabela 1.21 – Valores médios dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Alter do Chão na área de estudo, segundo a literatura e o projeto ANA-PHA, pelo método de Cooper & Jacob (1946).	101
Tabela 1.22 – Parâmetros hidráulicos avaliados para o aquífero Alter do Chão pelo método de Neuman (1975) nas cidades de Almeirim, Santarém – PA e Manaus - AM.	102
Tabela 1.23 – Valor máximo, mínimo e médio dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Içá nas cidades de Lábrea, Eirunepé, Fonte Boa, Coari e Barcelos, avaliados pelo método de Cooper & Jacob (1946).....	103

Tabela 1.24 – Parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Içá nas cidades de Lábrea, Eirunepé, Fonte Boa, Coari e Barcelos avaliados pelo método de Neuman (1975). .	104
Tabela 1.25 – Dados de poços na cidade de Cruzeiro do Sul – AC (SIAGAS em 2015), com indicação de produtividade, porcentagem de arenitos e profundidade do topo dos filtros.	106
Tabela 1.26 – Valor máximo, mínimo e médio dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) na cidade de Cruzeiro do Sul, avaliados pelo método de Cooper & Jacob (1946).....	107
Tabela 1.27 – Parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) na cidade de Cruzeiro do Sul, avaliados pelo método de Neuman (1975).	107
Tabela 1.28 – Parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) na cidade de Cruzeiro do Sul, avaliados pelo método de Theis.....	108
Tabela 1.29 – Características hidrogeológicas da Formação Barreiras, na Região Metropolitana de Belém (Cortez <i>et al.</i> , 2000).	109
Tabela 1.30 – Valor máximo, mínimo e médio dos parâmetros hidrodinâmicos do Sistema Aquífero Barreiras-Pirabas na cidade de Belém, obtidos em 2012 pelo método de Cooper & Jacob (1946) nos testes realizados no âmbito do Projeto ANA-PHA....	109
Tabela 1.31 - Parâmetros hidrodinâmicos do Sistema Aquífero Barreiras-Pirabas na cidade de Belém, obtidos em 2012 pelo método de Neuman (1975) nos testes realizados no âmbito do Projeto ANA-PHA.....	110
Tabela 1.32 – Comparação dos valores médios dos parâmetros hidrodinâmicos do sistema de águas subterrâneas de Belém, interpretado pela ANA-PHA (2012) como um sistema único Barreiras-Pirabas e por outros autores como unidades aquíferas independentes Barreiras e Pirabas.	110
Tabela 1.33 – Parâmetros hidrodinâmicos avaliados pelo método de Cooper & Jacob (1946) para o aquífero Tucunaré por Tancredi (2002; 2004; 2006) e Oliveira (2004; 2006) na região de Macapá.	110
Tabela 1.34 - Valor máximo, mínimo e médio dos parâmetros hidrodinâmicos do Aquífero Tucunaré na cidade de Macapá, segundo ANA-PHA em 2012, avaliados pelo método de Cooper & Jacob (1946).....	111
Tabela 1.35 – Parâmetros hidráulicos avaliados pelo método de Neuman (1975) para o aquífero Tucunaré na cidade de Macapá – AP.	112
Tabela 1.36 - Valor máximo, mínimo e médio dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho segundo Campos (1998).....	112
Tabela 1.37 - Valor máximo, mínimo e médio dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho avaliados pelo método de Cooper & Jacob (1946).....	113
Tabela 1.38 – Parâmetros hidráulicos avaliados para o aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, segundo Neuman (1975).	113
Tabela 1.39 - Valor máximo, mínimo e médio dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Rio Branco avaliados pelo método de Cooper & Jacob (1946) (ANA-PHA, 2012).....	114
Tabela 1.40 – Valores médios dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Rio Branco, constantes da literatura e valores estimados no Projeto ANA-PHA, pelo método de Cooper & Jacob (1946).....	115
Tabela 1.41 – Parâmetros hidráulicos avaliados pelo método de Neuman (1975) para o aquífero Rio Branco na cidade de Rio Branco – AC.	115

Tabela 1.42 - Valores máximos, mínimos e médios dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Aluvial.....	115
Tabela 1.43 – Parâmetros hidráulicos avaliados pelo método de Neuman (1975) para o aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga – AM.....	117
Tabela 1.44 – Valores médios de condutividade hidráulica, obtidos nos testes realizados no âmbito do Projeto ANA-PHA no Brasil em 14 cidades da região.	118
Tabela 1.45 – Valores médios do coeficiente de armazenamento obtidos nos testes realizados em 14 cidades da PHA no Brasil.....	119
Tabela 1.46 – Valores médios da porosidade efetiva obtidos nos testes realizados em 14 cidades da PHA no Brasil.....	119
Tabela 1.47 – Distribuição por folha ao milionésimo dos 14.676 poços catalogados do SIAGAS em setembro de 2015 na PHA no Brasil.....	128
Tabela 1.48 – Capacidade específica (produtividade) média de poços da PHA no Brasil segundo dados catalogados do SIAGAS em setembro de 2015.	129
Tabela 1.49 – Aquíferos e aquíferos do Paleozoico aflorante na PHA no Brasil e suas produtividades (m ³ /h/m).....	130
Tabela 1.50 – Profundidade média dos poços catalogados do SIAGAS/CPRM 2015.	131
Tabela 1.51 – Espessuras dos aquíferos da PHA no Brasil (Volume II e anexo 4.2) 136	
Tabela 1.52 – Potencialidade dos aquíferos da PHA e do Sistema Aquífero Amazonas no Brasil (SAAB).....	137
Tabela 1.53 – Síntese da avaliação dos recursos hídricos subterrâneos da PHA no Brasil.....	138
Tabela 2.1 – Valores médios de condutividade hidráulica avaliados em cidades situadas na Depressão do Baixo Amazonas.	148
Tabela 2.2 – Valores médios de condutividade hidráulica obtidos em cidades situadas na Depressão do Solimões.....	150
Tabela 2.3 - Sumário dos parâmetros ótimos do modelo numérico do SAAB.	156
Tabela 2.4 – Estimativa da vazão de escoamento natural do SAAB a partir do mapa potenciométrico de equilíbrio, fornecido pelo modelo numérico de fluxo em seção transversal na região do baixo Amazonas na altura da cidade de Santarém – PA....	163
Tabela 2.5 – Valores da descarga de base e da vazão de escoamento natural do SAAB, estimada em seção transversal na planície do baixo rio Amazonas.....	164

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Esquema das Bacias do Acre, Solimões Amazonas e Marajó (modificado de Travassos <i>et al.</i> (2011)).	19
Figura 1.2 – Territórios dos estados do norte do Brasil incluídos na Província Hidrogeológica Amazonas – PHA no Brasil.	31
Figura 1.3 - Interpretação de seções sísmicas das Sub-bacias Mexiana, Limoeiro, Cameté e Mocajuba (Villegas, 1994 e Costa <i>et al.</i> , 2002), da bacia do Marajó. Fonte: Volume II - Geologia.	32
Figura 1.4 – Carta cronoestratigráfica e litoestratigráfica da Bacia do Marajó. Modificada de Zalán & Matsuda (2007). Fonte: Volume II – Geologia.	33
Figura 1.5 - Traçado de linhas sísmicas da Petrobras, na Bacia do Amazonas desde o Arco de Gurupá ao leste até o Arco de Purus ao oeste (Wanderley Filho <i>et al.</i> , 2005). Fonte: Volume II – Geologia.	35
Figura 1.6 - Seção geológica longitudinal da Bacia do Amazonas. Modificado de Caputo (1984). Fonte: Volume II – Geologia.	35
Figura 1.7 - Seção geológica transversal da Bacia do Amazonas Modificada de Caputo (1984). Fonte: Volume II – Geologia.	35
Figura 1.8 - Carta cronoestratigráfica da Bacia do Amazonas, modificada de Cunha <i>et al.</i> (2007). Fonte: Volume II – Geologia.	36
Figura 1.9 – Na seção geológica de Wanderley Filho & Travassos (2011) das bacias do norte do Brasil é indicada a movimentação vertical (epirogênese e subsidência) e sobrecargas laterais diferenciais durante o Fanerozoico. É feita distinção entre arco (que separa bacias) e alto (que não separa bacias). Fonte: Volume II - Geologia.	38
Figura 1.10 – A Orogenia Juruá afetou toda a Bacia do Solimões e Bacia do Acre. Ao longo de uma zona de falhamentos se originaram cinco trendes estruturais potencialmente produtores de hidrocarbonetos (Jandiatuba, Jutaí, Ipixuna, Juruá e Urucu) e três séries de falhas com direções diferentes (Séries A, B e C) (Caputo, 1985; Caputo, 1991). A Orogenia Juruá, de idade neojurássica, causou soerguimento e a redução por erosão da área ocidental da Bacia do Solimões, quando vastas áreas do embasamento da bacia foram expostas e erodidas, e mais tarde encobertas pela Formação Javari no Cretáceo. A Bacia de Eirunepé e a Bacia do Acre foram desconectadas da Bacia do Solimões pelos arcos Jutaí e Envira, respectivamente, causados pela Orogenia Juruá. Fonte: Volume II – Geologia.	38
Figura 1.11 – Seções longitudinais e transversais da Bacia do Solimões. (A) A região sob a 1ª soleira foi deprimida parcialmente pelo efeito do peso do diabásio e áreas periféricas foram soerguidas. (B) Os altos transpressionais foram elevados por mais de 1,5 km, com remoção de todas as formações paleozoicas sobrejacentes pela Orogenia Juruá. Fonte: Volume II – Geologia.	38
Figura 1.12 - Carta cronoestratigráfica da Bacia do Solimões, modificada de Wanderley Filho <i>et al.</i> (2007). Fonte: Volume II – Geologia.	39
Figura 1.13 - Localização e Arcabouço estrutural da Bacia do Acre (modificado de Cunha, 2006). Fonte: Volume II – Geologia.	41
Figura 1.14 - Seção geológica esquemática da Bacia do Acre, segundo a linha A-B. da figura 1.9. A região da Falha Batã tornou-se um baixo do embasamento no lado oeste no mississipiano e também no Triássico-Jurássico. A depressão foi preenchida por sedimentos e nivelada no Permiano, Triássico e Jurássico. A falha de cavalgamento Batã aproveitou o plano de falha normal antigo e soergueu a região depois do Mesomioceno. Figura modificada de Cunha (2006). Fonte: Volume II – Geologia.	41

Figura 1.15 - Carta cronoestratigráfica da Bacia do Acre, modificada de Cunha (2007). Fonte: Volume II – Geologia.....	42
Figura 1.16 – O Sistema Aquífero Amazonas no Extremo Oeste da PHA no Brasil, adaptado de Rosário (2011).....	46
Figura 1.17 – Relações entre as principais formações aquíferas da Província Hidrogeológica Amazonas no Brasil. Fonte: Volume II - Geologia.....	47
Figura 1.18 – Modelo digital do terreno da Província Hidrogeológica Amazonas elaborado a partir de imagens SRTM (<i>Shuttle Radar Topographic Mission</i>).	56
Figura 1.19 – Bloco 3D do modelo litoestratigráfico da PHA no Brasil destacando o SAAB na parte superior repousando em discordância sobre derrames de diabásio, evaporitos, folhelhos e siltitos.	57
Figura 1.20 – Localização dos perfis hidrogeológicos longitudinal e dos perfis transversais na PHA no Brasil.	60
Figura 1.21 – Perfil Hidrogeológico Longitudinal da PHA no Brasil.....	62
Figura 1.22 – Perfil Hidrogeológico Transversal 1, na bacia do Marajó.	64
Figura 1.23 – Perfil Hidrogeológico Transversal 2 na bacia do Amazonas.	66
Figura 1.24 – Perfil Hidrogeológico Transversal 3 na bacia do Amazonas.	67
.....	67
Figura 1.25 – Perfil Hidrogeológico Transversal 4 nas bacias do Amazonas e do Solimões.	69
Figura 1.26 – Perfil Hidrogeológico Transversal 5 na bacia do Solimões.	70
Figura 1.27 – Perfil Hidrogeológico Transversal 6 na bacia do Solimões.	72
Figura 1.28 – Perfil Hidrogeológico Transversal 7 nas bacias do Solimões e Acre.	73
Figura 1.29 – Perfil Hidrogeológico Transversal 8 nas bacias do Solimões e Acre.	75
Figura 1.30 – Mapa de Isópacas do SAAB.....	81
Figura 1.31 – Mapa Estrutural do Topo do SAAB.	82
Figura 1.32 – Mapa Estrutural da Base do SAAB.	83
Figura 1.33 – Curvas de rebaixamento x tempo e Vazão x tempo no teste do poço RBR19 realizado no aquífero Rio Branco, na cidade de Rio Branco – AC. (Volume VIII).	88
Figura 1.34 – Ilustração gráfica da aproximação logarítmica da função $W(u)$ (Cooper & Jacob, 1946).	89
Figura 1.35a – Família de curvas padrão Tipo A de Neuman (1975) para tempos curtos, mostrando (com o exemplo do teste do ponto RBR01 ajustado na curva $\beta=0,2$) que o rebaixamento não estabiliza, mas se desvia para tempos longos (quando cessa o efeito da drenagem gravitacional) e tende para a curva de Theis. (Volume VIII).....	93
Figura 1.35b – Família de curvas padrão Tipo B de Neuman (1975) para tempos longos, mostrando (com o exemplo do teste do poço RBR01 ajustado na curva $\beta=0,2$) que o rebaixamento não estabiliza, mas se desvia para tempos longos (quando cessa o efeito da drenagem gravitacional) e tende para a curva de Theis. (Volume VIII).	93
Figura 1.36 – Mapa geológico da Província Hidrogeológica Amazonas com localização das cidades onde foram realizados testes de bombeamento.	98

Figura 1.37 – Bloco 3D do SAAB – Sistema Aquífero Amazonas no Brasil, com indicação do seu volume e reserva permanente.	121
Figura 1.38 – Histograma das vazões.	123
Figura 1.39 – Lei exponencial ajustada às vazões.	124
Figura 1.40 – Frequências acumuladas das vazões.	124
Figura 1.41 – Histograma das horas anuais de operação.	125
Figura 1.42 - Mapa Hidrogeológico do Brasil ao Milionésimo com o índice das folhas e limite da PHA no Brasil. Fonte: CPRM, 2014.	127
Figura 1.43 – Espessuras máximas das unidades hidrogeológicas de fluxo (UHF) da Província Hidrogeológica Amazonas no Brasil.	132
Figura 1.44 – Conceitos de condutividade hidráulica e transmissividade de um aquífero livre de espessura saturada h.	133
Figura 1.45 – Conceito de potencialidade de um aquífero dado pelo produto da transmissividade pela largura média do aquífero.	134
Figura 2.1 – Discretização da área do modelo numa malha de 7.200 (120 x 60) células regulares de 15" x 15", com apenas uma unidade hidrogeológica de fluxo (UHF), que representa o SAAB.	144
Figura 2.2 – Discretização do contorno da PHA com 2.493 células ativas.	144
Figura 2.3 – Cobertura fontes e sumidouros constando unicamente das condições de carga especificada (a leste e a oeste) e de fluxo nulo (ao norte e ao sul).	145
Figura 2.4 – Cobertura de recarga, representada por um único polígono no qual foi imposto um valor inicial correspondente à lâmina média de 220 mm/ano estimada pelo balanço hídrico da PHA (Volume I).	146
Figura 2.5 – Modelo digital do terreno utilizado para obtenção da potenciometria do SAAB a partir das cotas de nível de água dos aquíferos (nas cidades piloto) e dos rios no período de estiagem.	146
Figura 2.6 – Potenciometria do SAAB obtida a partir do modelo digital do terreno inferindo as cotas dos níveis de água dos aquíferos (nas cidades piloto) e dos rios para o período de estiagem.	147
Figura 2.7 – Valores pontuais de condutividade hidráulica, avaliados nos 30 (trinta) testes de aquífero realizados em 14 (quatorze) cidades da PHA pelo método de Neuman (1975).	149
Figura 2.8 – Solução inicial de distribuição de cargas hidráulicas no SAAB obtida com MODFLOW 2000 em regime permanente, por tentativa e erro.	151
Figura 2.9 – Condutividades hidráulicas obtidas por tentativa e erro na solução inicial usando o MODFLOW e que aproximam a potenciometria do mapa de cargas iniciais inferidas para o período de estiagem a partir do modelo digital do terreno.	152
Figura 2.10 – Solução calibrada com estimativa de parâmetros após 8 (oito) iterações pelo método PEST Zonal indicando valores de $K_1 = 2,684$ m/dia, $K_2 = 0,077$ m/dia, $K_3 = 0,255$ m/dia, $K_4 = 0,124$ m/dia e recarga de $6,93e-4$ m/dia ou 253 mm/ano.	153
Figura 2.11 – Comportamento instável da recarga na primeira solução automática.	153
Figura 2.12 – Diagrama ilustrativo da sensibilidade dos parâmetros hidráulicos mostrando que o parâmetro recarga tem sensibilidade muito baixa, podendo assumir um valor constante qualquer e não influir nas soluções.	154
Figura 2.13 - Solução Pest Zonal com recarga constante de 110 mm/ano.	154

Figura 2.14 - Solução Pest_Zonal com recarga constante de 22 mm/ano.....	155
Figura 2.15 - Solução Pest_Zonal com recarga constante de 0,22 mm/ano.....	155
Figura 2.16 – Potenciometria da solução obtida com estimativa automática de parâmetros pelo método zonal (PEST Zonal).	156
Figura 2.17 – Distribuição final das cargas hidráulicas do SAAB calibrada com PEST Zonal, mostrando que todas as células do modelo se apresentam inundadas.....	157
Figura 2.18 – Desvios da reta de 45° entre cargas observadas e cargas calculadas, com um erro absoluto de -0,05 m e um erro relativo de -0,1, considerado bastante pequeno.	158
Figura 2.19 – Mapa potenciométrico de equilíbrio do SAAB fornecido pelo modelo de fluxo adotado.	159
Figura 2.20 – Localização da seção de cálculo do fluxo natural do SAAB na planície do baixo Amazonas a jusante de Santarém – PA.	161
Figura 2.21 – Seção transversal de cálculo do fluxo natural do SAAB na planície do baixo Amazonas a jusante de Santarém – PA, com área de 101,911 km ²	160
Figura 2.22 – Avaliação do gradiente hidráulico do SAAB na seção de cálculo do fluxo natural na região do baixo Amazonas na altura da cidade de Santarém – PA.	162

1 – Hidrogeologia da PHA

1.1 – Revisão Bibliográfica da Província Hidrogeológica Amazonas no Brasil

A Província Hidrogeológica Amazonas (PHA) no Brasil é composta pelas bacias sedimentares do Marajó, do Amazonas, do Solimões e do Acre, que se desenvolveram sobre o Cráton Amazônico, composto pelo Escudo das Guianas e pelo Escudo Brasileiro (sistemas aquíferos fraturados). Estas bacias sedimentares aqui descritas são esquematizadas na **figura 1.1**.

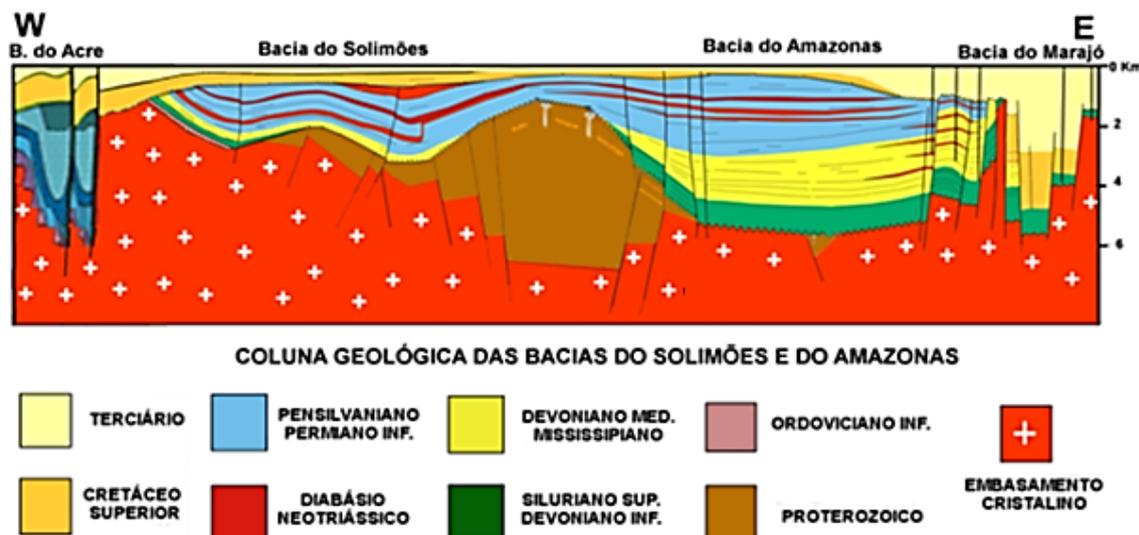


Figura 1.1 – Esquema das Bacias do Acre, Solimões Amazonas e Marajó (modificado de Travassos *et al.* (2011)).

A Bacia Sedimentar do Marajó ultrapassa 10 mil metros de espessura e é preenchida com sedimentos predominantemente arenosos, desde o Pré-Cambriano. Situa-se na confluência dos rios Amazonas e Tocantins, Estado do Pará, possuindo uma área de cerca de 176 mil km². Limita-se a norte com o Escudo das Guianas, a oeste e sudoeste com a Bacia Sedimentar do Amazonas, ao sul com o Escudo Brasileiro e a sudeste com a Bacia Sedimentar do Parnaíba. Separa-se desta última pelo Arco do Tocantins, e pelo Arco de Gurupá da Bacia Sedimentar do Amazonas. Do ponto de vista hidrogeológico, as suas principais unidades são as formações Barreiras e Tucunaré.

A Bacia Sedimentar do Amazonas tem forma alongada quase elipsoidal na direção WSW-ENE, ocupando partes dos estados do Amazonas, Pará, Roraima e Amapá. Trata-se de uma bacia paleozoica com cerca de 620 mil km² de área, com 1.300 km de comprimento e 380 km de largura média. Separa-se da Bacia Sedimentar do Marajó pelo Arco de Gurupá a leste e da Bacia Sedimentar do Solimões pelo Arco de Purus a oeste. Limita-se ao norte com o Escudo das Guianas e ao sul com o Escudo Brasileiro. O preenchimento sedimentar e ígneo da bacia, de cerca 6 mil metros de espessura, consiste principalmente de rochas paleozoicas, do Ordoviciano ao Permiano, intrudidas por diques e soleiras de diabásio do final do Triássico, e recobertas por rochas cretácicas da Formação Jazida da Fazendinha. As camadas cenozoicas da Formação Alter do Chão, Solimões e Içá encobrem praticamente toda a bacia.

A Bacia Sedimentar do Solimões é de idade paleozoica, ocupando uma área total de cerca de 1.181.000 km² no Estado do Amazonas, Acre e Rondônia. É orientada na direção aproximada E-W e limitada geologicamente pelos escudos

das Guianas e Brasileiro ao norte e ao sul, respectivamente. Está separada da Bacia Sedimentar do Acre pelo Arco de Envira e da Bacia Sedimentar do Amazonas pelo Arco de Purus. Distinguem-se, na bacia, uma área ocidental, com sedimentação de fácies marinhas mais profundas, e uma área oriental, com sedimentação mais rasa. São, assim, reconhecidas duas sub-bacias: aquela a oeste recebeu o nome de Jandiatuba, com cerca de 3.500 metros de sedimentos, e a outra a leste, foi chamada de Juruá, com cerca de 3.800 metros de sedimentos. É uma bacia desprovida de afloramentos da seção paleozoica, uma vez que os pacotes sedimentares cretácicos da Formação Javari e cenozoicos correspondentes as formações Repouso, Solimões e Içá a cobrem.

A Bacia Sedimentar do Acre possui uma área aproximada de 23.200 km², situando-se na região mais ocidental do Brasil. Esta bacia é separada da Bacia do Solimões, ao leste pelo Arco Envira; ao noroeste tem continuidade parcial com a Bacia do Marañon no Peru; ao oeste é separada da Bacia de Ucayali do Peru pelo *divortium aquarum* da Serra do Divisor. No sudeste do Estado do Acre, existe outra pequena bacia, sem denominação, atualmente independente da Bacia do Acre, que faz parte da Bacia Madre de Dios da Bolívia. Elas são separadas pelo Arco de Fitzcarrald, bem desenvolvido na Bolívia. Registra uma complexa história evolutiva iniciada no Paleozoico estendendo-se até o recente. Do ponto de vista hidrogeológico, as suas principais unidades são as formações Solimões e Içá.

1.1.1 - Principais Aquíferos da Província Hidrogeológica Amazonas no Brasil

Do ponto de vista do abastecimento, os aquíferos/aquitardos mais importantes da Província Hidrogeológica Amazonas no Brasil e com informações existentes são: Alter do Chão, Içá, Aluvial, Solimões-Repouso, Barreiras, Pirabas, Tucunará, Coberturas Cenozoicas de Porto Velho e Rio Branco.

1.1.1.1 - Aquífero Alter do Chão

O aquífero Alter do Chão é do tipo livre e ocorre na região centro-norte do Pará, leste do Amazonas e extremo sul Amapá, ocupando área aproximada de 290.500 km. Ele é de fundamental importância para o abastecimento das cidades de Manaus e Santarém.

A Formação Alter do Chão é de idade cenozoica e constituída de intercalações de arenitos, argilitos, siltitos e, subordinadamente, conglomerados, predominantemente vermelhos. As camadas de granulação grosseira mostram composição ortoquartzítica a arcósica, com feldspatos frequentemente alterados para caulinita. Ocorrem normalmente arenitos brancos caulínicos. A espessura máxima perfurada da unidade foi 1.266 metros em poço da Petrobras, mas espessuras entre 200 e 400 metros são as mais comuns.

Tancredi (1996), com base nos testes de aquíferos realizados em 16 poços tubulares do Aquífero Alter do Chão, em Santarém, obteve os valores médios dos principais parâmetros hidrodinâmicos: i) a transmissividade média calculada foi de $3,33 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$; ii) condutividade hidráulica foi de $9,78 \times 10^{-5} \text{ m/s}$; e iii) coeficiente de armazenamento igual a $3,63 \times 10^{-4}$. Entretanto, as características hidrodinâmicas dos sistemas aquíferos da Formação Alter do Chão nesta região mostram que as condutividades hidráulicas apresentaram valores compreendidos entre 4,6 a 18,8 m/dia e os valores de transmissividade estão

compreendidos entre 132 e 790 m²/dia, demonstrando que a variação observada nestes dados é causada, principalmente, pelas diferentes espessuras das camadas geológicas que constituem os aquíferos nos locais dos ensaios de bombeamento.

No município de Santarém, o estudo realizado por Tancredi (1996) também avaliou que, entre outros aspectos, as reservas de água subterrânea no sistema hidrogeológico da Formação Alter do Chão. Nesse sistema ocorrem aquíferos confinados de espessuras que perfazem 430 metros, intercalados a aquícludes e/ou aquípardos. Essa pesquisa mostrou que as reservas de água subterrânea são expressivas, com volumes de 226 x 10⁶ m³ para a reguladora e de 86.550 x 10⁶ m³ para a permanente. Estudos comparativos mostraram que os custos de exploração unitária da água subterrânea de Santarém estão compreendidos entre 38,4 a 42,5% daquele de exploração unitário da água superficial de Manaus, e entre 64,5 a 71,3% do custo unitário de exploração da água superficial de Oriximiná, no estado do Pará.

De acordo com Aguiar & Mourão (2012), o aquífero Alter do Chão, na cidade de Manaus, apresenta-se com uma espessura média de aproximadamente 160 metros (porção saturada e arenosa da formação). O limite inferior corresponde ao contato com os evaporitos e calcários da Formação Nova Olinda. A profundidade média do nível d'água é de aproximadamente 30 metros, de acordo com a Carta Hidrogeológica da Cidade de Manaus (Aguiar & Mourão, 2002). As maiores profundidades estão nos setores sudeste e nordeste, correspondendo a quase toda a porção oriental da cidade de Manaus. Para oeste, o nível d'água torna-se mais raso, chegando a aflorar em alguns locais, como no setor noroeste, no bairro de Santa Etelvina. O fluxo principal das águas subterrâneas exhibe sentido de nordeste para sudoeste. A análise da transmissividade sugere que os maiores valores ocorrem nos setores sudoeste, norte e leste da cidade, e os menores na zona central. Os principais parâmetros hidrodinâmicos possuem média de: i) transmissividade de 4,7 m²/h; ii) condutividade hidráulica de 2,9 x 10⁻² m/h; iii) porosidade efetiva de 18%; iv) inclinação (gradiente) das águas da ordem de 0,002 e; v) velocidade em torno de 2 cm/dia (muito pequena).

Por ocasião do estudo de França *et al* (2005), havia cerca de 120 poços em Manaus captando os níveis mais inferiores da Formação Alter do Chão e bombeando vazões da ordem de 70 m³/h. Por meio de testes de aquífero efetuados em 36 poços nesse aquífero, obtiveram os valores médios, respectivamente, de transmissividade e condutividade hidráulica de 1,48 x 10⁻³ m²/s e 1,54 x 10⁻⁵ m/s.

Oliveira *et al*. (2000) relata que a sede do Distrito de Alter do Chão, município de Santarém, conta com mais de uma dezena de poços tubulares, com vazões que chegam a atingir 500 m³/h.

1.1.1.2 - Aquífero Içá

O aquífero Içá é do tipo livre a semi-confinado, ocorrendo principalmente na região central do Estado do Amazonas, onde ocupa mais da metade de seu território. Também se estende para o sudoeste de Roraima, norte de Rondônia e há um pequeno fragmento no noroeste do Acre. Ao total ocupa uma área aproximada de 932.700 km. Em algumas cidades da região, como Coari, Fonte Boa e Barcelos, esse aquífero é a principal fonte de abastecimento.

A Formação Içá é de idade pleistocênica, sendo formada predominantemente por camadas de arenito fino a médio, por vezes silte/argilosos, pouco consolidado, com estratificação cruzada, típica de ambiente fluvial. Podem apresentar, principalmente na parte mais basal, níveis enriquecidos em matéria orgânica e/ou ferro. A espessura máxima do aquífero é de 143 metros (Maia & Marmos, 2010), mas geralmente é reduzida e inferior a 100 metros (CPRM, 2009).

Segundo Maia & Marmos (2010), a Formação Içá é agrupada com a Formação Alter do Chão, na categoria de aquífero muito produtivo, com vazão dos poços acima de 50 m³/h.

Os dados disponíveis mostram uma capacidade específica razoavelmente elevada, com valores médios em torno de 3,6 m³/h/m. Na cidade de Tefé, a transmissividade é de 6×10^{-4} m²/s e condutividade hidráulica assumindo o valor de $1,7 \times 10^{-5}$ m/s (Maia & Marmos, 2010). Apresenta vazões elevadas, normalmente superiores a 40 m³/h (CPRM, 2009).

Segundo Pereira & Cajazeiras (2012), o aquífero Içá ocorre em boa parte do extremo-norte de Rondônia e no entorno da região dos municípios de Cruzeiro do Sul, Mâncio Lima e Rodrigues Alves no estado do Acre e no município de Guajará no estado do Amazonas, apresentando arenito com intercalações argilosas; é um aquífero livre a semi-confinado, poroso, com as maiores vazões se situando na ordem de 30 a 60 m³/h, em Rondônia. A extensão desse aquífero no estado do Acre não é tão expressiva se comparada à extensão total desse aquífero na Amazônia, no entanto adquire importância fundamental por ser o único manancial subterrâneo econômico na região. Localizados principalmente nas sedes dos municípios de Guajará e Cruzeiro do Sul, 12 poços tubulares são de grande importância para o abastecimento dessas comunidades. Essas captações apresentam os seguintes valores médios: vazão de 35,7 m³/h, capacidade específica da ordem de 1,4 m³/h/m, nível estático de 17 m, nível dinâmico de 46 m e profundidade de perfuração de 134,5 m. As vazões máximas atingem em Cruzeiro do Sul e Guajará até 44 m³/h.

Merece destaque a cidade de Caracaraí, na região central de Roraima, que é abastecida integralmente por poços da Companhia de Águas e Esgotos de Roraima (CAER), na Formação Içá, produzindo até 113 m³/h. Em ensaios de bombeamento realizados nas vizinhanças de Caracaraí, foram obtidos valores de transmissividade da ordem de $4,5 \times 10^{-2}$ m²/s e condutividade hidráulica média de 3×10^{-3} m/s (CPRM, 2002).

1.1.1.3 - Aquífero Aluvial

O aquífero Aluvial se caracteriza pela presença de depósitos de planícies aluvionares. Segundo CPRM (2006), os principais rios que integram as bacias Solimões e Amazonas denotam expressivas áreas de planícies aluvionares,

chegando a atingir dezenas de quilômetros de largura e de extensão. Têm destaque as bacias dos rios Madeira, Purus, Solimões, Japurá, Juruá, Jutaí, Amazonas, Uatumã e Jatapu. Revelam uma morfologia característica de planície sedimentar onde é comum o padrão de canais fluviais meandantes, lagos de variada conformação e meandros abandonados que registram a migração lateral do curso dos rios.

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

Segundo Pereira & Cajazeiras (2012), este é um aquífero contínuo, poroso, com permeabilidade baixa. A espessura dessa unidade é em geral inferior a 40 metros. A transmissividade em Rondônia varia de $6,6 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ a $4,27 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, com valor médio de $6,03 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ (CPRM, 1998). Os parâmetros hidráulicos em Rio Branco/AC são superiores, com transmissividade acima de $120 \text{ m}^2/\text{dia}$ e capacidade específica maior que $3 \text{ m}^3/\text{h/m}$, caracterizando-os como aptos para abastecimento público (Melo Junior, 2010). A melhor vazão, $15 \text{ m}^3/\text{h}$, foi encontrada em poço tubular no distrito de São Carlos, município de Porto Velho, em Rondônia. As capacidades específicas variam de 0,3 a $1,9 \text{ m}^3/\text{h/m}$.

Um outro exemplo relativo a exploração do aquífero Aluvial ocorre na cidade de Tabatinga/AM, que teve início em 1976 por ocasião da execução de sondagens dentro do Projeto Carvão do Alto Solimões, realizados pelo Departamento de Pesquisa Mineral (DNPM) e pela Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM), onde foram construídos 5 poços com profundidade máxima de 22,60 metros e vazão máxima de $4,2 \text{ m}^3/\text{h}$ (Maia *et al.*, 1977).

1.1.1.4 - Aquitardo Solimões-Repouso

O aquífero Solimões-Repouso, denominado como aquífero Solimões em alguns trabalhos anteriores (ANA, 2005; CPRM, 2010), aflora no Brasil em uma área de cerca 417 mil km^2 . Ocorre em quase todo o Estado do Acre, parte oeste do Amazonas e extremo noroeste de Rondônia.

As unidades geológicas que formam o aquífero Solimões-Repouso têm continuidade lateral nas bacias vizinhas, onde recebem outros nomes. No Peru, nas bacias sedimentares de Pastaza, Marañón e Madre de Dios, estes materiais são chamados de formações Pebas, Ipunuro e Nauta. Na Colômbia, nas bacias Amazonas e Putumayo, são conhecidos como Terciário Amazônico e Camadas La Tagua (Hoorn, 1993).

O pacote sedimentar composto pelas formações Solimões e Repouso é composto principalmente de argila variegada mole, cinza clara, cinza média e cinza esverdeada, laminada ou maciça com intercalações de lentes delgadas de linhito. Na parte superior da seção ocorrem intercalações de arenitos, finos a grosseiros brancos. Sua idade é cenozoica e sua espessura pode atingir até 760 metros (Caputo *et al.*, 1972), mas a espessura média é de 300 metros, afirma Galvão (2011).

Segundo ANA (2005), neste aquífero a vazão média dos poços é de 27,3 m³/h e a capacidade específica média é de 3,062 m³/h/m. Tais valores configuram um sistema de média produtividade. Entretanto para CPRM (2010a), este aquífero, aflorante no extremo oeste-sudoeste do Amazonas, é caracterizado por vazões baixas (<10 m³/h), devido à sua constituição predominantemente argilosa.

Souza (2009), em um teste de aquífero de um poço em Urucu/AM, obteve transmissividade de 3,7 x 10⁻³ m²/s, condutividade hidráulica igual a 7,4 x 10⁻⁵ m/s e coeficiente de armazenamento de 8,00 x 10⁻⁴.

Galvão *et al.* (2013) denominam este pacote como “*aquiclude Solimões*”, ocorrendo logo abaixo dos primeiros horizontes com maiores intercalações arenosas (possivelmente Formação Içá, de acordo com o Volume II – Geologia da PHA), sendo constituído por argilitos com espessura que variam de 150 a 180 metros e apresentam intercalações de linhitos, arenitos, calcarenitos, coquilhas e calcilutitos.

1.1.1.5 - Aquífero Barreiras

O aquífero Barreiras na Província Hidrogeológica Amazonas pode ser encontrado aflorante na faixa litorânea do Estado do Pará até o Arco de Gurupá, na porção sul da Bacia do Marajó; e em subsuperfície também é encontrado no Pará e no Amapá. É utilizado principalmente no abastecimento público, sendo fonte importante para Belém, a capital do Pará.

Esse é o sistema hidrogeológico mais conhecido e mais explorado na Região Metropolitana de Belém (RMB) e corresponde aos sedimentos do Grupo Barreiras, cujas expressões litológicas são bastante heterogêneas. Estão aí incluídos desde argilitos até arenitos grossos com lentes conglomeráticas. Ocorrem também leitos lateríticos e argilosos caulinizados. Esses litotipos se intercalam irregularmente, segundo um arranjo espacial complexo que ainda está sob análise.

Nesta região, o sistema hidrogeológico Barreiras está presente em profundidades de 25 a 90 metros. São camadas aquíferas de espessuras em torno de 70 metros e vazões entre 10 e 70 m³/h. Nas camadas com granulação areia grossa a cascalho, têm sido mencionadas vazões de até 80 m³/h (Sauma Filho, 1996).

Matta (2002) se refere a dois níveis aquíferos na Formação Barreiras na RMB: o nível superior e o inferior. O primeiro tem comportamento de semi-confinado a livre, sendo captado por poços perfurados até cerca de 40 metros, que produzem de 1 a 3 m³/h, com vulnerabilidade alta à contaminação. O segundo é confinado e ocorre em profundidade média de 25 a 90 metros, com espessura em torno de 65 metros. Os poços que captam nesse nível têm cerca de 90 metros de profundidade máxima, produzindo vazões de até 100 m³/h, com vulnerabilidade moderada à contaminação.

Ainda de acordo com Matta (2002), a recarga se dá por contribuição das camadas sobrepostas (unidade pós Barreiras constituída por pacotes argilo-arenosos, inconsolidados, existentes desde a superfície até cerca de 25 metros) ou através da precipitação pluviométrica, nas áreas de afloramento dessa unidade.

Segundo IPT (1984), em um estudo realizado em Barcarena/PA, também foi possível distinguir o sistema aquífero Barreiras na região mencionada em aquífero superior e aquífero inferior. O aquífero superior é caracterizado por uma matriz arenosa fina a média e de espessura variável. O aquífero inferior é caracterizado por uma matriz arenosa, grosseira, heterogênea e com espessura relativamente constante. Ambos os aquíferos são semi-confinados, sendo que o superior é formado por siltitos e argilas, enquanto que o aquífero inferior está semi-confinado por argilas e uma camada laterítica na base do aquífero superior ou topo do inferior. Os parâmetros hidrodinâmicos do aquífero superior e inferior foram determinados através do ensaio de bombeamento e testes de produção. De acordo com esses ensaios, os poços no aquífero superior apresentam uma vazão de 35,6 m³/h. A transmissividade desse aquífero é de 19,86 m²/h e o coeficiente de armazenamento 4,65 x 10⁻⁴. O aquífero inferior também teve suas propriedades hidráulicas avaliadas e mostraram que este tem sua transmissividade de 56,47 m²/h e o coeficiente de armazenamento de 2,8 x 10⁻⁴. Os poços nesse aquífero apresentam vazão de cerca de 180 m³/h.

Cortez *et al.* (2000) mostram (**tabela 1.1**) as seguintes características hidrogeológicas e hidrodinâmicas do aquífero Barreiras na Região Metropolitana de Belém.

Tabela 1.1 – Características hidrogeológicas da Formação Barreiras, na Região Metropolitana de Belém.

Característica	Unidade	Mínimo	Máximo
Profundidade do Topo do Aquífero	m	4,2	26,0
Profundidade da Base do Aquífero	m	18,0	33,0
Espessura do Aquífero	m	7,0	18,0
Nível Hidrostático	m	0,58	9,70
Gradiente Hidráulico	m/km	2,0	8,0
Velocidade de Fluxo	m/dia	0,024	1,35
Velocidade Linear Média	m/dia	0,12	5,39
Tamanho Efetivo dos Grãos	mm	0,125	0,250
Coefficiente de Uniformidade	-	2,00	2,84
Porosidade Efetiva	-	0,20	0,22
Condutividade Hidráulica	m/s	1,4.10 ⁻⁴	1,9.10 ⁻³
Coefficiente de Armazenamento	-	3,3.10 ⁻⁵	2,27.10 ⁻⁴
Transmissividade	m ² /s	2,2.10 ⁻³	1,9.19 ⁻²

1.1.1.6 - Aquífero Pirabas

De acordo com Oliveira *et al.* (2006), a Formação Pirabas ocorre na Plataforma Continental Norte-Brasileira, do Pará ao Amapá. No continente, essa formação ocorre em quase toda a costa paraense, prolongando-se para sul até, pelo menos o Rio Guamá (Matta *et al.*, 2000). Sabe-se que, na região costeira, ela se assenta sobre o embasamento cristalino e é capeada descontinuamente por sedimentos do Grupo Barreiras. A litologia da Formação Pirabas é constituída, em geral, por margas e calcários (biomicritos, micritos e calcoarenitos), intercalados com folhelhos de cor cinza-esverdeada e negros, contendo vegetais piritizados.

Segundo Oliveira *et al.* (1998), o Aquífero Pirabas é formado por dois sistemas aquíferos do tipo multicamadas, denominados de Pirabas (ou Pirabas superior) e Pré-Pirabas (ou Pirabas inferior).

O Aquífero Pirabas Superior é constituído de sedimentos marinhosossilíferos. São camadas de argila calcífera de cor cinza esverdeada e leitos de calcário duro, cinza esbranquiçado, que se alternam com camadas de arenito calcífero, siltitos e areias. Essas camadas têm melhor continuidade lateral que as camadas aquíferas do Pirabas Inferior, são confinadas e situam-se geralmente no intervalo de 70 a 180 metros de profundidade. Produzem vazões da ordem de 100 a 200 m³/h em poços muito caros, acessíveis somente ao poder público e a empresários.

O Aquífero Pirabas Inferior é composto predominantemente por camadas repetitivas de arenitos cinza esbranquiçados de granulação fina a conglomerática, com intercalações espessas de argilas e siltitos avermelhados. Este aquífero ocorre em profundidade geralmente dentro do intervalo de 180 a 280 metros, com espessura média dos níveis produtores somando cerca de 47 metros. Segundo Matta (2002), são possíveis descargas de até 600 m³/h, sendo a água de excelente potabilidade e apresentando teores de ferro muito baixos ou ausentes. O Pirabas Inferior, entretanto, é pouco captado na Região Metropolitana de Belém por conta das grandes profundidades e do alto custo das perfurações.

Ainda Matta (2002) descreve que se considerarmos regime contínuo de bombeamento e uma vazão média de 100 m³/h em cada poço, os 58 estudados na Região Metropolitana de Belém poços analisados extraem do Aquífero Pirabas algo em torno de 50 hm³/ano. A **tabela 1.2** mostra as faixas de variação das características dos poços, de acordo com Matta (2002).

Tabela 1.2 - Faixas de variação das características dos poços na Formação Pirabas (adaptado de Matta, 2002).

Região	Profundidade dos poços (m)	Q (m ³ /h)	NE (m)	ND (m)	Q Esp. (m ³ /h/m)	Rebaix. (m)
Região de Belém	230 a 270	36 a 360	1,8 a 28,0	8 a 55	1,9 a 36,2	3,4 a 34
Região de Ananindeua	202 a 286	105 a 250	11,9 a 27,9	22,2 a 57,9	4,6 a 54,3	4,6 a 33,0

Q = vazão; NE = Nível Estático; ND = Nível Dinâmico; Q Esp.= Vazão específica; Rebaix = Rebaixamento.

Oliveira *et al.* (2006) contabilizaram 87 poços tubulares captando a Formação Pirabas na região nordeste do Pará, com profundidades variando entre 128 e 170 metros, produzindo descargas entre 46 e 156 m³/h. As vazões específicas variam entre 1,2 e 17 m³/h/m. Esses poços são assim distribuídos: Salinópolis (25), São João do Pirabas (19), Primavera (5), Quatipuru (4), Santarém Novo (19).

1.1.1.7 - Aquífero Tucunaré

A Formação Tucunaré (basicamente arenitos) na Bacia do Marajó, cuja idade é atribuída ao Plio-Pleistoceno, com mais de 1.000 metros de espessura na plataforma continental (Bacia da Foz do Amazonas). Os arenitos Tucunaré sobrepõem parcialmente e passam lateralmente aos argilitos Pirarucu da Bacia da Foz do Amazonas. Sua espessura é variável e na Bacia do Marajó é de cerca de 600 metros na parte leste da ilha do Marajó, na sub-Bacia de Mexiana. Na plataforma do Amapá ocorre a Formação Tucunaré e sedimentos recentes diretamente sobre o embasamento cristalino. Corresponde aos sedimentos pós-Barreiras da Plataforma Bragantina. A espessura na Plataforma do Amapá, em Macapá, é variável, com espessura máxima de aproximadamente 300 metros.

É importante ressaltar que vários autores afirmam que na região de Macapá aflora o Grupo Barreiras (Lima *et al.*, 1991; Oliveira *et al.*, 2004). No entanto, os levantamentos de campo efetuados no âmbito deste projeto, na cidade de Macapá, permitiram caracterizar a ocorrência de 3 (três) unidades distintas: sedimentos argilo-arenosos na base, areno-argilosos e materiais arenosos e conglomeráticos, reconhecidos como quaternários e atribuídos no relatório da Geologia (Volume II) à Formação Tucunaré:

Materiais argilo-arenosos: se fazem presentes no domínio do tabuleiro costeiro em cotas de 20 a 40 metros. São friáveis, de coloração amarelo-avermelhada e cinza-esbranquiçada, apresentando concreções lateríticas nas proximidades do topo, em contato gradacional ou brusco através de níveis de *stone-line* (Santos *et al.*, 2004).

Materiais areno-argilosos: são inconsolidados, de coloração amarelo-avermelhada, contendo lentes e níveis de cascalhos muito grosseiros com seixos de dimensão centímetrica formando conglomerados. Concreções lateríticas ocorrem no contato entre as porções mais argilosas e mais arenosas.

Materiais arenosos e conglomeráticos: são constituídos de seixos de tamanhos variados, dispersos numa matriz arenosa de coloração esbranquiçada.

Segundo Oliveira *et al.* (2004), quanto à potencialidade hídrica subterrânea da área de Macapá, o contexto aquífero local é caracterizado pela ocorrência de sedimentos argilosos, intercalados por lentes e delgadas camadas siltico-arenosas a arenosas pouco espessos. Esta geometria das camadas permite inferir que os aquíferos na região são do tipo livre (entre 06 e 14 metros) e/ou sistemas aquíferos semi-confinados situados entre profundidades de 30 a 70 metros, estes últimos com vazões médias de 2 a 5 m³/h, mas que podem atingir até 14 m³/h, de acordo com informações obtidas na área de estudo.

De acordo com Fenzl & Piuci (1981), um ensaio de bombeamento realizado em um poço localizado em parte representativa do aquífero Tucunaré na região de Ponta das Pedras, na Ilha do Marajó, determinou uma condutividade hidráulica de 0,57 m/h, transmissividade de 3,96 m²/h e coeficiente de armazenamento de 0,031. Serra & Tancredi (1982) encontram nesta mesma ilha transmissividade entre 2,0 e 40,9 m²/h em poços com até 80 metros.

Por outro lado, há a possibilidade de se encontrar um grande sistema aquífero local em profundidades superiores a 100 metros, pois, de acordo com informações levantadas junto à Companhia de Águas e Esgoto do Amapá

(CAESA), são explorados alguns poços entre 120 e 150 metros, os quais produzem vazões em média de 150 a 200 m³/h.

A **tabela 1.3** mostra alguns valores de parâmetros hidrodinâmicos obtidos por Tancredi (2002; 2004; 2006) e Oliveira (2004; 2006), em pesquisas para água mineral na região de Macapá.

Tabela 1.3 - Parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Tucunaré em Macapá.

Poço	Profundidade (m)	NE (m)	T (m ² /s)	K (m/s)	S
P1	40	13,25	4.10 ⁻⁵	3,7.10 ⁻⁶	5,3.10 ⁻⁵
P2	38	11,79	9,7.10 ⁻⁴	9,7.10 ⁻⁵	4,3.10 ⁻⁵
P3	68	19,84	2,2.10 ⁻⁴	9,3.10 ⁻⁶	3,5.10 ⁻⁵
P4	51,8	6,00	5,8.10 ⁻⁵	1,7.10 ⁻⁶	-
P5	60	8,88	7,9.10 ⁻⁴	4,9.10 ⁻⁵	1,3.10 ⁻⁴

NE = Nível Estático; T = transmissividade; K = Condutividade hidráulica; S = Coeficiente de armazenamento.

1.1.1.8 - Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho

O aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, denominado em diversos trabalhos anteriores como aquífero Jaciparaná (Adamy & Romanini (1990); Lima *et al.* (2008)), está localizado no município de Porto Velho, em Rondônia, em uma área de cerca de 511 km² (ANA, 2012).

Para Adamy & Romanini (1990) este aquífero é formado por depósitos de origem fluvial e colúvio-aluvial, constituídos por intercalações de areia, argila e silte, com espessura média de 50 metros, podendo alcançar, em algumas localidades, mais de 90 metros.

Esse aquífero é bastante heterogêneo e os principais depósitos são constituídos de lentes arenosas, apresentando geralmente uma camada argilosa no topo da sequência, com espessura bastante variável, o que faz levar a crer que se tratam de aquíferos confinados. Entretanto, em algumas localidades, as lentes e/ou camadas arenosas afloram, o que pode indicar zonas de recarga do aquífero local.

Estudos mais recentes realizados no âmbito do mapeamento regional do Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2007) delinea e discute os sedimentos recentes, do Terciário/Quaternário, associados ao Rio Madeira e assentados sobre o embasamento cristalino na área de Porto Velho. Nessa área, o mapeamento distingue as seguintes unidades, da mais recente para a mais antiga:

Q2a - Holoceno. Depósitos aluvionares arenosos, siltosos e argilosos, com níveis de cascalho.

Q1t - Pleistoceno. Terraços fluviais característicos de sistemas meandranes. Constituídos de sedimentos arenosos e siltosos, cascalhos inconsolidados, ferruginosos ou não, com níveis de matéria orgânica.

NQi - Pleistoceno/Neógeno. Coberturas sedimentares indiferenciadas, incluindo: depósitos de areia, silte, argila e cascalho; restos de materiais lateríticos; sedimentos aluviais, colúviais e elúviais indiferenciados.

NQdl - Pleistoceno/Neógeno. Coberturas detrito-lateríticas, incluindo: depósitos argilo-arenosos ricos em concreções ferruginosas; crosta laterítica

concrecionária; materiais coluviais e eluviais ricos em detritos lateríticos e fragmentos de quartzo.

O mapeamento geológico descrito por CPRM (2007) não inclui a Formação Jaciparaná na área estudada em Porto Velho. Nessa região, os poços cadastrados na zona urbana captam apenas a unidade designada de NQi, ou seja, coberturas sedimentares indiferenciadas. A Formação Jaciparaná, no mapeamento discutido (CPRM, 2007) fica restrita a pequenas ocorrências no baixo vale do rio Jaciparaná e nas imediações da sua foz, cerca de 80 km a sudoeste da cidade de Porto Velho.

O Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho possui uma condutividade hidráulica média de aproximadamente $8,10 \times 10^{-5}$ m/s, permeabilidade média de aproximadamente 7 m/dia e os poços possuem uma vazão média de 15 m³/h, podendo chegar a 30 m³/h (Campos, 1998). As capacidades específicas são superiores a 2 m³/h/m (Campos & Morais, 1999).

1.1.1.9 - Aquífero Rio Branco

Em Rio Branco, Oliveira & Ferreira (2008) descrevem o pacote aluvial sobreposto ao aquífero Solimões-Repouso, em discordância erosiva, como uma cobertura argilosa, inferior a 20 metros de espessura com a presença de fósseis e concreções carbonáticas em sua base, definida como unidade Panorama. Trata-se de material argiloso, de cor em geral cinza a marrom esverdeada, que evolui nas posições mais superiores do perfil de solo para argilas mosqueadas vermelhas a castanho claro. Intercalações com camadas siltosas e arenosas finas também foram observadas em afloramentos, onde se tem estrutura de preenchimento de canal por siltito em meio a um pacote de areia fina/silte.

Melo Jr. & Marmos (2006) executaram e interpretaram dados de sondagens existentes, com o objetivo de investigar as litologias do pacote aluvial. Os resultados obtidos levaram esses autores a propor, nesse pacote, a existência de duas camadas distintas. A camada mais superficial é constituída predominantemente de argila, argila siltosa e argila siltico-arenosa. A segunda camada se caracteriza por areia fina a média, ocorrendo algumas vezes material siltico, clastos milimétricos de laterita e nódulos de argila rica em matéria orgânica. Esta segunda camada foi designada por Melo Jr. & Marmos (2006) de Aquífero Rio Branco, de fundamental importância para o abastecimento da capital do Acre.

Melo Jr. & Marmos (2006), a partir da análise dos poços cadastrados e de sondagens realizadas, verificaram que as espessuras da camada de areia variam de 1 a 9 m, com média de 5 m, enquanto que as espessuras totais dos aluviões (que, de fato, constituem o aquífero Rio Branco) variam de 7 a 14 metros.

Os valores dos principais parâmetros físicos dos sedimentos arenosos que constituem o aquífero Rio Branco foram de 2,21 a 4,07 metros para o nível estático; enquanto que o nível dinâmico dos poços testados variou entre 4,04 a 7,07 metros de profundidade com valores médios de 3,14 e 6,05 metros, respectivamente. Os valores de vazão e da capacidade específica obtidos nos testes podem ser considerados baixos: 3,33 a 10 m³/h e 0,92 a 4,1 m³/h/m, respectivamente (Melo Jr. & Marmos, 2006).

Em relação aos parâmetros hidráulicos do aquífero Rio Branco, os valores de transmissividade (T), coeficiente de armazenamento (S) e condutividade hidráulica (K) também foram influenciados pela má construção dos poços, assim como pelos equipamentos de bombeamento utilizados. Desta forma, os valores obtidos para estes índices variaram entre 132 a 0,264 m²/dia; 2,89 x 10¹ a 1,05 x 10⁻⁴; e 2,38 a 2,56 x 10⁻⁴ m/dia, respectivamente (Melo Jr. & Marmos, 2006).

De acordo com CPRM (2010b), o aquífero Rio Branco apresenta vazões que variam de 4,7 a 11,3 m³/h. A capacidade específica, por sua vez, obteve valores entre 1,23 e 19,59 m³/h/m. A transmissividade variou entre 22,18 e 213,2 m²/dia, assim como o coeficiente de armazenamento e a condutividade hidráulica variaram entre 3,7 x 10⁻³ a 7,66 x 10⁻¹; e 6,7 a 42,64 m/dia, respectivamente.

O Aquífero Rio Branco, dadas suas pequenas espessuras, e salvo melhor avaliação futura, não parece ter vocação para abastecimento público ou irrigação, mas, tão somente, para o atendimento de demandas residenciais, comerciais e de algumas indústrias de menor porte.

1.1.2 – Síntese da Geologia e suas Relações com a Hidrogeologia da PHA no Brasil

A Província Hidrogeológica Amazonas no Brasil cobre uma superfície aproximada de 2,0 milhões de km² e nela estão incluídas as bacias sedimentares do Marajó (176.511 km²), do Amazonas (619.113 km²), do Solimões (1.181.145 km²) e do Acre (23.231 km²). A PHA no Brasil inclui o Estado do Acre, grande parte do estado do Amazonas e partes dos Estados do Pará, Amapá, Roraima e Rondônia (**figura 1.2**).

Na bacia do Marajó, segundo o relatório de geologia da PHA no Brasil (Volume II), a espessura do pacote sedimentar é superior a 10 km, como ilustram as seções sísmicas transversais apresentadas na **figura 1.3**. A carta cronoestratigráfica dessa bacia (**figura 1.4**) mostra que somente na fase Sin-Rifte existem 10.000 m de sedimentos, sendo 6.000 m da Formação Breves (fases Rifte I e Rifte II) e 4.000 m da Formação Itapecuru na fase Rifte III. Além dessa formidável espessura ainda se somam 7.500 m de litologias arenosas na fase Pós-Rifte, do Neocretáceo ao Pleistoceno, contemplando as Formações Anajás (1.200 m), Limoeiro (3.000 m), Marajó (2.000 m), Barreiras (700 m) e Tucunaré (600 m). Convém esclarecer que a Formação Pirabas não é conhecida na bacia do Marajó, razão pela qual não aparece na carta cronoestratigráfica dessa bacia. Segundo o Volume II – Geologia, ocorrem em alguns poços, na parte superior da Formação Marajó, calcários intercalados da Formação Amapá da bacia da Foz do Amazonas, correspondente à Formação Pirabas, cujas intercalações estão presentes na Plataforma Bragantina, na base da Formação Barreiras.

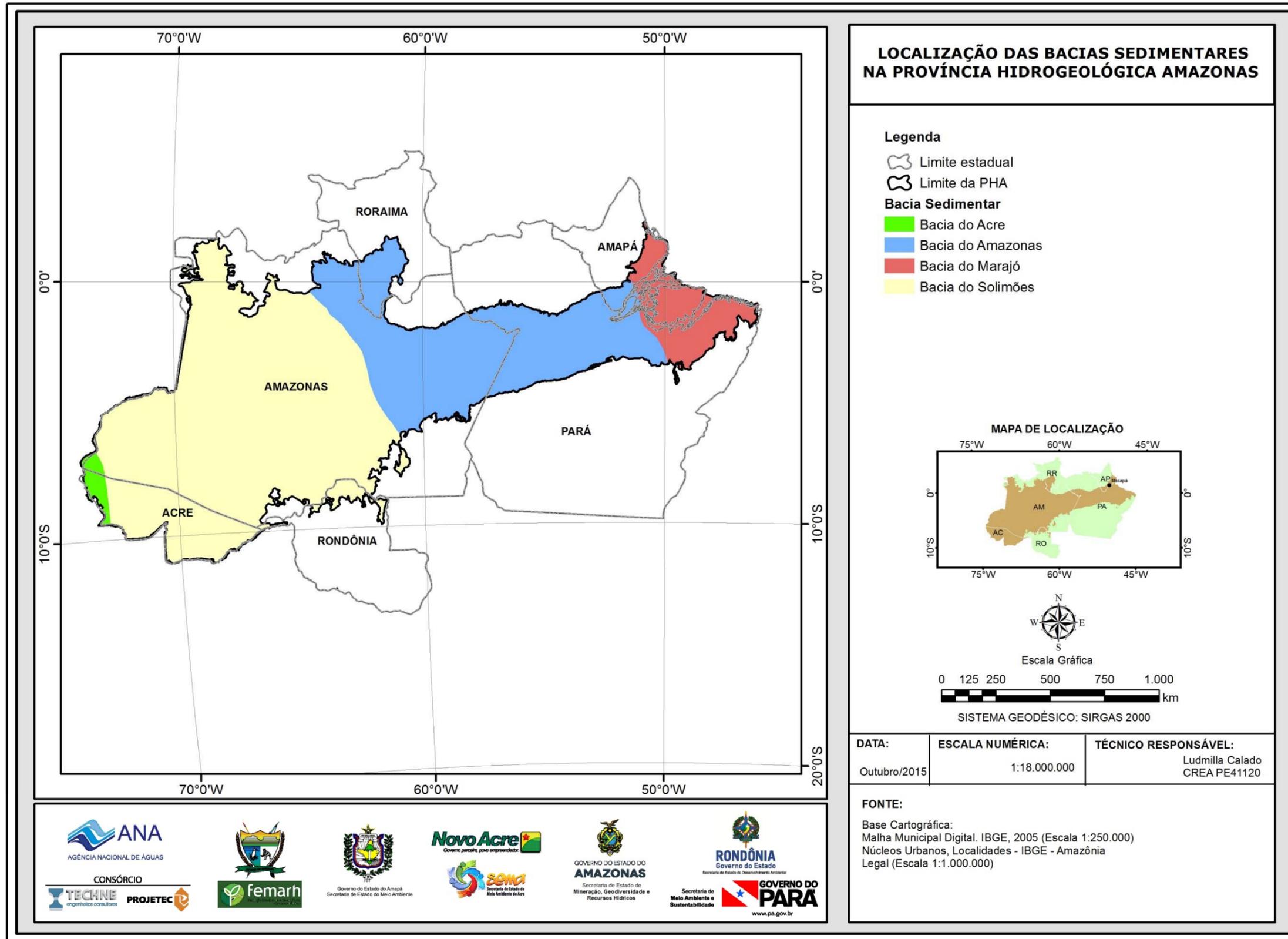


Figura 1.2 – Territórios dos estados do norte do Brasil incluídos na Província Hidrogeológica Amazonas – PHA no Brasil.

BACIA DO MARAJÓ

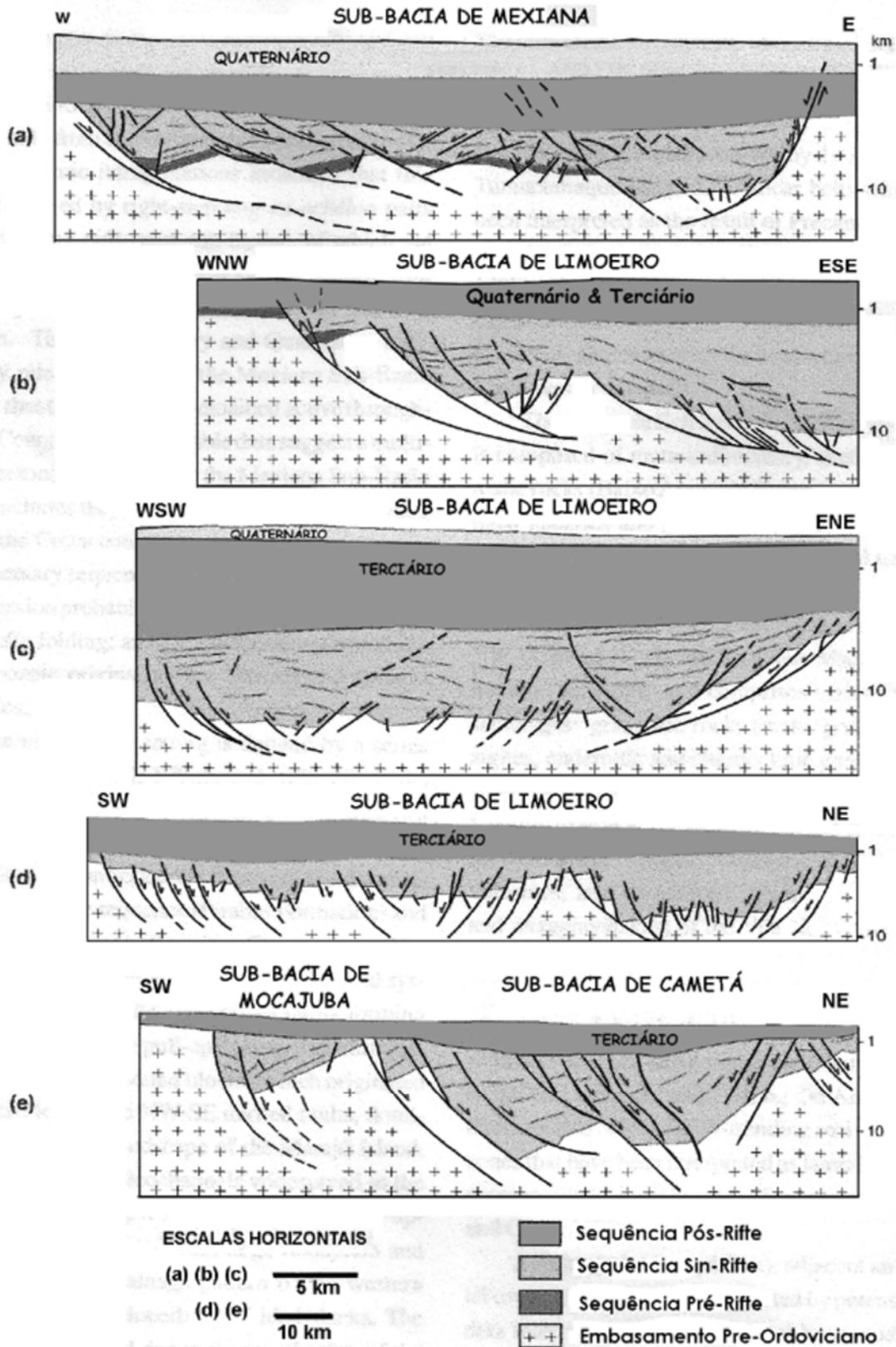


Figura 1.3 - Interpretação de seções sísmicas das Sub-bacias Mexiana, Limoeiro, Cameté e Mocajuba (Villegas, 1994 e Costa *et al.*, 2002), da bacia do Marajó. Fonte: Volume II - Geologia.

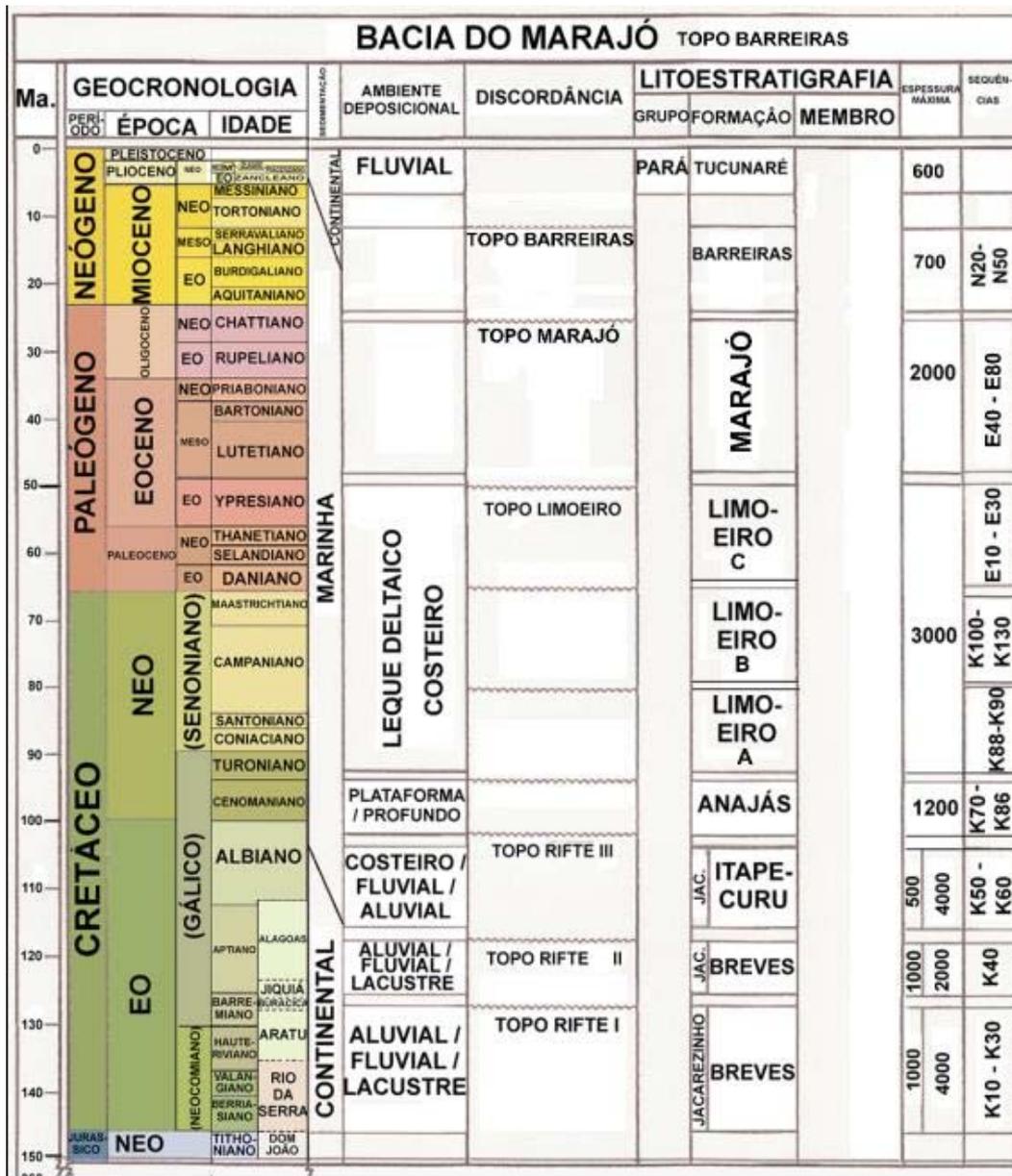


Figura 1.4 – Carta cronoestratigráfica e litoestratigráfica da Bacia do Marajó. Modificada de Zalán & Matsuda (2007). Fonte: Volume II – Geologia.

Na bacia do Amazonas, as linhas sísmicas ilustradas na **figura 1.5** deram o suporte para a elaboração das seções geológicas esquemáticas das **figuras 1.6** e **1.7**, que indicam espessuras da ordem de 5 a 6 km. A carta cronoestratigráfica (**figura 1.8**) mostra a ocorrência de 25 ULs, das quais 21 ULs são depósitos, sobretudo, pelíticos intercalados por soleiras de diabásio do diastrofismo Penatecaua, das fases Pré-Rifte e Sin-Rifte que dominaram do Paleozoico ao Mesozoico. Do ponto de vista hidrogeológico, além dessas características desfavoráveis, essas unidades em subsuperfície com espessura máxima total de 8.180 m (**figura 1.8**) são provavelmente destituídas de circulação e passíveis de conter água salgada, como se descreve adiante no **item 1.6**. Por esse motivo, apenas as unidades da fase Pós-Rifte (do Eocretáceo ao Plestoceno), das quais 4 (quatro) com espessura máxima de 1.930 m, representadas pelas formações Jazida da Fazendinha (250 m), Alter do Chão, (1.280 m), Solimões (100 m) e Içá (150 m) de forma não contínua, recobertas nos talwegues da rede hidrográfica

por aluviões e terraços fluviais, são consideradas de interesse para o aproveitamento de água subterrânea.

Neste sentido, mesmo tomando como referência uma das situações mais favoráveis à captação do Paleozoico de subsuperfície, conclui-se que o empreendimento é por demais arriscado. É o caso do poço de Belterra (1-BR-1A-PA), no qual o topo da Formação Andirá se encontra sob o pacote Alter do Chão/Jazida da Fazendinha a uma profundidade “confortável” de 603 m. Na seção situada entre 603 e 1.000 m, com 397 m de espessura, na qual os arenitos são predominantes (55,4%), encontram-se:

- 18 intercalações de folhelhos, somando 44 m;
- 33 intercalações de siltitos, somando 118 m;
- 2 intercalações de anidrita, somando 15 m, logo na parte mais superior da formação;
- 38 intercalações de arenitos, somando 220 m, com espessura média inferior a 6 m cada uma.

Numa situação como essa, na qual se dispõe de 600 m de arenitos do pacote Alter do Chão/Jazida da Fazendinha sobrepostos, certamente não seria recomendável, aprofundar um poço até 1.000 m para captar as finas intercalações de arenitos da Formação Andirá, tanto pelos custos envolvidos, quanto pela presença de anidrita, que implica em alto risco de salinização.

BACIA DO AMAZONAS



Figura 1.5 - Traçado de linhas sísmicas da Petrobras, na Bacia do Amazonas desde o Arco de Gurupá ao leste até o Arco de Purus ao oeste (Wanderley Filho *et al.*, 2005). Fonte: Volume II – Geologia.

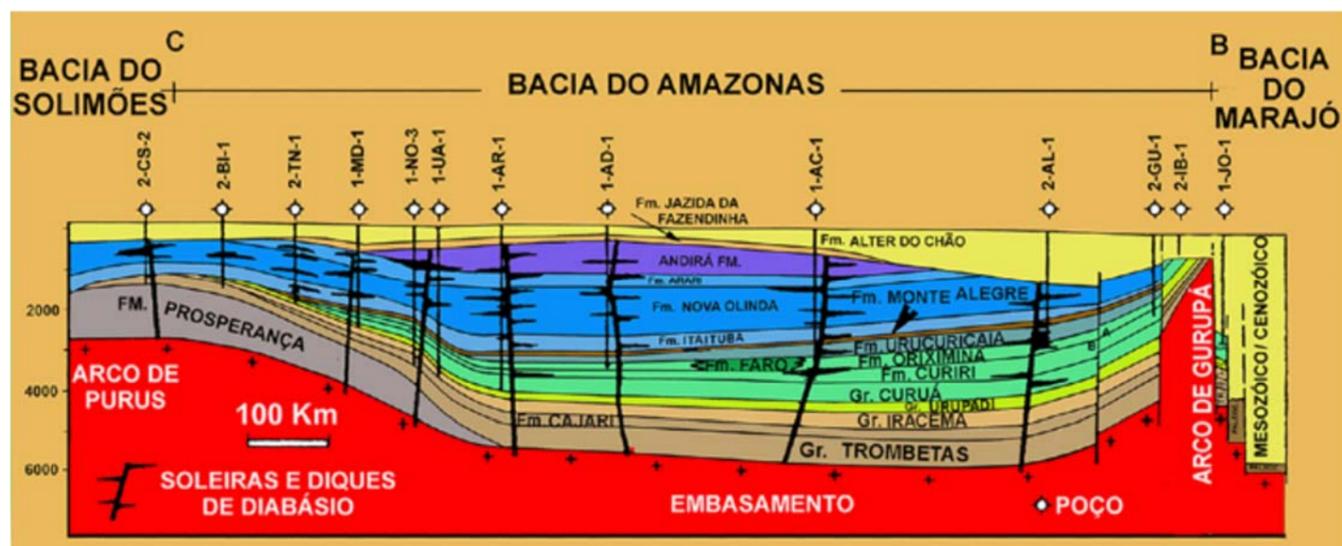


Figura 1.6 - Seção geológica longitudinal da Bacia do Amazonas. Modificado de Caputo (1984). Fonte: Volume II – Geologia.

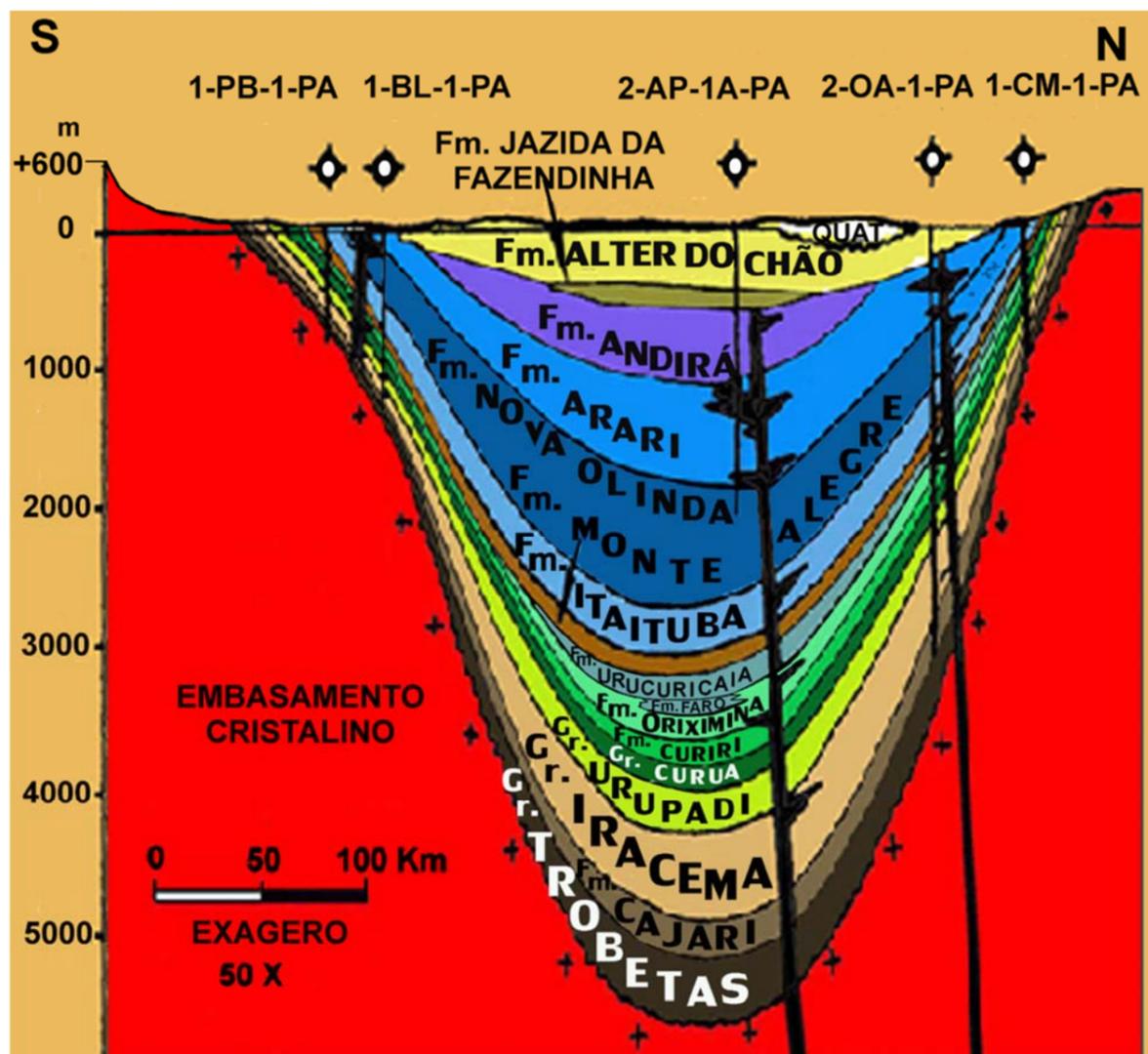


Figura 1.7 - Seção geológica transversal da Bacia do Amazonas Modificada de Caputo (1984). Fonte: Volume II – Geologia.

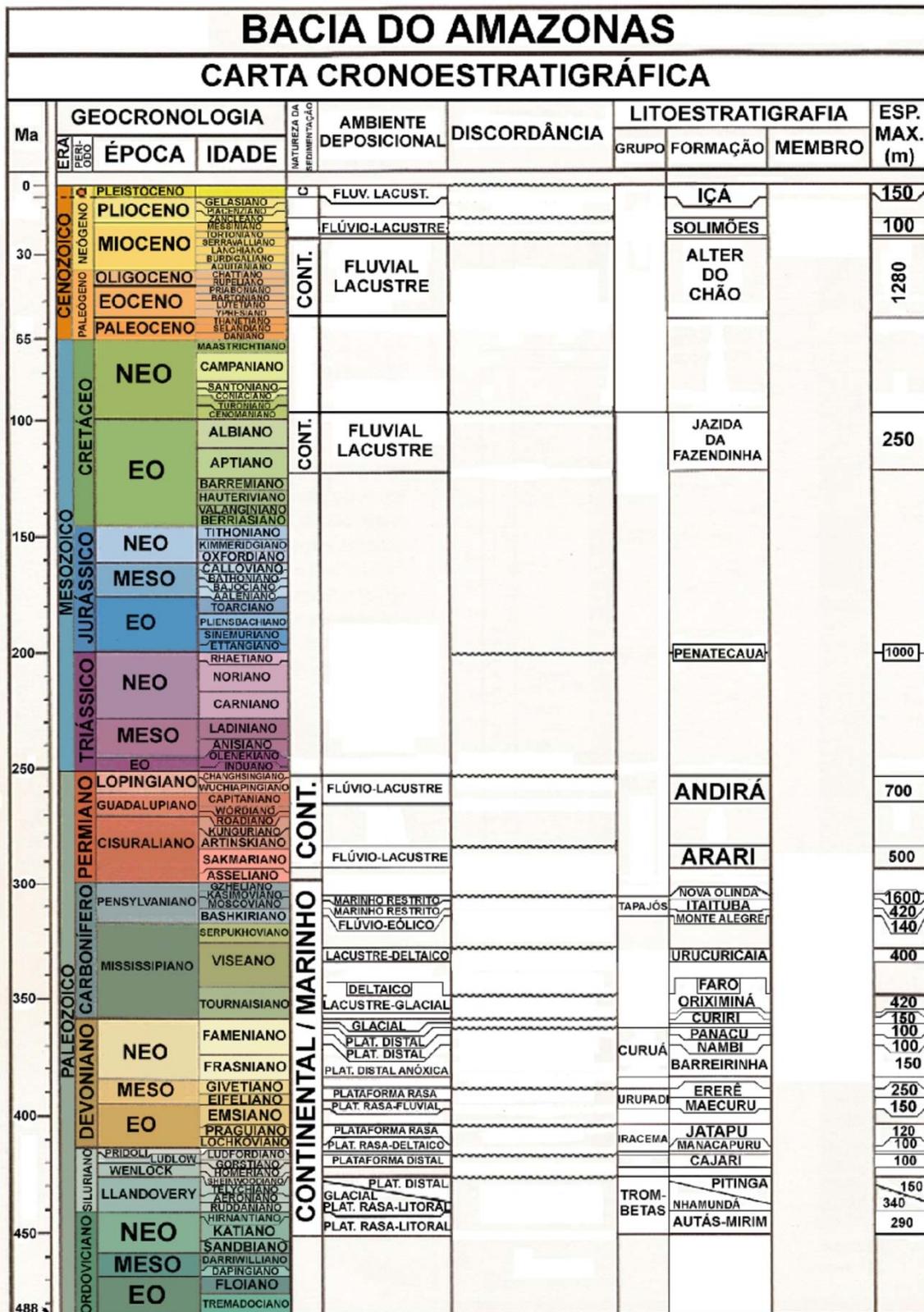


Figura 1.8 - Carta cronoestratigráfica da Bacia do Amazonas, modificada de Cunha et al. (2007). Fonte: Volume II – Geologia.

Na bacia do Solimões, as seções geológicas esquemáticas ilustradas nas **figuras 1.9 a 1.11** revelam que a sequência sedimentar alcança de 3 a 6 km de espessura. Nesse pacote, segundo a carta cronoestratigráfica da **figura 1.12**, encontram-se 19 ULs, das quais 15 ULs com espessura máxima que soma 2.145 m, depositadas entre o Paleozoico (Ordoviciano) e o Mesozoico Inferior (Barremiano) e culminam com o diastrofismo Penatecaua, revelado pela presença de soleiras de diabásio sobre uma espessura máxima de 1.040 m.

Na fase Pós-Rifte, encontra-se uma sequência com 1.800 m de espessura, que começa com 1.000 m de arenitos da Formação Javari, seguida de 650 m de sedimentos pelíticos com finas intercalações de arenitos das formações Repouso e Solimões, culminando com 150 m de arenitos da Formação Içá. Recobrimo esta sequência nessa bacia, encontram-se naturalmente nos talwegues da rede hidrográfica depósitos de aluviões e terraços fluviais de natureza que incluem areias e argilas.

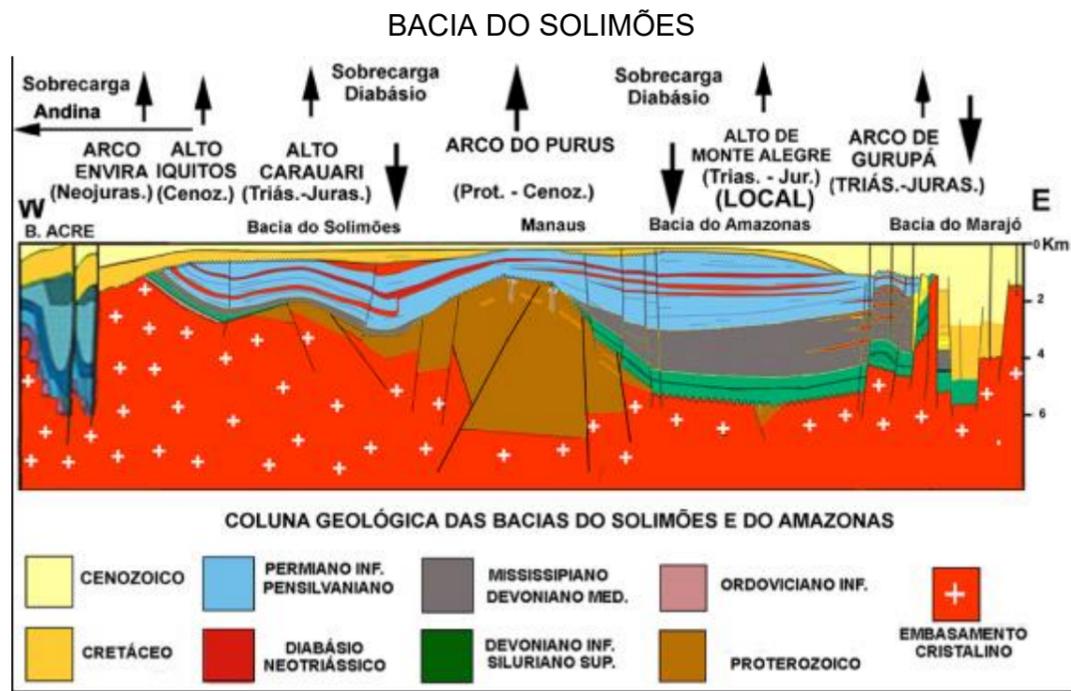


Figura 1.9 – Na seção geológica de Wanderley Filho & Travassos (2011) das bacias do norte do Brasil é indicada a movimentação vertical (epirogênese e subsidência) e sobrecargas laterais diferenciais durante o Fanerozoico. É feita distinção entre arco (que separa bacias) e alto (que não separa bacias). Fonte: Volume II - Geologia.

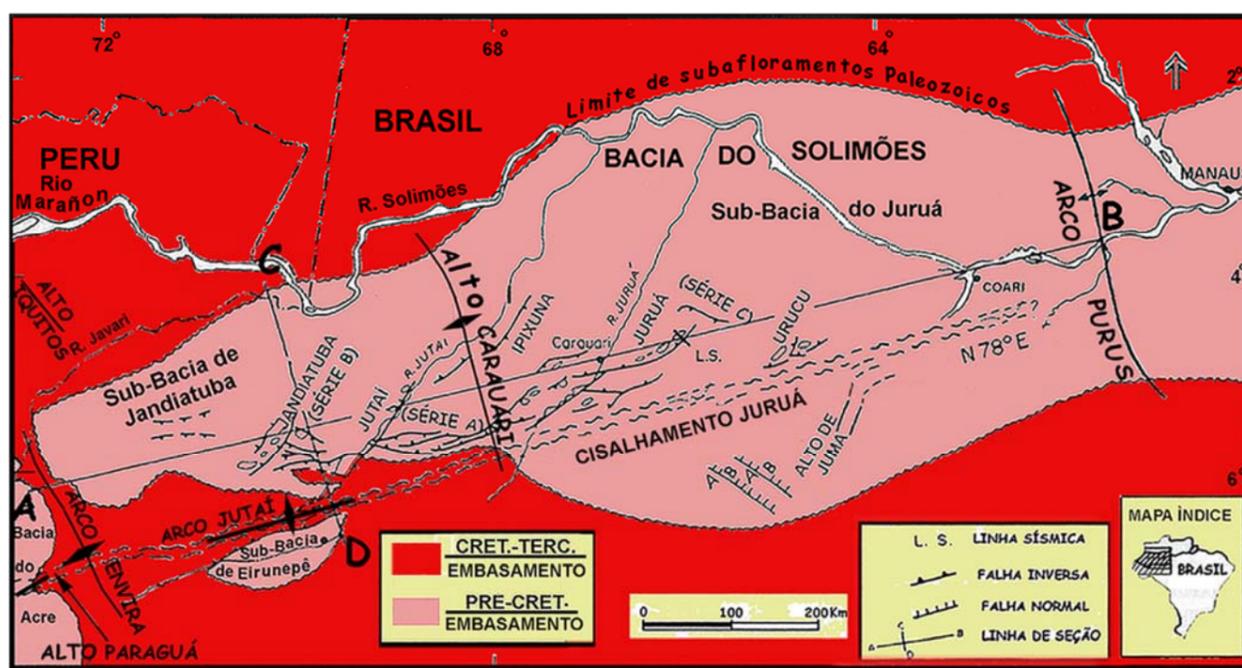


Figura 1.10 – A Orogenia Juruá afetou toda a Bacia do Solimões e Bacia do Acre. Ao longo de uma zona de falhamentos se originaram cinco trends estruturais potencialmente produtores de hidrocarbonetos (Jandiátuba, Jutaí, Ipixuna, Juruá e Urucu) e três séries de falhas com direções diferentes (Séries A, B e C) (Caputo, 1985; Caputo, 1991). A Orogenia Juruá, de idade neojurássica, causou soerguimento e a redução por erosão da área ocidental da Bacia do Solimões, quando vastas áreas do embasamento da bacia foram expostas e erodidas, e mais tarde encobertas pela Formação Javari no Cretáceo. A Bacia de Eirunepé e a Bacia do Acre foram desconectadas da Bacia do Solimões pelos arcos Jutaí e Envira, respectivamente, causados pela Orogenia Juruá. Fonte: Volume II – Geologia.

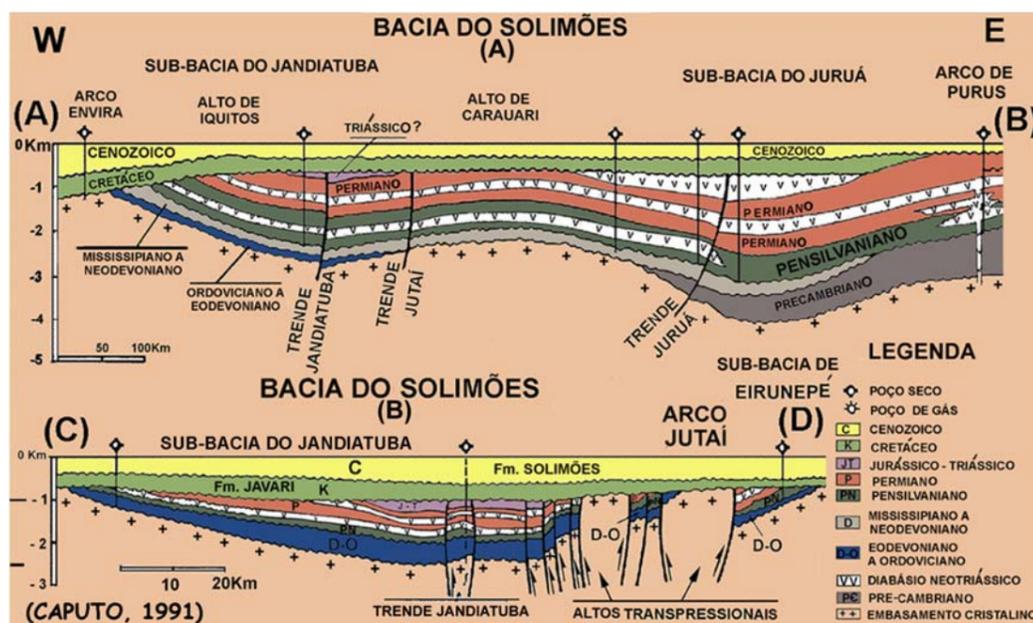


Figura 1.11 – Seções longitudinais e transversais da Bacia do Solimões. (A) A região sob a 1ª soleira foi deprimida parcialmente pelo efeito do peso do diabásio e áreas periféricas foram soerguidas. (B) Os altos transpressionais foram elevados por mais de 1,5 km, com remoção de todas as formações paleozoicas subjacentes pela Orogenia Juruá. Fonte: Volume II – Geologia.

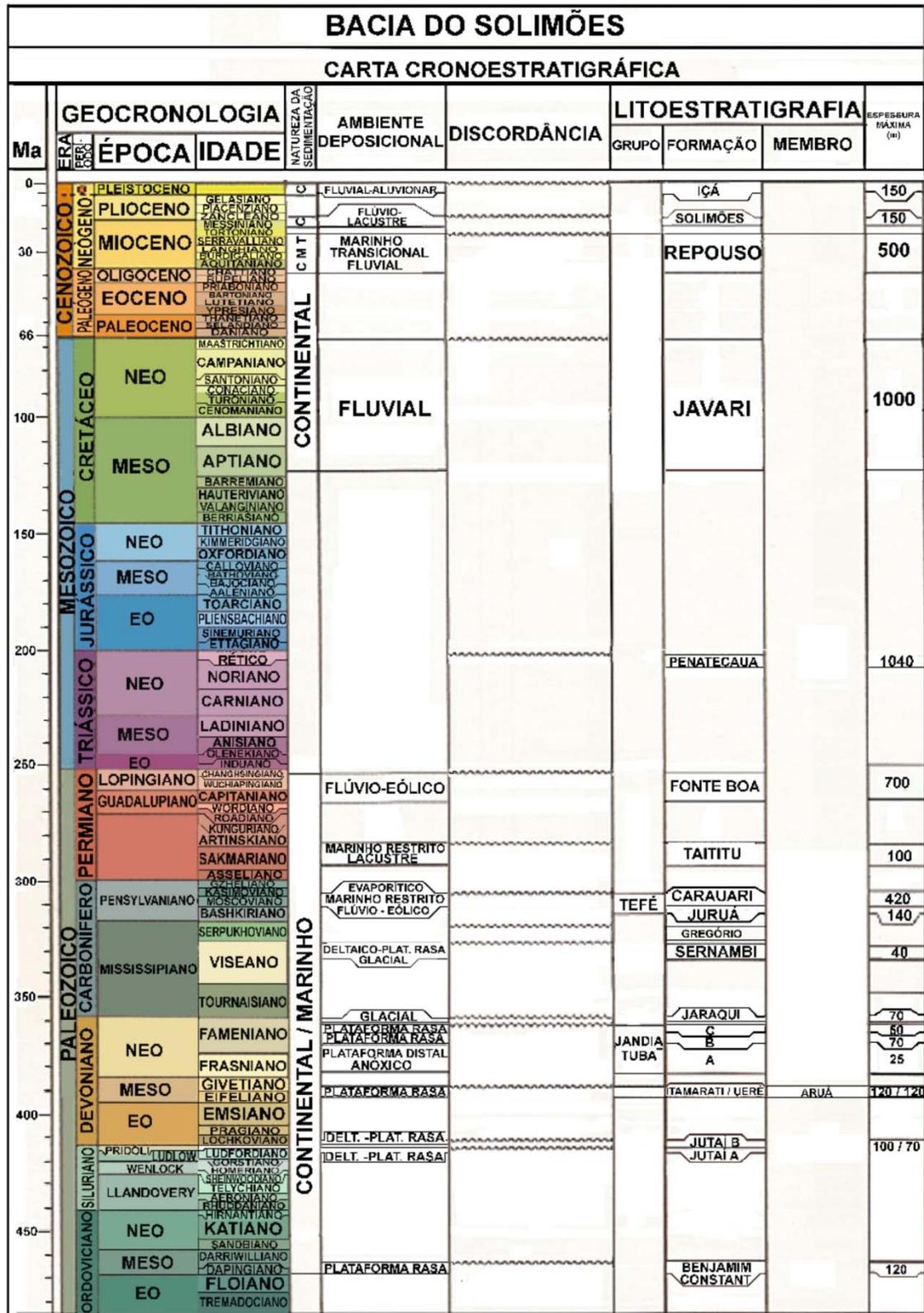


Figura 1.12 - Carta cronoestratigráfica da Bacia do Solimões, modificada de Wanderley Filho et al. (2007). Fonte: Volume II – Geologia.

A bacia do Acre, conforme sugerem o arcabouço estrutural (**figura 1.13**) e a seção geológica SSW-ENE (**figura 1.14**), abriga uma sequência sedimentar que alcança mais de 3 km de espessura. Na verdade, segundo os dados mais recentes (Volume II – Geologia) e como mostrado na carta cronoestratigráfica (**figura 1.15**), do Carbonífero ao Pleistoceno a espessura máxima total de sedimentos alcança 6.220 m. Na fase Sin-Rifte são encontradas do Carbonífero ao Jurássico 5 ULs, totalizando 2.220 m de espessura máxima, incluindo as formações: Apuí (250 m), Cruzeiro do Sul (850 m), Serra do Divisor (200 m), Rio do Moura (400 m) e Juruá-Mirim (520 m). Na fase Pós-Rifte a espessura máxima total atinge 4.000 m e é constituída de uma seção inferior predominantemente arenosa, com 1.250 m de espessura máxima, na qual se encontram as formações: Capanaua (100 m), Moa (100 m), Rio Azul (750 m), Divisor (100 m) e Ramon (200 m), e uma seção superior, predominantemente argilosa que inclui várias formações ainda pouco conhecidas, com 2.750 m de espessura, considerada pela Petrobras como Formação Solimões. Existem, todavia, várias discordâncias e conforme se observa na **figura 1.15**, esta seção está acima da Formação Ramon e é subdividida em 2 (duas) unidades inominadas, com 1.600 m de espessura, das quais a mais superior é correlata da Formação Pozo no Peru e a ela se seguem as formações Repouso (600 m), Solimões (400 m) e Içá (150 m).

Como será visto no mapa de isópacas (**figura 1.30**) a referida seção argilosa com 2.750 m de espessura é a principal responsável pela drástica redução de espessura da seção arenosa do SAAB. De fato, o percentual médio de arenitos nesta seção, deduzido da análise dos perfis de poços estratigráficos do BDEP perfurados na bacia do Acre, é de apenas 13,4%, como indicado na **tabela 1.4**. Ali também se observa que o topo da seção arenosa inferior, com 1.250 m de espessura, representado pela Formação Ramon, se encontra no interior da bacia a uma profundidade média de 1.694 m. Vale registrar que no extremo oeste, a referida seção aflora na Serra do Divisor, segundo o Mapa Hidrogeológico ao Milionésimo da CPRM (2014).

Tabela 1.4 – Espessuras da seção argilosa superior da fase Pós-Rifte acima do topo da Formação Ramon em poços estratigráficos do BDEP perfurados na Bacia do Acre.

Poço	Sigla	UF	x	y	Espessura da seção argilosa (m)	% Arenito	Topo Ramon
BATAN-1	1-BT-1-AM	AM	-73,19	-6,80	1.248	7,9	1.463
JAQUIRANA-1	1-JQ-1-AM	AM	-73,11	-6,25	2.094	18,8	2.100
RIO DO MOURA-1	1-RM-1-AC	AC	-73,22	-8,04	1.809	8,1	1.815
RIO AZUL-1	1-RZ-1-AC	AC	-73,17	-7,53	1.645	6,4	1.873
SERRA DO DIVIDOR-1	1-SD-1-AC	AC	-73,38	-8,18	1.564	-	1.570
CRUZEIRO DO SUL-1	2-CDST-1-AC	AC	-72,65	-7,73	1.301	20,4	1.326
RIO IPIXUNA-1	1-RPX-1-AM	AM	-73,09	-7,11	1.696	25,5	1.710
RIO IPIXUNA - 1	2-INST-1-AM	AM	-72,31	-7,23	592	6,4	1.700
Média					1.493	13,4	1.694

BACIA DO ACRE



Figura 1.13 - Localização e Arcabouço estrutural da Bacia do Acre (modificado de Cunha, 2006). Fonte: Volume II – Geologia.

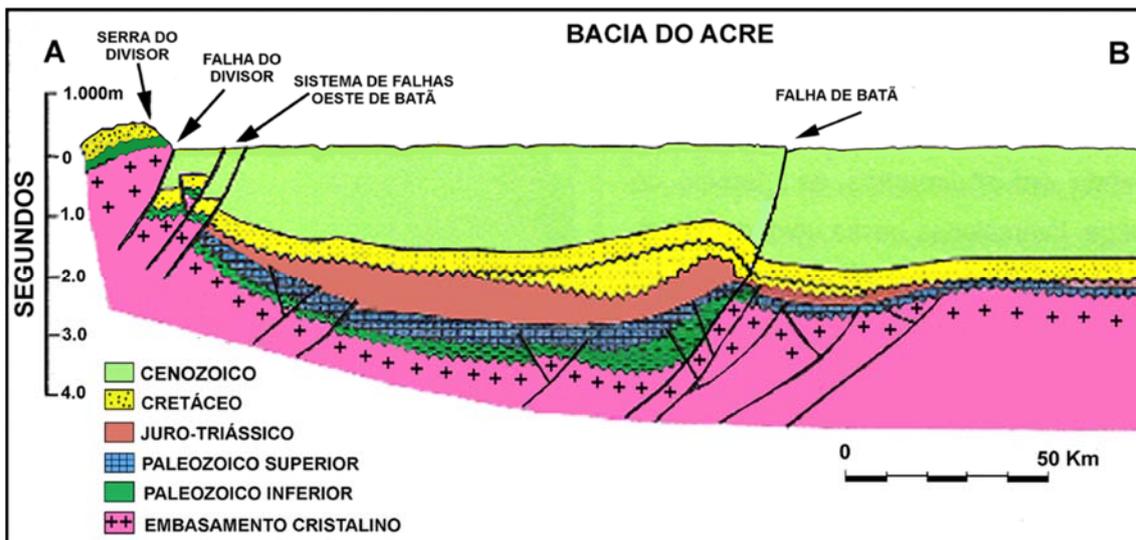


Figura 1.14 - Seção geológica esquemática da Bacia do Acre, segundo a linha A-B, da figura 1.9. A região da Falha Batã tornou-se um baixo do embasamento no lado oeste no mississippiano e também no Triássico-Jurássico. A depressão foi preenchida por sedimentos e nivelada no Permiano, Triássico e Jurássico. A falha de cavalgamento Batã aproveitou o plano de falha normal antigo e soergueu a região depois do Mesomioceno. Figura modificada de Cunha (2006). Fonte: Volume II – Geologia.

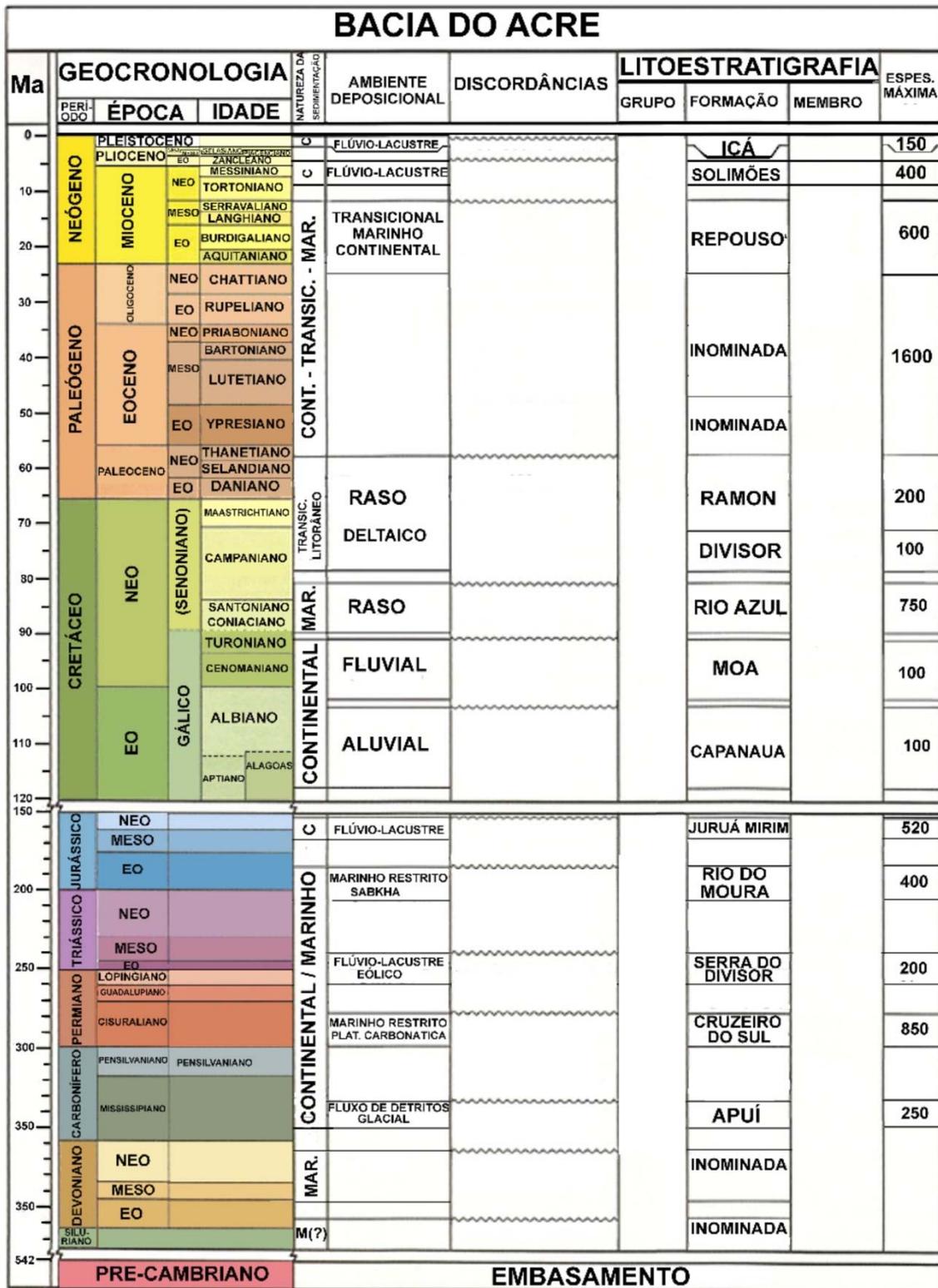


Figura 1.15 - Carta cronoestratigráfica da Bacia do Acre, modificada de Cunha (2007).
 Fonte: Volume II – Geologia.

Na bacia do Acre, a área usada para a modelagem Hidrogeológica da PHA no Brasil não inclui a Serra do Divisor porque nela o cristalino foi soerguido e se encontra provavelmente em condição de subafloramento sob as formações cretácicas Moa e Ramon, que mergulham para oeste em direção ao Peru. Na região, ao longo da Falha do Divisor, a seção geológica esquemática da **figura 1.14** sugere que o cristalino é aflorante na vertente leste, mas isto provavelmente ocorre em pequenas áreas não mapeáveis na escala ao milionésimo.

Do ponto de vista geológico, a PHA no Brasil abriga uma ampla e diversificada sequência sedimentar com mais de 60 (sessenta) unidades litoestratigráficas (ULs), distribuídas por 4 (quatro) bacias sedimentares com espessuras variáveis de 3 a mais de 10 km. Essas espessuras incluem camadas das fases Pré-Rifte, Sin-Rifte e Pós-Rifte, cronologicamente distribuídas do Paleozoico ao Terciário-Quaternário. Em subsuperfície, as unidades abaixo do Cretáceo não foram incluídas no sistema aquífero modelado, aqui denominado como Sistema Aquífero Amazonas no Brasil (SAAB), porque além de profundamente afetadas pelo diastrorfismo Penatecaua, com inúmeras soleiras e diques de diabásio, são sobretudo argilosas e ainda incluem camadas de halita (NaCl), silvita (KCl) e anidrita (CaSO₄ anidro), que são sais minerais passíveis de produzir nas águas subterrâneas salmouras cujas concentrações podem chegar a 220 g/L, segundo o Volume II - Geologia. Por esse motivo também não se cogita da extração de água subterrânea em profundidades além de 1.000 m, em face dos altos custos dos poços e dos altos riscos de salinização. O topo do embasamento cristalino nas plataformas e o topo das camadas paleozoicas em subsuperfície são considerados como substrato do sistema de águas subterrâneas da PHA no Brasil (SAAB). A inclusão das formações paleozoicas aflorantes neste grande sistema aquífero se justifica com base na hipótese de que são de natureza granular e possuem a mesma superfície freática do sistema regional de águas subterrâneas livres. Contudo, é provável que os aquíferos existentes nessas formações, notadamente os arenitos do Grupo Trombetas, da Formação Monte Alegre e da base da Formação Nova Olinda, sejam de dupla porosidade, a julgar pelos perfis construtivos de poços tubulares completados sem revestimento nesses arenitos (**anexo 4.4**). Ainda assim a inclusão se justifica na medida em que é perfeitamente possível a existência de comunicação entre esse meio de dupla porosidade granular/ fraturado e o meio granular das camadas cenozoicas adjacentes.

1.1.3 - Discussão Sobre os Sistemas Aquíferos Regionais Descritos na PHA

A partir dos meados da década passada alguns grupos de hidrogeólogos em diferentes instituições iniciaram uma discussão sobre a existência de um sistema aquífero único na Amazônia, o qual englobava as formações geológicas cenozoicas e cretácicas da região.

A primeira citação da possível existência de um grande sistema aquífero regional ocorreu em 2005, em um seminário organizado pelo Programa UNESCO/OEA Aquíferos Transfronteiriços das Américas (ISARM Américas), em São Paulo, quando foram discutidos os aquíferos transfronteiriços do Continente, com destaque para o aquífero que lá foi denominado “Amazonas”, o qual compreenderia as províncias hidrogeológicas Amazonas e Orinoco, onde se localizariam diversos tipos de aquíferos constituídos de sedimentos consolidados e não consolidados, sendo compartilhado entre a Bolívia, Brasil, Colômbia, Equador, Peru e Venezuela.

Posteriormente surgiram novas concepções em relação ao agrupamento de distintas formações geológicas para a constituição de um aquífero regional, como serão descritas adiante.

Os mais importantes trabalhos produzidos em torno deste assunto serão discutidos neste item com o objetivo de esclarecer e reavaliar suas concepções diante dos conhecimentos obtidos com o desenvolvimento deste projeto. São 03 (três) os trabalhos:

- (i) FERREIRA, A. N. P.; LIMA, C. F.; CARDOSO, F. B. F.; OLIVEIRA JUNIOR, H. J.; KETTELHUT, J. T. S. Panorama da gestão de aquíferos transfronteiriços – enfoque nas regiões centro-oeste e norte do Brasil. VIII Congresso Latino americano de Hidrologia Subterrânea e Expo Água, 2006.
- (ii) ROSÁRIO, F. F. O sistema aquífero cretáceo multicamada Tikuna: subunidade do sistema aquífero Amazonas. Tese de Doutorado. UFRJ. 2011.
- (iii) ABREU, F. A. M.; CAVALCANTE, I. N.; MATTA, M. A. S. O sistema aquífero Grande Amazônia – SAGA: um imenso potencial de água subterrânea no Brasil. In: III Congresso Internacional Meio Ambiente Subterrâneo, 2013, São Paulo - SP. Anais. São Paulo: ABAS, 2013.

1.1.3.1 - Sistema Aquífero Amazonas (SAA) - Ferreira *et al.* (2006)

Segundo Ferreira *et al.* (2006) e UNESCO (2007), o agrupamento dos aquíferos Javari, Jazida da Fazendinha, Alter do Chão, Solimões, Repouso e Içá (de acordo com as novas definições das formações geológicas apresentadas no Volume II – Geologia da PHA) trazem como hipótese a formação de um sistema aquífero único denominado Sistema Aquífero Amazonas (SAA). Segundo eles as bacias sedimentares do Amazonas e Orinoco são recobertas por sedimentos cretáceos e cenozoicos consolidados a não consolidados, com espessura de até 2.200 metros. Descrevem que esse sistema aquífero tem aproximadamente uma extensão de 3.950.000 km², ocorrendo em terras do Brasil, Bolívia, Colômbia, Equador, Peru e Venezuela.

Estas formações em questão podem ser individualizadas do ponto de vista litológico, paleontológico e estratigráfico, mas o fato de serem em grande parte síncronas ao longo do Cenozoico e Cretáceo e a ocorrência de importantes seções arenosas em todas elas favorecem sobremaneira suas comunicações hidráulicas. Assim é que, do ponto de vista hidrogeológico, é intuitivo admitir que as formações Javari, Jazida da Fazendinha, Alter do Chão, Solimões, Repouso e Içá possam constituir um reservatório único, embora heterogêneo e complexo, que poderíamos chamar de Sistema Aquífero Amazonas (ANA, 2012).

É importante salientar que o Sistema Aquífero Amazonas definido por Ferreira *et al.* (2006) não apresenta as unidades síncronas da Bacia do Marajó neste sistema, ou seja, as formações Tucunaré e Barreiras, que também possuem seções arenosas e comunicações hidráulicas importantes e continuidade lateral para com as formações cenozoicas da Bacia do Amazonas, não foram integradas ao SAA desta publicação.

A definição do SAA em Ferreira *et al.* (2006) e UNESCO (2006), especialmente nas bacias do Solimões e do Acre, integra a este sistema as sequências arenosas que se encontram geralmente a profundidades superiores a 1.000

metros. Esta é uma circunstância que deve ser avaliada, uma vez que em horizontes após essa profundidade as águas subterrâneas apresentam baixa velocidade de fluxo associada à falta de renovação nas camadas mais profundas, o que aumenta os riscos de sua salinização, além de custos muito elevados para a sua captação.

Foi a partir destes dois trabalhos científicos que a ANA propôs a execução do projeto “Avaliação dos Aquíferos das Bacias Sedimentares da Província Hidrogeológica Amazonas no Brasil (escala 1:1.000.000) e Cidades Pilotos (escala 1:50.000)”, com intuito de buscar maiores esclarecimentos sobre o tema no que se refere a existência ou não deste reservatório único definido como de Sistema Aquífero Amazonas e, neste sentido, também elaborar uma proposta de projeto para proteção ambiental e gestão sustentável das águas subterrâneas na região amazônica.

1.1.3.2 – O Sistema Aquífero Tikuna (SAT) - Rosário (2011)

Rosário (2011), em sua tese de doutoramento, define um Sistema Aquífero Amazonas (SAA) - como ocupando uma área de 2.700.000 km², que inclui as bacias sedimentares brasileiras do Amazonas, Solimões e Acre e se prolonga pelas bacias subandinas Marañon/Pastaza e Ucayali, no Peru, Oriente, no Equador, parte das bacias Madre de Dios e Beni, na Bolívia, e Putamayo, na Colômbia. Seu estudo, entretanto, limitou-se à região oeste do SAA que corresponde a 85% da área total. A área estudada por essa autora inclui, assim, todas as bacias do seu SAA que se encontram entre o Arco de Purus e o cinturão de falhas subandinas.

Defende ainda Rosário (2011) que o SAA, por ela definido na área acima indicada, compreende dois subsistemas aquíferos designados de Sistema Aquífero Solimões (SAS), Terciário, e o Sistema Aquífero Tikuna (SAT). Este último seria formado por rochas cretáceas predominantemente arenosas, ocorrendo sob os sedimentos predominantemente argilosos do primeiro, entre as profundidades de cerca de 350 e cerca de 750 m. O termo SAT foi cunhado por Rosário (2011) para designar camadas arenosas cretáceas que, no Brasil, correspondem às formações Capanaua, Moa, Rio Azul, Divisor e Ramon na bacia do Acre, e à Formação Javari na bacia do Solimões (Volume II - Geologia). Todas essas formações ocorrem a oeste do Arco de Purus e são capeadas pelos folhelhos terciários das Formações Solimões e Repouso, designados Sistema Aquífero Solimões (SAS). Segundo Rosário (2011), o topo do SAT subiria na direção leste e, na altura do Arco de Purus, se conectaria a Formação Alter do Chão aflorante e por ela tida também como Cretáceo, sem menção à Formação Jazida da Fazendinha. A **figura 1.16**, a seguir, procura esclarecer essa concepção do Sistema Aquífero Amazonas, no extremo oeste da PHA no Brasil (Província Hidrogeológica Amazonas no Brasil), segundo Rosário (2011).

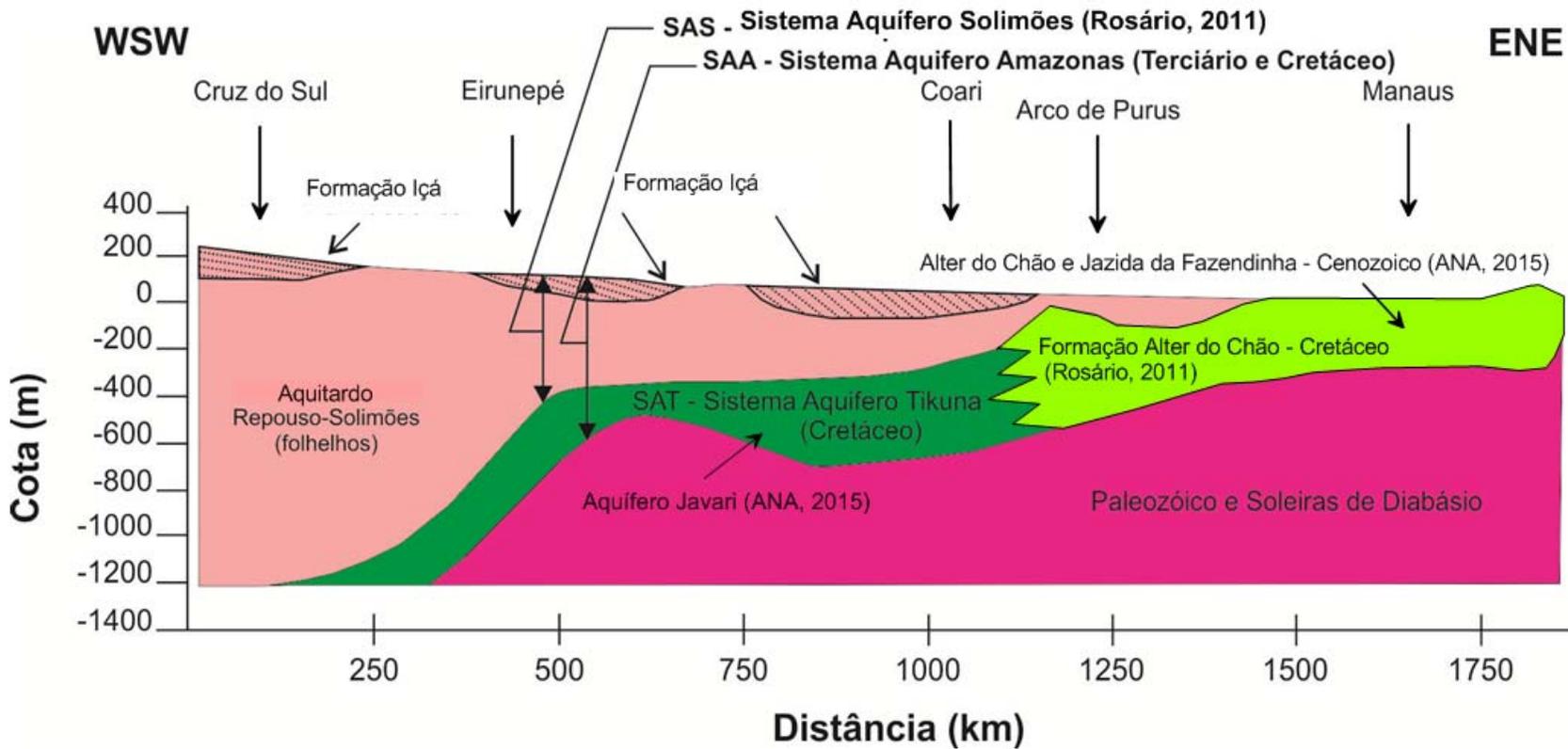


Figura 1.16 – O Sistema Aquífero Amazonas no Extremo Oeste da PHA no Brasil, adaptado de Rosário (2011).

Na **figura 1.17** são apresentadas as relações entre as principais formações aquíferas, onde se mostra a Formação Alter do Chão como terciária, gradando lateralmente para a Formação Repouso. Notar que na bacia do Marajó, a Formação Barreiras ocorre sobre a Formação Marajó e sobre ela segue o Grupo Pará, representado apenas pela Formação Tucunaré. A Formação Pirabas não é conhecida na bacia do Marajó, ficando restrita à Plataforma Brangantina (**Volume II – Geologia**).

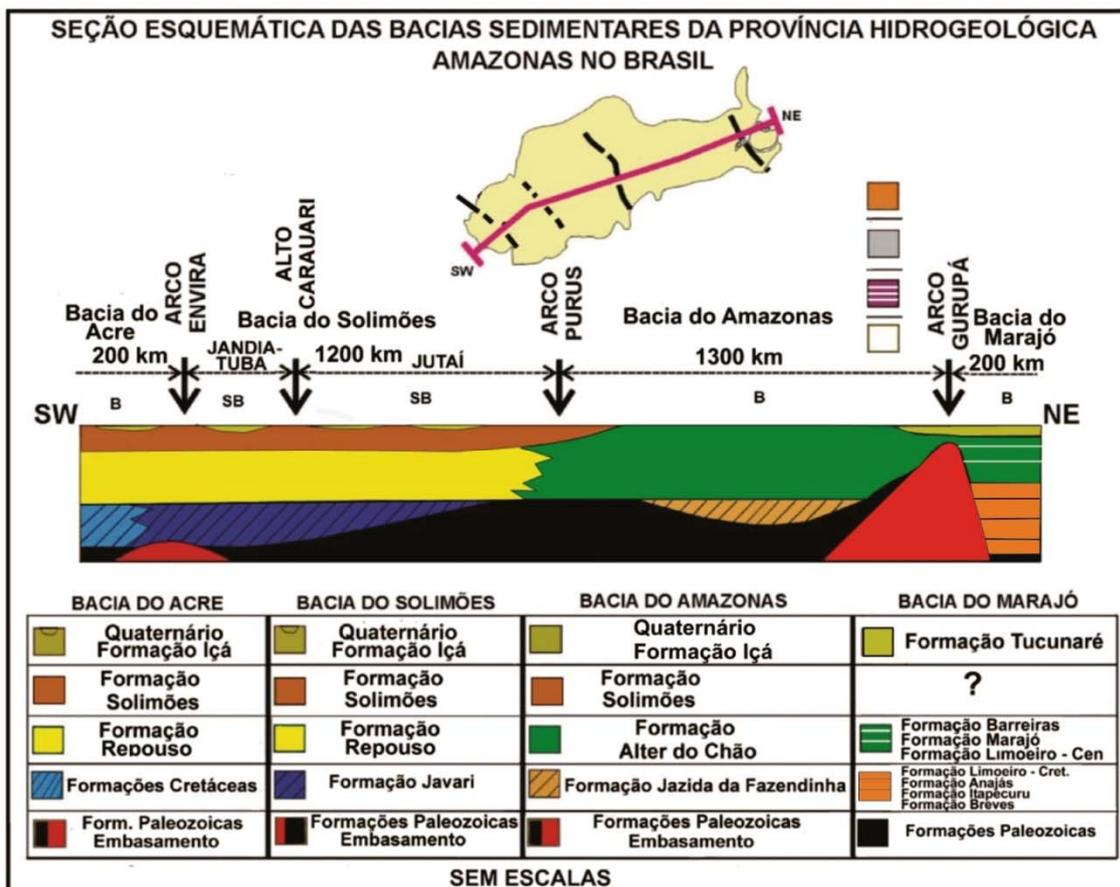


Figura 1.17 – Relações entre as principais formações aquíferas da Província Hidrogeológica Amazonas no Brasil. Fonte: Volume II - Geologia.

A profundidade do topo do SAT na área estudada por Rosário (2011) é referida como sendo, em média, 350 m. No Brasil, na zona oeste da Província Hidrogeológica Amazonas, essa profundidade encontra respaldo na bacia do Solimões, na região ao sul de Tabatinga, apenas no poço 2-BTST-1-AM (Benjamin Constant), onde o aquífero correlato, Javari, tem o topo a 335 m de profundidade. Esta, porém, aumenta em direção à zona fronteira com o Peru, no rumo SSW, para 600 m no poço 2-RCST-1-AM (Rio Curuçá), a cerca de 80 km do “Benjamin Constant” e para 760 m no poço 2-RJ-1-AM (Rio Javari), já na fronteira com o Peru, distante 180 km do “Rio Curuçá”. Na região SW da PHA no Brasil, no poço 2-REST-1-AC (Rio Embira), cerca de 350 a WNW de Rio Branco, o topo do aquífero Javari (correlato do SAT) se encontra a 600 m e corresponde à Formação Javari, antes denominada Divisor na bacia do Solimões, por se encontrar no estado do Acre. Em todos esses poços o aquífero Javari repousa sobre o embasamento cristalino.

No Poço 85 do perfil longitudinal mostrado na **figura 1.21** (2-INST-1-AM Rio Ipixuna, 60 km a NE de Cruzeiro do Sul, na bacia do Solimões), por exemplo, o SAT corresponderia à sequência de sedimentos essencialmente arenosos da Formação Javari. No Poço 78 (2-FGST-1-AM Foz do Gregório, 87 km a WSW de Eirunepé), por sua vez, na Bacia do Solimões, ocorre também espesso pacote (650 m) de arenitos cretáceos (Formação Javari) sob os folhelhos Repouso-Solimões, mas com topo a 980 m e base a 1.630 m, sobre um pacote de rochas impermeáveis que inclui anidrita, basalto e metamórficas. No Poço 70 (2-CDST-1-AC Cruzeiro do Sul), 12 km a SSE da cidade do mesmo nome, um pouco a leste do Arco Envira e, portanto, ainda na Bacia do Solimões, o pacote arenoso profundo também é interpretado como pertencente à Formação Javari.

No Poço 37 (1-RM-1-AC Rio do Moura, 85 km a sudoeste de Cruzeiro do Sul, na Bacia do Acre), a sequência arenosa começa no topo da Formação Divisor, a 1.875 m de profundidade e corresponde ao topo do SAT, tal como proposto por Rosário (2011).

Por outro lado, a continuidade física entre o SAT e o Aquífero Alter do Chão, proposta pela autora em pauta, resulta da idade cretácica atribuída a este último. Análises recentes, entretanto, põe este importante aquífero no Terciário, isto é, síncrono à Formação Repouso (Volume II - Geologia). Em face desse resultado, acredita-se que a conceituação do Sistema Aquífero Amazonas, de Rosário (2011), admite revisões no que diz respeito às relações entre o SAT e o Aquífero Alter do Chão. De fato, não é esse aquífero, mas sim o aquífero Javari na Bacia do Solimões que tem conexão hidráulica com o SAT, já que na Bacia do Acre tal conexão nem sequer existe com o aquífero Divisor em face da subida do embasamento cristalino na Serra do Divisor, conforme mostra a **figura 1.14**.

Em função do acima exposto, as seguintes posturas e conceituações serão adotadas no presente estudo.

- O termo Província Hidrogeológica Amazonas (PHA) deve-se a Pessoa *et al.* (1980). Segundo esses autores, a PHA corresponde aos terrenos sedimentares intracratônicos das bacias sedimentares do Acre (BSAc), do Solimões (BSS), do Amazonas (BSAm) e do Marajó (BSM). Como existe uma continuidade sedimentar entre as bacias do Acre e Solimões, no Brasil, e as bacias subandinas dos países vizinhos, o termo PHA tem uma conotação ampla, envolvendo aquíferos situados no Brasil e nesses outros países. Para tratar a PHA apenas no Brasil, será utilizada a expressão Província Hidrogeológica Amazonas no Brasil, como indicado nos Termos de Referência (TDRs).
- No tratamento da PHA no Brasil, não será adotado o Sistema Aquífero Amazonas (SAA) na ampla acepção de Rosário (2011), pelos motivos seguintes:
 - Não há como considerar na bacia do Solimões um Sistema Aquífero Solimões (SAS), uma vez que nessa bacia a referida formação é predominantemente pelítica, podendo apresentar juntamente com a Formação Repouso mais de 1.000 metros de folhelhos. Não obstante, pelo fato de incluir na parte superior sedimentos arenosos da Formação Içá e na parte inferior sedimentos arenosos da Formação Javari, pode ser incluída, para

fins de modelagem, em um mesmo sistema aquífero na escala da PHA no Brasil.

- No Brasil, o pacote arenoso correlato do Sistema Aquífero Tikuna (SAT) está presente a menos de 1.000 m de profundidade no extremo oeste da PHA, apenas em plataformas do embasamento, respectivamente na região de Benjamin Constant ao norte, e na região oeste de Rio Branco, ao sul. Segundo o Mapa Hidrogeológico ao Milionésimo da CPRM (2014), as formações cretáceas Ramon (K2Er), constituída de folhelho cinza e calcarenitos, e Moa (K2mo), constituída de arenito fino, duro, cor creme, afloram na Serra do Divisor no Brasil, cuja crista, como indica o próprio nome, corresponde ao interflúvio que marca a divisão política entre Brasil e Peru. A área das mencionadas formações aflorantes cobre uma superfície da ordem de 3.000 km², ou seja, 13% da área da bacia do Acre, que, por sua vez, representa 1,2% da área da PHA no Brasil. Assim, essas formações aflorantes possuem apenas um significado hidrogeológico local, mas nem por isso são destituídas de importância, pois revelam na Serra do Divisor a presença do cristalino impedindo a comunicação entre as águas subterrâneas nessa faixa de fronteira, ao longo da falha do Divisor (**figura 1.14**). Na verdade, a Serra do Divisor divide as águas superficiais e subterrâneas das formações cretácicas aflorantes que repousam sobre o cristalino. As águas subterrâneas a partir desse trecho escoam para a Bacia de Ucayali, no Peru. Somente ao norte da falha do Divisor, a comunicação entre os sistemas aquíferos volta a ser restabelecida. O referido mapa não mostra afloramentos das formações Rio Azul e Divisor.
- Fora das plataformas, as formações cretácicas no extremo oeste da PHA no Brasil, com efeito, situadas abaixo dos 1.500 m em média, embora sendo espessas e predominantemente arenosas, oferecem muitas incertezas quanto à sua potencialidade hídrica e, sobretudo, quanto ao caráter químico das suas águas. Essas incertezas pesam tanto mais quando já se sabe do potencial das formações mais superficiais. Não há como se pensar, portanto, pelo menos nas próximas décadas, em se buscar água com custo muito elevado e qualidade desconhecida da Formação Javari na Bacia do Solimões ou da Formação Divisor na Bacia do Acre, a mais de 1.500 m de profundidade, quando se tem hoje água subterrânea pouco profunda, de boa qualidade, de baixo custo e descargas satisfatórias para atender às demandas da região. Mesmo reconhecendo que isto é viável nas plataformas da Bacia do Solimões, as profundidades mínimas de poços para captar o aquífero Javari seriam de 700 a 1.200 m.

1.1.3.3 - Sistema Aquífero Grande Amazonas (SAGA) – Abreu et al. (2013)

Abreu et al. (2013) definiram o Sistema Aquífero Grande Amazônia (SAGA) como a unidade representada pelas unidades litoestratigráficas (ULs) posicionadas do Eo-Neo Cretáceo à Era Cenozoica, que ocorre no Brasil nas bacias do Marajó, do Amazonas, do Solimões e do Acre (**tabela 1.5**). Os autores destacam que o SAGA “recobre unidades litoestratigráficas de idades variadas do Pré-Cambriano, bem como sequências sedimentares que se estendem do Paleozoico ao Jurássico, onde se alojam importantes corpos ígneos, sob a forma de soleiras, *sills* e diques.” As formações paleozoicas não estão indicadas na **tabela 1.5**, que mostra as unidades cretácicas diretamente sobre o embasamento cristalino.

Tabela 1.5 – Unidades Litoestratigráficas (ULs) quaternárias, cenozoicas e cretácicas das bacias sedimentares da Amazônia e suas correlações (Abreu et al., 2013).

Bacia	Acre	Solimões	Amazonas	Marajó	Idade	
UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA	Içá	-	-	Tucunaré	Quaternária	
	Solimões	Solimões	Alter do Chão	Marajó Limoeiro	Terciária	
	Ramon	Javari	Jazida da Fazendinha	Anajás, Breves Jacarezinho	Cretácica	
	Divisor					
	Rio Azul					
	Moa					
	Capanaua	Embasamento Cristalino				

Baseados numa definição ainda preliminar da área de ocorrência do SAGA, os autores apresentam uma estimativa de reservas de “**água doce**” que consideram “**conservadora**”, de **162.520 km³**. Asseveram que “os números apresentados servem, inicialmente, para mostrar a importância e a grandeza desse reservatório e a importância estratégica desse importante manancial de **água doce** para a humanidade...”. Revelando certa cautela, os autores descrevem: “Efetivamente, em termos de exploração, as reservas mais importantes seriam aquelas situadas em profundidades de até 500 - 600 m. Considera-se que os aquíferos situados abaixo de 1.000 m de profundidade representam reservas estratégicas e nas condições atuais de exploração de água subterrânea na região deverão ser pouco consideradas.”

Ainda segundo os autores, “Os cálculos tomaram como base os seguintes parâmetros: áreas das bacias, espessuras máximas das formações em consideração, espessura arenosa estimada de cada formação, volume dos aquíferos, *porosidade* média de 20%, abatimento de 10% dos valores encontrados a título de *camadas arenosas não saturadas*.” Com exceção da *porosidade*, nenhum valor dos parâmetros usados nos cálculos foi indicado pelos autores.

De acordo com a **tabela 1.6**, a razão entre os volumes das reservas estimadas por Abreu et al. (2013) e as áreas das bacias sedimentares (**item 1.2**) implica em espessuras médias de 110 m na bacia do Solimões, 306 m na bacia do Amazonas, 2.116 m na bacia do Marajó e de 5.157 m na bacia do Acre.

Tabela 1.6 – Reservas do SAGA (segundo Abreu *et al.*, 2013) e espessuras obtidas considerando as áreas das bacias indicadas no **item 1.2**.

Bacia	$V=AhS_y$ (km ³)	S_y	A (km ²)	$h=V/AS_y$ (m)	$V_0= V/0,9$ (km ³)
Acre	23.960	0,20	23.231	5.157	26.622
Solimões	25.950	0,20	1.181.145	110	28.833
Amazonas	37.900	0,20	620.113	306	42.111
Marajó	74.710	0,20	176.511	2.116	83.011
Total	162.520	0,20	2.001.000	406	180.578

V = volume do SAGA com redução de 10% do Volume V_0 a título de “camadas arenosas não saturadas”; S_y = porosidade efetiva; A = área das bacias conforme item 1.2; h = espessura deduzida da razão entre volumes (km³) e áreas (km²), na equação de cálculo das reservas.

No tocante à bacia do Acre, a espessura média de 5.157 m compatível com a reserva de 23.960 km³, usando porosidade efetiva de 20%, vai além da profundidade do embasamento cristalino e configura um quadro bastante fora da realidade (**tabela 1.7**). Ademais, o topo da sequência arenosa, representado pela Formação Ramon na bacia do Acre, varia de 1.463 a 1.873 m, segundo os perfis compostos de 5 (cinco) poços estratigráficos do Banco de Dados de Exploração e Produção da Agência Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (BDEP/ANP). A essas profundidades os riscos de salinização seguramente não justificam a perfuração de poços para captação de água subterrânea.

Tabela 1.7 – Profundidades do topo da Formação Ramon e do embasamento cristalino em 5 (cinco) poços estratigráficos do BDEP na bacia do Acre.

Poço	Nome	Profundidade do Topo (m)	
		Formação Ramon	Embasamento Cristalino
1-SD-1-AC	Serra do Divisor 1	1.570	3.058
1-RM-1-AC	Rio do Moura 1	1.815	4.226
1-RZ-1-AC	Rio Azul 1	1.873	-
1-RPX-1-AC	Rio Ipixuna 1	1.750	4.715
1-BT-1-AC	Batan 1	1.463	-

De acordo com a interpretação dos perfis litológicos dos poços estratigráficos do BDEP e com as conclusões do Projeto ANA-PHA sobre a falta de renovação das águas subterrâneas profundas, é muito alto o risco de que essas águas sejam **salgadas**. Todavia, mesmo supondo que sejam **doces**, acredita-se que as reservas de saturação situadas a grandes profundidades não são explotáveis. Na melhor das hipóteses o aproveitamento se limita fica restrito à fração confinada, cuja ordem de grandeza em relação à fração livre, $S/S_y = 0,0001/0,1 = 0,001$, corresponde somente a 0,1%, ou seja, é mil vezes menor.

1.2 - Sistema Aquífero Amazonas no Brasil (SAAB)

A análise da litologia de 187 poços do BDEP na Província Hidrogeológica Amazonas no Brasil revela um predomínio considerável de formações arenosas sobre uma superfície 797.000 km², nas bacias sedimentares do Amazonas (620.113 km²) e do Marajó (176.511 km²). As espessuras dessas camadas, desde a superfície do terreno, variam em média de 500 m a mais de 1.000 m na Bacia do Amazonas e chegam a mais de 4.000 m na Bacia do Marajó. Nas bacias do Solimões e do Acre, as sequências arenosas se encontram geralmente na parte superior, até os 150 m, ou ainda, a profundidades superiores a 1.000 m, como já foi mencionado.

Na formulação de um modelo hidrogeológico conceitual, muito mais importante do que os nomes e/ou as idades das unidades litoestratigráficas (formações geológicas ou ULs), é a natureza litológica dessas formações e a superfície de cargas potenciométricas associada com as unidades hidrogeológicas de fluxo (UHF's) existentes nas mesmas.

O modelo hidrogeológico de fluxo da PHA no Brasil é desenvolvido e adota como hipótese de trabalho uma mesma superfície potenciométrica para todas as camadas cenozoicas e do Cretáceo, extensivas em cerca de 3% da PHA no Brasil, às formações paleozoicas aflorantes. Essa hipótese significa que todas as formações, independente da sua natureza arenosa ou pelítica, estão interligadas, seja por variações laterais de fácies seja por curtos circuitos de fluxo através de fraturas que as integram em um só meio poroso e formam um grande sistema de águas subterrâneas, multibacias e multicamadas definido como SAAB, Sistema Aquífero Amazonas no Brasil, no qual o fluxo subterrâneo é governado por uma única superfície potenciométrica, de cargas livres, conectadas com os rios. Para este sistema, a superfície potenciométrica de cargas iniciais foi deduzida do modelo digital do terreno a partir dos níveis da grande rede de cursos de água perenes, inferidos para o período de estiagem.

No contexto dos estudos hidrogeológicos de detalhe e semi-detalhe, a hidrogeologia de uma região sedimentar costuma ser caracterizada associando unidades litoestratigráficas (ULs) com unidades hidrogeológicas de fluxo (UHF's). Essas últimas, porém, são unidades nas quais o movimento da água subterrânea é governado por uma superfície de cargas potenciométricas própria. Portanto, não se pode simplesmente definir os aquíferos como formações ou ULs, sem levar em conta que cada um deles precisa ter uma superfície potenciométrica própria. Ademais, esse procedimento pressupõe que as formações geológicas devem ser lateralmente contínuas e distribuídas em pacotes com o mesmo número de camadas na direção vertical. A natureza litológica de cada formação determina a sua capacidade de armazenar e transmitir a água subterrânea. Ou seja, determina sua condição de porosidade (granular, de fraturas ou de dissolução) e sua condição de permeabilidade. O empilhamento de camadas de diferentes litologias na direção vertical determina a condição de carga hidráulica de cada uma (livre ou confinada) e, portanto, a condição de variação do volume de armazenamento com a variação da carga de pressão.

Nos poços estratigráficos perfurados pela Petrobras obtidos pela ANA da base de dados de exploração de petróleo – BDEP/ANP, grande parte dos quais atravessando toda a sequência sedimentar até o embasamento cristalino, não existem dados de carga hidráulica e, portanto, não há como individualizar as

distintas superfícies potenciométricas das camadas confinadas, eventualmente existentes em escala de blocos estruturais. Ademais, isso não seria possível na escala do modelo adotado. Assim sendo, considera-se que a superfície de cargas potenciométricas médias do SAAB, ao longo da vertical, é governada pelas cargas hidráulicas da rede hidrográfica, toda ela constituída de rios perenes.

Quanto à base do SAAB, para fins de aproveitamento, considera-se que corresponde à profundidade limite de 1.000 m, pois abaixo dessa profundidade acredita-se que as águas subterrâneas apresentam baixa velocidade de fluxo associada à falta de renovação nas camadas mais profundas, o que aumenta os riscos de sua salinização, além de custos muito elevados para a sua captação.

Resumindo tudo o que foi já explicado, o SAAB é concebido como uma unidade de fluxo heterogênea, multicamadas e multibacias. Constitui um sistema regional, supostamente com a mesma superfície livre, assentado sobre rochas paleozoicas (derrames de diabásio ou formações sedimentares) e sobre o embasamento cristalino nas plataformas. O SAAB é aqui proposto como constituído pelas seguintes formações, cujas intercomunicações hidráulicas são sugeridas pelas suas relações estratigráficas:

- As aluviões quaternárias, aflorantes em todas as bacias;
- A Formação Barreiras, do Terciário, aflorante na região de Belém e na Plataforma Bragantina;
- A Formação Pirabas, do Terciário, recoberta pela Formação Barreiras na Região de Belém e parcialmente aflorante na Plataforma Bragantina;
- A Formação Tucunaré, do Quaternário aflorante e na Bacia do Marajó;
- A Formação Alter do Chão, aflorante na Bacia do Amazonas;
- O Paleozoico aflorante na bacia do Amazonas, que embora seja predominantemente argiloso e recortado por soleiras de diabásio, é incluído no SAAB porque tem superfície freática conectada com a do aquífero Alter do Chão e possui 3 (três) UHFs de dupla porosidade (Grupo Trombetas, aquífero Monte Alegre e aquífero da Base da Formação Nova Olinda). Repousa em discordância sobre plataforma do embasamento, conforme sugere o perfil litológico do poço SIAGAS PA2100 que atingiu o cristalino a 350 m de profundidade (**anexo 4.4.5**), mas a espessura pode variar de um local para outro e não se sabe qual é a média na área aflorante. O Paleozoico de subsuperfície, a exemplo do aflorante, também é predominantemente argiloso e recortado por soleiras de diabásio, mas não é incluído no SAAB porque as suas cargas hidráulicas são completamente desconhecidas e não têm conexão hidráulica com o freático (ou seja, com a superfície de águas subterrâneas livres);
- A Formação Içá, do Quaternário aflorante, recobrindo descontinuamente a Formação Solimões nas bacias do Amazonas, Solimões e do Acre;
- A Formação Jazida da Fazendinha, do Cretáceo, na Bacia do Amazonas, recoberta pela Formação Alter do Chão;
- A Formação Javari, do Cretáceo, na porção oriental da Bacia do Solimões, predominantemente arenosa;

- As formações Repouso e Solimões predominantemente argilosas com finas intercalações de arenitos;
- Na bacia do Acre o SAAB é representado pela seção argilosa superior da fase Pós-Rift (**tabela 1.4**), que inclui parte da Formação Repouso (450/600 m) e a Formação Solimões (400 m) e pela Formação Içá (150 m), predominantemente arenosa.
- Por hipótese, o SAAB foi limitado a 1.000 m e por esta razão, na bacia do Acre, as sequências cretácicas arenosas sotopostas, situadas a mais de 1.500 m de profundidade, ficam fora do limite. Isto se justifica porque a baixa velocidade de fluxo (**equação 2.1**) associada à falta de renovação nas camadas mais profundas aumenta os riscos de salinização das águas subterrâneas, além de custos muito elevados de captação.
- Como visto no **item 1.1.3.2** a Serra do Divisor divide as águas superficiais e subterrâneas das formações cretácicas aflorantes que repousam sobre o cristalino. As águas subterrâneas a partir desse trecho escoam para a Bacia de Ucayali, no Peru. Somente ao norte da falha do Divisor, a comunicação entre os sistemas aquíferos volta a ser restabelecida. Por esta razão as formações cretácicas da bacia do Acre na Serra do Divisor não fazem parte do SAAB.
- Neste sentido, como se verá adiante, no **item 2.5.3**, a comparação do fluxo de base dos rios (Volume I) com a vazão de escoamento natural do SAAB mostra que a circulação de água subterrânea ocorre a pequena profundidade, pois quase toda a recarga é restituída à rede hidrográfica. O escoamento subterrâneo natural quase desprezível sugere não haver praticamente circulação de água subterrânea oriunda de recarga. Devido à pequena profundidade da superfície freática as águas infiltradas são logo restituídas à rede hidrográfica.

Algumas particularidades do SAAB serão discutidas adiante, quando da análise dos perfis hidrogeológicos que foram elaborados.

1.2.1 - Modelo Litoestratigráfico do SAAB

Na elaboração do modelo litoestratigráfico da PHA, foram utilizados os seguintes dados:

- Imagens SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) a partir das quais foi elaborado o modelo digital do terreno (**figura 1.18**);
- Mapa Geológico ao Milionésimo do Serviço Geológico do Brasil – CPRM;
- Relatório de geologia da PHA no Brasil (Volume II);
- Perfis compostos de 187 poços estratigráficos obtidos do Banco de Dados de Exploração de Petróleo – BDEP pela ANA – Agência Nacional de Águas, junto à ANP – Agência Nacional do Petróleo, a partir dos quais foi elaborado o Bloco 3D do modelo litoestratigráfico da PHA no Brasil, ilustrado na **figura 1.19**. Ele mostra a ocorrência de uma sequência superior constituída de formações aquíferas e não aquíferas da fase Pós-Rifte (Volume II) repousando em discordância sobre uma sequência inferior não aquífera, contendo derrames de diabásio, evaporitos, folhelhos e siltitos não aquíferos.

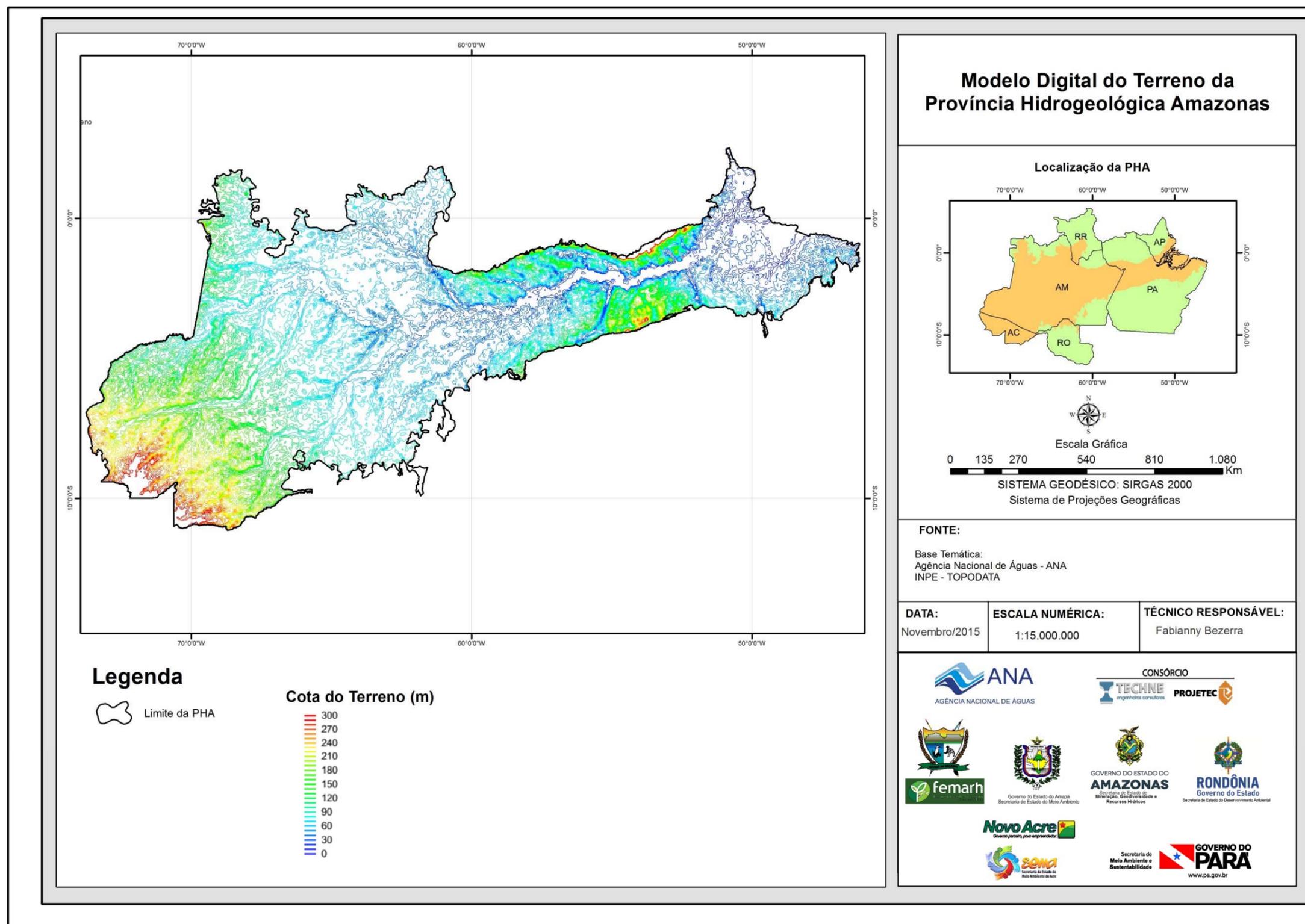


Figura 1.18 – Modelo digital do terreno da Província Hidrogeológica Amazonas elaborado a partir de imagens SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission).

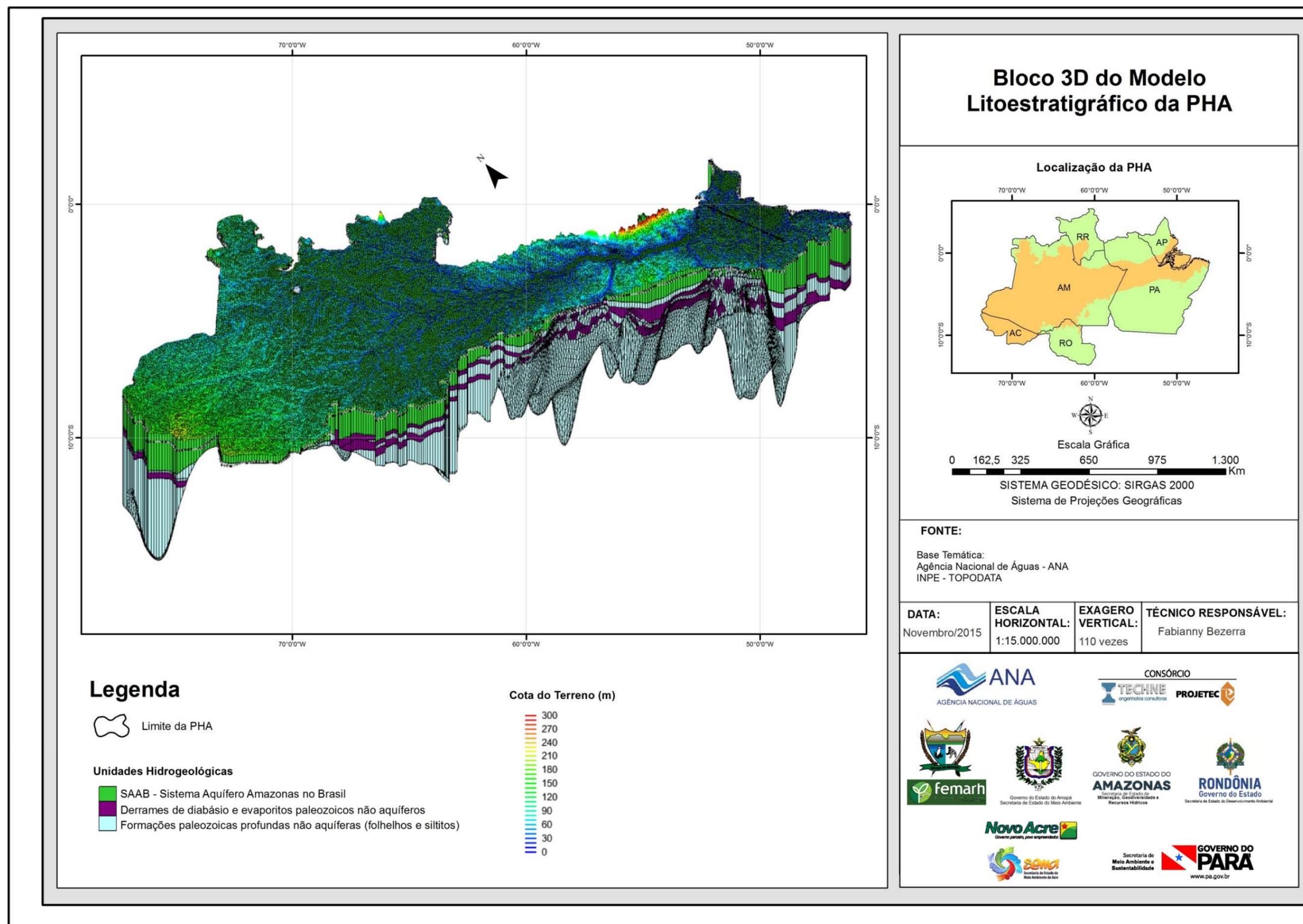


Figura 1.19 – Bloco 3D do modelo litoestratigráfico da PHA no Brasil destacando o SAAB na parte superior repousando em discordância sobre derrames de diabásio, evaporitos, folhelhos e siltitos.

1.2.2 – Litologia, Dimensões e Perfis Elaborados

Nesse item são analisados os perfis de poços estratigráficos e elaborados mapas estruturais de topo, de base e de isópacas para caracterização da geometria do SAAB. A expectativa é de que os conhecimentos que venham a ser obtidos sobre a PHA no Brasil possam contribuir para compor panoramas transfronteiriços mais amplos em futuros estudos.

No âmbito dos estudos da PHA no Brasil, a ANA obteve do BDEP os perfis compostos de 187 poços profundos distribuídos mais ou menos uniformemente ao longo da PHA no Brasil, entre a região de Belém e a região de Cruzeiro do Sul, no Acre.

Do ponto de vista geológico esses perfis fornecem informações extremamente detalhadas das unidades litoestratigráficas (ULs) e da distribuição vertical da natureza litológica das camadas que as compõem. De modo geral são encontradas alternâncias de camadas permeáveis e pouco permeáveis em todas as ULs. Verticalmente, essas alternâncias se distribuem por milhares de metros de espessura ao longo dos quais podem ser vistas nos perfis intercalações de camadas aquíferas e não aquíferas com até 1 m de espessura. Ao nível de detalhe dos perfis, a distribuição espacial dessas intercalações é aleatória, variando tanto na direção horizontal quanto na vertical, de um poço para outro.

Considerando os objetivos do estudo e a escala de trabalho, a análise dos perfis dos poços do BDEP desconsiderou um grande número de detalhes que tornariam menos claro o que se pretende visualizar. Não foram anotadas nos perfis litológicos desses poços todas as camadas neles indicadas. Buscou-se, antes separar grandes pacotes predominantemente arenosos de grandes pacotes predominantemente argilosos. A individualização dessas unidades passou, assim, por repetidas análises e interpretações dos perfis dos poços, seguida de correlações entre eles, onde a subjetividade pessoal teve importante participação. Os seguintes critérios foram adotados:

- Pacotes aquíferos foram individualizados quando havia predominância de termos arenosos. Há casos, como na região entre Santarém e o Alto de Gurupá, onde a predominância de arenitos é nítida, não deixando dúvidas quanto às extraordinárias espessuras aquíferas. Em outros locais essa predominância não é tão nítida assim, com muitas intercalações de folhelhos ou outras rochas pouco permeáveis, mas permitindo sempre uma caracterização satisfatória do pacote aquífero.
- Pacotes considerados como aquíferos foram individualizados quando havia predominância de termos argilosos. É o caso da Formação Solimões, onde apesar da ocorrência de intercalações arenosas e calcárias, percebe-se nitidamente uma predominância de folhelhos.
- Foi adotada como limite de investigação a profundidade de 1.000 m cujas justificativas são:
 - Maiores probabilidades de ocorrerem águas de boa qualidade química;
 - Interação mais fácil com as águas superficiais e, portanto, maiores possibilidades de recarga;

- As grandes extensões laterais, frequentemente comuns, asseguram geralmente reservas satisfatórias;
- O valor econômico da água não justifica geralmente poços muito profundos e, conseqüentemente, muito caros;
- A grande potencialidade dos aquíferos mais superficiais não justifica a busca de águas mais profundas, mais incertas e mais onerosas.
- Alto risco potencial de encontrar abaixo de 1.000 m águas salinizadas por falta de renovação e de circulação.

Os perfis foram concebidos com a intenção de caracterizar a distribuição das camadas arenosas e argilosas e avaliar sua continuidade lateral ao longo dos cerca de 3.000 km de extensão da PHA no Brasil e até cerca de 1.000 m de profundidade. Na elaboração dos perfis foram utilizados 176 dos 187 poços, e para facilitar a referência dos mesmos nos perfis e nos mapas adotou-se uma numeração corrida de 1 a 176. Foram elaborados um perfil longitudinal e oito perfis transversais, cujas posições são mostradas na **figura 1.20**. Embora levando em conta as concepções geológico/estratigráficas descritas no Volume II, esses perfis não devem ser considerados como perfis geológicos. Dado o enfoque adotado, eles devem ser encarados, antes, como perfis hidrogeológicos, elaborados com a intenção de se obter uma configuração geométrica do Sistema Aquífero Amazonas no Brasil (SAAB).

As cotas topográficas de todos os perfis são reais, tendo sido obtidas a partir de imagens SRTM.

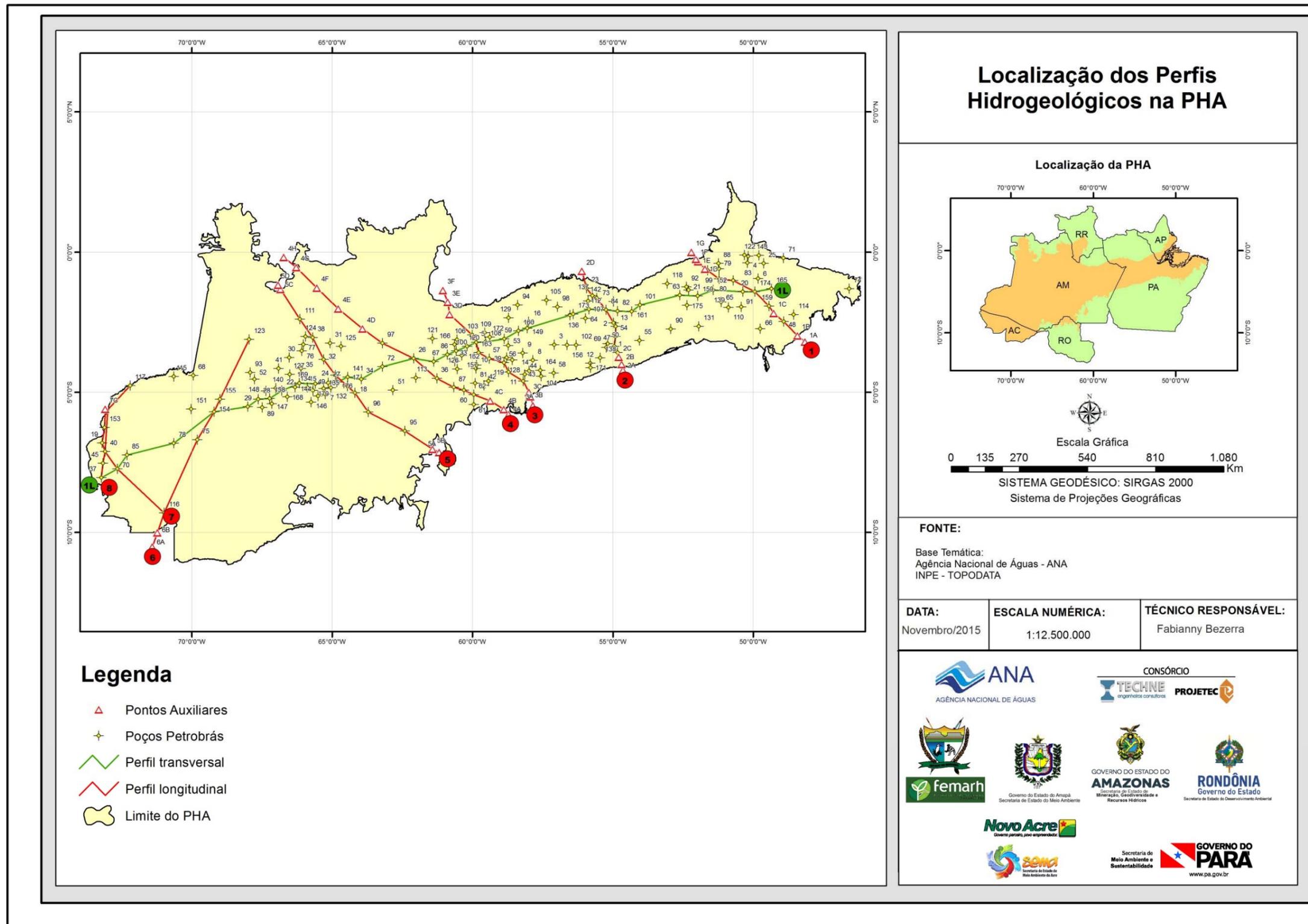


Figura 1.20 – Localização dos perfis hidrogeológicos longitudinal e dos perfis transversais na PHA no Brasil.

1.2.2.1 - Perfil Longitudinal

Na **tabela 1.8** são mostrados os dados dos 41 poços da Petrobras utilizados para a elaboração do perfil longitudinal. Os poços são dispostos de cima para baixo, na referida tabela, na ordem em que aparecem de oeste para leste no perfil elaborado. O perfil propriamente dito é apresentado na **figura 1.21**. A ocorrência da Formação Iça e da Formação Solimões na bacia do Amazonas, (indicada no Volume II) não pode ser identificada nesse perfil.

Tabela 1.8 – Poços utilizados na elaboração do perfil longitudinal.

Poço	Refer. Petrobras	Lat	Long	Lat (km)	Long (km)	Distância (km)	Cota (m)
46	1-SD-1-AC	-8,20	-73,40	-907,84	-8071,40	0	241
37	1-RM-1-AC	-8,04	-73,22	-892,71	-8.054,12	22,96	231
70	2-CDST-1-AC	-7,73	-72,65	-857,64	-7.991,09	95,09	212,3
85	2-INST-1AM	-7,23	-72,31	-802,87	-7.953,67	161,42	184
78	2-FGST-1-AM	-6,81	-70,65	-756,19	-7.771,04	349,92	144,7
154	1-JT-3-AM	-5,69	-69,21	-631,58	-7.612,69	551,42	119
29	1-RBI-1-AM	-5,51	-68,01	-611,43	-7.481,07	684,58	89
28	1-RBB-1-AM	-5,24	-67,63	-581,85	-7.439,72	735,41	104
158	1-LJB-1-AM	-5,22	-67,23	-579,26	-7.395,22	779,99	76
22	1-CI-1-AM	-4,94	-66,80	-547,98	-7.347,80	836,80	60
134	3-JI-4-AM	-4,81	-66,32	-534,36	-7.295,19	891,63	75
169	1-NEJ-1-AM	-4,67	-66,17	-518,37	-7.278,26	914,92	63,7
170	1-NSM-1-AM	-4,69	-65,59	-520,81	-7.215,16	978,07	49,9
27	1-RA-1-AM	-4,67	-65,14	-517,96	-7.165,03	1.028,27	64,2
176	1-POA-1-AM	-4,63	-64,84	-514,16	-7.132,34	1.061,19	49,4
141	1-IA-1-AM	-4,46	-64,45	-494,69	-7.089,30	1.108,43	36,8
34	1-RCO-1-AM	-4,53	-63,96	-503,19	-7.035,88	1.162,52	58
72	2-CSST-1-AM	-4,08	-63,21	-453,25	-6.952,73	1.259,51	36
26	1-CS-3-AM	-3,79	-62,09	-421,06	-6.829,90	1.386,49	37
67	2-BIST-1-AM	-3,90	-61,38	-432,78	-6.751,74	1.465,52	37
86	2-IOST-1-AM	-3,66	-60,89	-406,26	-6.698,02	1.525,43	25
100	2-LMST-1-AM	-3,52	-60,58	-390,53	-6.664,17	1.562,76	23,2
120	2-SAST-1-AM	-3,36	-60,19	-372,47	-6.620,47	1.610,04	23
5	1-AM-15-AM	-3,22	-59,87	-356,94	-6.585,80	1.648,03	25,8
108	2-PCST-1-AM	-3,20	-59,54	-355,04	-6.548,94	1.684,94	27
59	1-UR-1-AM	-3,10	-58,86	-343,88	-6.474,94	1.759,78	25
160	1-LSA-1-AM	-2,81	-58,36	-311,89	-6.419,42	1.823,85	90,9
149	1-ITP-1-AM	-2,72	-58,05	-301,39	-6.385,39	1.859,47	25,3
136	1-FA-1AM	-2,25	-56,53	-249,44	-6.218,06	2.034,68	18,8
173	1-PFJ-3AM	-2,21	-56,41	-244,91	-6.205,59	2.047,94	9,7
112	2-PR-1-PA	-2	-56	-226,22	-6.143,07	2.113,19	33,5
84	2-IMST-1-PA	-2,06	-55,24	-228,14	-6.076,65	2.179,64	10
82	2-IGST-1-PA	-2	-55	-233,93	-6.031,15	2.225,51	4,2
161	1-MA-1-PA	-2,11	-54,33	-234,21	-5.976,39	2.280,27	17
101	2-MAST-2-PA	-1,89	-54,03	-209,39	-5.943,39	2.321,56	15,5
63	2-ALST-1-PA	-1,53	-52,62	-170,14	-5.787,99	2.481,85	22
150	1-IU-1-PA	-1,56	-51,97	-172,79	-5.717,18	2.552,71	7,4
139	1-GU-2-PA	-1,35	-51,43	-149,69	-5.656,84	2.617,32	1
20	1-BV-1-PA	-1,41	-50,37	-156,82	-5.540,85	2.733,52	4,8
174	1-PI-1-PA	-1,40	-49,94	-155,88	-5.493,46	2.780,92	6,8
165	1-UM-1-PA	-1,30	-49,35	-144,63	-5.428,79	2.846,57	3

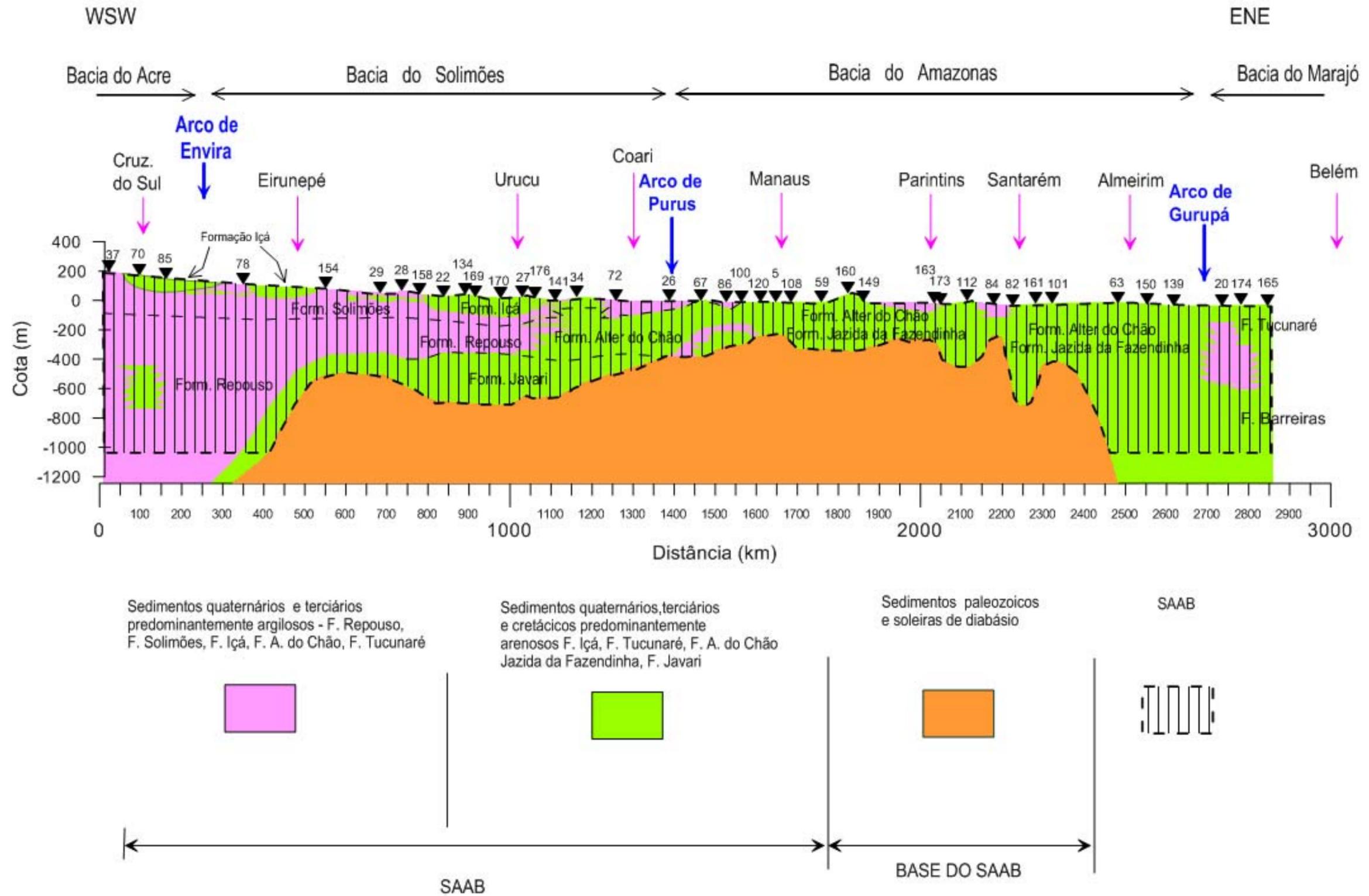


Figura 1.21 – Perfil Hidrogeológico Longitudinal da PHA no Brasil.

1.2.2.2 - Perfis Transversais

Os perfis transversais foram estendidos, na medida do possível, para norte e para sul, até o embasamento aflorante ou subaflorante (Escudo das Guianas, ao norte, e Escudo Brasileiro, ao sul). A extrapolação dos perfis requereu a introdução de pontos auxiliares ou pontos de inferência da geologia, tanto para balizar seus traçados, como para a obtenção de cotas SRTM. Como já visto, a **figura 1.20** mostra a posição dos perfis elaborados.

Tabelas dos Perfis Transversais

Os poços e os pontos auxiliares são dispostos de cima para baixo nas tabelas a seguir, na ordem em que aparecem de sul para norte, grosseiramente, nos perfis elaborados.

Perfil Transversal 1

Para a elaboração do perfil transversal 1 (**figura 1.22**), foram analisados os perfis litológicos dos 6 poços indicados na **tabela 1.9**, dispostos de SE para NW, na bacia do Marajó, a partir do ponto auxiliar 1A.

Tabela 1.9 – Poços utilizados na elaboração do perfil transversal 1.

Poço	Refer. Petrobras	Lat	Long	Lat (km)	Long (km)	Distância (km)	Cota (m)
1A	Ponto auxiliar	-3,20228	-48,14692	-355,454	-5296,1611	0,00	198
1B	Ponto auxiliar	-2,97675	-48,41755	-330,42	-5325,9304	38,90	117
48	1-SR-1-PA	-2,47	-48,91	-274,701	-5380,2617	116,72	55,00
1C	Ponto auxiliar	-2,17665	-49,26452	-241,608	-5419,0975	167,74	129
159	1-LM-1-PA	-1,93	-49,44	-213,86	-5438,2779	201,47	40,00
174	1-PI-1-PA	-1,40	-49,94	-155,876	-5493,4649	281,52	41,00
152	1-JO-1-PA	-1,01	-50,71	-112,141	-5577,6116	376,36	27,00
80	2-IBST-1A-PA	-0,95	-51,22	-105,449	-5633,8326	432,97	33,80
99	2-LIST-1R-AP	-0,65	-51,62	-72,2732	-5678,6587	488,74	23,00
1D	Ponto auxiliar	-0,59783	-51,70521	-66,3594	-5687,5733	499,44	26,80
1E	Ponto auxiliar	-0,32926	-51,9558	-36,5478	-5715,1379	540,04	69
1F	Ponto auxiliar	-0,24332	-52,03598	-27,0081	-5723,9582	553,03	81
1G	Ponto auxiliar	0,000153	-52,19135	0,016933	-5741,048	585,01	120

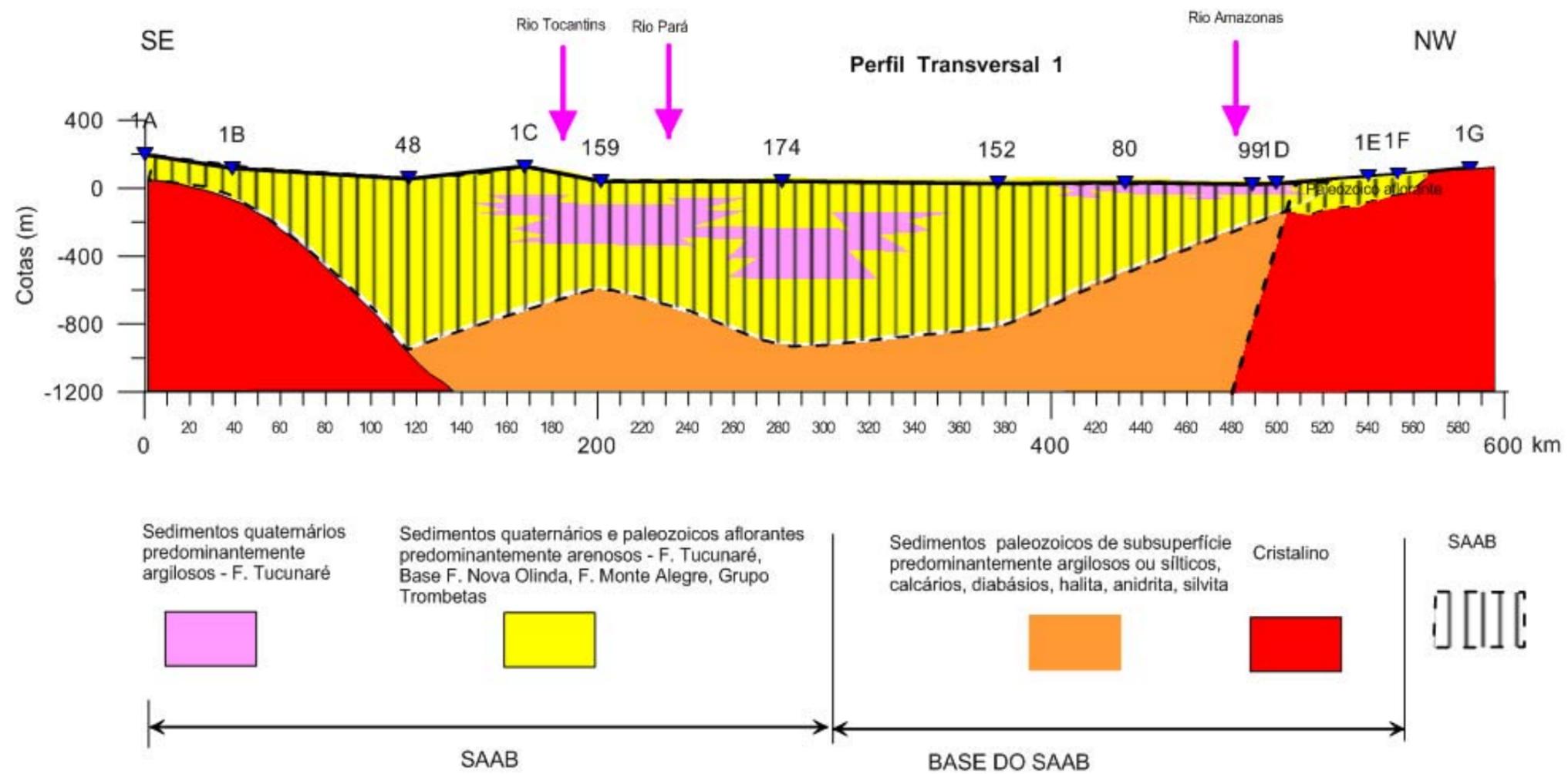


Figura 1.22 – Perfil Hidrogeológico Transversal 1 na bacia do Marajó.

Perfil Transversal 2

Para a elaboração do perfil transversal 2 (**figura 1.23**), foram analisados os perfis litológicos dos 9 poços indicados na **tabela 1.10**, dispostos de SE para NW a partir do ponto auxiliar 2A, na bacia do Amazonas.

Tabela 1.10 – Poços utilizados na elaboração do perfil transversal 2.

Poço	Refer. Petrobras	Lat	Long	Lat (km)	Long (km)	Distância (km)	Cota (m)
2A	Ponto auxiliar	-4,20645	-54,632973	-466,92	-6.009,63	0,00	216
2B	Ponto auxiliar	-4,00126	-54,681557	-444,14	-6.014,97	23,39	93
2C	Ponto auxiliar	-3,74135	-54,781281	-415,29	-6.025,94	54,26	220
1	1-AB-1-PA	-3,58	-54,83	-397,38	-6031,649861	73,06	90,00
47	1-SP-1-PA	-3,36	-54,95	-372,523	-6044,4186	101,00	178,50
54	1-TR-1-PA	-3,01	-54,91	-334,076	-6039,5775	139,75	118,10
13	1-BR-1A-PA	-2,65	-54,90	-293,907	-6039,1265	179,92	163,40
2	1-AC-1-PA	-2,52	-54,98	-279,812	-6047,25	196,19	14,00
84	2-IMST-1-PA	-2,06	-55,24	-228,142	-6076,6541	255,64	10,00
142	1-ICR-1-PA	-1,64	-55,58	-181,552	-6113,3226	314,93	85,00
137	1-FC-1-PA	-1,55	-55,72	-172,285	-6129,607	333,67	85,90
23	1-CM-3-PA	-1,29	-55,93	-143,005	-6152,6366	370,92	19,20
2D	Ponto auxiliar	-0,67918	-56,096584	-75,39	-6.170,62	440,89	255

Perfil Transversal 3

Para a elaboração do perfil transversal 3 (**figura 1.24**), foram analisados os perfis litológicos dos 7 poços indicados na **tabela 1.11**, dispostos de SE para NW a partir do ponto auxiliar 3A, na bacia do Amazonas.

Tabela 1.11 – Poços utilizados na elaboração do perfil transversal 3.

Poço	Refer. Petrobras	Lat	Long	Lat (km)	Long (km)	Distância (km)	Cota (m)
3A	Ponto auxiliar	-5,5	-57,8	-607,22	-6.361,85	0,00	198
3B	Ponto auxiliar	-5,1	-57,9	-571,53	-6.372,88	37,35	117
3C	Ponto auxiliar	-5	-58	-555,01	-6.377,84	54,60	129
43	1-RX-2-AM	-4,60	-58,20	-510,19263	-6401,4665	105,26	55,00
11	1-AX-1-AM	-4,27	-58,71	-474,37959	-6458,3926	172,52	40,00
56	1-UA-1-AM	-3,94	-58,88	-437,09358	-6476,8616	214,13	41,00
39	1-RPP-1-AM	-3,80	-59,40	-421,35933	-6533,5237	272,93	27,00
163	1-MI-2-AM	-3,58	-59,78	-397,19463	-6575,7087	321,55	33,80
120	2-SAST-1-AM	-3,36	-60,19	-372,46716	-6620,4721	372,69	23,00
106	2-NOST-1-AM	-3,12	-60,55	-346,16571	-6660,5	420,58	26,80
3D	Ponto auxiliar	-2,2	-60,8	-246,58	-6.689,32	524,25	69
3E	Ponto auxiliar	-1,8	-60,9	-197,71	-6.696,48	573,65	81
3F	Ponto auxiliar	-1,4	-61	-150,62	-6.715,23	624,33	120

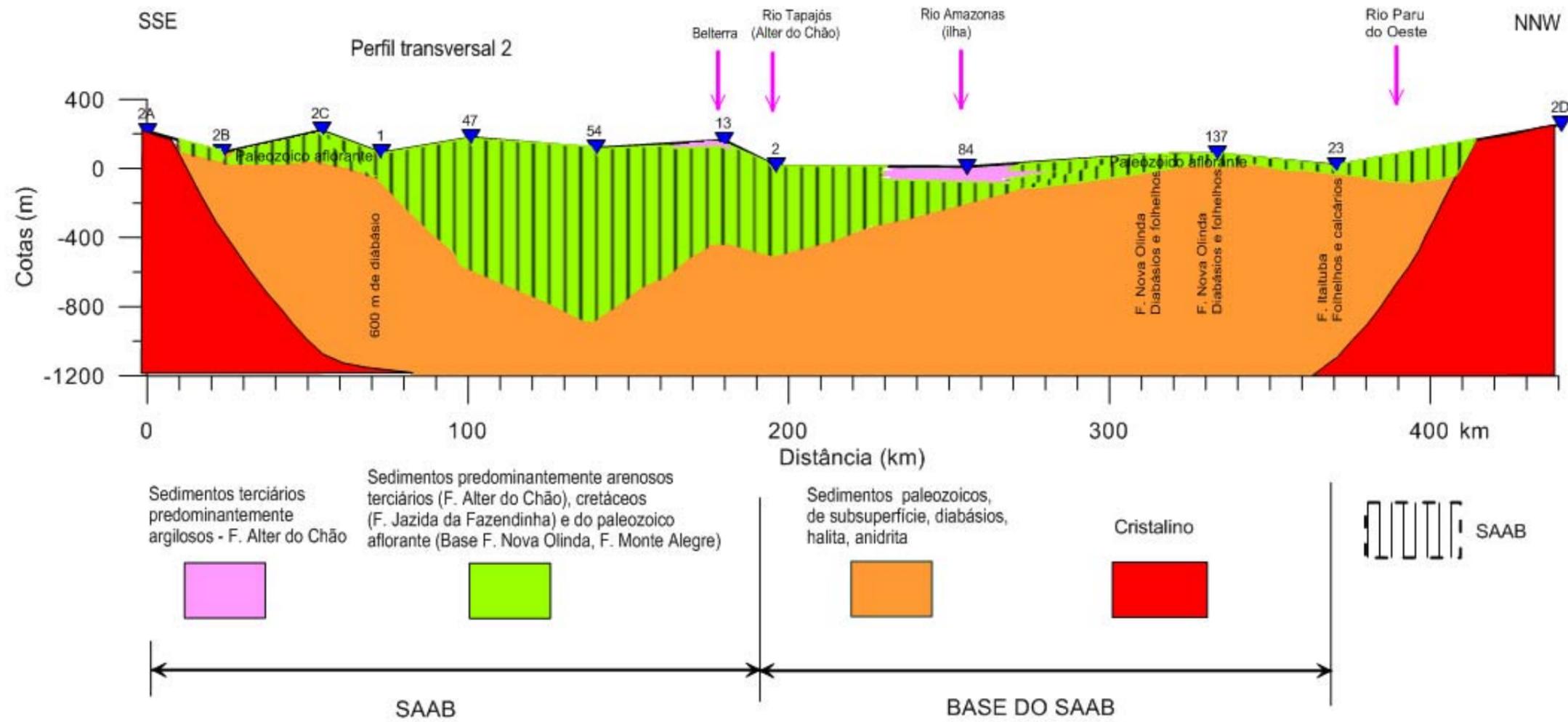


Figura 1.23 – Perfil Hidrogeológico Transversal 2 na bacia do Amazonas.

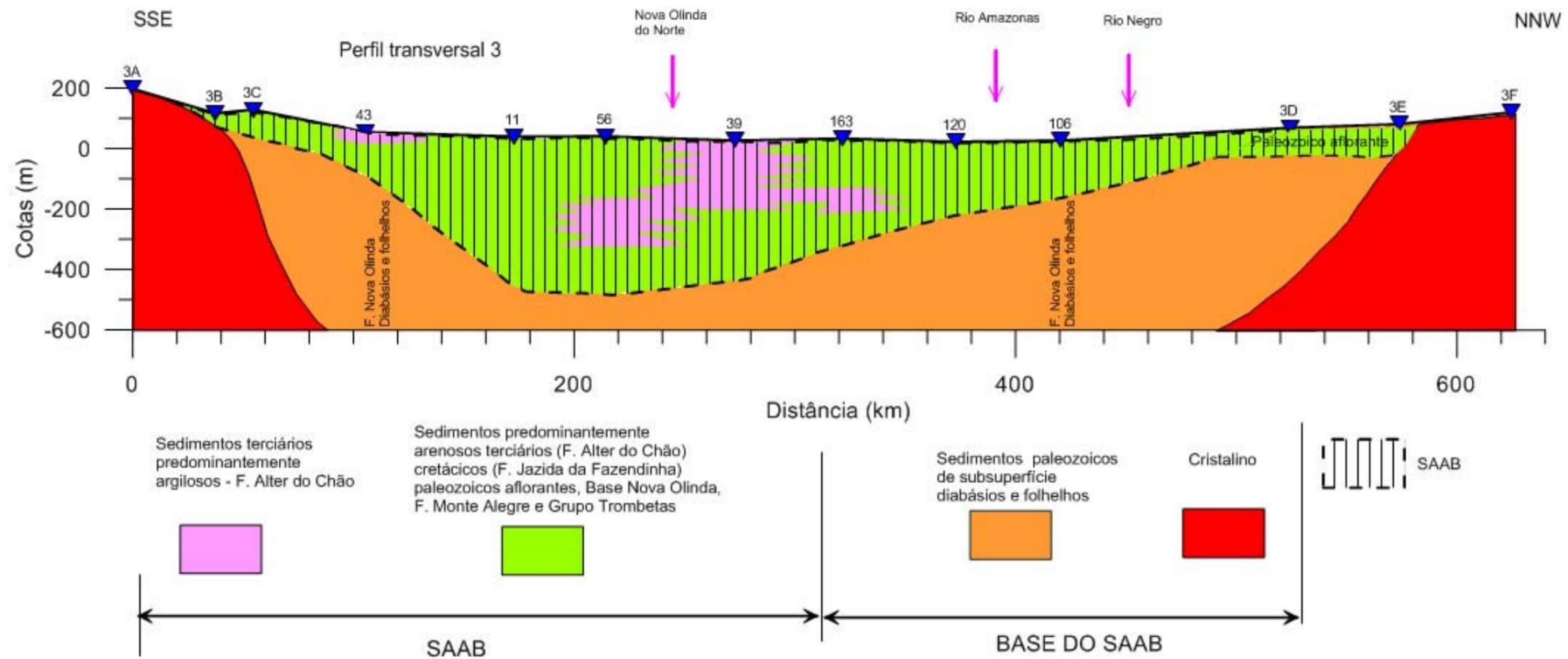


Figura 1.24 – Perfil Hidrogeológico Transversal 3 na bacia do Amazonas.

Perfil Transversal 4

Para a elaboração do perfil transversal 4 (**figura 1.25**), foram analisados os perfis litológicos dos 6 poços indicados na **tabela 1.12**, dispostos de SE para NW a partir do ponto auxiliar 4A, na bacia do Solimões.

Tabela 1.12 – Poços utilizados na elaboração do perfil transversal 4.

Poço	Refer. Petrobras	Lat	Long	Lat (km)	Long (km)	Distância (km)	Cota (m)
4A	Ponto auxiliar	-5,8	-58,7	-641,91	-6.458,11	0	127
4B	Ponto auxiliar	-5,6	-58,9	-622,44	-6.476,72	26,93	92
4C	Ponto auxiliar	-5,3	-59,4	-588,07	-6.529,88	90,24	58
62	2-AIST-2-AM	-5,08	-59,95	-564,34287	-6594,5	159,08	34,50
60	2-AAST-1-AM	-4,92	-60,31	-546,21213	-6633,8866	202,44	38,00
87	2-IPST-1-AM	-4,82	-60,67	-534,465	-6673,5163	243,77	43,90
36	1-RL-1-AM	-4,51	-61,26	-500,20818	-6738,7848	317,48	45,00
26	1-CS-3-AM	-3,79	-62,09	-421,05963	-6829,9	438,17	37,00
97	2-LBST-1-AM	-3,25	-63,21	-360,4392	-6952,7106	575,13	39,40
4D	Ponto auxiliar	-2,73	-63,91	-303,46288	-7030,1277	671,25	59
4E	Ponto auxiliar	-2,01	-64,78	-223,62921	-7125,2863	795,47	69
4F	Ponto auxiliar	-1,27	-65,54	-141,11819	-7209,813	913,59	78
4G	Ponto auxiliar	-0,54	-66,27	-59,971806	-7290,0437	1.027,70	71
4H	Ponto auxiliar	-0,18	-66,72	-20,525647	-7339,0163	1.090,58	86

Perfil transversal 5

Para a elaboração do perfil transversal 5 (**figura 1.26**), foram analisados os perfis litológicos dos 8 poços indicados na **tabela 1.13**, dispostos de SE para NW a partir do ponto auxiliar 5A, na bacia do Solimões.

Tabela 1.13 – Poços utilizados na elaboração do perfil transversal 5.

Poço	Refer. Petrobras	Lat	Long	Lat (km)	Long (km)	Distância (km)	Cota (m)
5A	Ponto auxiliar	-7,1	-61,2	-792,75	-6.730,22	0	77
5B	Ponto auxiliar	-7	-61,4	-780,28	-6.755,69	28,35575067	59
95	2-LAC-1AM	-6,38	-62,41	-707,80371	-6864,9878	159,499539	1,00
96	2-LAST-1AM	-5,70	-63,71	-632,4225	-7007,8558	321,0346505	55,00
18	1-BRSA-714-AM	-5,02	-64,19	-557,26662	-7061,2289	413,2143343	38,00
17	1-BRSA-358-AM	-4,78	-64,46	-530,42349	-7090,1776	452,6932003	57,00
24	1-CR-1-AM	-4,38	-64,88	-486,65286	-7137,3203	517,0228374	65,50
32	1-RCB-1-AM	-3,83	-65,30	-424,89579	-7182,9197	593,7902848	58,60
38	1-RNI-1-AM	-3,04	-65,69	-337,98279	-7226,1464	690,8594208	58,90
111	2-PMST-1A-AM	-2,39	-66,15	-265,29	-7276,5	779,2886396	50,00
5C	Ponto auxiliar	-1,3	-66,8	-147,37	-7.351,52	919,0452059	86
5D	Ponto auxiliar	-1,2	-66,9	-129,85	-7.361,55	939,242429	93

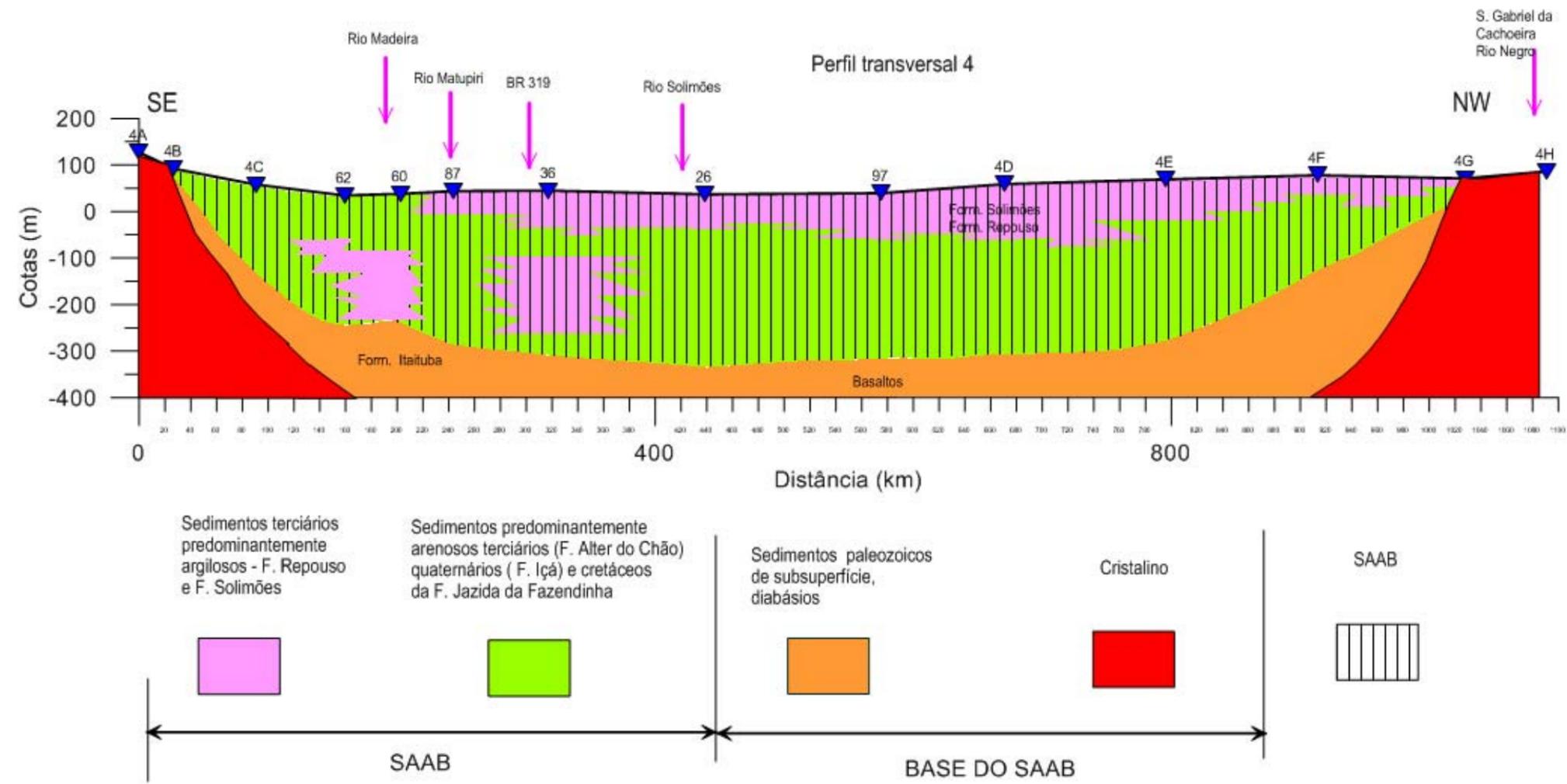


Figura 1.25 – Perfil Hidrogeológico Transversal 4 nas bacias do Amazonas e do Solimões.

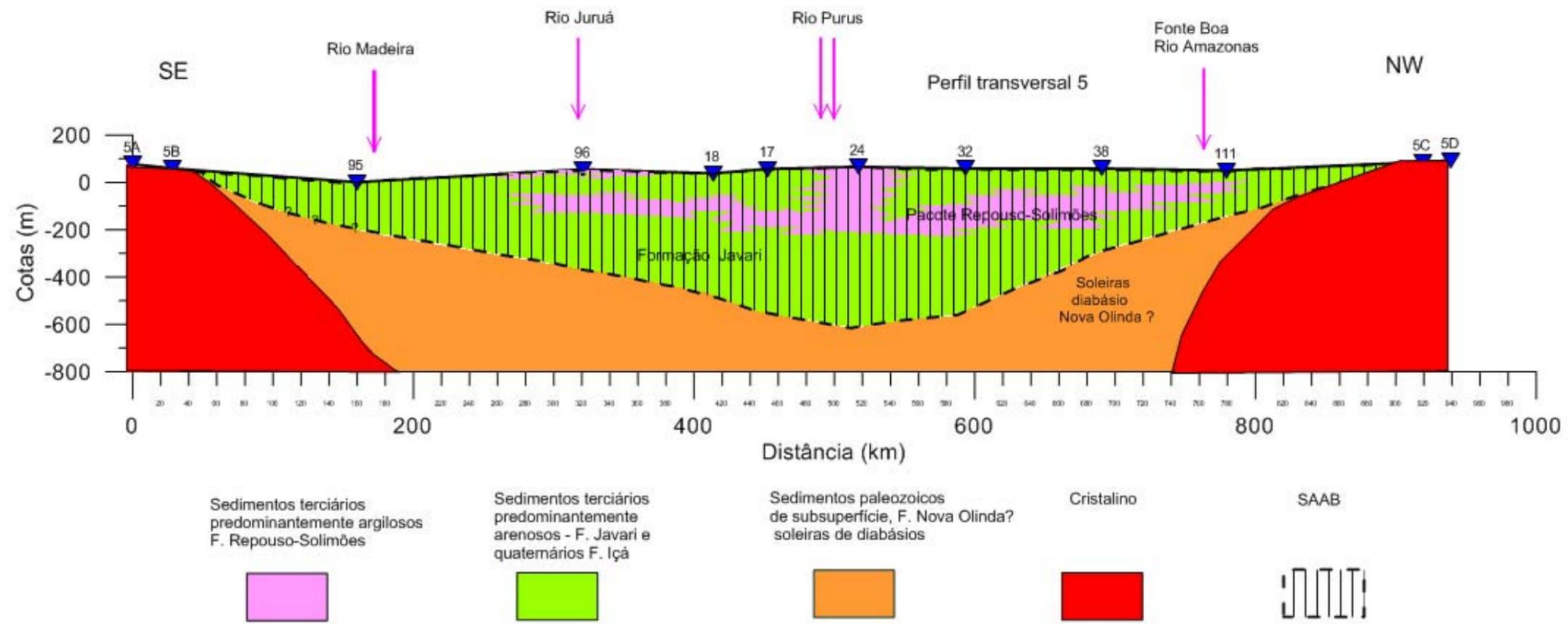


Figura 1.26 – Perfil Hidrogeológico Transversal 5 na bacia do Solimões.

Perfil transversal 6

Para a elaboração do perfil transversal 6 (**figura 1.27**), foram analisados os perfis litológicos dos 5 poços indicados na **tabela 1.14**, dispostos de SSW para NNE a partir do ponto auxiliar 6A, na bacia do Solimões.

Tabela 1.14 – Poços utilizados na elaboração do perfil transversal 6.

Poço	Refer. Petrobras	Lat	Long	Lat (km)	Long (km)	Distância (km)	Cota (m)
6A	Ponto auxiliar	-11	-71,4	-1.166,09	-7.854,71	0	311
6B	Ponto auxiliar	-10	-71,2	-1.110,02	-7.834,18	59,71661907	338
116	2-REST-1-AC	-9,30	-70,98	-1032,0225	-7808,0134	141,982056	227,00
75	2-EPST-1-AM	-6,69	-69,80	-742,99071	-7678,2453	458,8087206	125,00
154	1-JT-3-AM	-5,69	-69,21	-631,57668	-7612,6908	588,0777369	119,00
155	1-JT-5-AM	-5,24	-68,99	-582,16836	-7589,1167	642,8218715	126,00
123	2-SNST-1-AM	-3,11	-67,96	-345,30213	-7475,6	905,4844918	91,00

Perfil transversal 7

Para a elaboração do perfil transversal 7 (**figura 1.28**), foram analisados os perfis litológicos dos 5 poços indicados na **tabela 1.15**, dispostos inicialmente de SSW para NNE a partir do poço 116, e infletindo para N a partir do poço 19, nas bacias do Solimões e do Acre.

Tabela 1.15 – Poços utilizados na elaboração do perfil transversal 7.

Poço	Refer. Petrobras	Lat	Long	Lat (km)	Long (km)	Distância (km)	Cota (m)
116	2-REST-1-AC	-9,30	-70,98	-1032,0225	-7808,0134	0	227,00
70	2-CDST-1-AC	-7,73	-72,65	-857,63817	-7991,0941	252,840735	212,30
40	1-RPX-1-AM	-7,11	-73,09	-789,33987	-8040,1277	336,9177932	186,60
19	1-BT-1-AM	-6,80	-73,19	-755,18073	-8051,4357	372,8999792	151,00
153	1-JQ-1-AM	-6,25	-73,11	-693,95535	-8041,7227	434,8910231	131,80
7C	Ponto auxiliar	-5,6	-73,1	-621,51	-8.038,48	507,4051914	152

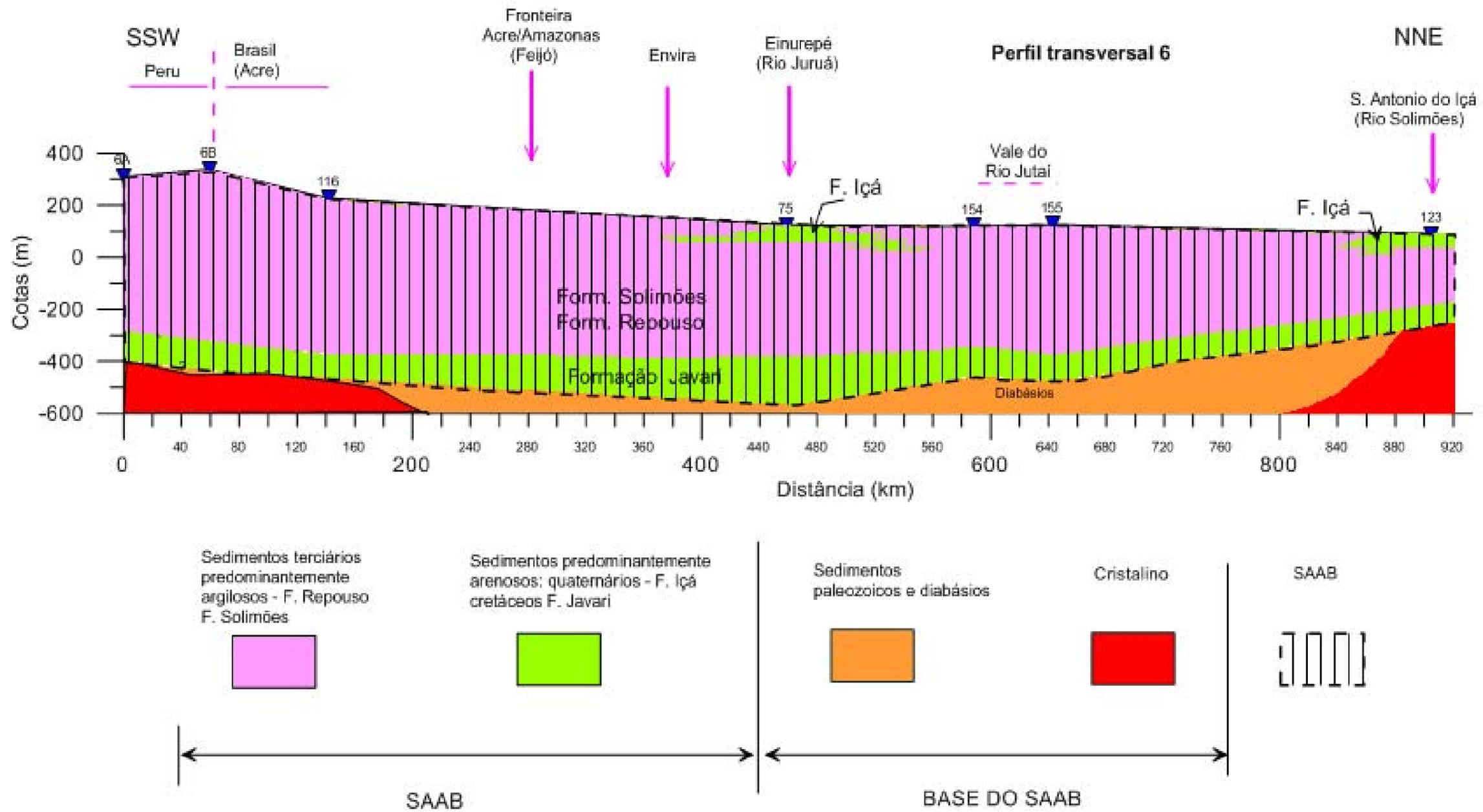


Figura 1.27 – Perfil Hidrogeológico Transversal 6 na bacia do Solimões.

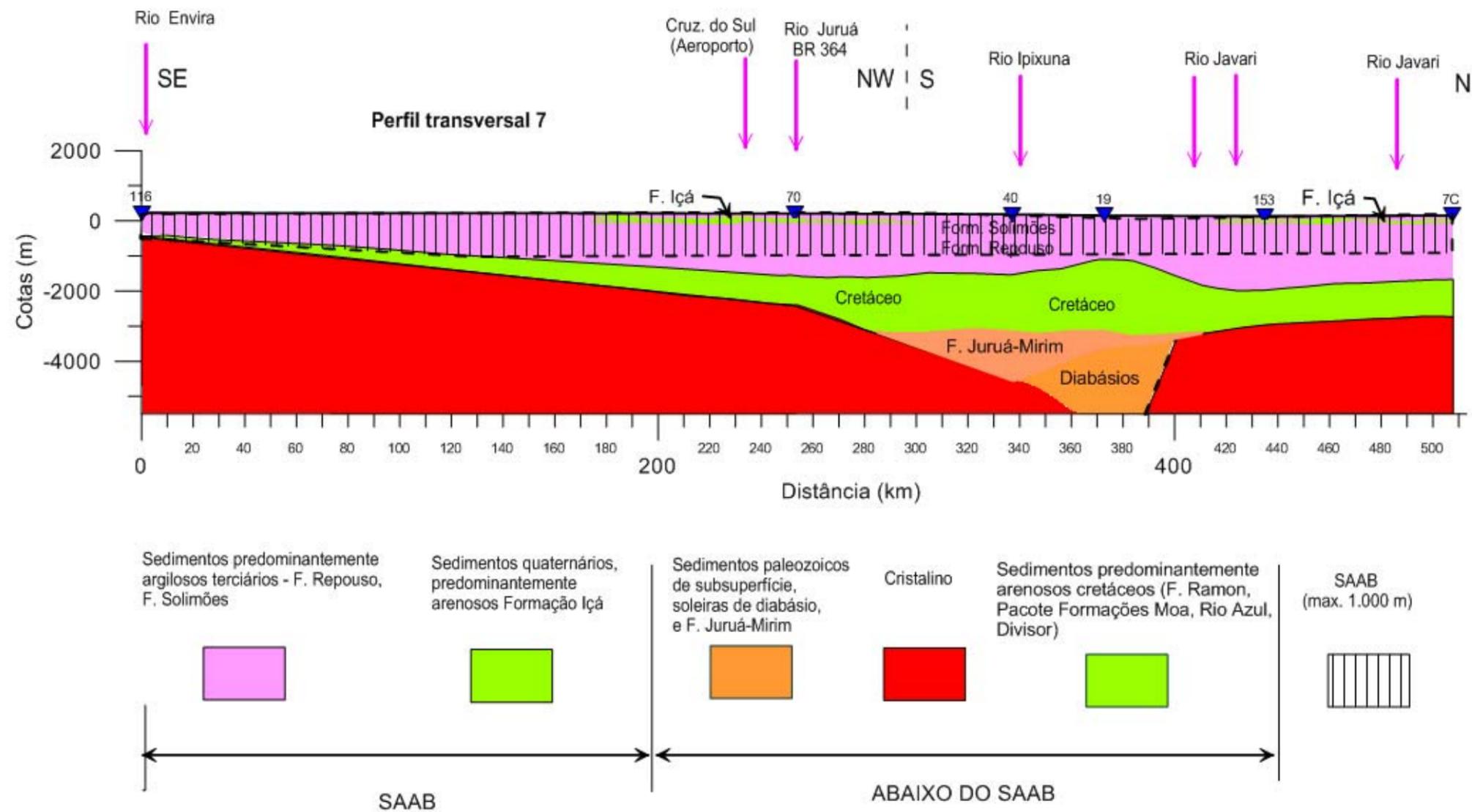


Figura 1.28 – Perfil Hidrogeológico Transversal 7 nas bacias do Solimões e Acre.

Perfil transversal 8

Para a elaboração do perfil transversal 8 (**figura 1.29**), foram analisados os perfis litológicos dos 6 poços indicados no **tabela 1.16**, dispostos de S para N a partir do poço 37, e infletindo para NE a partir do ponto auxiliar 7C, nas bacias do Solimões e do Acre.

Tabela 1.16 – Poços utilizados na elaboração do perfil transversal 8.

Poço	Refer. Petrobras	Lat	Long	Lat (km)	Long (km)	Distância (km)	Cota
37	1-RM-1-AC	-8,04	-73,22	-892,71	-8.054,12	0,00	231,00
45	1-RZ-1-AC	-7,53	-73,17	-835,50	-8.048,47	57,48692446	180,00
40	1-RPX-1-AM	-7,11	-73,09	-789,34	-8.040,13	104,3970472	186,60
19	1-BT-1-AM	-6,80	-73,19	-755,18	-8.051,44	140,3792332	151,00
153	1-JQ-1-AM	-6,25	-73,11	-693,955	-8041,7227	202,3702771	131,80
7C	Ponto auxiliar	-5,599225	-73,07705	-621,51	-8.038,48	274,8844455	152
117	2-RJST-1-AM	-4,76	-72,20	-528,76	-7.941,68	408,9515971	102,10

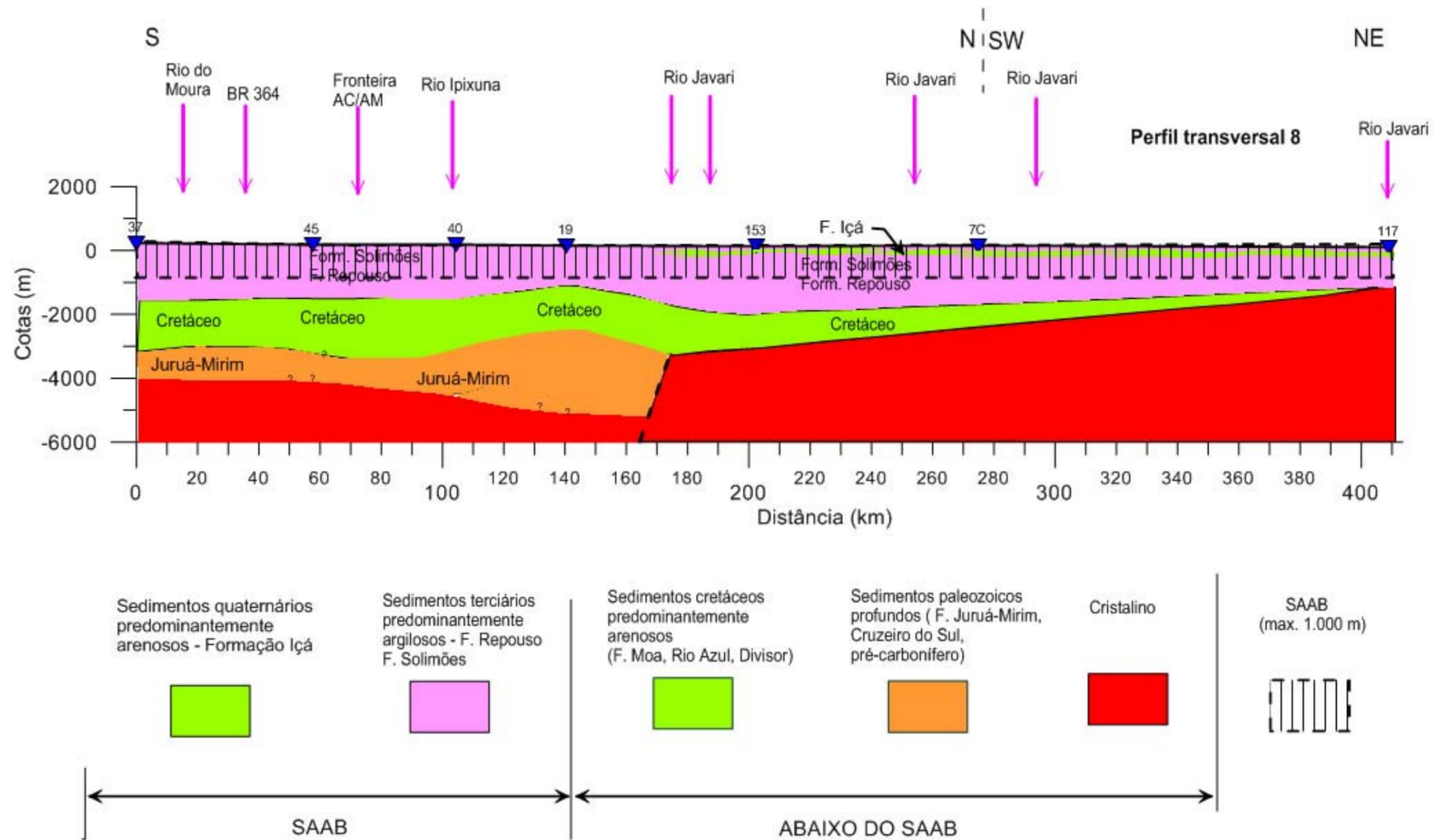


Figura 1.29 – Perfil Hidrogeológico Transversal 8 nas bacias do Solimões e Acre.

1.2.2.3 - Discussão dos Perfis

Nos perfis, a cor verde representa sedimentos terciários e cretácicos predominantemente arenosos. Em geral ocorrem nesses sedimentos intercalações de folhelhos que não são mostradas em função da escala utilizada e, também, por desnecessário. Algumas dessas intercalações mais expressivas, entretanto, são indicadas na cor rosa, como se pode ver nos perfis elaborados.

Perfil Longitudinal

O perfil longitudinal (**figura 1.21**) mostra que o SAAB atinge suas maiores espessuras entre Santarém e a região de Belém, onde os arenitos aquíferos alcançam mais de 1.000 metros. Esses arenitos constituem a Formação Alter do Chão, terciária, que, extravasando o Arco de Gurupá¹, grada lateralmente em subsuperfície para a Formação Barreiras na Bacia do Marajó. A Formação Tucunaré (600 m), juntamente com as Formações Barreiras (700 m) e Marajó sotoposta (2.000 m), conferem aos sedimentos aquíferos, nesta bacia, uma espessura total de 3.300 m (**figura 1.4**). Não obstante essa grande espessura de sedimentos aquíferos, o SAAB fica restrito aos primeiros 1.000 m, como já antes mencionado.

Ainda no perfil longitudinal verifica-se que as espessuras do SAAB ficam restritas à faixa dos 300 a 400 metros no trecho compreendido entre Parintins e o Alto de Purus², em função de um alçamento do topo da Formação Nova Olinda, do Paleozoico. Cerca de 30 km a sul da cidade de Manaus (Poço 1-AM-15-AM), por exemplo, o conjunto Alter do Chão (Terciário)/Jazida da Fazendinha (Cretáceo), que constitui o SAAB, apresenta apenas 230 m de espessura. Na cidade de Manaus, esse conjunto chega a 400 m de espessura (França *et al.*, 2005). Nesse trecho, o SAAB é constituído pelas formações Alter do Chão (terciária) e Jazida da Fazendinha (cretácea), esta última assentada sobre o Paleozoico e terminando em cunha nos flancos orientais do Alto de Purus.

Do Arco de Purus para oeste, na bacia do Solimões, passa a ocorrer a Formação Javari, cretácica, repousando sobre sedimentos paleozoicos e sobre o embasamento cristalino nas plataformas. Sobre ela, jaz a Formação Repouso. A Formação Içá, o pacote Repouso-Solimões e a Formação Javari constituem o SAAB na bacia do Solimões, exibindo espessuras que atingem os 1.000 m. A partir da cidade de Coari, seguindo para oeste, aumentam significativamente as intercalações de folhelhos da Formação Repouso nos arenitos terciários Alter do Chão, que no poço 34 (1-RCO-1-AM) têm a base a 230 m de profundidade e jazem sobre os arenitos cretácicos da Formação Javari no intervalo de 230 a 580 m de profundidade. Na Província Petrolífera de Urucu (Base Operacional Geólogo Pedro de Moura), pode-se já dizer que os arenitos da Formação Javari jazem sob os folhelhos da Formação Repouso. Nos poços 27 (1-RA-1-AM), 169 (1-NEJ-1-AM) e 170 (1-NSM-1-AM), o pacote Içá-Solimões, com espessuras de 250 a 350 m, repousa sobre os arenitos da Formação Javari. Mais para oeste, na direção de Eirunepé, o pacote argiloso das formações Repouso e Solimões atinge os 400 metros de espessura. A partir de Eirunepé, para oeste, esse pacote

¹ O Arco de Gurupá é um pronunciado alto do embasamento cristalino. Situa-se abaixo da profundidade alcançada pelo perfil longitudinal (figura 1.21).

² O Arco de Purus foi esculpido em sedimentos pré-Paleozoicos (Formação Prosperança). Essa estrutura, muito profunda condicionou mais fortemente a deposição das formações paleozoicas e de forma mais atenuada, embora perceptível, a sedimentação cretácica. Ele não se manifesta estruturalmente, de forma ostensiva, no topo do Paleozoico, pelo menos no perfil longitudinal elaborado (figura 1.21).

se espessa subitamente, entre os poços 154 (1-JT-3-AM) e 78 (2-FGST-1-AM) do perfil longitudinal, atingindo espessuras superiores a 1.000 metros na Bacia do Acre.

A Formação Javari integra o SAAB até a profundidade de 1.000 m (**figura 1.21**). A partir do poço 78 (2-FGST-1-AM), para oeste, o topo desta unidade de fluxo subterrâneo fica abaixo de 1.000 m e deixa de ser alcançável por poços economicamente viáveis e, portanto, na metade oeste da PHA no Brasil ficam mantidos nos limites do SAAB, com menor condutividade hidráulica, o conjunto formado, da base para o topo, pela sequência Javari, Repouso-Solimões e pelas ocorrências arenosas descontínuas de arenitos da Formação Içá (Volume II) e de coberturas aluvionares.

Perfis Transversais

Os perfis transversais confirmam as grandes linhas percebidas no perfil longitudinal.

Na região compreendida entre Santarém e Belém, os perfis transversais 1 e 2 mostram espessuras de arenitos que podem chegar aos 1.000 m. No perfil 3 verifica-se que, a SE de Manaus, as espessuras do conjunto Alter do Chão/Jazida da Fazendinha passam de 200 para 400 m.

Os perfis 6 e 7 confirmam as grandes espessuras de folhelhos do pacote Repouso-Solimões, que podem chegar até 1.400 m [poços 40 (1-RPX-1-AM) e 70 (2-CDST-1-AM) do perfil 7] no extremo ocidental da PHA no Brasil.

A presença de sedimentos cretáceos areno-argilosos, representados pela Formação Javari, é indicada no perfil 6, e representados pelas formações Moa, Rio Azul e Divisor, é indicada nos perfis 7 e 8, no extremo oeste da PHA no Brasil. Esses sedimentos, com espessuras da ordem de 100 a 200 m, ocorrem recoberto indiferentemente o Paleozoico e o embasamento cristalino, sendo capeados por espessuras de folhelhos do pacote Repouso-Solimões, variando de 400 a 1.000 m. Esse Cretáceo, sob a base do SAAB, corresponde, aqui, ao Sistema Aquífero Tikuna de Rosário (2011), como acima comentado, e considerado com menor interesse do ponto de vista de água subterrânea, pelo menos na PHA no Brasil, em virtude da sua grande profundidade de ocorrência e do alto risco potencial de possuir água salgada por falta de circulação.

As análises dos perfis dos poços do BDEP foram apoiadas pelas conceituações geológicas (Volume II) complementadas, onde necessário, pela geologia de superfície apresentada na escala de 1:1.000.000 em CPRM (2005) e CPRM (2006). Os resultados obtidos foram os seguintes:

- Perfil Transversal 1 (**figura 1.22**) – A extremidade SE mostra o embasamento cristalino subaflorante, recoberto por sedimentos da Formação Tucunaré. Na extremidade NW ocorrem sedimentos aflorantes de idade paleozoica que constituem o substrato do SAAB;
- Perfil Transversal 2 (**figura 1.23**) – Na extremidade SSE o poço 1 (1-AB-1-PA) mostra 600 metros de diabásio. Na extremidade NNW afloram sedimentos da Formação Nova Olinda com soleiras de diabásio, conforme mostrado nos poços 23 (1-CM-3-PA), 137 (1-FC-1-PA) e 142 (1-ICR-1-PA). Em ambas as extremidades do perfil, o Paleozoico pode ser incluído no SAAB, porque é aflorante. Na porção central do perfil

dominam sedimentos arenosos terciários da Formação Alter do Chão e cretáceos da Formação Jazida da Fazendinha;

- Perfil Transversal 3 (**figura 1.24**) – Na extremidade SSE não aflora o Paleozoico. Os sedimentos predominantemente arenosos das Formações Alter do Chão e Jazida da Fazendinha ocorrem recobrando o embasamento cristalino. Dados do poço 43 (1-RX-0002-AM) informam que ocorre em profundidade a Formação Nova Olinda com pelitos e diabásios. Na extremidade NNW aflora o Grupo Trombetas exibindo uma litologia de arenitos dominantes (66%) com intercalações de folhelhos e siltitos carbonosos e piritosos, silixitos e lentes de diamictito. Os níveis arenosos são captados por poços tubulares com vazões de 10 a 20 m³/h e por esta razão o Paleozoico aflorante é incluído no SAAB;
- Perfil Transversal 4 (**figura 1.25**) – Na extremidade SE afloram sedimentos Paleozoicos do Grupo Tapajós, exibindo litologias pouco favoráveis do ponto de vista hidrogeológico (predominância de calcários e evaporitos). O poço 62 (2-AIST-0002-AM), 160 km a NW, registra, em profundidade, a ocorrência da Formação Itaituba constituída predominantemente de calcários e evaporitos. Na extremidade NW aflora o embasamento cristalino numa extensão de cerca de 50 km. Também a SE o cristalino é aflorante, seguindo-se lateralmente as Formações Alter do Chão e Jazida da Fazendinha, capeadas extensivamente por arenitos da Formação Içá. Secundariamente ocorrem sedimentos argilosos predominantes das Formações Repouso e Solimões. O Paleozoico encontra-se em condição de sub-afloramento, com características desconhecidas, em face da ausência de poços, e, portanto, não se considera conveniente incluí-lo no SAAB;
- Perfil Transversal 5 (**figura 1.26**) – O poço 95 (2-LAC-1-AM), 160 km a NW da extremidade SE, foi perfurado na Formação Içá até a profundidade de 197 m e por este motivo não se conhecem as características das formações subjacentes cenozoicas, cretácicas e paleozoicas. Toda a porção central do perfil é marcada pela presença de sedimentos arenosos da Formação Javari e secundariamente por depósitos argilosos atribuídos ao pacote Repouso-Solimões. O Grupo Tapajós, por outro lado, com litologias pouco favoráveis, aflora restritamente na extremidade SE. Na extremidade NW aflora o embasamento cristalino capeado, segundo CPRM (2006), por extensivas coberturas da Formação Içá. Os sedimentos paleozoicos ocorrem em profundidade, representados no poço 111 (2-PMST-1A-AM) por calcários e basaltos, com o embasamento cristalino a 350 m de profundidade, constituindo a base do SAAB;
- Perfil Transversal 6 (**figura 1.27**) – A extremidade SSW situa-se no vizinho país do Peru. O último poço disponível é o 116 (2-REST-0001-AC), 140 km a NNE dessa extremidade, mostrando 600 metros de folhelhos do pacote Repouso-Solimões e 100 m de Formação Javari. Na extremidade NNE, o embasamento encontra-se a apenas 350 metros. Ocorre aqui a sequência Repouso-Solimões extensivamente capeada por clásticos da Formação Içá. Neste perfil, o SAAB é representado por todo o pacote Javari, Repouso-Solimões e Içá com espessuras de 500 m a NNE e de 700 m a SSW;

- Perfil Transversal 7 (**figura 1.28**) – A extremidade SE do perfil encontra-se no Estado do Acre, representada pelo poço 116 (2-REST-1-AC), mostrando 600 m de folhelhos do pacote Repouso-Solimões e 100 m de arenitos Javari, que mergulham para NW até uma distância de 110 km, quando ficam abaixo dos 1.000 m. Ao longo do restante do perfil persistem espessuras de folhelhos do pacote Repouso-Solimões que ultrapassam os 1.000 m. A extremidade N (ponto auxiliar 7C) situa-se na Colômbia, nas proximidades da fronteira com o Brasil. De acordo com CPRM (2006), afloram ao longo de todo o perfil folhelhos do pacote Repouso-Solimões, sem ocorrências de coberturas de arenitos Içá. O SAAB neste perfil tem a sua base limitada aos 1.000 m da Formação Repouso;
- Perfil Transversal 8 (**figura 1.29**) – Observações análogas às do Perfil Transversal 7 são válidas para o Perfil Transversal 8. Aqui também o SAAB fica restrito à profundidade de 1.000 m na sequência Repouso-Solimões, com presença de Içá no poço 117 (2-RJST-0001-AM) e ausência no poço 153 (1-JQ-1-AM).

1.2.2.4 - Mapas Elaborados

Foram analisados 93 poços (**tabelas 1.8 a 1.16**) para a elaboração dos perfis hidrogeológicos acima discutidos. No total dos 187 poços fornecidos pelo BDEP foram usados 176 poços para a elaboração do mapa do topo e do mapa da base do SAAB, bem como para o mapa de isópacas dessa unidade de fluxo. Esses mapas foram elaborados com o auxílio do *software* ArcGIS, utilizando como método de interpolação o *IDW (Inverse Distance Weighted)*. Esse método admite que os pontos mais próximos para o processamento da célula influem mais fortemente do que aqueles mais afastados. A interpolação por IDW determina os valores dos pontos usando uma combinação linear ponderada dos pontos amostrados, na qual o peso de cada ponto é o inverso de uma função da distância (Silva *et al.*, 2012).

A elaboração dos mapas levou em conta a conceituação do SAAB como uma unidade hidrodinâmica heterogênea de fluxo. As seguintes condições foram impostas:

- O SAAB é considerado como um sistema aquífero livre e aflorante. Assim, seu topo coincide sempre com a superfície freática e a sua base sempre sobre os sedimentos paleozoicos e/ou sobre o embasamento cristalino;
- Eventuais intercalações ou recobrimentos argilosos, embora existentes, não são individualizados no SAAB para fins de elaboração dos mapas. Essa simplificação da realidade é requerida em face das dimensões da área de estudo, para que a modelagem numérica se torne possível;
- As espessuras do SAAB foram obtidas dos perfis elaborados e da análise dos demais poços da Petrobras. Na falta de poços nos perfis, foram atribuídos valores aos pontos auxiliares em função das suas posições nos perfis e também com o auxílio da geologia de superfície (CPRM, 2005; 2006);
- Nos poços e nos pontos auxiliares onde o SAAB é considerado inexistente, lhes é consignada espessura zero. Esse procedimento faz com que as superfícies ajustadas, que vão descrever o topo e a base do SAAB, tendam a se aproximar nos limites de ocorrência do sistema

aquífero. Assim, o volume de material aquífero, avaliado por diferença entre as duas superfícies, pode ser considerado como uma aproximação satisfatória da realidade.

Mapa de Isópacas do SAAB

O SAAB foi definido como um sistema aquífero heterogêneo. O Mapa de Isópacas do SAAB, mostrado na **figura 1.30**, resulta da diferença entre as superfícies de topo e base ilustradas nas **figuras 1.31 e 1.32**. Observa-se que a deposição dos sedimentos arenosos que constituem o sistema aquífero estudado se desenvolveu de oeste para leste, ao longo da calha do rio Amazonas. As maiores espessuras, atingindo mais de 1.000 m, ocorrem entre Santarém e a ilha do Marajó.

No restante da PHA no Brasil, entre Santarém e Tabatinga, passando pela região de Coari, Tefé e a Base do Urucu, ocorrem espessuras intermediárias, entre 400 e 600 m. Digna de nota é uma descontinuidade na região entre Coari e Manaus. Essa descontinuidade se caracteriza por uma feição em sela, onde as espessuras são menores, ficando entre 200 e 300 m. Essa feição coincide, em profundidade, com o Arco de Purus. É possível, assim, que este arco tenha tido certo papel no condicionamento da sedimentação terciária.

No extremo sudoeste da PHA no Brasil, na região de Cruzeiro do Sul, Eirunepé, Lábrea, Humaitá, Rio Branco e Porto Velho, as espessuras de materiais arenosos do SAAB são drasticamente reduzidas ficando praticamente restritas às espessuras da Formação Javari, com média em torno de 200 m. Isto ocorre em virtude do grande desenvolvimento dos folhelhos do pacote Repouso-Solimões, que tornam a condutividade hidráulica do SAAB significativamente reduzida em relação em relação às condutividades hidráulicas da fácies arenosa.

Mapas de Topo e Base do SAAB

Esses mapas representam, em realidade, superfícies no espaço tridimensional ajustadas estatisticamente às cotas do topo e da base do SAAB, obtidas por meio dos poços. Verifica-se assim, que o volume compreendido entre essas duas superfícies pode ser encarado como o volume do SAAB. Por outro lado, a extensão de terra firme da PHA no Brasil é de tal maneira entremeada de rios, igarapés, igapós, paranás, furos e lagoas, ostensivos em qualquer vista aérea, que é perfeitamente lícito admitir um freático regional muito próximo da superfície. Como corolário, é lícito admitir que o volume do SAAB, avaliado como o espaço compreendido entre as superfícies do topo e da base, é o volume saturado.

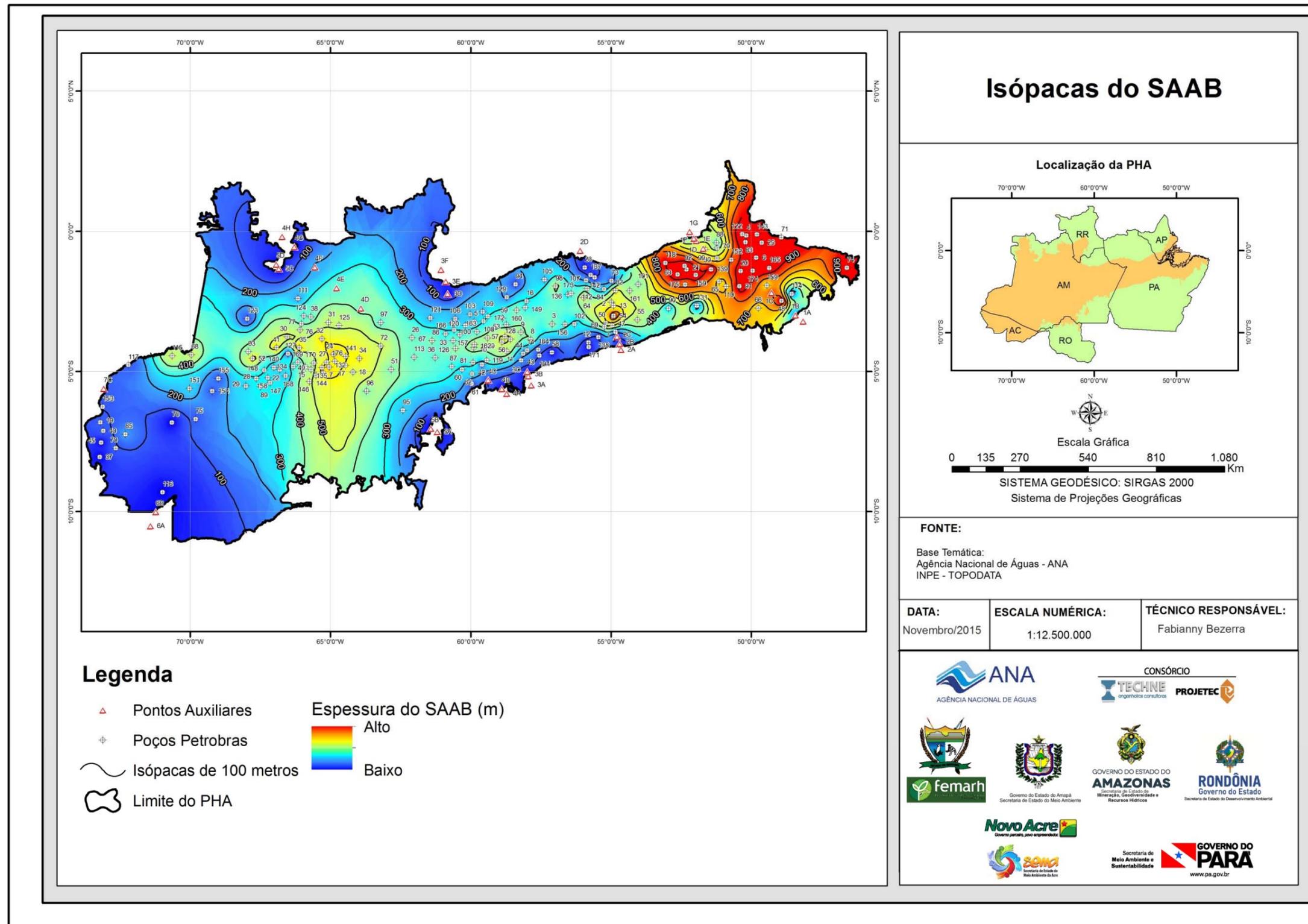


Figura 1.30 – Mapa de Isópacas do SAAB.

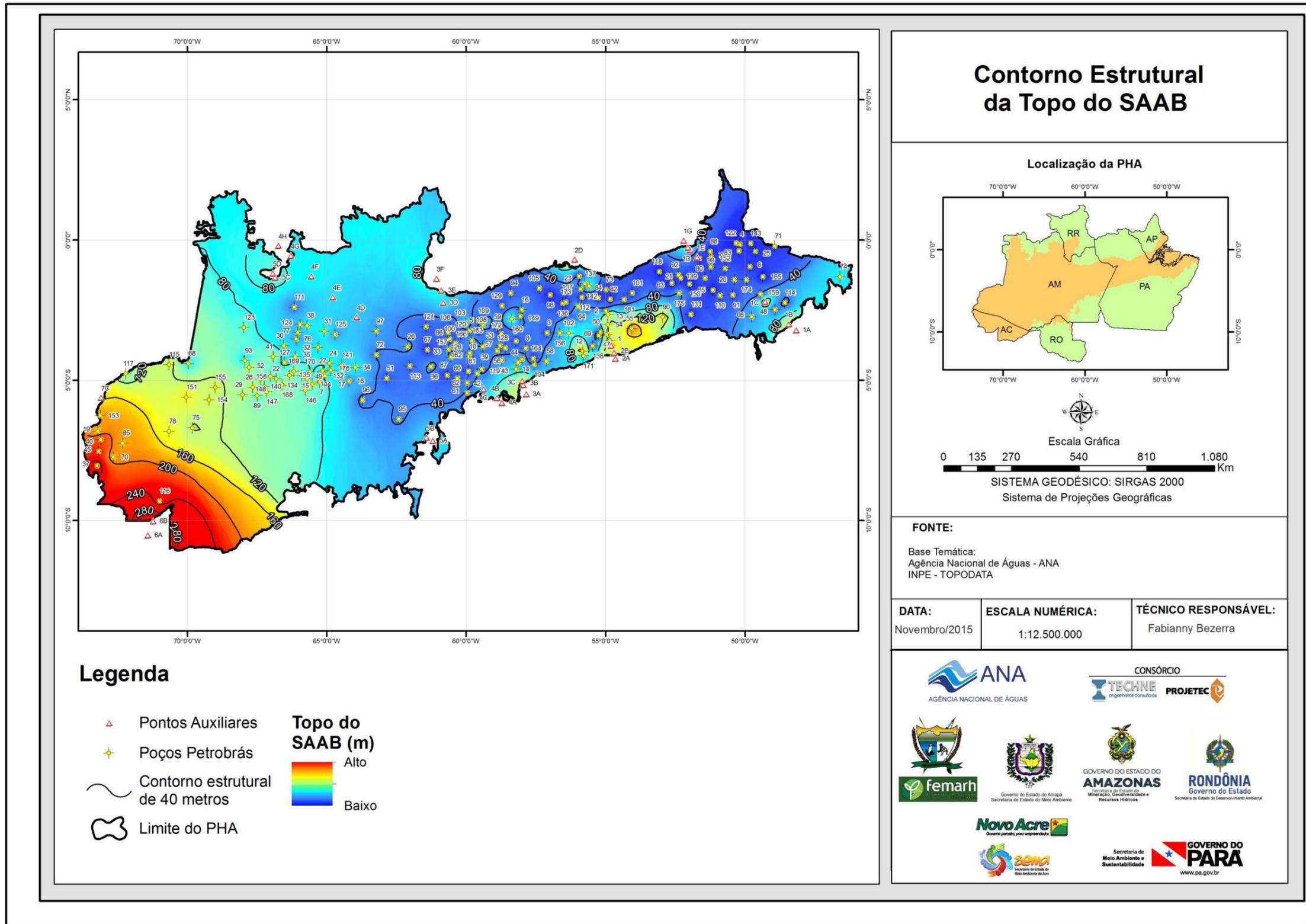
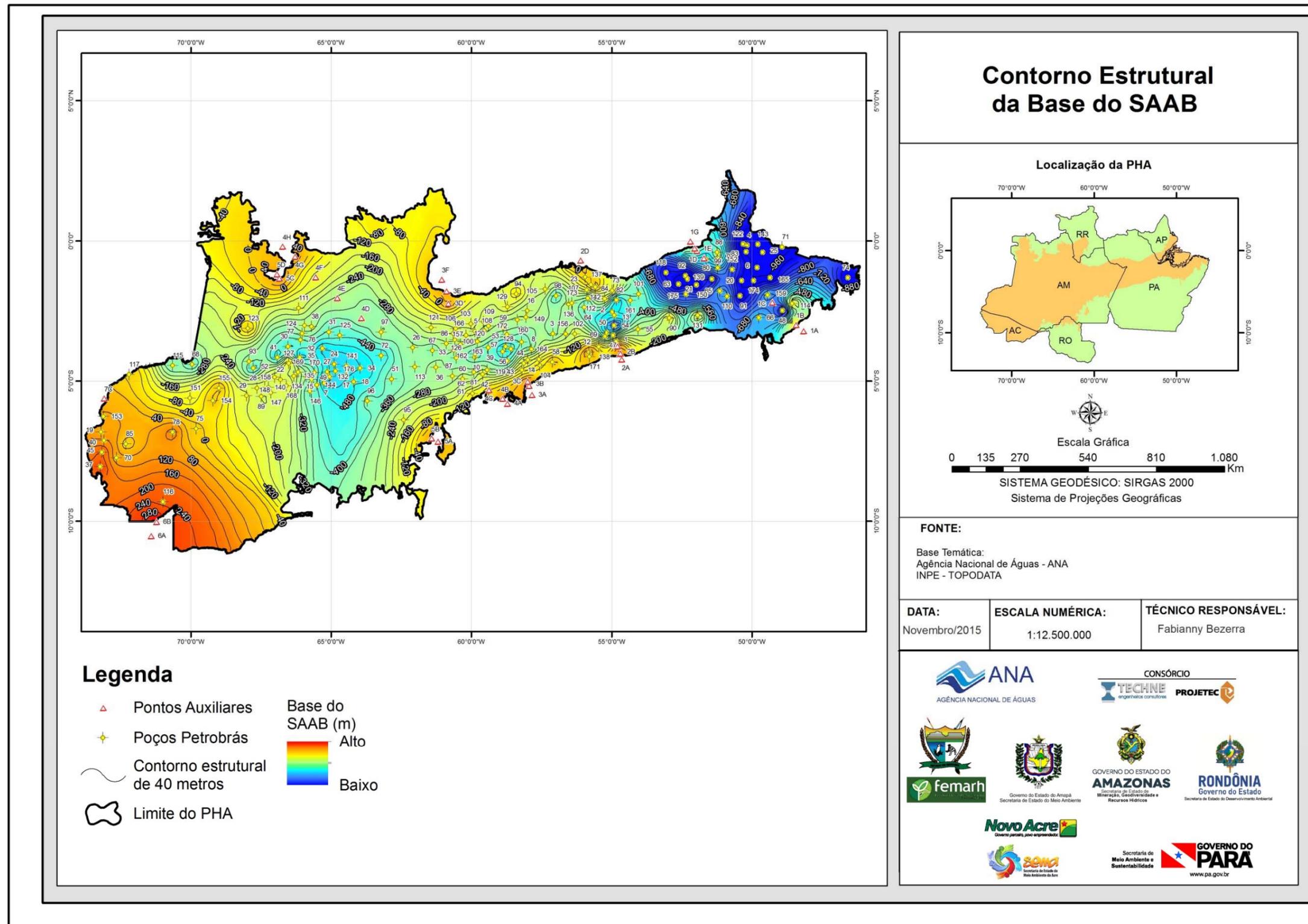


Figura 1.31 – Mapa Estrutural do Topo do SAAB.



1.3 – Execução de Testes de Bombeamento

A realização de testes de bombeamento ou mais adequadamente denominados de testes de aquífero tem por objetivo fundamental a obtenção dos valores dos coeficientes de transmissividade, de condutividade hidráulica e de armazenamento, parâmetros hidrodinâmicos de fundamental importância para posterior avaliação das reservas hídricas acumuladas no aquífero.

Esses testes devem ser realizados por pessoal técnico que possua amplo conhecimento hidrogeológico, pois de um teste bem executado podem resultar valores confiáveis na sua interpretação, uma vez que durante a realização do trabalho de campo é comum a ocorrência de problemas que o leigo não tem condições de resolver a contento.

Foi com esse espírito e essa preocupação que os testes de aquífero na região amazônica, objeto do presente trabalho, foram executados no campo por toda a equipe técnica sênior alocada ao projeto, visando obter os melhores resultados possíveis.

Os testes de bombeamento, numa classificação mais ampla, podem ser divididos em: testes de aquífero e testes de produção.

Os testes de aquífero consistem no bombeamento de um poço com uma vazão constante (ou estabilizada ao longo do teste) e, sempre que possível, no acompanhamento da evolução dos rebaixamentos produzidos em um ou mais poços de observação. Quando inexitem poços de observação ou piezômetros, o coeficiente de armazenamento pode ser avaliado de forma aproximada, supondo que o raio do poço é infinitamente pequeno. Com essa hipótese o armazenamento no poço se torna desprezível e o armazenamento do aquífero pode ser estimado nas proximidades imediatas do poço a uma distância de 1 m ou, se não forem obtidos valores consistentes dentro da faixa esperada para o tipo de aquífero, a uma distância de até 10 m. Isto para permitir o uso dos dados do poço bombeado como se fossem de um poço de observação a essa distância.

No âmbito do projeto ANA-PHA foi possível utilizar poços de observação em apenas 3 (três) dos poços testados, ou seja, em apenas 10% dos poços testados. Os poços nas cercanias dos escolhidos para teste ou ficavam a distâncias inadequadas para reagir ao bombeamento do poço testado ou, em vários outros casos, não se conseguia a autorização do seu proprietário para a sua paralisação durante as 24 horas do teste além das 12 horas que antecederiam a sua execução.

Os testes de produção, quando escalonados, consistem na realização de um bombeamento de múltiplas etapas com registro da evolução dos rebaixamentos no próprio poço bombeado, visando determinar as perdas de carga totais, lineares e não lineares, que ocorrem dentro do poço. O somatório de todas as perdas de cargas existentes corresponde ao rebaixamento total que ocorre no poço.

As perdas lineares são perdas no aquífero antes de alcançar o pré-filtro, ou em outras palavras, perdas fora do poço e perdas devidas à penetração parcial. Efeitos da penetração parcial ocorrem no aquífero até uma distância aproximada de 1,5 vezes a espessura do mesmo e são diretamente proporcionais à vazão de bombeamento; as não lineares (perdas turbulentas geradas pela energia cinética durante a entrada horizontal de água no poço através do pré-filtro e do

filtro e perdas dentro do poço produzidas pela ascensão vertical da água até a bomba), são diretamente proporcionais ao quadrado da vazão.

Os parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos variam muito de um local para outro em função da variação de espessura, heterogeneidade e anisotropia dos sistemas aquíferos. Nos testes realizados as medidas de nível dinâmico foram executadas com uma sonda elétrica sonora e a medição de vazão através de método volumétrico.

Como previsto nos TDRs, foram realizados 30 (trinta) ensaios de bombeamento em poços distribuídos pelos aquíferos e locais seguintes:

1. **Aquífero Alter do Chão** (o mais importante da região) – 8 testes, sendo dois com poço de observação, realizados nas cidades de Almeirim - PA (2), Santarém - PA (2) e Manaus - AM (4);
2. **Aquífero Içá** – 8 testes, sendo um com poço de observação, realizados nas cidades de Coari – AM (2), Eurinepé – AM (1), Lábrea AM (2), Fonte Boa – AM (2), Barcelos - AM (1);
3. **Aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul)** – 2 testes na cidade de Cruzeiro do Sul – AC;
4. **Sistema Aquífero Barreiras-Pirabas** – 4 testes, todos na cidade de Belém - PA;
5. **Aquífero Tucunaré** – 2 testes na cidade de Macapá - AP;
6. **Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho** – 2 testes na cidade de Porto Velho – RO;
7. **Aquífero Rio Branco** – 2 testes na cidade de Rio Branco - AC;
8. **Aquífero Aluvial** – 2 testes na cidade de Tabatinga – AM.

Na **tabela 1.17** são mostradas as características dos 30 testes realizados, com indicação das cidades nas quais eles foram realizados, dos níveis estáticos e dinâmicos, bem como da vazão, da vazão específica e da espessura saturada.

Ressalta-se que a programação de testes levou em conta na distribuição nos diversos aquíferos, a importância que cada um exerce no contexto hidrogeológico regional. Com efeito, os quatro principais e mais extensos aquíferos da PHA são o Alter do Chão (bacia do Amazonas), o Tucunaré (bacia do Marajó) e o Içá (bacia do Solimões), além do aquífero Aluvial, presente em todas as bacias, enquanto os demais ocorrem em áreas mais restritas e/ou com importância secundária devido à sua reduzida potencialidade.

Tabela 1.17 – Características dos 30 testes de bombeamento realizados no âmbito do Projeto ANA-PHA.

Teste	Poço	Cidade	UF	Prof.* (m)	NE (m)	ND (m)	Q (m ³ /h)	Qsp (m ³ /h/m)	ho(m)
1	Matinha 2	Almeirim	PA	22	3,85	5,67	10	5,49	18
	Matinha 1 (Obs)	Almeirim	PA	-	-	-	-	-	-
2	Matinha 1	Almeirim	PA	20	4,27	9,47	20	3,85	16
	Matinha 2 (Obs)	Almeirim	PA	-	-	-	-	-	-
3	T.R. Ville	Almeirim	PA	186	25,87	36,89	19,63	1,78	160
4	A.M. Jutai	Almeirim	PA	85	46,81	48,25	9,41	6,53	38
5	São José	Manaus	AM	100	48,35	63,55	35	2,30	52
6	Nova Floresta	Manaus	AM	90	23,42	56,59	42	1,27	67
7	Novo Israel	Manaus	AM	120	23,2	78,35	58	1,05	97
8	Cidade de Deus	Manaus	AM	204	136,43	161,2	9,62	0,39	68
9	Portobras	Tabatinga	AM	32	9,74	11,74	1,2	0,60	22
10	Brilhante	Tabatinga	AM	24	8,85	9,59	1,29	1,74	15
11	CZS DEPASA	Cruzeiro do Sul	AC	120	59,21	67,25	54,55	6,78	61
	Teatro Nava	Cruzeiro do Sul	AC	-	-	-	-	-	-
12	DEPASA 2	Cruzeiro do Sul	AC	130	52,17	56,37	35	8,33	78
13	Escola Pública	Porto Velho	RO	80	12,66	12,94	1,9	6,79	67
14	Cuniã	Porto Velho	RO	80	2,86	23,09	2	0,10	77
15	ETA Lábrea	Lábrea	AM	80	8,73	24,7	33,95	2,13	71
16	Centro Lábrea	Lábrea	AM	80	5,75	14,8	15,16	1,68	74
17	EIR Fátima	Eirunepé	AM	60	6,58	8,65	25,72	12,43	53
18	CRI06 União	Coari	AM	58	12,95	19,03	11,88	1,95	45
19	CRI07 União 2	Coari	AM	52	11,27	12,2	20,03	21,54	41
20	FB06 Centro	Fonte Boa	AM	60	14,37	42,23	24	0,86	46
21	FB07 Centro	Fonte Boa	AM	60	10,79	25,68	48	3,22	49
22	BAR C.Turístico	Barcelos	AM	42	7,29	11,4	20,57	5,00	35
23	Bombeiros	Rio Branco	AC	50	2,76	3,5	1,52	2,05	47
24	Belo Jardim	Rio Branco	AC	50	4,76	4,95	0,63	3,32	45
25	BEL Infraero	Belém	PA	160	14,47	25,11	27	2,54	146
26	UFPA	Belém	PA	250	8,3	39,64	60	1,91	242
27	CERPA	Belém	PA	304	22,4	33,56	295,8	26,51	282
28	BEL COSANPA	Belém	PA	270	36,13	44,7	185	21,59	234
29	CAESA 1	Macapá	AP	160	11,44	20,92	75	7,91	149
30	CAESA 2	Macapá	AP	158	13,26	22,34	240	26,43	145

*Prof. = Profundidade do poço; NE= Nível estático; ND = Nível dinâmico; Q = Vazão; Qsp = Vazão específica; ho = Espessura saturada.

1.4 – Interpretação dos Testes de Bombeamento

Considerações sobre a Condutividade Hidráulica dos Aquíferos

Para auxiliar na compreensão do significado dos valores de condutividade hidráulica determinados nos testes de aquífero realizados e também dos valores conhecidos da literatura e apresentados neste relatório, a **tabela 1.18** (Fetter, 1994) indica a natureza litológica dos materiais geológicos esperados, de acordo com a magnitude dos valores desse parâmetro.

Tabela 1.18 – Faixa de valores de condutividade hidráulica em depósitos inconsolidados de natureza análoga à dos aquíferos granulares da Amazônia em m/s e m/dia (Adaptado de Fetter, 1994).

Depósitos Inconsolidados	Condutividade Hidráulica	
	m/s	m/dia
Cascalho	10^{-4} a 10^{-2}	$8,6 \times 10^0$ a $8,6 \times 10^2$
Areias bem selecionadas	10^{-5} a 10^{-3}	$8,6 \times 10^{-1}$ a $8,6 \times 10^1$
Areias siltsosas, areias finas	10^{-7} a 10^{-5}	$8,6 \times 10^{-3}$ a $8,6 \times 10^{-1}$
Siltes, areias siltsosas, areias argilosas	10^{-8} a 10^{-6}	$8,6 \times 10^{-4}$ a $8,6 \times 10^{-2}$
Argilas	10^{-11} a 10^{-8}	$8,6 \times 10^{-7}$ a $8,6 \times 10^{-4}$

Dois métodos foram utilizados na interpretação dos testes de bombeamento realizados:

- O primeiro foi o semilogarítmico de Cooper & Jacob (1946) previsto para **aquífero confinado**, homogêneo e isotrópico, com fluxo radial circular horizontal para o poço;
- O segundo é o método de Neuman (1975), previsto para **aquífero livre**, homogêneo e anisotrópico nos testes em que foram observados efeitos de fluxo vertical produzido por drenagem gravitacional retardada. Em tais casos a reta logarítmica transiente tende a desviar-se para cima depois que cessa o efeito dessa drenagem, como ilustrado na **figura 1.33**. Esse método foi aplicado nos estudos hidrogeológicos na escala 1:50.000 das 5 (cinco) cidades piloto: Macapá (Volume V); Porto Velho (Volume VI); Rio Branco (Volume VII); Santarém (Volume VIII) e Tabatinga (Volume IX), nas quais foi necessário conhecer a porosidade efetiva para fins de avaliação da recarga potencial direta (RPD) usando as variações sazonais do nível freático.

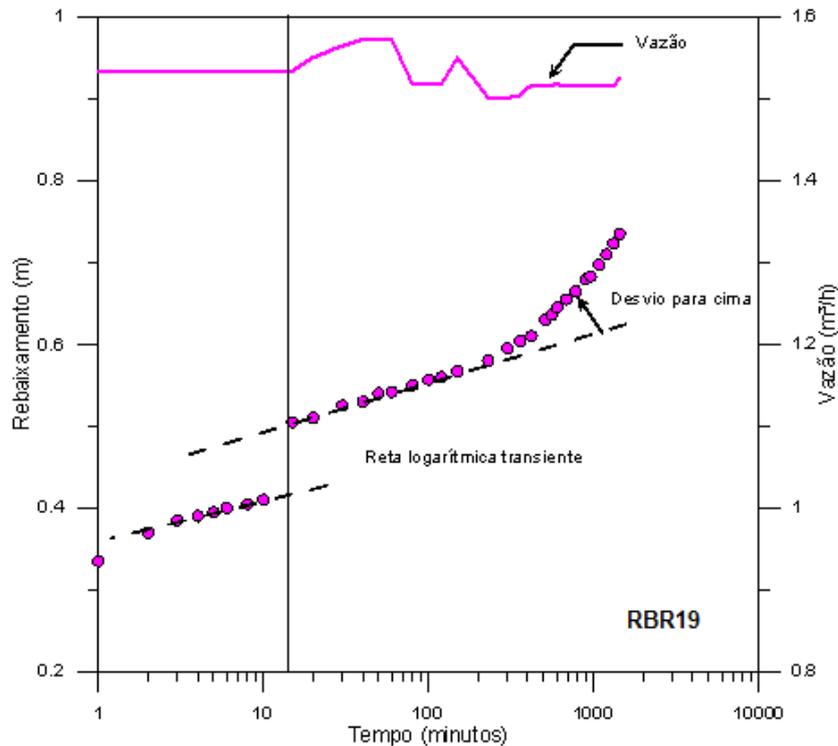


Figura 1.33 – Curvas de rebaixamento x tempo e Vazão x tempo no teste do poço RBR19 realizado no aquífero Rio Branco, na cidade de Rio Branco – AC. (Volume VIII).

Método Semilogarítmico de Cooper & Jacob (1946)

Como os testes de bombeamento foram essencialmente de produção, conforme especificado nos TDRs, o procedimento preferencial de análise empregado foi o método aproximativo de Jacob (forma aproximada da **equação 1.1** de Theis), segundo Manoel Filho (2007), que o aplicou usando o *software Grapher*. No presente trabalho, o referido método é a seguir descrito, e a sua aplicação feita através de planilha *Excel*.

Equação do rebaixamento: $s = \frac{Q}{4\pi T} W(u)$ sendo $u = \frac{r^2 S}{4Tt}$ (1.1)

Parâmetros:

$$T = \frac{Q}{4\pi s} W(u) \quad (1.1a)$$

$$S = \frac{4Ttu}{r^2} \quad (1.1b)$$

Cooper & Jacob (1946) mostraram que para valores de $u < 0,01$ ou $1/u > 100$, a função do poço $W(u) = -0,5772 - \ln(u)$. Esta é a chamada aproximação logarítmica da função de Theis, ilustrada na **figura 1.34**.

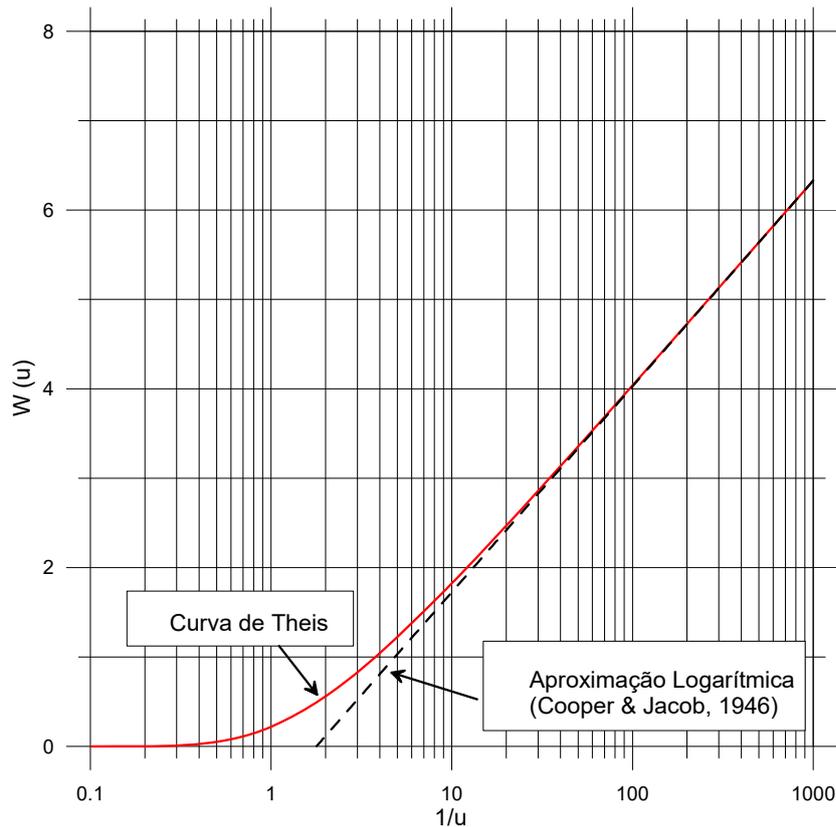


Figura 1.34 – Ilustração gráfica da aproximação logarítmica da função $W(u)$ (Cooper & Jacob, 1946).

Substituindo a aproximação logarítmica na **equação (1.1)** obtém-se a **equação (1.2)** de Jacob.

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \ln\left(\frac{2,25Tt}{r^2 S}\right) \quad (1.2)$$

Essa equação pode ser escrita sob a forma:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \ln(t) + \frac{Q}{4\pi T} \ln\left(\frac{2,25T}{r^2 S}\right) \quad (1.3)$$

ou ainda sob a forma mais simples:

$$s = M \ln(t) + N \quad (1.4)$$

A declividade da reta logarítmica decimal (**equações 1.2 e 1.3**) é dada por:

$$M = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s_2 - s_1}{\ln t_2 - \ln t_1} = \frac{Q}{4\pi T} \quad (1.5)$$

Comparando então as **equações (1.3) e (1.4)**, tem-se:

$$M = \frac{Q}{4\pi T} \quad ; \quad N = \frac{Q}{4\pi T} \ln\left(\frac{2,25T}{r^2 S}\right) \quad (1.6)$$

Por outro lado, a **equação (1.2)** permite verificar que o rebaixamento $s = 0$ ocorre em um instante t_0 tal que:

$$\frac{2,25Tt_0}{r^2S} = 1 \quad \text{e portanto,} \quad S = \frac{2,25Tt_0}{r^2} \quad (1.7)$$

Como os valores dos parâmetros $M \left[\frac{m}{\text{min}} \right]$ e $N [m]$ são obtidos automaticamente no ajuste feito no computador, o valor de t_0 pode ser deduzido da **equação (1.3)**, expressa sob a forma:

$$0 = M \ln t_0 + N \quad \Rightarrow \quad M \ln t_0 = -N \quad \Rightarrow \quad t_0 = \exp\left(-\frac{N}{M}\right) \quad (1.8)$$

Esses resultados conduzem finalmente às seguintes equações e parâmetros:

Equação do rebaixamento: $s(t) = M \ln(t) + N$ (1.9)

Parâmetros: $M = \left[\frac{\Delta s}{2,303 \log(\Delta t)} \right] \Rightarrow \Delta s = 2,303M$

$$T = \frac{0,183Q}{\Delta s} \quad (1.10)$$

$$S = \frac{2,25 T \times 60 \times \exp\left(-\frac{N}{M}\right)}{r^2} \quad (1.11)$$

Nas **equações 1.1, 1.1a e 1.1b**, bem como nas **equações 1.2 a 1.11**, os significados dos símbolos utilizados são os seguintes:

- ✓ $s = s(r, t)$ = rebaixamento no ponto situado à distância r , do poço de bombeamento, no instante t após o início do bombeamento [L];
- ✓ Q = vazão bombeada do poço [L³/T];
- ✓ T = coeficiente de transmissividade do aquífero [L²/T];
- ✓ S = coeficiente de armazenamento do aquífero [];
- ✓ $W(u)$ = função do poço para aquífero confinado ou função de Theis;
- ✓ u = argumento da função do poço;
- ✓ M = coeficiente angular ou declividade da reta logarítmica decimal (**equação 1.4**);
- ✓ N = coeficiente linear ou ordenada na origem da reta logarítmica decimal (**equação 1.4**);
- ✓ $\Delta S = S_2 - S_1$ = variação do rebaixamento entre dois instantes, no intervalo de tempo $\Delta t = t_2 - t_1$;
- ✓ t_0 = tempo medido sobre o eixo das abscissas no ponto de rebaixamento $s = 0$.

Metodologia de execução

- Medir no poço bombeado a variação do rebaixamento com o tempo.
- Construir um gráfico monolog de rebaixamento versus tempo e nele efetuar um ajuste logarítmico, para obter a reta $s = M \ln(t) + N$ (**equação 1.9**).
- Calcular os parâmetros do aquífero, usando as **equações (1.10) e (1.11)**.

Em testes realizados sem poço de observação, o procedimento é aplicável ao poço bombeado supondo que o raio do mesmo é desprezível e calculando o coeficiente de armazenamento a uma distância $r = 1$ m (na ausência de perdas singulares e desde que os resultados obtidos se mantenham dentro das ordens de grandeza esperadas para o tipo de aquífero analisado).

Método de Neuman (1975)

Uma das premissas fundamentais dos modelos analíticos usados na interpretação de testes de bombeamento é a hipótese de fluxo radial circular, **horizontal**, do aquífero para o poço. Todavia, nos casos em que as curvas de rebaixamento x tempo exibem efeito significativo de **fluxo vertical** produzido por drenagem gravitacional retardada, um dos métodos que levam em conta esse efeito é o de Neuman, (1975), no qual o aquífero é interpretado como livre, homogêneo e anisotrópico. Em relação ao método de Cooper & Jacob (1946), como parâmetros adicionais de transporte e armazenamento podem ser avaliados a condutividade hidráulica vertical (K_v) e a porosidade efetiva (S_y).

Também nesse caso, incluindo a estimativa do coeficiente de armazenamento (S) para uma distância r igual à espessura do aquífero (por falta de poço de observação), a avaliação dos parâmetros hidráulicos foi feita usando-se o *software Grapher*, pelo método clássico de superposição envolvendo os seguintes passos:

- 1) Construção, em gráfico dilog, das famílias de curvas padrão de Neuman (Tipo A e Tipo B) de rebaixamento adimensional S_D em função dos tempos adimensionais t_s e t_y como descrito em Batu (1998), para uma faixa de valores práticos do fator de drenagem gravitacional β , como os usados nas **figuras 1.35a e 1.35b**;
- 2) Construção, em gráfico dilog, da curva de rebaixamento x tempo, com os dados medidos no campo, sobre o gráfico da família de curvas (Tipo A e Tipo B) padrão de Neuman;
- 3) Selecionar e arrastar o gráfico de campo sobre o gráfico das curvas padrão até encontrar a curva padrão dilog Tipo A, que melhor se ajusta ao trecho inicial da curva de campo;
- 4) Escolher um ponto arbitrário sobre os gráficos superpostos na posição em que se encontram, anotar o valor de β e fazer a leitura dos valores das coordenadas s e S_D nos eixos verticais e de t e t_s nos eixos horizontais;
- 5) Repetir os passos 3 e 4 arrastando sobre as curvas padrão Tipo B, o trecho final da curva de campo até obter o melhor ajuste e sobre o ponto arbitrário escolhido anotar o valor de β e os valores das coordenadas s e S_D nos eixos verticais das coordenadas t e t_y nos eixos horizontais;
- 6) Com os valores conhecidos de Q , s e S_D calcular a transmissividade do aquífero usando a **equação (1.12)**:

$$T = \frac{Q S_D}{4\pi s} \quad (1.12)$$

7) Usando a transmissividade e a espessura do aquífero, calcular a condutividade hidráulica horizontal usando a **equação (1.13)**:

$$K_h = \frac{T}{b} \quad (1.13)$$

8) Avaliar o grau de anisotropia a partir da **equação (1.14)**:

$$K_D = \frac{K_v}{K_h} = \beta \left(\frac{b}{r} \right)^2 \quad (1.14)$$

9) Avaliar a condutividade hidráulica vertical usando a **equação (1.15)**:

$$K_v = K_D \times K_h \quad (1.15)$$

10) Avaliar o coeficiente de armazenamento através da **equação (1.16)**:

$$S = \frac{Tt}{t_s r^2} \quad (1.16)$$

11) Avaliar a porosidade efetiva por meio da **equação (1.17)**:

$$S_y = \frac{Tt}{t_y r^2} \quad (1.17)$$

Nas **equações 1.12 a 1.17**, os significados dos símbolos utilizados são:

S_D = rebaixamento adimensional [];

K_h = condutividade hidráulica horizontal [L/T];

K_v = condutividade hidráulica vertical [L/T];

b = espessura do aquífero [L];

K_D = grau de anisotropia do aquífero [];

β = fator de drenagem retardada [];

t_s e t_y = parâmetros temporais adimensionais para tempos curtos e tempos longos, respectivamente [];

S_y = porosidade efetiva ou coeficiente de armazenamento do aquífero livre [].

No **anexo 4.1** são encontradas, para cada teste, as planilhas de dados de rebaixamento e recuperação, os gráficos e os parâmetros hidráulicos obtidos pelo método de Cooper & Jacob (1946) e de Neuman (1975) para as cidades pilotos. No **anexo 4.2** são mostrados os gráficos da interpretação de todos os testes pelo método de Neuman (1975).

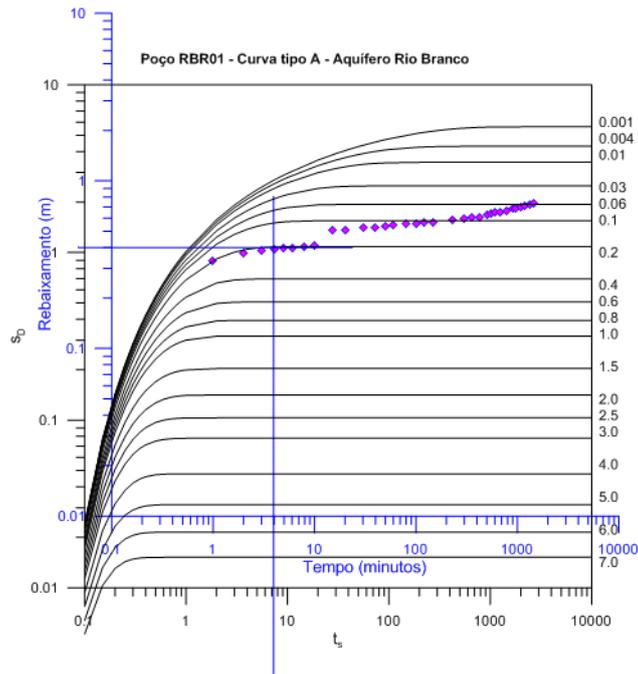


Figura 1.35a – Família de curvas padrão Tipo A de Neuman (1975) para tempos curtos, mostrando (com o exemplo do teste do ponto RBR01 ajustado na curva $\beta = 0,2$) que o rebaixamento não estabiliza, mas se desvia para tempos longos (quando cessa o efeito da drenagem gravitacional) e tende para a curva de Theis. (Volume VIII).

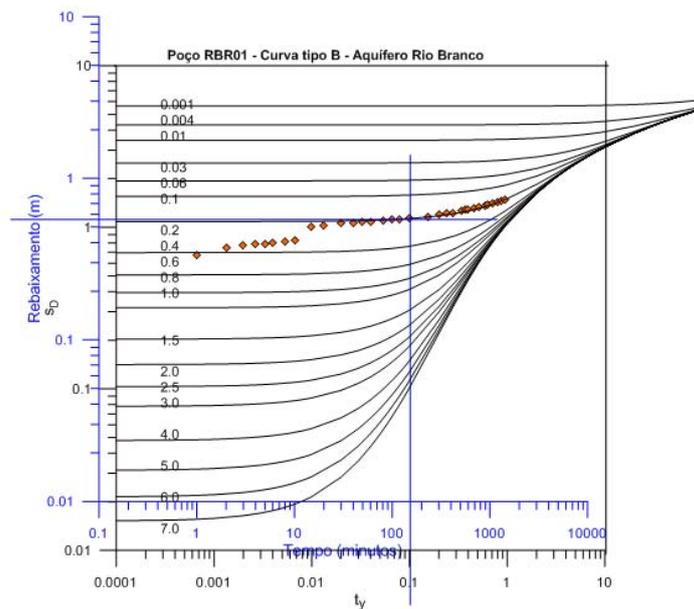


Figura 1.35b – Família de curvas padrão Tipo B de Neuman (1975) para tempos longos, mostrando (com o exemplo do teste do poço RBR01 ajustado na curva $\beta = 0,2$) que o rebaixamento não estabiliza, mas se desvia para tempos longos (quando cessa o efeito da drenagem gravitacional) e tende para a curva de Theis. (Volume VIII).

1.5 – Parâmetros Hidráulicos Obtidos

As propriedades hidráulicas avaliadas através da interpretação dos testes realizados pelo método de Cooper & Jacob (1946) são apresentadas, por aquífero, na **tabela 1.19**, enquanto que na **tabela 1.20** são apresentados os parâmetros avaliados pelo método de Neuman (1975) seguindo-se a análise dos resultados.

Na **figura 1.36** apresenta-se um mapa geológico da Província Hidrogeológica Amazonas com a localização das cidades onde foram realizados testes de bombeamento no âmbito do projeto ANA-PHA.

Discussão sobre o uso de dois métodos

O **Método de Cooper & Jacob (1946)** é um procedimento clássico válido para **aquífero confinado**, homogêneo, isotrópico com fluxo horizontal, muitas vezes também usado para aquífero livre. Considerando que praticamente todos os parâmetros hidráulicos constantes da literatura citada foram avaliados por esse método, decidiu-se inicialmente também utilizá-lo no Projeto ANA-PHA, uma vez que a maioria dos testes foi realizada sem poços de observação e porque isto permitiria comparar os resultados com os da literatura.

O **Método de Neuman (1975)** se aplica a **aquífero livre**, homogêneo, anisotrópico, com fluxo horizontal e que leva em conta a ocorrência de fluxo vertical produzido por drenagem gravitacional.

Dos 30 (trinta) testes realizados existem 18 (dezoito) onde as condições hidráulicas predominantes são de aquífero livre, de modo que a análise realizada por ambos os métodos tende a fornecer resultados mais consistentes pelo método de Neuman (1975). Os 12 (doze) testes restantes revelam condições hidráulicas que podem variar, em 10 (dez) testes, de semilivres a semiconfinadas (em Almeirim, Manaus e Belém), casos em que ambos os métodos podem fornecer resultados aproximados um pouco mais confiáveis pelo método de Neuman (1975). Nos 2 (dois) testes restantes foram evidenciadas condições hidráulicas plenamente confinadas no poço bombeado no aquífero Içá, no Centro de Lábrea (**anexo 4.2.16**), e no poço de observação a 430 m de distância, no Teatro na cidade de Cruzeiro do Sul (**anexo 4.2.11a**), este somente interpretável pelo método de Cooper & Jacob (1946) que nada mais é do que uma aproximação do clássico método de Theis.

Tabela 1.19 – Parâmetros hidráulicos obtidos pelo método de Cooper & Jacob (1946) nos testes de aquífero realizados na Província Hidrogeológica Amazonas no Brasil – PHA.

Teste	Cidade	UF	Local	Longitude Decimal	Latitude Decimal	Aquífero	T(m ² /dia)	K (m/dia)	S (adm)	Espessura do aquífero (m)
1	Almeirim	PA	Matinha 1	-52,57879	-1,522436	Alter do Chão	235,9	9,2	3,51E-03	26
	Almeirim	PA	Matinha.2 (piez.)	-52,57898	-1,521547	Alter do Chão	1555,2	59,9	1,24E-02	26
2	Almeirim	PA	Matinha.2	-52,57898	-1,521547	Alter do Chão	116,6	4,5	4,17E-04	26
	Almeirim	PA	Matinha.1 (piez.)	-52,57879	-1,522436	Alter do Chão	889,9	34,6	9,04E-03	26
3	Santarém	PA	T.R.Ville	-54,83815	-2,432776	Alter do Chão	48,9	0,2	5,48E-04	273
4	Santarém	PA	Ass.Moradores	-54,68905	-2,463932	Alter do Chão	304,1	1,2	7,30E-03	253
5	Manaus	AM	São José	-59,95396	-3,058964	Alter do Chão	64,4	0,3	1,83E-03	252
6	Manaus	AM	Nova Floresta	-59,93029	-3,049197	Alter do Chão	78,5	0,3	2,39E-03	277
7	Manaus	AM	Novo Israel	-60,02667	-3,028764	Alter do Chão	38,9	0,1	1,34E-03	276
8	Manaus	AM	Cidade de Deus	-59,94568	-3,025558	Alter do Chão	43,6	0,3	1,16E-03	163
9	Tabatinga	AM	Portobras	-69,94336	-4,235028	Aluvial	57,1	2,8	1,60E-03	20
10	Tabatinga	AM	Brilhante	-69,94092	-4,240389	Aluvial	148,6	7,0	5,65E-03	21
11	Cruzeiro do Sul	AC	DEPASA	-72,67819	-7,631939	Inominado (Cruzeiro do Sul)	298,1	0,1	7,28E-03	241
	Cruzeiro do Sul	AC	Teatro (piez.)	-72,6806	-7,629069	Inominado (Cruzeiro do Sul)	87,3	0,4	2,28E-04	243
12	Cruzeiro do Sul	AC	DEPASA.2	-72,66127	-7,628675	Inominado (Cruzeiro do Sul)	159,8	0,6	2,04E-03	248
13	Porto Velho	RD	Escola Pública	-63,87599	-8,757297	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	197,0	2,9	4,66E-03	67
14	Porto Velho	RD	Cuniã	-63,85835	-8,756711	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	4,8	0,1	2,14E-04	77
15	Lábrea	AM	ETA	-64,78503	-7,256203	lçá	221,2	1,2	1,10E-03	191
16	Lábrea	AM	Centro	-64,78457	-7,249749	lçá	63,6	0,2	2,20E-03	288
17	Eurinepé	AM	Fátima	-69,87106	-6,659417	lçá	1175,0	4,0	3,12E-02	294
18	Coari	AM	União	-63,14911	-4,098778	lçá	144,3	0,8	4,61E-03	187
19	Coari	AM	União.2	-63,14836	-4,098139	lçá	493,3	2,6	7,78E-03	189
20	Fonte Boa	AM	Centro	-66,10256	-2,515056	lçá	165,9	0,9	3,59E-03	185
21	Fonte Boa	AM	Centro	-66,09742	-2,51625	lçá	211,7	1,1	2,65E-03	188
22	Barcelos	AM	C.Turístico	-62,92222	-0,98	lçá	1641,6	8,5	7,56E-02	193
23	Rio Branco	AC	Bombeiros	-67,80557	-10,01079	Rio Branco	73,1	1,5	1,68E-04	47
24	Rio Branco	AC	Belo Jardim	-67,78519	-10,01067	Rio Branco	277,3	6,1	8,71E-03	45
25	Belém	PA	Infraero	-42,48092	-1,388778	Sistema Barreiras-Pirabas	118,4	0,4	2,86E-03	286
26	Belém	PA	UFPA	-48,45061	-1,474694	Sistema Barreiras-Pirabas	610,0	2,1	1,55E-02	292
27	Belém	PA	CERPA	-48,47953	-1,367806	Sistema Barreiras-Pirabas	1468,8	5,2	4,20E-04	282
28	Belém	PA	COSANPA	-48,40908	-1,369361	Sistema Barreiras-Pirabas	1010,9	3,8	2,61E-02	263
29	Macapá	AM	CAESA.1	-51,05439	-0,032833	Tucunaré	1157,8	6,1	2,17E-02	188
30	Macapá	AM	Congós	-51,07671	-0,045	Tucunaré	2237,8	12,0	4,22E-02	186

*T = transmissividade; K = condutividade hidráulica; S = coeficiente de armazenamento.

Tabela 1.20 – Parâmetros hidráulicos obtidos pelo método de Neuman (1975) nos testes de aquífero realizados na Província Hidrogeológica Amazonas no Brasil – PHA.

Teste	Cidade	UF	Local	Latitude decimal	Longitude decimal	Aquífero	β	T (m ² /dia)	ho (m)	Kh (m/dia)	Kv (m/dia)	S	Sy	KD
1	Almeirim	PA	Matinha 2	-52,57879	-1,52244	Alter do Chão	0,001	57,28	18	3,18	-	1,24E-05	-	-
	Almeirim	PA	Matinha 1 (Obs)	-52,57898	-1,52155	Alter do Chão	0,004	486,01	15	32,4	-	1,08E-03	-	-
2	Almeirim	PA	Matinha 1	-52,57898	-1,52155	Alter do Chão	0,001	40,8	15	2,72	-	3,54E-06	-	-
	Almeirim	PA	Matinha 2 (Obs)	-52,57879	-1,52244	Alter do Chão	0,004	1957,04	18	108,72	-	2,55E-03	-	-
3	Santarém	PA	T.R. Ville	-54,83815	-2,43278	Alter do Chão	0,004	37,24	136	0,27	0,2	2,92E-04	0,16	0,74
4	Santarém	PA	A.M. Jutai	-54,68905	-2,46393	Alter do Chão	0,004	52,43	38	1,38	0,08	8,00E-05	0,1	0,06
5	Manaus	AM	São José	-59,95396	-3,05896	Alter do Chão	0,0001	41,34	52	0,79	-	1,44E-05	-	-
6	Manaus	AM	Nova Floresta	-59,93029	-3,0492	Alter do Chão	0,004	10,28	66	0,16	-	6,76E-05	-	-
7	Manaus	AM	Novo Israel	-60,02667	-3,02876	Alter do Chão	0,001	16,59	97	0,17	-	3,84E-06	-	-
8	Manaus	AM	Cidade de Deus	-59,94568	-3,02556	Alter do Chão	0,0001	3,69	67	0,06	-	1,54E-04	-	-
9	Tabatinga	AM	Portobras	-69,94336	-4,23503	Aluvial	0,1	6	15	0,75	0,17	-	0,05	0,225
10	Tabatinga	AM	Brilhante	-69,94092	-4,24039	Aluvial	0,1	6,15	15	0,77	0,17	-	0,2	0,225
11	Cruzeiro do Sul	AC	DEPASA	-72,67819	-7,63194	Inominado (Cruzeiro do Sul)	0,004	57,04	60	0,95	0,01	1,37E-06	0,002	0,006
11a	Cruzeiro do Sul	AC	Teatro (Obs)	-72,6806	-7,62907	Inominado (Cruzeiro do Sul)		688,61	60	11,48	-	1,44E-05	-	-
12	Cruzeiro do Sul	AC	DEPASA 2	-72,66127	-7,62868	Inominado (Cruzeiro do Sul)	0,01	81,54	78	0,94	0,03	4,54E-04	0,01	0,026
13	Porto Velho	RO	Escola Pública	-63,87599	-8,7573	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	0,2	18,7	20	0,94	0,75	6,90E-05	0,13	0,8

β = Fator de drenagem gravitacional; T = Transmissividade; ho = Espessura do aquífero; Kh = Condutividade hidráulica horizontal; Kv = Condutividade hidráulica vertical; S = Coeficiente de armazenamento; Sy = Porosidade efetiva; KD = Grau de anisotropia.

Tabela 1.20 – Parâmetros hidráulicos obtidos pelo método de Neuman (1975) nos testes de aquífero realizados na Província Hidrogeológica Amazonas no Brasil – PHA (continuação).

Teste	Cidade	UF	Local	Latitude decimal	Longitude decimal	Aquífero	β	T (m ² /dia)	ho (m)	Kh (m/dia)	Kv (m/dia)	S	Sy	KD
14	Porto Velho	RO	Cuniã	-63,85835	-8,75671	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	0,2	2,9	20	0,12	0,1	1,70E-04	0,15	0,8
15	Lábrea	AM	ETA	-64,78503	-7,2562	lçá	0,004	15,02	71	0,21	-	-	-	-
16	Lábrea	AM	Centro	-64,78457	-7,24975	lçá	0	28,95	74	0,39	-	-	-	-
17	Eirunepé	AM	Fátima	-69,87106	-6,65942	lçá	0,01	87,84	53	1,66	0,47	2,60E-05	0,24	0,28
18	Coari	AM	União	-63,14911	-4,09878	lçá	-	14,41	36	0,4	0,21	4,21E-05	0,11	0,52
19	Coari	AM	União 2	-63,14836	-4,09814	lçá	-	178,15	36	4,95	0,64	1,11E-04	0,27	0,13
20	Fonte Boa	AM	6 Centro	-66,10256	-2,51506	lçá	-	2,75	24	0,11	0,06	2,65E-05	0,1	0,58
21	Fonte Boa	AM	7 Centro	-66,09742	-2,51625	lçá	-	10,95	106	0,26	0,15	9,87E-05	0,21	0,58
22	Barcelos	AM	C. Turístico	-62,92222	-0,98	lçá	-	17,18	36	0,09	0,01	1,26E-04	0,14	0,14
23	Rio Branco	AC	Bombeiros	-67,80557	-10,01079	Rio Branco	0,2	7,92	10	0,78	0,16	3,45E-05	0,08	0,2
24	Rio Branco	AC	Belo Jardim	-67,78519	-10,01067	Rio Branco	0,2	9,78	10	0,98	0,2	3,05E-05	0,17	0,2
25	Belém	PA	Infraero	-42,48092	-1,38878	Sistema Barreiras-Pirabas	0,004	106,20	48	2,21	0,20	7,95E-04	0,11	0,092
26	Belém	PA	UFPA	-48,45061	-1,47469	Sistema Barreiras-Pirabas	0,010	609,75	48	12,70	2,93	8,05E-04	-	0,230
27	Belém	PA	CERPA	-48,47953	-1,36781	Sistema Barreiras-Pirabas	0,010	184,53	48	3,84	0,89	6,78E-04	-	0,230
28	Belém	PA	COSANPA	-48,40908	-1,36936	Sistema Barreiras-Pirabas	0,004	618,14	48	12,88	1,19	2,36E-04	-	0,092
29	Macapá	AP	CAESA 1	-51,05439	-0,03283	Tucunaré	0,004	69,1	24	2,9	0,01	-	0,08	0,004
30	Macapá	AP	CAESA 2	-51,07671	-0,045	Tucunaré	0,004	220,3	24	9,2	0,04	-	0,11	0,004
Média dos 30 testes pelo método de Neuman							-	174,1	45,0	6,6	0,4	2,95E-04	0,13	0,3

β = Fator de drenagem gravitacional; T = Transmissividade; ho = Espessura do aquífero; Kh = Condutividade hidráulica horizontal; Kv = Condutividade hidráulica vertical; S = Coeficiente de armazenamento; Sy = Porosidade efetiva; KD = Grau de anisotropia.

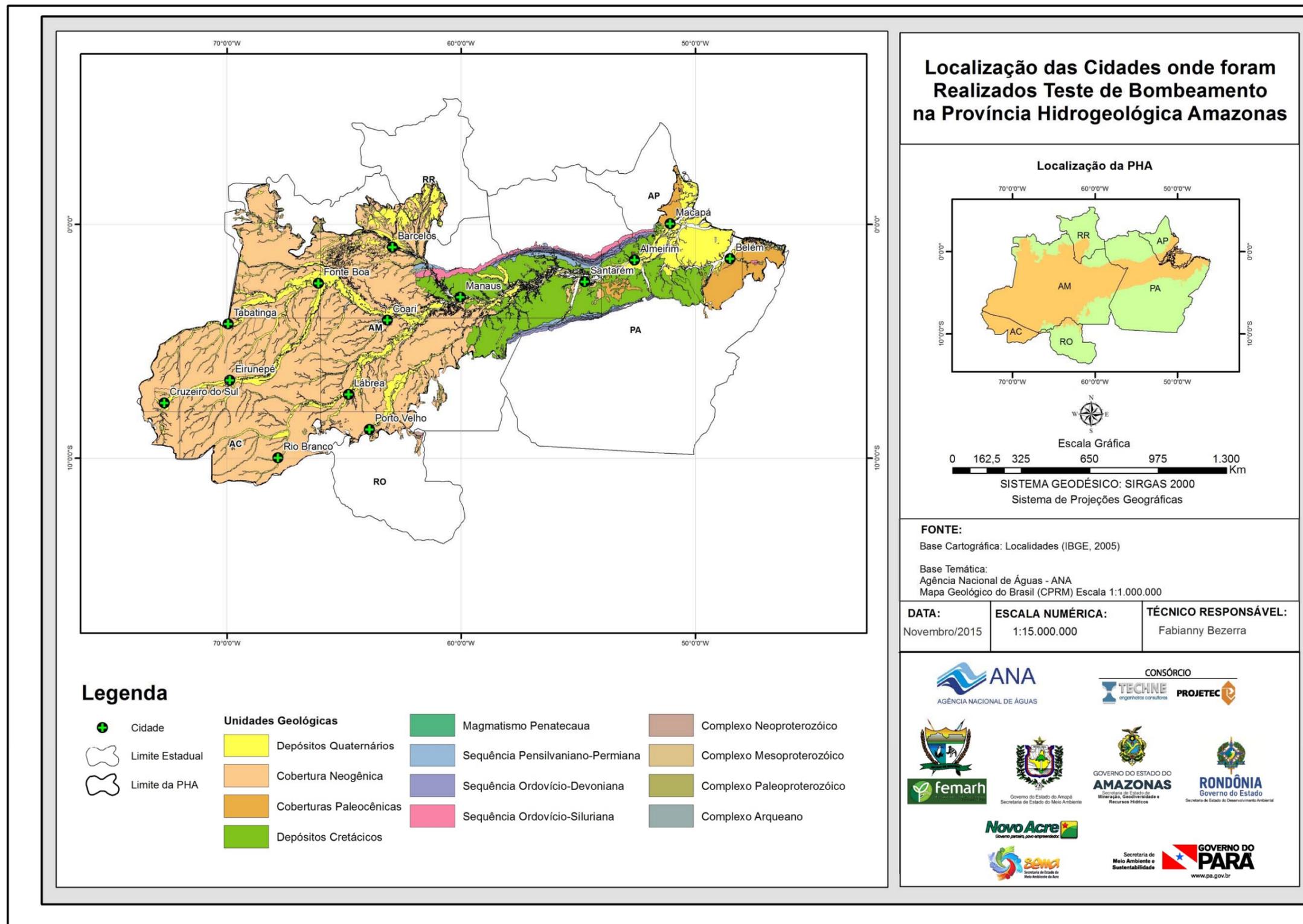


Figura 1.36 – Mapa geológico da Província Hidrogeológica Amazonas com localização das cidades onde foram realizados testes de bombeamento.

1.5.1 – Aquífero Alter do Chão

Os estratos geológicos que constituem a Formação Alter do Chão apresentam predominância de rochas clásticas arenosas nas quais ocorrem intercalações de argilitos e argilas de coloração variada, em geral amarela ou vermelha, e também lilás, creme, branca (caulínicas) e cinza (com matéria orgânica), às vezes compactas. Siltitos e siltes, porções argilo-arenosas e areno-argilosas, de coloração semelhante às argilas, formam aquíferos. Os aquíferos são constituídos por arenitos e areias de granulometria fina à grossa, além de cascalhos. A fração arenosa apresenta-se, muitas vezes, bem selecionada, com grãos bem arredondados, subarredondados a angulosos; a coloração é creme, amarela, marrom, transparente, rosa ou lilás. Os seixos são de coloração creme, branco leitoso e transparente, com diâmetro de até 2 cm, imersos em matriz arenosa. Essas rochas clásticas, que constituem os aquíferos, apresentam-se inconsolidadas ou pouco consolidadas e são de composição predominantemente quartzosa (Oliveira & Pastana, 1999).

Na região de Santarém, o Aquífero Alter do Chão é aflorante e está representado por sua porção superior constituída por uma sequência predominantemente arenosa, contendo intercalações argilosas. Os arenitos são finos a grossos, localmente conglomeráticos, esbranquiçados a avermelhados, friáveis, caulínicos, apresentando intercalações de argilas avermelhadas a mosqueadas (Oliveira & Pastana, 1999). Na verdade, não é apenas a porção superior, mas todo o pacote Aquífero Alter do Chão-Jazida da Fazendinha que é constituído de arenitos com intercalações argilosas. Neste sentido, como pode ser visto no **anexo 4.5**, o percentual de camadas arenosas no pacote Alter do Chão-Jazida da Fazendinha varia de 31,1 a 98,4%, o que sugere haver entre 1,6 e 68,9% de camadas argilosas neste pacote aquífero.

Com base nos testes de aquíferos realizados no Aquífero Alter do Chão em Santarém, de 5 (cinco) poços tubulares profundos da COSANPA, até a profundidade de 150 metros, revelaram os valores médios para os parâmetros hidrodinâmicos (Oliveira & Pastana, 1999):

- Transmissividade (T) = $3,77 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$;
- Condutividade hidráulica (K) = $7,64 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$;
- Coeficiente de Armazenamento (S) = $4,10 \cdot 10^{-4}$.

Tancredi (1996), com base nos testes de aquíferos realizados no Aquífero Alter do Chão em Santarém, de 16 (dezesseis) poços tubulares profundos obteve para os principais parâmetros hidrodinâmicos os valores médios de:

- Transmissividade (T) = $3,33 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$;
- Condutividade hidráulica (K) = $9,78 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$;
- Coeficiente de Armazenamento (S) = $3,63 \cdot 10^{-4}$.

O aquífero Alter do Chão, na cidade de Manaus, apresenta-se com uma espessura média de aproximadamente 160 m, onde foi possível identificar quatro litofácies, descritas como argilosa, areno-argilosa, arenosa e Arenito Manaus (Aguiar *et al.*, 2002). A unidade faciológica Arenito Manaus é uma denominação local para os corpos lenticulares (níveis arenosos cimentados por sílica) no interior da Formação Alter do Chão, podendo funcionar como nível confinante

(Souza & Verma, 2006). O limite inferior do pacote aquífero Alter do Chão-Jazida da Fazendinha corresponde ao contato com os evaporitos e calcários da Formação Nova Olinda. Esses corpos, constituídos por arenitos de granulação fina a média, de coloração predominantemente avermelhada, fortemente cimentados por sílica e óxidos de ferro, ocorrem normalmente interestratificados em litologias inconsolidadas. As litologias argilosas ocorrem preferencialmente nos horizontes superiores do perfil, tendo origem a partir da alteração intempérica de crostas lateríticas, sendo que em profundidade, correspondem a estratos pelíticos do Aquífero Alter do Chão. As unidades areno-argilosas e arenosas representam as variedades faciológicas de maior importância para o reservatório, correspondendo aos estratos de arenitos e siltitos da Formação Alter do Chão (Aguiar *et al.*, 2002). Essa descrição de Aguiar *et al.* (2002) feita com base em perfis litológicos de poços tubulares de Manaus, retratando a ocorrência de estratos pelíticos no Aquífero Alter do Chão é consistente com a interpretação dos perfis litológicos dos 85 poços do BDEP constantes do **anexo 4.5**, nos quais, como já mencionado, as porcentagens de pelitos podem variar de aproximadamente 2 a 69%.

França *et al.* (2005), com base nos testes de aquíferos realizados no Aquífero Alter do Chão em Manaus de 36 (trinta e seis) poços tubulares profundos obtiveram para os principais parâmetros hidrodinâmicos os valores médios de:

- Transmissividade (T) = $1,48 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$;
- Condutividade hidráulica (K) = $1,54 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$.

Dentro da área do Projeto da Província Hidrogeológica Amazonas foram realizados testes de aquíferos nas cidades de Manaus (4), Santarém (2) e Almeirim (2), onde os valores obtidos pelo método de Cooper & Jacob (1946) estão apresentados na **tabela 1.19** e os valores máximos, mínimos e médios obtidos estão apresentados a seguir:

Almeirim (02)

Parâmetro	Máximo	Mínimo	Médio
Coefficiente de Transmissividade (m^2/s)	$1,80 \cdot 10^{-2}$	$1,35 \cdot 10^{-3}$	$8,10 \cdot 10^{-3}$
Condutividade Hidráulica (m/s)	$6,93 \cdot 10^{-4}$	$5,17 \cdot 10^{-5}$	$2,53 \cdot 10^{-4}$
Coefficiente de Armazenamento (adm)	$1,24 \cdot 10^{-2}$	$4,17 \cdot 10^{-4}$	$7,28 \cdot 10^{-3}$

Manaus (04)

Parâmetro	Máximo	Mínimo	Médio
Coefficiente de Transmissividade (m^2/s)	$9,08 \cdot 10^{-4}$	$4,50 \cdot 10^{-4}$	$7,01 \cdot 10^{-4}$
Condutividade Hidráulica (m/s)	$3,28 \cdot 10^{-6}$	$1,63 \cdot 10^{-6}$	$2,74 \cdot 10^{-6}$
Coefficiente de Armazenamento (adm)	$2,39 \cdot 10^{-3}$	$1,16 \cdot 10^{-3}$	$1,68 \cdot 10^{-3}$

Santarém (02)

Parâmetro	Máximo	Mínimo	Médio
Coefficiente de Transmissividade (m ² /s)	3,52.10 ⁻³	5,66.10 ⁻⁴	2,04.10 ⁻³
Condutividade Hidráulica (m/s)	1,39.10 ⁻⁵	2,07.10 ⁻⁶	7,99.10 ⁻⁶
Coefficiente de Armazenamento (adm)	7,30.10 ⁻³	5,48.10 ⁻⁴	3,92.10 ⁻³

Esses resultados mostram uma significativa variação de transmissividade nas cidades de Manaus, Santarém e Almeirim. Esse fato se deve, certamente, às condições de ocorrência da formação geológica aquífera, que segundo o relatório da geologia (Volume II) é constituído de camadas cenozoicas da Formação Alter do Chão que cobrem toda a bacia do Amazonas onde se encontram todas as 3 (três) cidades mencionadas e cuja espessura é consideravelmente maior em Almeirim, onde, embora o poço testado seja muito pouco penetrante (22 m), ele atinge, de acordo com o perfil composto do poço 2-ALST-1-PA (Almeirim - 1), o aquífero Alter do Chão entre as profundidades de 17 e 22 m. Nesse poço o Alter do Chão, possui espessura de 1.249 m, com o topo a 17 m e a base a 1.266 m, enquanto em Manaus e Santarém, com poços de mais de 100 m de profundidade, a espessura total é de 261 m.

Assim, a transmissividade média que é da ordem de 0,7.10⁻³ m²/s em Manaus, alcança cerca de 2,0.10⁻³ m²/s em Santarém (quase 3 vezes maior) e assume, em Almeirim, um valor de 8,10.10⁻³ m²/s (quase 12 vezes maior do que em Manaus). No caso, porém, segundo os testes, essa diferença também pode ser explicada pela alta condutividade hidráulica, que em Almeirim é 114 vezes maior do que em Manaus.

Como sugere a ordem de grandeza dos valores do coeficiente de armazenamento (**tabela 1.21**), as condições hidráulicas do aquífero Alter do Chão variam de confinadas ($S = 4,1E-04$) a praticamente livres ($1,2E-02$) em Almeirim e se mostram pouco confinadas, refletindo uma descompressão pelas explorações, em Manaus ($1,2E-03 \leq S \leq 2,4E-03$) e em Santarém ($5,5E-03 \leq S \leq 7,3E-03$).

Tabela 1.21 – Valores médios dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Alter do Chão na área de estudo, segundo a literatura e o projeto ANA-PHA, pelo método de Cooper & Jacob (1946).

Fonte	Parâmetros hidrodinâmicos (média)				S
	T (m ² /s)	T (m ² /dia)	K (m/s)	K (m/dia)	
Tancredi (1996)	3,33E-02	2877,1	9,78E-05	8,4	3,63E-04
Oliveira & Pastana (1999)	3,77E-03	325,7	7,63E-05	6,6	4,10E-04
França <i>et al.</i> (2005)	1,48E-03	127,9	1,54E-05	1,3	-
Média Literatura	1,29E-02	1110,2	6,32E-05	5,4	3,87E-04
PHA (Almeirim 2012)	8,10E-03	699,8	3,13E-04	27	6,84E-03
PHA (Manaus 2012)	7,01E-04	60,6	2,74E-06	0,2	1,68E-03
PHA (Santarém 2012)	2,04E-03	176,3	7,99E-06	0,7	3,92E-03
Média ANA-PHA (2012)	3,61E-03	312,2	1,08E-04	9,30	4,15.10 ⁻³

T = Transmissividade; K = Condutividade hidráulica; S = Coeficiente de armazenamento.

Comparando na **tabela 1.21** os valores médios (avaliados pelo método de Cooper & Jacob, 1946), da literatura com os do presente estudo, observa-se que o parâmetro de transporte (K) é 1,78 vezes maior, porém o de armazenamento é 10,72 vezes maior do que o encontrado na literatura e confirma o que já foi anteriormente comentado sobre a condição de aquífero livre.

A interpretação dos testes de bombeamento realizados no aquífero Alter do Chão pelo método de Neuman (1975) revelou que em Santarém esse aquífero se comporta como livre com drenagem retardada, enquanto que em Almeirim e Manaus tem um comportamento de aquífero variável de semilivre a semiconfinado, praticamente sem drenagem gravitacional significativa, o que provavelmente se deve a uma maior presença de níveis pelíticos intercalados nesse aquífero nessas duas cidades, como já anteriormente comentado sobre as constatações de Aguiar *et al.* (2002) em Manaus.

Os valores encontrados são apresentados na **tabela 1.22**, na qual globalmente tem-se para o aquífero Alter do Chão uma transmissividade média de 270,3 m²/dia (3,13 E-03 m²/s), condutividade hidráulica média de 15 m/dia e coeficiente de armazenamento de 4,3E-04. A porosidade efetiva avaliada em Santarém foi de 0,13.

Tabela 1.22 – Parâmetros hidráulicos avaliados para o aquífero Alter do Chão pelo método de Neuman (1975) nas cidades de Almeirim, Santarém – PA e Manaus - AM.

Aquífero	Cidade	β	T (m ² /dia)	ho (m)	Kh (m/dia)	Kv (m/dia)	S	Sy
Alter do Chão	Almeirim	0,001	57,28	18	3,18	-	1,24E-05	-
Alter do Chão	Almeirim	0,004	486,01	15	32,40	-	1,08E-03	-
Alter do Chão	Almeirim	0,001	40,80	15	2,72	-	3,54E-06	-
Alter do Chão	Almeirim	0,004	1957,04	18	108,72	-	2,55E-03	-
Alter do Chão	Manaus	0,0001	41,34	52	0,79	-	1,44E-05	-
Alter do Chão	Manaus	0,004	10,28	66	0,16	-	6,76E-05	-
Alter do Chão	Manaus	0,001	16,59	97	0,17	-	3,84E-06	-
Alter do Chão	Manaus	0,0001	3,69	67	0,06	-	1,54E-04	-
Alter do Chão	Santarém	0,004	37,24	136,00	0,27	0,20	2,92E-04	0,16
Alter do Chão	Santarém	0,004	52,43	38,00	1,38	0,08	8,00E-05	0,10
Média			270,3	52,2	15,0	0,14	4,3E-04	0,13

β = Fator de drenagem gravitacional; T = transmissividade; ho = Espessura saturada; Kh = Condutividade hidráulica horizontal; Kv = Condutividade hidráulica vertical; r = Distância de avaliação do armazenamento; S = Coeficiente de armazenamento; Sy = Porosidade efetiva; KD = Grau de anisotropia do aquífero.

1.5.2 - Aquífero Içá

O Aquífero Içá encontra-se numa formação de idade neo-terciária/quaternária que recobre grande extensão da Bacia Amazônica. Devido a sua pouca espessura e similaridade com os depósitos terciários da Formação Solimões, muitos autores não reconhecem a existência da Formação Içá como uma unidade individualizada, englobando-a na Formação Solimões.

Esta unidade aquífera é formada por pacotes arenosos, areno-siltosos e areno-argilosos de coloração predominantemente esbranquiçada. Exibem ciclos granodecrescentes ascendentes formados, na base por areia média à grossa, constituídos principalmente por quartzo leitoso, hialino e escuro. Para o topo são constituídos por areia média a fina e entre os ciclos ocorrem camadas de argila cinza e vermelha, bem como pequenos *sets* de areia média com estratificação cruzada tabular, enquanto nos *forsets* inferiores são encontrados clastos argilosos avermelhados disseminados.

Apesar do Aquífero Içá ocorrer extensivamente na bacia do Solimões e em parte da bacia do Amazonas, a maioria das cidades localizadas no seu domínio não capta suas águas, e sim as águas dos depósitos aluvionares e terraços, sobre os quais estão assentadas diretamente. Entretanto, em algumas cidades como Lábrea, Eirunepé, Coari, Fonte Boa e Barcelos, esse aquífero é a principal fonte de abastecimento. Nessas cidades, no âmbito do projeto ANA-PHA, o aquífero Içá foi testado e apresentou, em média, pelo método de Cooper & Jacob (1946), os valores mostrados na **tabela 1.23**.

Tabela 1.23 – Valor máximo, mínimo e médio dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Içá nas cidades de Lábrea, Eirunepé, Fonte Boa, Coari e Barcelos, avaliados pelo método de Cooper & Jacob (1946).

Parâmetro	Máximo	Mínimo	Médio
Coefficiente de Transmissividade (m ² /dia)	1658,9	63,6	514,9
Conductividade Hidráulica (m/dia)	8,5	0,2	2,4
Coefficiente de Armazenamento (adm)	7,6E-02	1,1E-03	1,6E-02

Em comparação com valores encontrados na bibliografia, os parâmetros apresentados na **tabela 1.23** indicam uma transmissividade média cerca de 10 vezes maior do que a encontrada na cidade de Tefé (51,8 m²/dia) pela CPRM (2010a) e cerca de 8 vezes menor do que a encontrada pela CPRM (2002) nas vizinhanças de Caracaraí, na região central do estado de Roraima, que foi de 3.888 m²/dia. As condutividades hidráulicas médias correspondentes são de 2,4 m/dia nas cidades de Lábrea, Eirunepé, Fonte Boa, Coari e Barcelos (ANA-PHA); de 1,5 m/dia na cidade de Tefé (CPRM, 2010a) e de 259,2 m/dia nas vizinhanças de Caracaraí (CPRM, 2002), ficando claro que esse último valor não é consistente para o aquífero Içá.

Pelo método de Neuman (1975) verificou-se que na cidade de Lábrea as curvas de teste do aquífero Içá exibem um comportamento de aquífero semilivre (**anexo 4.2.15**) e de aquífero confinado (**anexo 4.2.16**), enquanto que nas demais cidades (Eirunepé, Fonte Boa, Coari e Barcelos) o aquífero Içá se caracteriza como livre, conforme se deduz dos resultados mostrados na **tabela 1.24**.

Globalmente, pelo método de Cooper & Jacob (1946), o parâmetro de transporte é $K = 2,4$ m/dia e o de armazenamento $S = 1,6 E-02$, resultado que indica um

aquífero quase livre. Pelo método de Neuman (1975) a condutividade hidráulica é 2,4 vezes menor, ou seja, de 1,0 m/dia, o que provavelmente se deve ao fato de que o fluxo vertical oriundo de drenagem gravitacional não é reconhecido no método de Cooper & Jacob, que somente considera o fluxo horizontal. Conclui-se assim que para o aquífero Içá o método de Neuman (1975) é o mais indicado e que os parâmetros avaliados (**tabela 1.24**) podem ser considerados representativos com uma condutividade horizontal de 1,0 m/dia, armazenamento confinado $S = 6,5E-05$ e armazenamento livre (porosidade efetiva) $S_y = 0,18$.

Tabela 1.24 – Parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Içá nas cidades de Lábrea, Eirunepé, Fonte Boa, Coari e Barcelos avaliados pelo método de Neuman (1975).

Aquífero	Cidade	β	T (m ² /dia)	ho (m)	Kh (m/dia)	Kv (m/dia)	S	Sy	KD
Içá	Lábrea	-	15,0	71	0,21	0,04	7,30E-05	-	0,20
Içá	Lábrea	-	28,9	74	0,39	-	2,01E-05	-	-
Içá	Eirunepé	0,01	87,8	53	1,66	0,47	2,60E-05	0,24	0,28
Içá	Coari	0,01	14,4	36	0,40	0,21	4,21E-05	0,11	0,52
Içá	Coari	0,01	178,2	36	4,95	0,64	1,11E-04	0,27	0,13
Içá	Fonte Boa	0,1	2,7	24	0,11	0,07	2,65E-05	0,10	0,58
Içá	Fonte Boa	0,1	10,9	106	0,26	0,15	9,87E-05	0,21	0,58
Içá	Barcelos	0,1	17,2	36	0,09	0,01	1,26E-04	0,14	0,14
Média			44,4	54,5	1,0	0,2	6,5E-05	0,18	0,35

β = Fator de drenagem gravitacional; T = transmissividade; ho = Espessura saturada; Kh = Condutividade hidráulica horizontal; Kv = Condutividade hidráulica vertical; r = Distância de avaliação do armazenamento; S = Coeficiente de armazenamento; Sy = Porosidade efetiva; KD = Grau de anisotropia do aquífero.

1.5.3 - Aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul)

A Formação Cruzeiro do Sul foi definida primeiramente referindo-se aos sedimentos arenosos que se encontram sobrepostos aos terraços inferiores localizados nas imediações da cidade de Cruzeiro do Sul, no Estado do Acre, correspondendo ainda à porção superior da Formação Ramon (Bouman, 1959). Para Barros *et al.* (1977) e demais levantamentos do Projeto Radambrasil na região, tais sedimentos plio-pleistocênicos existentes a leste da Serra do Divisor pertencem à Formação Solimões (Caputo, 1973) e aqueles que ocorrem a oeste desta, à Formação Ramon.

A Formação Cruzeiro do Sul ocorre sobreposta a feições tipo terraço, sendo sua maior exposição localizada a sudoeste da cidade de Cruzeiro do Sul, na confluência dos Rios Moa e Juruá. Ocorre ainda ao Sul até próximo à cidade de Porto Walter. São sedimentos depositados por correntes fluviais, flúvio-lacustres e em leques aluviais, compostos por arenitos finos, friáveis, maciços, argilosos, coloração amarelo-escura, rosada e esbranquiçada, com intercalações de argilitos lenticulares e estratificação cruzada, sobretudo em sua porção inferior (Cavalcante, 2005).

A descrição anterior sugere claramente que a Formação Cruzeiro do Sul é aflorante a SW da cidade de Cruzeiro do Sul. Todavia, no poço 2-CDST-1-AC (Cruzeiro do Sul 1), situado cerca de 12 km ao sul da cidade, à margem esquerda do rio Juruá, a Formação Cruzeiro do Sul segundo perfil composto do BDEP e interpretado pela Petrobras, se encontra a grande profundidade, no intervalo de 2.638 a 2.520 m, sendo constituída de calcários com intercalações de folhelhos.

Acima desta seção, no intervalo de 2.520 a 1.326 m, estão as camadas cretácicas (Moa, Rio Azul, Divisor e Ramon), sotopostas ao pacote Repouso-Solimões no intervalo de 1.326 a 25 m, acima do qual ocorre a Formação Içá. No referido pacote ocorrem intercalações de calcários no intervalo de 550 a 400 m. A parte oriental da bacia do Acre apresenta uma área de subafloramentos de carbonatos (plataforma carbonática) relativamente extensa sob as camadas cretácicas, cuja espessura total alcança 1.194 m no poço estratigráfico de Cruzeiro do Sul (2-CDST-1-AC). Embora esta seja uma região de falhas ativas até os dias atuais, com ocorrência de terremotos, não há como garantir, na escala do presente projeto, que as litologias encontradas nos poços catalogados do SIAGAS na cidade de Cruzeiro do Sul (**tabela 1.25**) sejam da Formação Cruzeiro do Sul.

Nenhum autor até agora definiu formalmente o “aquífero Cruzeiro do Sul” como o manancial subterrâneo atualmente explorado na cidade, embora se tenha informalmente conhecimento de que essa denominação de fato existe. Isto tanto pode resultar da crença de que os poços captam águas subterrâneas da Formação Cruzeiro do Sul quanto simplesmente do fato de estarem os poços localizados na cidade de Cruzeiro do Sul, o que é mais provável, pois até o momento, os mapeamentos regionais conhecidos têm indicado, em superfície, a ocorrência da Formação Solimões (topo do pacote Repouso-Solimões).

Dos perfis analisados, 74% (17/23) são litológicos e construtivos e 26% (6/23) são apenas litológicos, o que sugere serem poços que não foram completados. Em 20 (vinte) dos poços, a litologia dominante é de argilas calcíferas e calcários intercalados com camadas de arenito. O percentual de arenitos varia de 5% a 41%, com média de 21%, o que permitiria classificar a UHF captada pelos poços como aquífero, a julgar pelos quase 80% de pelitos. Não se sabe se é “Aquífero Repouso-Solimões” ou “Aquífero Cruzeiro do Sul”. Curiosamente as vazões são significativas, com média de 28,2 m³/h, porém incompatíveis com as litologias descritas, restando saber se são sustentáveis. Outra curiosidade sugerida pelos dados é que em três poços com profundidade variando de 71 a 87 m e litologia constituída, em média, de 90% de areia fina e quase nenhuma intercalação argilosa (aquífero Içá) a vazão varia de 0,8 a 9 m³/h, com média de 6,1 m³/h.

Tabela 1.25 – Dados de poços na cidade de Cruzeiro do Sul – AC (SIAGAS em 2015), com indicação de produtividade, porcentagem de arenitos e profundidade do topo dos filtros.

Poço*	Unidade Hidrogeológica de Fluxo (UHF)	Profundidade (m)	Arenito (m)	Profundidade média (m)	Vazão m³/h	Produtividade m³/h/m	Litologia	Pelitos	% arenito	Média % arenito	Topo Filtros (m)	Nível Dinâmico (m)	Nível Estático (m)
AC2617	Aquitardo Repouso-Solimões (?)	150	7	143	9,3	0,959	areia e argila arenosa, calcíferas	143	5	21	26	12,4	2,7
AC1650	Aquitardo Repouso-Solimões (?)	180	16		66,6	1,081	areia, argila calcífera	164	9		16	72	10,4
AC1658	Aquitardo Repouso-Solimões (?)	150	19		35,6	0,943	argila calcífera, argila, arenito	131	13		3	54	15,25
AC2615	Aquitardo Repouso-Solimões (?)	150	22		18	2,813	solo calcífero, areias e argilas calcíferas	128	15		32	22,78	16,38
AC1665	Aquitardo Repouso-Solimões (?)	130	20		3,4	0,081	argila calcífera, interc. arenito	110	15		23	55	13
AC2294	Aquitardo Repouso-Solimões (?)	150	24		-	-	argila, interc. areia fina	126	16		-	-	-
AC2616	Aquitardo Repouso-Solimões (?)	150	28		12	0,225	areia e argila calcíferas	122	19		22	80,49	27,2
AC1663	Aquitardo Repouso-Solimões (?)	150	29		35	0,854	calcário, interc. arenito, argila	121	19		23	58	17
AC1656	Aquitardo Repouso-Solimões (?)	120	24		-	-	calcários, interc. argila, arenitos	96	20		30	-	-
AC2297	Aquitardo Repouso-Solimões (?)	150	30		-	-	argila, interc areia fina, calcífera	120	20		60	-	-
AC1663	Aquitardo Repouso-Solimões (?)	150	31		-	-	areia, argila variegada	119	21		-	58	17
AC1652	Aquitardo Repouso-Solimões (?)	150	32		33	0,724	areia, arenito, argila, argila calcífera	118	21		19	56	10,4
AC1654	Aquitardo Repouso-Solimões (?)	150	33		35,6	0,774	calcários, interc. Arenito, argila	117	22		23	64	18
AC1659	Aquitardo Repouso-Solimões (?)	130	29		33	1	argila calcífera, argila, arenito	101	22		23	50	17
AC1649	Aquitardo Repouso-Solimões (?)	150	35		33	1,32	areia, argila calcífera	115	23		31	40	15
AC1651	Aquitardo Repouso-Solimões (?)	150	38		-	-	areia, argila calcífera	112	25		-	40	15
AC2759	Aquitardo Repouso-Solimões (?)	92	28		8,68	0,998	argila, interc. areia argilosa	64	30		40	14,75	6,05
AC1655	Aquitardo Repouso-Solimões (?)	134	42		-	-	argila calcífera, intercalações arenito	92	31		-	-	-
AC1662	Aquitardo Repouso-Solimões (?)	134	46	28	0,966	calcário, intercalações arenito	88	34	19	45	16		
AC1648	Aquitardo Repouso-Solimões (?)	150	62	44	2,588	areia, argila calcífera	88	41	27	33	16		
AC2760	Aquífero Içá (?)	71	58	79	0,76	0,035	areia fina, média, argila arenosa	13	82	90	51	47,3	25,52
AC2758	Aquífero Içá (?)	87	77		8,68	1,391	areia fina, interc. argila	10	89		63	27,25	21
AC2757	Aquífero Içá (?)	80	80		9	3	areia fina	0	100		56	29,07	26,07

*Sigla simplificada dos poços SIAGAS AC = 110000; destaques em vermelho para a predominância de pelitos.

Diante desse quadro duvidoso não há como chegar a uma conclusão segura sobre o aquífero explotado na cidade de Cruzeiro do Sul, razão pela qual considera-se prudente classificar a UHF em questão como “Inominada” (Cruzeiro do Sul), já que o assunto carece de maiores estudos. Nos testes realizados nessa unidade no âmbito do projeto ANA-PHA, os parâmetros hidráulicos encontrados pelo método de Cooper & Jacob (1946) são apresentados na **tabela 1.26**.

Tabela 1.26 – Valor máximo, mínimo e médio dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) na cidade de Cruzeiro do Sul, avaliados pelo método de Cooper & Jacob (1946).

Parâmetro	Máximo	Mínimo	Médio
Coefficiente de Transmissividade (m ² /dia)	298,1	87,3	181,4
Condutividade Hidráulica (m/dia)	0,6	0,1	0,4
Coefficiente de Armazenamento (adm)	7,28.10 ⁻³	2,28.10 ⁻⁴	3,18.10 ⁻³

A magnitude dos valores de parâmetros hidráulicos obtidos pelo método de Cooper & Jacob (1946) para o aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) nos testes realizados na PHA indica condutividade hidráulica compatível com areias siltsas e areias finas em consonância com as litologias indicadas pelos perfis litológicos. O coeficiente de armazenamento (S) é indicativo de aquífero confinado tendendo para livre, provavelmente por efeito de descompressão produzida pela exploração, a julgar pelos níveis estáticos superiores a 50 m, dos poços testados (DEPASA e DEPASA 2) conforme **tabela 1.17**.

Na **tabela 1.27** se encontram os parâmetros avaliados pelo método de Neuman (1975). Esse método também confirma a condição de aquífero essencialmente confinado, com $S = 2,3E-04$. Os baixos valores da porosidade efetiva, de 0,2% a 1%, podem ser uma confirmação da tendência de mudança da condição hidráulica para livre, já sugerida pelo método anterior. O efeito de filtração vertical é muito pequeno como se pode deduzir da condutividade hidráulica vertical $K_v = 0,02$ m/dia.

Tabela 1.27 – Parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) na cidade de Cruzeiro do Sul, avaliados pelo método de Neuman (1975).

β	T (m ² /dia)	b(m)	Kh (m/dia)	Kv (m/dia)	S	Sy	KD
0,004	57,04	60	0,95	0,01	1,37E-06	0,002	0,006
0,004	81,54	78	0,94	0,03	4,54E-04	0,01	0,026
0,004	69,3	69	0,945	0,02	2,3E-04	0,01	0,016

β = Fator de drenagem gravitacional; T = transmissividade; b = Espessura saturada; Kh = Condutividade hidráulica horizontal; Kv = Condutividade hidráulica vertical; r = Distância de avaliação do armazenamento; S = Coeficiente de armazenamento; Sy = Porosidade efetiva; KD = Grau de anisotropia do aquífero.

No teste do poço DEPASA (Teste 11), a curva obtida no poço observado a 430 m de distância, situado no Teatro, se ajusta à curva padrão da função de Theis, indicando tratar-se de um aquífero confinado não drenante. O coeficiente de armazenamento avaliado pelo método de Neuman $S = 2,3E-04$ (**tabela 1.27**) é muito próximo do que foi avaliado pelo método de Theis $S = 2,6E-04$ (**tabela 1.28**).

Tabela 1.28 – Parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) na cidade de Cruzeiro do Sul, avaliados pelo método de Theis.

T (m ² /dia)	K (m/dia)	S	D (m ² /dia)	r (1dia) km
1443,3	24,05	2,6E-04	5,5E+06	3,5

T = transmissividade; K = Condutividade hidráulica ; S = Coeficiente de armazenamento D = Difusividade hidráulica;
r = Distância após 1 dia de bombeamento (expansão do cone de depressão);

1.5.4 – Sistema Aquífero Barreiras-Pirabas

Os dados aqui apresentados sobre o aquífero Pirabas foram obtidos do trabalho realizado pela CPRM (2002) no Projeto Estudos Hidrogeológicos da Região Metropolitana de Belém e Adjacências. A Formação Pirabas é formada por duas sequências de sedimentos denominadas Pirabas Superior e Inferior, respectivamente. A primeira é caracterizada por sedimentos marinhos, fossilíferos, composto por argila calcífera cinza-esverdeada e leitos de calcário duro cinza-esbranquiçado, que se alternam sucessivamente com camadas de arenito calcífero, siltitos e areias. A sequência Pirabas Inferior constitui-se predominantemente de camadas repetitivas de arenitos cinza-esbranquiçado, granulação fina a conglomerática, com intercalações mais espessas de argilas e siltitos esverdeados. Sobreposta à Formação Pirabas ocorre a Formação Barreiras, composta por conglomerados, arenitos e argilitos. Do ponto de vista hidrogeológico, o conjunto dessas formações constitui um sistema aquífero onde o Pirabas é do tipo semiconfinado e o Barreiras do tipo livre.

Nos testes de aquíferos realizados em diversos poços que atingiram os aquíferos profundos, os parâmetros hidrodinâmicos obtidos apresentam certa heterogeneidade, motivada possivelmente pela anisotropia do meio físico ou mesmo pelas diferentes espessuras dos estratos litológicos que constituem o sistema aquífero estudado. Com base nesses testes foram obtidos pela CPRM (2002) pelo método de Cooper & Jacob (1946) para aquífero confinado, os seguintes valores médios para os parâmetros hidrodinâmicos do sistema aquífero Barreiras-Pirabas em Belém:

- Transmissividade (T) = $2,37 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$;
- Condutividade hidráulica (K) = $3,97 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$;
- Coeficiente de Armazenamento (S) = $1,01 \cdot 10^{-4}$.

O valor do coeficiente de armazenamento (S) sugere que se trata de um aquífero confinado com altos valores de transmissividade e de condutividade hidráulica. Isso também é revelado pelos dados de Cortez *et al.* 2000 mostrados na **tabela 1.29**, supostamente para o aquífero Barreiras em Belém.

Os parâmetros médios do aquífero Barreiras na Região Metropolitana de Belém, segundo a **tabela 1.29** seriam:

- Transmissividade (T) = $1,06 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$;
- Condutividade hidráulica (K) = $1,02 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$;
- Coeficiente de Armazenamento (S) = $1,30 \cdot 10^{-4}$.

Tabela 1.29 – Características hidrogeológicas da Formação Barreiras, na Região Metropolitana de Belém (Cortez *et al.*, 2000).

Característica	Unidade	Mínimo	Máximo
Profundidade do Topo do Aquífero	m	4,2	26,0
Profundidade da Base do Aquífero	m	18,0	33,0
Espessura do Aquífero	m	7,0	18,0
Nível Hidrostático	m	0,58	9,70
Gradiente Hidráulico	m/km	2,0	8,0
Velocidade de Fluxo	m/dia	0,024	1,35
Velocidade Linear Média	m/dia	0,12	5,39
Tamanho Efetivo dos Grãos	mm	0,125	0,250
Coefficiente de Uniformidade	-	2,00	2,84
Porosidade Efetiva	-	0,20	0,22
Transmissividade	m ² /s	2,2.10 ⁻³	1,90.10 ⁻²
Condutividade Hidráulica	m/s	1,4.10 ⁻⁴	1,90.10 ⁻³
Coefficiente de Armazenamento	-	3,3.10 ⁻⁵	2,27.10 ⁻⁴

Esses resultados apresentados para o aquífero Barreiras por Cortez *et al.* (2000), em Belém, na verdade refletem, à luz da elevada transmissividade e do valor do coeficiente de armazenamento confinado, o comportamento do sistema Barreiras-Pirabas e não apenas do Barreiras, que é um aquífero essencialmente livre.

Pelo método de Cooper & Jacob (1946), nos testes do Projeto ANA-PHA (**tabela 1.30**), os altos valores de transmissividade do sistema aquífero Barreiras-Pirabas já destacados na literatura também foram corroborados, porém o valor médio do coeficiente de armazenamento obtido em 2012, da ordem de (1,12 x10⁻²), é 86 vezes maior que os da literatura e pode ser devido à descompressão produzida no sistema Barreiras-Pirabas pela exploração ou eventualmente pela captação conjunta dos dois aquíferos.

Tabela 1.30 – Valor máximo, mínimo e médio dos parâmetros hidrodinâmicos do Sistema Aquífero Barreiras-Pirabas na cidade de Belém, obtidos em 2012 pelo método de Cooper & Jacob (1946) nos testes realizados no âmbito do Projeto ANA-PHA.

Parâmetro	Máximo	Mínimo	Médio
Coefficiente de Transmissividade (m ² /dia)	1468,8	118,4	801,8
Condutividade Hidráulica (m/dia)	5,2	0,4	2,9
Coefficiente de Armazenamento (adm)	2,61.10 ⁻²	4,20.10 ⁻⁴	1,12.10 ⁻²

Pelo método de Neuman (1975) as curvas de rebaixamento com o tempo obtidas nos testes 25, 26, 27 e 28 (**anexo 4.2**) mostram que existem efeitos de fluxo vertical e de anisotropia que refletem de forma bastante consistente a existência de conexão hidráulica entre camadas aquíferas das formações Barreiras e Pré-Barreiras. Em média a transmissividade avaliada pelo método de Cooper & Jacob, que não leva em conta o fluxo vertical, é cerca de 2 vezes maior do que a deduzida pelo método de Neuman (**tabelas 1.30 e 1.31**). Logo, para este sistema aquífero o método de Neuman é o mais apropriado.

Tabela 1.31 - Parâmetros hidrodinâmicos do Sistema Aquífero Barreiras-Pirabas na cidade de Belém, obtidos em 2012 pelo método de Neuman (1975) nos testes realizados no âmbito do Projeto ANA-PHA.

T (m ² /dia)	Kh (m/dia)	Kv (m/dia)	S	Sy	KD	Espessura (m)
379,7	7,9	1,3	6,3E-04	0,11	0,16	239,3

T = transmissividade; Kh = Condutividade hidráulica horizontal; Kv = Condutividade hidráulica vertical; S = Coeficiente de armazenamento; Sy = Porosidade efetiva; KD = Grau de anisotropia do aquífero.

A comparação dos valores de parâmetros hidráulicos obtidos em Belém no Projeto ANA-PHA e por outros autores com as respectivas interpretações do modelo hidrogeológico conceitual é apresentada na **tabela 1.32**.

Tabela 1.32 – Comparação dos valores médios dos parâmetros hidrodinâmicos do sistema de águas subterrâneas de Belém, interpretado pela ANA-PHA (2012) como um sistema único Barreiras-Pirabas e por outros autores como unidades aquíferas independentes Barreiras e Pirabas.

Fonte	Aquífero	Parâmetros médios		
		T (m ² /dia)	K (m/dia)	S
CPRM (2002). Belém	Pirabas	2047,7	34,3	1,0E-04
Cortez <i>et al.</i> (2000). Belém	Barreiras	915,8	88,1	1,3E-04
PHA (Belém 2012) Cooper & Jacob (1946)	Sistema Barreiras-Pirabas	801,8	2,9	1,1E-02
PHA (Belém 2012) Neuman (1975)	Sistema Barreiras-Pirabas	379,7	7,9	6,3E-04

1.5.5 - Aquífero Tucunaré

Na área de estudo da PHA, o aquífero Tucunaré ocorre na bacia do Marajó, sendo constituído basicamente de arenitos espessos que alcançam mais de 1.000 m na plataforma continental (Bacia da Foz do Amazonas), conforme Volume II.

A **tabela 1.33** mostra alguns valores de parâmetros hidráulicos atribuídos ao aquífero Tucunaré avaliados pelo método de Cooper & Jacob (1946) por Tancredi (2002, 2004, 2006) e Oliveira (2004, 2006), em pesquisas para água mineral na região de Macapá.

Tabela 1.33 – Parâmetros hidrodinâmicos avaliados pelo método de Cooper & Jacob (1946) para o aquífero Tucunaré por Tancredi (2002, 2004, 2006) e Oliveira (2004, 2006) na região de Macapá.

Poço	Profundidade (m)	NE (m)	T (m ² /s)	K (m/s)	S	Espessura do aquífero (m)
P1	40,0	13,2	4,0.10 ⁻⁵	3,7.10 ⁻⁶	5,3.10 ⁻⁵	11
P2	38,0	11,8	9,7.10 ⁻⁴	9,7.10 ⁻⁵	4,3.10 ⁻⁵	10
P3	68,0	19,8	2,2.10 ⁻⁴	9,3.10 ⁻⁶	3,5.10 ⁻⁵	24
P4	51,8	6,0	5,8.10 ⁻⁵	1,7.10 ⁻⁶	-	34
P5	60,0	8,8	7,9.10 ⁻⁴	4,9.10 ⁻⁵	1,3.10 ⁻⁴	16
Média	51,6	11,9	4,2.10 ⁻⁴	3,2.10 ⁻⁵	6,5.10 ⁻⁵	19

NE = Nível estático; T = transmissividade; K = Condutividade hidráulica; S = Coeficiente de armazenamento.

Os valores das transmissividade e armazenamento são relativamente baixos, com médias de $4,2 \cdot 10^{-4}$ m²/s e $6,5 \cdot 10^{-5}$, respectivamente, valendo notar que a espessura média correspondente do aquífero nos poços testados é de apenas 19 m, que representa 6,3% de penetração na plataforma do Amapá (19/300) e apenas 1,9% (19/1.000) na plataforma continental.

Embora tenham sido interpretados pelo mesmo método (Cooper & Jacob, 1946), em média, os testes realizados no Projeto ANA-PHA indicaram valores de transmissividade cerca de 50 vezes maiores e de armazenamento cerca de 500 vezes maiores do que os obtidos por outros autores. Enquanto os coeficientes de armazenamento da **tabela 1.33** sugerem para o aquífero Tucunaré um comportamento de aquífero confinado, os testes da **tabela 1.34** indicam um comportamento de aquífero livre e de maior potencialidade. Como o método usado se aplica a aquífero confinado, os altos valores do coeficiente de armazenamento da ANA-PHA 2012 são interpretados como resultantes da descompressão produzida pela exploração, como se esclarece adiante na análise feita pelo método de Neuman (1975). Como se trata de uma área com muitos poços em exploração, os fatores não controlados que podem produzir resultados muito diversos são inúmeros, como por exemplo: variações de litologia de um poço para outro, impactos diferenciados de interferências, perdas de carga não lineares dentro dos poços, etc. A rigor, no estágio em que se encontra a exploração, somente é possível identificar nas curvas de rebaixamento com o tempo os impactos sobre os níveis e obter resultados mais seguros usando poços de observação e realizando o monitoramento dos níveis com transdutores de pressão (*data loggers*), de preferência desde pelo menos 24 horas antes dos testes e durante o período do teste. As interpretações podem então ser feitas usando o princípio da superposição de escoamentos através do qual se pode avaliar a difusividade hidráulica. Conclui-se que os valores dos coeficientes de armazenamento avaliados pelo método de Cooper & Jacob (1946) são inconsistentes, já que o sistema estudado é livre e esse método se aplica a aquífero confinado. Assim, os valores avaliados pelo método de Neuman (1975) são os mais consistentes, pois são válidos para aquíferos livres

Tabela 1.34 - Valor máximo, mínimo e médio dos parâmetros hidrodinâmicos do Aquífero Tucunaré na cidade de Macapá, segundo ANA-PHA em 2012, avaliados pelo método de Cooper & Jacob (1946).

Parâmetro	Máximo	Mínimo	Médio
Coefficiente de Transmissividade (m ² /s)	$2,59 \cdot 10^{-2}$	$1,34 \cdot 10^{-2}$	$1,97 \cdot 10^{-2}$
Condutividade Hidráulica (m/s)	$1,39 \cdot 10^{-4}$	$7,11 \cdot 10^{-5}$	$1,05 \cdot 10^{-4}$
Coefficiente de Armazenamento (adm)	$4,22 \cdot 10^{-2}$	$2,17 \cdot 10^{-2}$	$3,20 \cdot 10^{-2}$

Considerando que o aquífero Tucunaré foi caracterizado como um sistema livre, localmente confinado, os testes do aquífero realizados na cidade piloto de Macapá (Volume V) foram também interpretados com maior detalhe pelo método de Neuman (1975), através do qual foi possível compreender o comportamento da liberação de água por descompressão (armazenamento confinado, S) e da liberação de água por drenagem gravitacional retardada (porosidade efetiva ou armazenamento livre, S_y).

No caso, pelo fato dos poços testados, pertencentes à CAESA, serem poços produtores que funcionam diariamente há muito tempo, o efeito da liberação de

água do armazenamento por decompressão ocorre em um tempo tão curto depois que a bomba é ligada, que não foi possível registrar. Por esta razão somente foi possível registrar o efeito da drenagem gravitacional retardada e apenas calculada a porosidade efetiva, como mostra a **tabela 1.35**, na qual também aparecem outros parâmetros de interesse para a modelagem de fluxo como, por exemplo, o grau de anisotropia.

Tabela 1.35 – Parâmetros hidráulicos avaliados pelo método de Neuman (1975) para o aquífero Tucunaré na cidade de Macapá – AP.

Aquífero Tucunaré	T (m ² /dia)	b (m)	Kh (m/dia)	β	r (m)	S	Sy	KD
Média do Aquífero	145	24	6,1	0,004	24	-	0,08	1/250

T = transmissividade; b = espessura do aquífero (zona de admissão de água); Kh = condutividade hidráulica horizontal; β = fator de drenagem gravitacional; r = distância de avaliação do armazenamento; S = coeficiente de armazenamento; Sy = Porosidade efetiva; KD = Grau de anisotropia

1.5.6 - Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho

Esse aquífero tem o seu domínio restrito à região de Porto Velho, sendo constituído de depósitos de origem fluvial e colúvio-aluvial, constituídos por intercalações de areia, argila e silte, com espessura média de 50 metros, podendo alcançar, em algumas localidades, mais de 90 metros (Adamy & Romanini, 1990).

Segundo Campos & Morais (1999), esses depósitos são bastante heterogêneos e os principais aquíferos são constituídos de lentes arenosas, apresentando geralmente uma camada argilosa no topo da sequência, com espessura bastante variável, o que leva a supor tratar-se de aquíferos localmente confinados. Entretanto, em algumas localidades, as lentes e/ou camadas arenosas afloram, conferindo ao conjunto um caráter regional de sistema aquífero livre.

O aquífero das coberturas cenozoicas de Porto Velho (antigo Jaciparaná) teve os seus parâmetros de transporte (transmissividade e condutividade hidráulica) avaliados por Campos (1998), a partir de 08 (oito) testes de bombeamento realizados em poços perfurados pela CPRM Residência de Porto Velho. Os valores extremos e a média são apresentados na **tabela 1.36**.

Tabela 1.36 - Valor máximo, mínimo e médio dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho segundo Campos (1998).

Parâmetro	Máximo	Mínimo	Médio
Coefficiente de Transmissividade (m ² /dia)	143	0,59	48,1
Condutividade Hidráulica (m/dia)	35,8	0,07	7,4

Os dois testes de aquífero realizados em Porto Velho no âmbito do Projeto ANA-PHA apresentaram valores bem distintos (**tabela 1.19**), tanto de transmissividade quanto de armazenamento (**tabela 1.37**). Tais resultados, pelas descrições das características do aquífero, não devem surpreender, pois além de influências não controladas refletem o comportamento heterogêneo da litologia e das condições de confinamento, que embora regionalmente livres, podem se apresentar localmente confinadas por lentes argilosas. Sendo uma área com muitos poços em exploração existem fatores não controlados que podem produzir impactos diferenciados de interferências, perdas de carga não

lineares dentro dos poços, etc. Assim sendo, a exemplo do que já foi mencionado para o aquífero Tucunará e vale para quaisquer outros aquíferos em exploração, no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho também é intensa a exploração por inúmeros poços domésticos. Assim sendo, no estágio em que se encontra a exploração, uma forma de melhor identificar nos testes de bombeamento os impactos sobre os níveis é usando poços de observação e realizando o monitoramento dos níveis com transdutores de pressão (*dataloggers*), de preferência desde pelo menos 24 horas antes dos testes e durante o período do teste. As interpretações podem então ser feitas usando o princípio da superposição de escoamentos através do qual se pode avaliar a difusividade hidráulica.

Tabela 1.37 - Valor máximo, mínimo e médio dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho avaliados pelo método de Cooper & Jacob (1946).

Parâmetro	Máximo	Mínimo	Médio
Coefficiente de Transmissividade (m ² /dia)	197,0	4,8	10,1
Condutividade Hidráulica (m/dia)	2,9	0,1	1,5
Coefficiente de Armazenamento (adm)	4,66.10 ⁻³	2,14.10 ⁻⁴	2,4.10 ⁻³

No Projeto ANA-PHA em Porto Velho, além da condutividade média de 1,5 m/dia foi também avaliado o coeficiente de armazenamento S, com valor de 2,4E-03, que indica uma condição hidráulica de aquífero quase livre (**tabela 1.37**).

Esse resultado contribuiu para que o aquífero das Coberturas Cenozoicas de Porto Velho fosse caracterizado como um sistema livre, localmente confinado. Assim sendo, os testes de bombeamento realizados na cidade piloto de Porto Velho (Volume VI) foram também avaliados com maior detalhe pelo método de Neuman (1975), através do qual foi possível separar os efeitos da liberação de água por descompressão (armazenamento confinado, S) e da liberação de água por drenagem gravitacional retardada (porosidade efetiva ou armazenamento livre, S_y). Os valores encontrados são apresentados na **tabela 1.38**, na qual também aparecem outros parâmetros de interesse para a modelagem de fluxo como, por exemplo, condutividade hidráulica vertical e grau de anisotropia.

O armazenamento confinado foi estimado em S = 1,2E-04 e a porosidade efetiva S_y = 0,14.

Tabela 1.38 – Parâmetros hidráulicos avaliados para o aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, segundo Neuman (1975).

Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	T (m ² /dia)	b (m)	Kh (m/dia)	Kv (m/dia)	r (m)	S	S _y	KD
Média do Aquífero	10,8	20	0,53	0,43	10	1,2E-04	0,14	0,8

T = transmissividade; b = espessura do aquífero; Kh = condutividade hidráulica horizontal ; Kv = condutividade hidráulica vertical ; r = distância de avaliação do armazenamento; S = coeficiente de armazenamento; S_y = Porosidade efetiva; KD = Grau de anisotropia.

1.5.7 - Aquífero Rio Branco

Os sedimentos do pacote aluvial que compõem o aquífero Rio Branco possuem na base predominância de areia fina a média, ocorrendo algumas vezes materiais siltosos, clastos milimétricos de laterita e grãos de argila rica em matéria orgânica. A camada sobrejacente ao aquífero é constituída principalmente por argila siltosa e argila silto-arenosa, conferindo um caráter de baixa capacidade de infiltração direta da água precipitada na superfície, mas que não é totalmente impermeável.

Trata-se de depósitos inconsolidados que ocorrem no vale aluvial do rio Acre sobrepostos à Formação Solimões, que na região da cidade de Rio Branco recebem a designação de argilitos “salão” e são considerados como muito pouco permeáveis (Melo Jr. & Marmos, 2006).

Em relação aos parâmetros hidráulicos do aquífero Rio Branco, Moraes *et al.* (2007) em 04 (quatro) testes de aquíferos de poços captando o aquífero Rio Branco obtiveram valores variando de:

- Transmissividade = $2,50 \cdot 10^{-4}$ e $1,85 \cdot 10^{-3}$ m/s;
- Condutividade hidráulica = $3,47 \cdot 10^{-6}$ e $1,53 \cdot 10^{-4}$ m²/s;
- Coeficiente de armazenamento = $1,05 \cdot 10^{-4}$ e $2,89 \cdot 10^{-4}$.

As estatísticas de máximo, mínimo e médio dos parâmetros hidráulicos obtidos nos dois testes realizados no Projeto ANA-PHA nesse aquífero, em Rio Branco, aparecem na **tabela 1.39**.

Tabela 1.39 - Valor máximo, mínimo e médio dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Rio Branco avaliados pelo método de Cooper & Jacob (1946) (ANA-PHA, 2012).

Parâmetro	Máximo	Mínimo	Médio
Coefficiente de Transmissividade (m ² /dia)	277,3	73,1	175,4
Condutividade Hidráulica (m/dia)	6,1	1,5	3,8
Coefficiente de Armazenamento (adm)	$8,71 \cdot 10^{-3}$	$1,68 \cdot 10^{-4}$	$4,44 \cdot 10^{-3}$

A **tabela 1.40** torna possível uma comparação entre os valores dos parâmetros de transporte e de armazenamento avaliados por outros autores (Moraes *et al.* 2007) e os avaliados no âmbito do Projeto ANA-PHA a partir dos testes de bombeamento realizados. A transmissividade é da mesma ordem de grandeza (apenas duas vezes maior). O coeficiente de armazenamento da literatura é típico de aquífero confinado ($1,97E-04$), enquanto que o valor encontrado a partir dos testes pelo método de Cooper & Jacob (1946), previsto para aquífero confinado, foi 22 vezes maior, configurando uma hidráulica de aquífero praticamente livre. Os poços testados não foram os mesmos e os distintos valores encontrados se explicam não somente pela heterogeneidade do próprio aquífero, mas também pela existência de fatores não controlados, tais como interferências entre os cones de depressão dos poços existentes em exploração e perdas de carga não lineares desconhecidas (por falta de testes escalonados), que podem influir de forma diversa sobre cada uma das unidades testadas.

Tabela 1.40 – Valores médios dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Rio Branco, constantes da literatura e valores estimados no Projeto ANA-PHA, pelo método de Cooper & Jacob (1946).

Fonte	Parâmetros médios		
	T (m ² /dia)	K (m/dia)	S
Moraes <i>et al.</i> (2007) Rio Branco	90,7	6,8	1,97.10 ⁻⁴
PHA (Rio Branco 2012)	175,4	3,8	4,44.10 ⁻³

T = transmissividade; K = condutividade hidráulica; S = coeficiente de armazenamento.

O aquífero Rio Branco foi caracterizado como um sistema livre, localmente confinado e por este motivo os testes do aquífero foram também avaliados com maior detalhe pelo método de Neuman (1975), através do qual foi possível separar os efeitos da liberação de água por descompressão (armazenamento confinado, S) e da liberação de água por drenagem gravitacional retardada (porosidade efetiva ou armazenamento livre, S_y). Os valores encontrados são apresentados na **tabela 1.41**, na qual também aparecem outros parâmetros de interesse para a modelagem de fluxo como, por exemplo, condutividade hidráulica vertical e grau de anisotropia. O coeficiente de armazenamento confinado é de 3,2E-5 e a porosidade efetiva 0,12.

Tabela 1.41 – Parâmetros hidráulicos avaliados pelo método de Neuman (1975) para o aquífero Rio Branco na cidade de Rio Branco – AC.

Aquífero Rio Branco	T (m ² /dia)	b (m)	K (m/dia)	β	r (m)	S	S _y	KD
Média do Aquífero	8,85	10	0,89	0,2	10	3,25E-05	0,12	1/5

T = transmissividade; b = Espessura saturada; K = condutividade hidráulica; β = fator de drenagem gravitacional; r = distância de avaliação do armazenamento; S = coeficiente de armazenamento; S_y = Porosidade efetiva; KD = Grau de anisotropia.

1.5.8 - Aquífero Aluvial

O aquífero Aluvial corresponde aos sedimentos aluvionares indiferenciados que se distribuem ao longo das planícies dos vales dos rios. Esses sedimentos variam de areia fina a média por vezes conglomerática com algum teor de argila, geralmente sendo cobertos por uma camada argilosa ou silto-argilosa, o que lhes confere o caráter de semiconfinamento.

Os valores máximos, mínimos e médios obtidos para os parâmetros de transporte e armazenamento pelo método de Cooper & Jacob (1946) em 02 (dois) testes realizados em poços localizados na zona urbana de Tabatinga são apresentados na **tabela 1.42**.

Tabela 1.42 - Valores máximos, mínimos e médios dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Aluvial.

Parâmetro	Máximo	Mínimo	Médio
Coeficiente de Transmissividade (m ² /dia)	147,9	56,8	102,3
Condutividade Hidráulica (m/dia)	7,0	2,8	4,9
Coeficiente de Armazenamento (adm)	5,65.10 ⁻³	1,60.10 ⁻³	3,63.10 ⁻³

A condutividade hidráulica apresenta valores relativamente próximos, da mesma ordem de grandeza, com uma diferença aproximada de 2,5 vezes, entre a

mínima e a máxima, enquanto que a diferença entre a transmissividade mínima e a máxima é de 2,6 vezes, respectivamente. Para terrenos aluviais, que são heterogêneos por natureza, os valores obtidos de condutividade hidráulica sugerem condições relativamente homogêneas e indicativas da presença de areias relativamente permeáveis em ambos os poços testados. O coeficiente de armazenamento deduzido dos testes variou numa faixa de 1,6E-03 a 5,6E-03, com uma média de 3,6E-03, que demonstra a tendência para uma condição hidráulica de aquífero praticamente livre. Já os resultados obtidos pela CPRM (1998) citados por Pereira & Cajazeiras (2012), indicam para o aquífero aluvial em Rondônia uma transmissividade variável de $6,6 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ a $4,27 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, com valor médio de $6,03 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ ou 52,1 m²/dia (CPRM, 1998). Nesse caso a diferença entre os valores extremos da transmissividade é de 650 vezes, configurando condições muito heterogêneas nesse aquífero. Pereira & Cajazeiras (2012) mencionam ainda que, segundo Melo Junior (2010), o aquífero Aluvial em Rio Branco/AC apresenta transmissividade acima de 120 m²/dia e poços com capacidade específica maior que 3 m³/h/m, caracterizando-os como aptos para abastecimento público.

Conclusões completamente diversas sobre os resultados obtidos por Melo Junior (2010) em Rio Branco são apresentadas pela ANA-PHA (Volume VII), após constatar que em 15 (quinze) poços com vazão supostamente estabilizada, as alturas dinâmicas saturadas são muito pequenas (0,3 a 1,0 m), indicando que em todos os testes de bombeamento os níveis dinâmicos atingiram o crivo da bomba após tempos relativamente curtos para as vazões bombeadas, que variaram de 1,1 a 16,8 m³/h. Em regime de equilíbrio, a capacidade máxima permissível para poços no aquífero Aluvial de Rio Branco, sem levar em conta interferências, foi estimada em 0,71 m³/h e, portanto, os poços não podem ser considerados aptos para o abastecimento público, mas apenas para abastecimentos domésticos individuais e durante poucas horas por dia.

Numa condição como essa, revelada pelo método de Cooper & Jacob (1946) que se aplica a aquífero confinado, os valores relativamente altos do armazenamento são indicativos de um comportamento de aquífero livre. Por esta razão os testes de bombeamento realizados na cidade piloto de Tabatinga (Volume IX) foram também avaliados com maior detalhe pelo método de Neuman (1975), através do qual foi possível separar os efeitos da liberação de água por descompressão (armazenamento confinado, S) e da liberação de água por drenagem gravitacional retardada (porosidade efetiva ou armazenamento livre, S_y). Os valores encontrados pelo método de Neuman (1975) são apresentados na **tabela 1.43**, na qual também aparecem outros parâmetros de interesse para a modelagem de fluxo como, por exemplo, a condutividade hidráulica vertical e o grau de anisotropia. O armazenamento confinado S = 2,75E-5 e a porosidade efetiva ou armazenamento livre S_y = 0,125.

Tabela 1.43 – Parâmetros hidráulicos avaliados pelo método de Neuman (1975) para o aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga – AM.

Aquífero Aluvial	T (m ² /dia)	ho (m)	Kh (m/dia)	Kv (m/dia)	β	r (m)	S	Sy	KD
Média do Aquífero	6,1	15	0,76	0,17	0,1	10	2,75E-05	0,125	0,225

T= transmissividade do aquífero; ho = espessura saturada do aquífero; Kh = condutividade hidráulica horizontal do aquífero; Kv = condutividade hidráulica vertical do aquífero; β = fator de drenagem retardada; r = distância simulada para estimativa do coeficiente de armazenamento (S) e da porosidade efetiva (Sy); KD = fator de anisotropia.

1.5.9 – Conclusões Sobre os Resultados Obtidos

Embora os testes de bombeamento não tenham sido realizados nas condições ideais da teoria, que prescrevem aquíferos inicialmente em repouso e sem interferência de outros poços e malgrado tenha sido o coeficiente de armazenamento avaliado, na maioria dos casos, sem poços de observação, os resultados obtidos são julgados satisfatórios por apresentarem ordens de grandeza perfeitamente compatíveis com os tipos de aquíferos avaliados e por se tratarem de valores aproximados por procedimentos perfeitamente válidos para ajustar as exigências da teoria às condições reais de campo.

Pela teoria empregada, o aquífero deve se encontrar inicialmente em repouso. Como na área da PHA todos os aquíferos testados se encontram em exploração, não há como garantir essa condição. No caso em estudo, muitos dos poços testados já se encontravam em operação há muito tempo e neles a reta inicial de rebaixamento transiente (que reflete a liberação instantânea de água do aquífero pelo alívio de pressão) se desenvolve em um intervalo de tempo muito pequeno, inferior a 1 minuto, que corresponde ao intervalo da primeira leitura. Teoricamente, usando transdutores de pressão com leituras programadas em segundos, é possível avaliar essa reta e usar os seus coeficientes M e N na **equação 1.8** para determinar o tempo t_0 e calcular um valor consistente do coeficiente de armazenamento. Nas condições em que os testes foram realizados (aquíferos em exploração e com muitos outros poços em operação) isso se torna muito difícil. Assim sendo, os valores de S claramente inconsistentes avaliados através da **equação 1.11** foram aproximados por valores consistentes determinados com essa mesma equação supondo que a interseção da reta inicial com o eixo das abscissas na ordenada de rebaixamento $s = 0$, corresponde ao tempo de 1 segundo.

Outra questão importante diz respeito aos testes de aquífero previstos e executados no aquífero Barreiras em Belém. Esse aquífero nas condições testadas não ocorre como unidade hidrogeológica de fluxo (UHF) isolada, mas compoendo um sistema semiconfinado com o aquífero Pirabas. Esta circunstância explica os altos valores dos parâmetros hidráulicos encontrados e ao mesmo tempo revela que tais parâmetros não podem ser atribuídos apenas ao aquífero Barreiras, mas sim (no caso) ao sistema aquífero Barreiras-Pirabas em Belém. A rigor, pode-se dizer que esta circunstância vai muito além: demonstra a necessidade de uma revisão dos conceitos atuais de “aquífero”, que se baseiam apenas no nome das unidades litoestratigráficas, quando é também preciso levar em conta as condições hidráulicas. Na interpretação de testes de aquífero, não se trabalha apenas com unidades litoestratigráficas entendidas como aquíferos, mas com formações ou grupo de formações

geológicas permeáveis, saturadas, com superfícies potenciométricas próprias, capazes de serem simuladas como Unidades Hidrogeológicas de Fluxo (UHF's).

A conclusão sobre os resultados obtidos é que em apenas 02 (dois) testes foram evidenciadas condições hidráulicas de aquífero confinado com fluxo puramente horizontal, passíveis de descrição pelo método de Cooper & Jacob (1946). Nos 28 (vinte e oito) testes restantes ocorreram condições hidráulicas de aquíferos livres, semilivres e semiconfinados, indicativas de contribuições externas por fluxos verticais que somente puderam ser descritas através do método de Neuman (1975).

Assim sendo, daqui em diante, todas as referências feitas a parâmetros hidráulicos se aplicam aos que foram avaliados pelo método de Neuman (1975), tanto para as estimativas de reservas quanto para o modelo numérico de fluxo (capítulo 2).

1.5.10 – Parâmetros Hidráulicos do Método de Neuman (1975)

Condutividade hidráulica

Os resultados apresentados na **tabela 1.44** mostram que a condutividade hidráulica média é de 4,53 m/dia.

Tabela 1.44 – Valores médios de condutividade hidráulica obtidos nos testes realizados no âmbito do Projeto ANA-PHA em 14 cidades da região.

Cidade	Testes (tabela 1.20)	Condutividade hidráulica (m/dia)				Média
Almeirim	1, 2, 1obs, 2obs	3,18	32,40	2,72	108,72	36,76
Belém	25, 26,27,28	2,21	12,70	3,84	12,88	7,91
Macapá	29, 30	2,90	9,20	-	-	6,05
Manaus	5, 6, 7, 8	0,79	0,16	0,17	0,06	0,30
Santarém	3, 4	0,27	1,38	-	-	0,83
Barcelos	22	0,09	-	-	-	0,09
Coari	18, 19	0,40	4,95	-	-	2,68
Cruzeiro do Sul	11, 11a, 12	0,95	11,48	0,94	-	4,46
Eirunepé	17	1,66	-	-	-	1,66
Fonte Boa	20, 21	0,11	0,26	-	-	0,19
Lábrea	15, 16	0,21	0,39	-	-	0,30
Porto Velho	13, 14	0,94	0,12	-	-	0,53
Rio Branco	23, 24	0,78	0,98	-	-	0,88
Tabatinga	9, 10	0,75	0,77	-	-	0,76
Média						4,53

Coefficiente de Armazenamento

O coeficiente de armazenamento médio obtido nos testes é igual a 2,17E-04 (**tabela 1.45**).

Tabela 1.45 – Valores médios do coeficiente de armazenamento obtidos nos testes realizados em 14 cidades da PHA no Brasil.

Cidade	Testes (tabela 1.20)	Coeficiente de armazenamento (S)				S médio
Almeirim	1, 1obs, 2, 2obs	1,24E-05	1,08E-03	3,54E-06	2,55E-03	9,11E-04
Belém	25, 26,27,28	7,95E-04	8,05E-04	6,78E-04	2,36E-04	6,29E-04
Macapá	29, 30	-	-	-	-	-
Manaus	5, 6, 7, 8	1,44E-05	6,76E-05	3,84E-06	1,54E-04	6,00E-05
Santarém	3, 4	2,92E-04	8,00E-05	-	-	1,86E-04
Barcelos	22	1,26E-04	-	-	-	1,26E-04
Coari	18, 19	4,21E-05	1,11E-04	-	-	7,66E-05
Fonte Boa	20, 21	2,65E-05	9,87E-05	-	-	6,26E-05
Tabatinga	9, 10	-	-	-	-	-
Cruzeiro do Sul	11, 11a, 12	1,37E-06	1,44E-05	4,54E-04	-	1,57E-04
Eirunepé	17	2,60E-05	-	-	-	2,60E-05
Lábrea	15, 16	-	-	-	-	-
Porto Velho	13, 14	6,90E-05	1,70E-04	-	-	1,20E-04
Rio Branco	23, 24	3,45E-05	3,05E-05	-	-	3,25E-05
Média						2,17E-04

Porosidade Efetiva

O valor médio de porosidade efetiva é igual a 0,13 (tabela 1.46).

Tabela 1.46 – Valores médios da porosidade efetiva obtidos nos testes realizados em 14 cidades da PHA no Brasil.

Cidade	Testes (tabela 1.20)	Porosidade Efetiva (Sy)				Sy médio
Almeirim	1, 1obs, 2, 2obs	-	-	-	-	-
Belém	25, 26,27,28	0,11	-	-	-	0,11
Macapá	29, 30	0,08	0,11	-	-	0,095
Manaus	5, 6, 7, 8	-	-	-	-	-
Santarém	3, 4	0,16	0,1	-	-	0,13
Barcelos	22	0,14	-	-	-	0,14
Coari	18, 19	0,11	0,27	-	-	0,19
Fonte Boa	20, 21	0,1	0,21	-	-	0,155
Tabatinga	9, 10	0,05	0,2	-	-	0,125
Cruzeiro do Sul	11, 11a, 12	0,002	-	0,01	-	0,006
Eirunepé	17	0,24	-	-	-	0,24
Lábrea	15, 16	-	-	-	-	-
Porto Velho	13, 14	0,13	0,15	-	-	0,14
Rio Branco	23, 24	0,08	0,17	-	-	0,125
Média						0,13

1.6 – Reservas

A avaliação das reservas foi feita seguindo as diretrizes estabelecidas no documento intitulado: Conjuntura dos Recursos Hídricos do Brasil (ANA, 2013).

1.6.1 - Reserva Reguladora ou Recarga Potencial Direta

A recarga potencial direta (RPD) corresponde à parcela da precipitação pluviométrica média anual que infiltra e efetivamente alcança os aquíferos livres, constituindo assim a reserva renovável ou reguladora (ANA, 2013). Na estimativa dessa reserva são levados em conta os 03 (três) parâmetros seguintes:

- **Variação sazonal de níveis:** As informações disponíveis sobre as variações sazonais do freático nas 18 (dezoito) cidades incluídas no Projeto ANA-PHA no Brasil são apresentadas no **anexo 4.3** e foram obtidas nas duas campanhas de medição de nível efetuadas nos meses de abril e de outubro de 2012. A variação sazonal média registrada foi de 2,408 m, em 211 poços com medições comuns nos dois períodos.
- **Área do SAAB:** A área do SAAB corresponde à área da PHA no Brasil, que é estimada em 2,0 E06 km².
- **Porosidade efetiva:** A porosidade efetiva média considerada para o SAAB é igual a 0,13 (**tabela 1.46**).

$$RPD = A \times \Delta h \times S_y$$

$$RPD = 2,0 \times 10^{12} m^2 \times 2,408 m / ano \times 0,13 = 626 km^3 / ano \text{ ou } 313 mm / ano$$

Esta é realmente uma recarga potencial, pois conforme sugere o resultado da modelagem (Capítulo 2), após alcançar o freático ela retorna aos rios, ou seja, é restituída para a rede hidrográfica composta de igarapés e de rios de médio e grande porte sem participar da vazão de escoamento natural do SAAB.

1.6.2 - Reserva Potencial Explotável Estimada - RPE

A reserva potencial explotável é dada pelo produto da recarga potencial direta pelo coeficiente de sustentabilidade - CS (ANA, 2013), que no caso do SAAB na PHA no Brasil é igual a 0,4. Assim sendo, temos a seguinte estimativa para a reserva potencial explotável do SAAB:

$$RPE = RPD \times CS = 626 km^3/ano \times 0,4 = 250 km^3/ano$$

1.6.3 - Reserva Permanente

O SAAB foi concebido como um grande sistema de águas subterrâneas livres, e, portanto, o modelo numérico de fluxo não contempla reservas sob pressão e a sua reserva permanente corresponde à reserva de saturação.

De acordo com o **anexo 4.6** a espessura média deduzida da diferença entre as cotas de topo e base $h_0 = 0,441$ km. Usando, porém, o volume do bloco 3D, $V = 0,9526E06$ km³ e a área do SAAB $A = 2,0E06$ km² verifica-se que a espessura média saturada $h_0 = 0,476$ km.

Multiplicando o volume do SAAB pela porosidade efetiva média $S_y = 0,13$ obtém-se uma reserva permanente de 123.838 km³, conforme a equação que segue:

$$R_p = V \times S_y = 0,9526 \times 10^6 km^3 \times 0,13 = 123.838 km^3$$

O bloco 3D do SAAB com indicação do seu volume e sua reserva permanente é mostrado na **figura 1.37**.

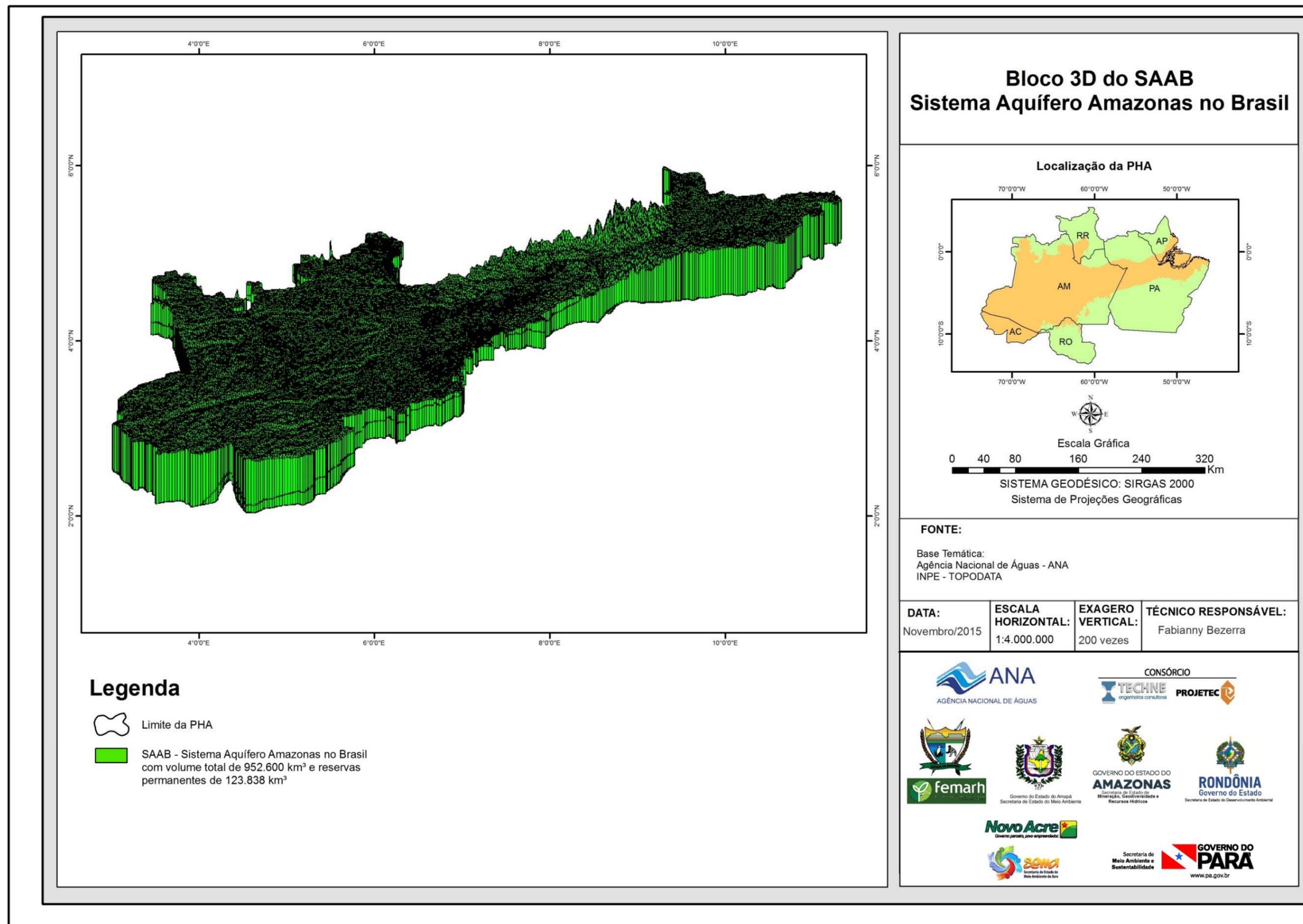


Figura 1.37 – Bloco 3D do SAAB – Sistema Aquífero Amazonas no Brasil, com indicação do seu volume e reserva permanente.

1.7 – Situação da Exploração dos Aquíferos na PHA no Brasil

A situação da exploração de água subterrânea na PHA no Brasil é feita usando dados levantados da CPRM/SIAGAS em 2014 e analisados de forma global e de dados levantados em 2015, analisados por aquífero ou unidade hidrogeológica de fluxo (UHF).

1.7.1 – Poços Catalogados e Cadastrados

Globalmente, o estudo estatístico das vazões é feito a partir de 13.759 poços que compõem a planilha de dados catalogados do SIAGAS em 2014 e utilizada no estudo da PHA no Brasil. As seguintes deficiências da planilha impuseram dificuldades para se atingir os fins pretendidos.

- Dos 13.759 poços listados, apenas 6.465 têm vazão informada;
- Dos 13.759 poços listados, apenas 412 têm regime de bombeamento informado (horas por dia, dias por semana e meses por ano);
- Os poços com vazão informada não coincidem com os poços com regime de bombeamento informado.

As dificuldades acima indicadas tornaram necessária a adoção de critérios para se preencher as lacunas existentes na planilha.

1.7.2 - Preenchimento das lacunas das vazões

Para preencher as lacunas referentes às vazões foi analisada a distribuição de frequência das 6.465 vazões informadas. O resultado obtido é mostrado no histograma da **figura 1.38**. Esse histograma mostra que as 6.465 vazões registradas na planilha de poços têm uma distribuição de frequências exponencial. Os parâmetros dessa distribuição são os seguintes:

- Mediana = 6 m³/h;
- Média amostral da distribuição = 11,28 m³/h;
- Moda = 2 m³/h;
- Média aritmética dos dados = 16,1 m³/h.

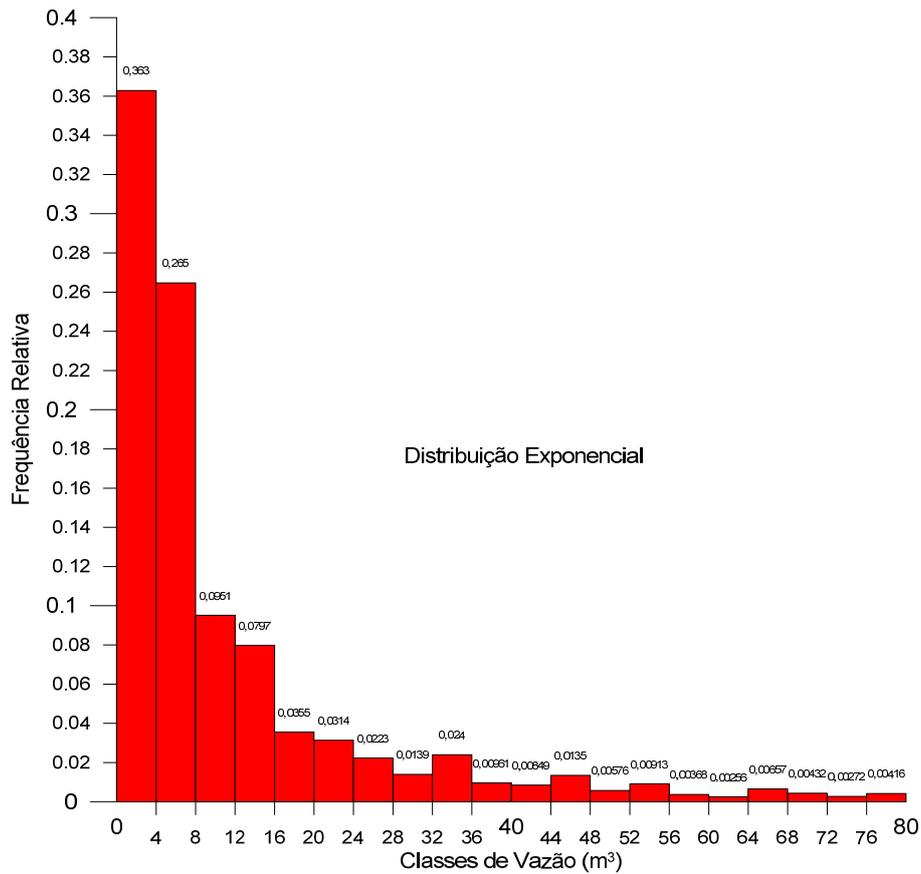


Figura 1.38 – Histograma das vazões.

Uma distribuição de frequências exponencial teórica, de equação $Y = \lambda \cdot e^{(-\lambda \cdot X)}$, foi ajustada aos dados amostrais (**figura 1.39**). Esse ajuste resultou num valor de 0,20787 para o parâmetro λ . O principal resultado obtido é o seguinte:

- Esperança = média da distribuição, prevista pela lei = $1/|\lambda| = 4,80 \text{ m}^3/\text{h}$.

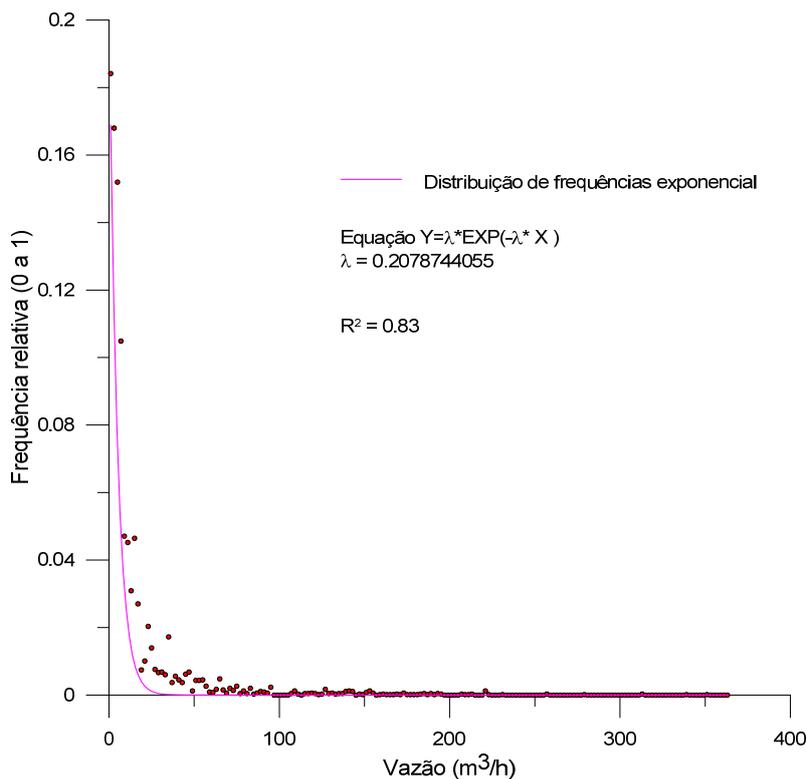


Figura 1.39 – Lei exponencial ajustada às vazões.

A análise dos valores acima leva a considerar a média amostral da distribuição (11 m³/h) como o valor mais representativo para o preenchimento das lacunas na planilha de poços. Essa escolha encontra ainda respaldo no fato de que 85% das vazões analisadas situam-se no intervalo de 1 a 20 m³/h, conforme mostrado na distribuição de frequências acumuladas (**figura 1.40**).

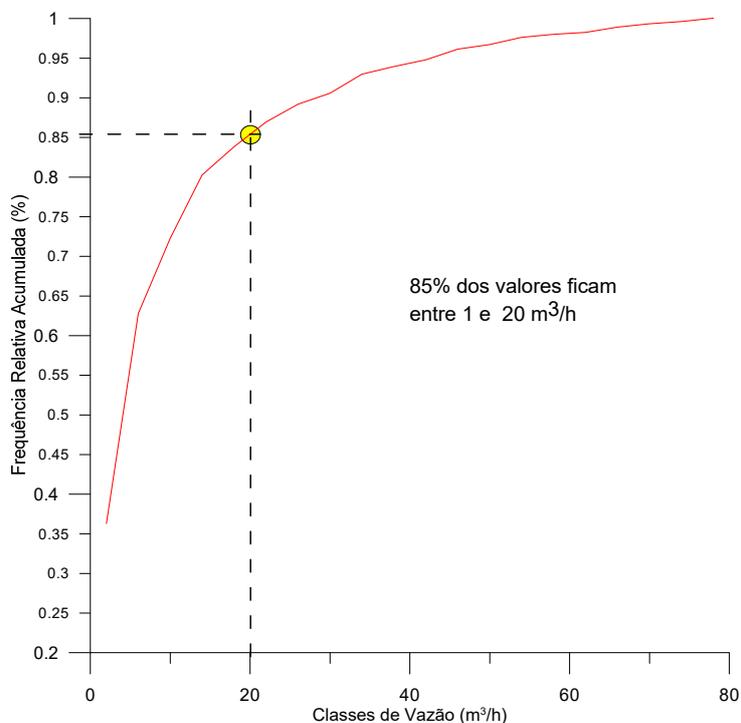


Figura 1.40 – Frequências acumuladas das vazões.

Na planilha disponível, as informações sobre as situações dos poços são precárias e desatualizadas. Não se sabe quais unidades estão bombeando, paralisadas, desativadas, abandonadas etc. Para fins do preenchimento de lacunas vamos considerar, na presente análise, que todos os poços estão bombeando. Não há risco de superestimação da disponibilidade porque, como se sabe, o número de poços cadastrados é muito menor que os poços efetivamente existentes. Na planilha, quando não existe um valor de vazão informado, encontra-se um zero. Isso não será considerado, naturalmente, como poço paralisado, mas sim como poço sem informação de vazão.

1.7.3 - Preenchimento das lacunas dos regimes de bombeamento

Para preencher as lacunas referentes às horas de bombeamento foi analisada a distribuição de frequência dos 412 regimes de bombeamento informados (horas anuais de bombeamento). O resultado obtido é mostrado no histograma da **figura 1.41**.

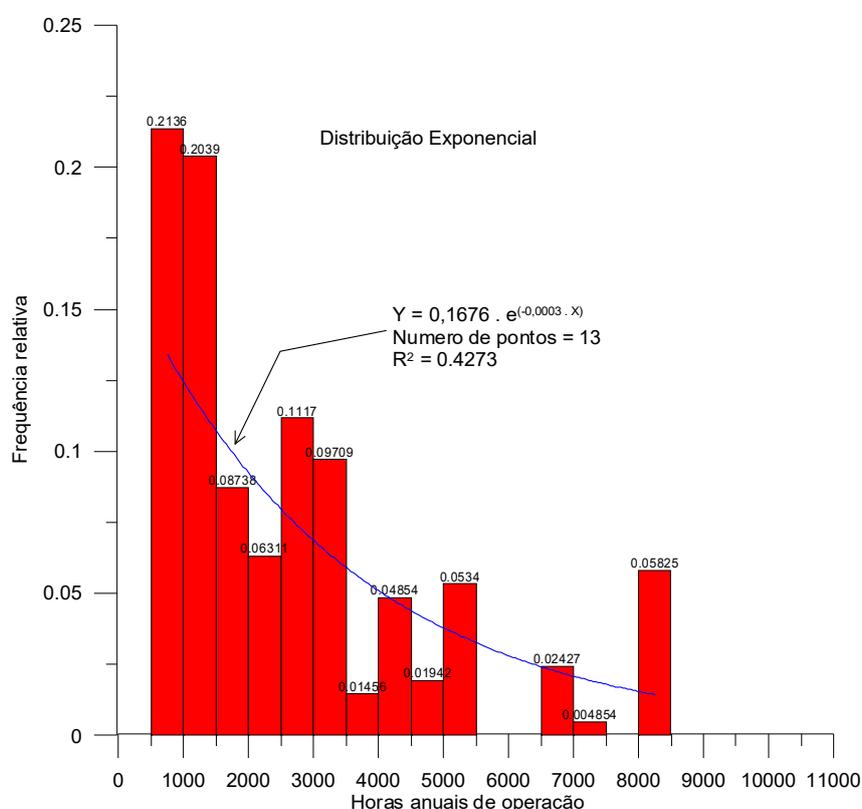


Figura 1.41 – Histograma das horas anuais de operação.

O histograma acima mostra que as horas anuais de bombeamento registradas na planilha de poços têm uma distribuição de frequências que se aproxima de uma distribuição exponencial. Os parâmetros dessa distribuição são os seguintes:

- Mediana = 504 horas anuais;
- Média da distribuição = 2.730,6 horas anuais;
- Moda = 750 horas anuais;
- Média aritmética = 1.466,95 horas anuais;
- 76% dos valores ficam entre 500 e 3.500 horas anuais.

Uma lei exponencial de equação $Y = 0,17 \cdot e^{(-0,0385x)}$ pode ser ajustada aos dados amostrais. O principal parâmetro fornecido por essa lei é o seguinte:

- Esperança = média = $1/\lambda = 3.333,33$ horas anuais.

A análise dos parâmetros acima leva a considerar a média da distribuição (2.730,6 horas anuais) como o valor mais representativo para o preenchimento das lacunas na planilha de poços.

1.7.4 - Produção Geral dos Poços da PHA no Brasil

No estudo da produção geral dos poços foram considerados os dois tipos de produção de poços, abaixo conceituados:

- Produção Efetiva (PE) – É a descarga efetivamente *produzida pelos poços* tal como eles se encontram, considerando-se seus reais regimes de bombeamento;
- Produção Potencial (PP) – É a descarga que *esses poços* produziram tal como se encontram, mas considerando-se regime contínuo de bombeamento.

Com as lacunas referentes às vazões e às horas anuais de bombeamento preenchidas conforme acima discutido, os resultados obtidos apontam para uma produção efetiva de 0,6 km³/ano e para uma produção potencial de 1,95 km³/ano.

1.7.5 – Potencialidade dos Aquíferos

Produtividade dos Poços

O Mapa Hidrogeológico do Brasil ao Milionésimo (CPRM, 2014) é mostrado na **figura 1.42**, na qual se destaca a Província Hidrogeológica Amazonas (PHA no Brasil) e a correspondente articulação das 15 (quinze) folhas ao milionésimo que a recobrem. Esse mapa, usando classificação modificada de Struckmeier & Margat (1995), apresenta uma caracterização das águas subterrâneas definindo 6 (seis) classes de *produtividade de aquífero*. Essa denominação foi introduzida por Monte & Mont'Alverne (1982) no Mapa Hidrogeológico do Brasil, na escala de 1:5.000.000, como um indicador da "importância hidrogeológica relativa" dos diferentes aquíferos do país. Originalmente apresentado como a capacidade específica (m³/h/m) de poços para rebaixamento de 25 m, supostamente em regime de equilíbrio, tem agora os seus valores considerados como válidos pela CPRM (2014) para testes de bombeamento de 12 horas e rebaixamentos máximos de 25 m. Na definição de classe de produtividade para os aquíferos fraturados e cársticos, o mapa da CPRM (2014) considera apenas os dados de vazão, sugerindo que a produtividade de poços ou de aquífero, neste caso, independe da profundidade do crivo da bomba. Isso não parece muito apropriado, já que nos meios fraturados as entradas de água para os poços podem ocorrer a diferentes profundidades e a vazão do poço depende da profundidade do crivo da bomba. A produtividade de um poço em qualquer tipo de aquífero se mede pela sua capacidade específica e não simplesmente pela vazão.

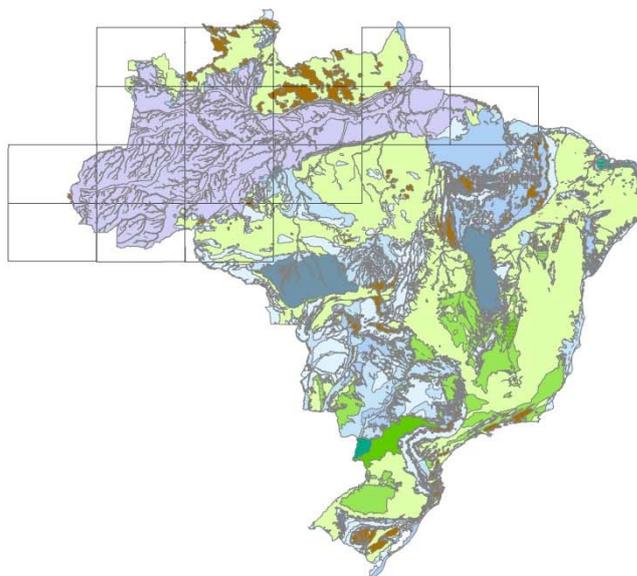


Figura 1.42 - Mapa Hidrogeológico do Brasil ao Milionésimo com o índice das folhas e limite da PHA no Brasil. Fonte: CPRM, 2014.

O Mapa Hidrogeológico do Brasil ao Milionésimo (CPRM, 2014) estabelece 06 (seis) classes de *produtividade de aquífero*, definida como igual à produtividade de poços (capacidade específica Q/s) nos aquíferos granulares e como igual à vazão dos poços, nos aquíferos fraturados e cársticos:

- Classe 1 – Muito alta – fornecimento de água de importância regional e nacional ($Q/s > 4,0 \text{ m}^3/\text{h/m}$);
- Classe 2 – Alta – de importância regional dentro da média nacional de bons aquíferos ($2,0 \leq Q/s < 4,0 \text{ m}^3/\text{h/m}$);
- Classe 3 – Moderada – de importância local ($1,0 \leq Q/s < 2,0 \text{ m}^3/\text{h/m}$);
- Classe 4 – Geralmente baixa e localmente moderada ($0,4 \leq Q/s < 1,0 \text{ m}^3/\text{h/m}$);
- Classe 5 – Geralmente muito baixa e localmente baixa ($0,04 \leq Q/s < 0,4 \text{ m}^3/\text{h/m}$);
- Classe 6 – Pouco produtiva ou não aquífera ($Q/s < 0,04 \text{ m}^3/\text{h/m}$).

Para os aquíferos granulares da PHA no Brasil, a classificação de produtividade de aquífero baseada em capacidade específica de poços sem conhecimento da condutividade hidráulica não é satisfatória como indicadora de potencialidade dos aquíferos.

Para demonstrar que na escala de 1:1.000.000 essa classificação não reflete a potencialidade dos aquíferos, um segundo levantamento de dados do SIAGAS foi realizado em setembro de 2015, no qual se obteve um total de 14.476 poços. Desse total existem 1.528 poços (11%) sem aquífero informado, conforme indicado na **tabela 1.47**. Nota-se que a distribuição do número de poços por folha do Mapa Hidrogeológico da PHA no Brasil é bastante irregular, havendo 05 (cinco) folhas (Pico da Neblina, Boa Vista, Macapá, Contamana e Porto Velho) com apenas 0,9% dos poços; 05 (cinco) folhas, com 9,2% dos poços (Içá, Javari, Juruá, Rio Branco e Tapajós) e 05 (cinco) folhas com 89,9% dos poços (Belém, Manaus, Purus, Santarém e São Luís), sendo que, nesse último caso, 66% de

todos os poços estão concentrados nas zonas urbanas de Belém, Manaus, Santarém e São Luís. No geral, esta distribuição de poços confere às folhas um nível de conhecimento hidrogeológico extremamente localizado.

Tabela 1.47 – Distribuição por folha ao milionésimo dos 14.676 poços catalogados do SIAGAS em setembro de 2015 na PHA no Brasil.

Folha	Nome	Número de poços	Aquífero não informado	Aquífero informado
NA-19	PICO DA NEBLINA	3	-	3
NA-20	BOA VISTA	8	-	8
NA-22	MACAPÁ	41	-	41
SC-18	CONTAMANA	14	14	-
SC-20	PORTO VELHO	720	655	65
SA-22	BELÉM	2.587	200	2.387
SA-20	MANAUS	3.950	3	3.947
SB-20	PURUS	521	-	521
SA-21	SANTARÉM	3.764	27	3.737
SA-23	SÃO LUÍS	1.312	88	1.224
SA-19	IÇÁ	152	-	152
SB-18	JAVARI	535	121	414
SB-19	JURUÁ	265	-	265
SC-19	RIO BRANCO	632	383	249
SB-21	TAPAJÓS	172	37	135
TOTAL		14.676	1.528	13.148

A **tabela 1.48** apresenta os valores de produtividade média de poços em 14 (quatorze) unidades litoestratigráficas (ULs) dos aquíferos estudados da PHA no Brasil. O número de valores (tamanho das amostras) disponíveis em cada aquífero varia de 3 a 3.201. À luz dos dados dos poços catalogados e segundo a metodologia adotada no Mapa Hidrogeológico do Brasil (CPRM, 2014), o aquífero Alter do Chão, com uma capacidade específica média de 1,6 m³/h/m pertenceria à classe (3), indicativa de *produtividade moderada*, ficando na 7^a posição no *ranking* de produtividade dos aquíferos listados na **tabela 1.48**, onde a Formação Faro, do Paleozoico aflorante, aparece na classe (2), com *produtividade alta*. Em parte, isto pode ser devido à grande diferença de tamanho das amostras, como sugere o erro padrão de 0,1 m³/h/m para a Formação Alter do Chão (com 3.201 valores) e de 0,9 m³/h/m para a Formação Faro (com apenas 3 valores).

O principal motivo, todavia, se deve ao fato de que os poços catalogados no aquífero Alter do Chão apresentam profundidade média de apenas 85 m (**tabela 1.50**), que muito provavelmente corresponde à situação desse aquífero na cidade de Manaus, ou seja, reflete uma condição local.

Em escala regional, os dados obtidos de 86 poços estratigráficos do BDEP (**anexo 4.5**) mostram que a espessura do aquífero Alter do Chão varia de 22 a 1.244 m, com média de 380 m e possui um percentual de areia que varia de 31,1 a 98,1%.

Tabela 1.48 – Capacidade específica (produtividade) média de poços da PHA no Brasil segundo dados catalogados do SIAGAS em setembro de 2015.

Unidade Litoestratigráfica (UL)	Média Q/s (m ³ /h/m)	N válidos	Erro padrão	Produtividade de Poços*
Formação Pirabas	7,2	393	0,9	Muito alta
Aluviões	4,4	248	0,5	Muito alta
Formação Tucunaré	3,8	37	0,4	Alta
Formação Barreiras	3,3	1.443	0,2	Alta
Formação Faro	3,3	3	0,9	Alta
Formação Içá	3,1	248	0,3	Alta
Formação Alter do Chão	1,6	3.201	0,1	Moderada
Formação Monte Alegre	1,4	23	0,3	Moderada
Formação Nova Olinda	1,3	10	0,4	Moderada
GRUPO URUPADI	1,3	6	0,4	Moderada
Formação Itaituba	1,1	66	0,1	Moderada
Paleozoico aflorante (indiferenciado)	1,1	153	0,1	Moderada
GRUPO CURUÁ	0,9	10	0,2	Geralmente baixa (localmente moderada)
GRUPO TROMBETAS	0,5	33	0,1	Geralmente baixa (localmente moderada)

* Produtividade de aquífero (CPRM, 2014).

As ULs do Paleozoico aflorante ficam restritas a uma superfície de 3,4% da PHA e nelas as espessuras médias de camadas aquíferas foram deduzidas das profundidades médias apresentadas na **tabela 1.49**. Admite-se que as ULs são granulares e somente aquelas com percentual médio de arenito superior a 50% são classificadas como aquíferos, enquanto que as demais são consideradas aquíferos.

A julgar pela litologia e pela forma de completação dos poços (**anexo 4.4**), alguns deles sem revestimento nas zonas de admissão de água (AM7930, AM6016, AM6839) e de outros quase sem arenitos e boa produtividade (AM5199 e AM6468), tudo indica que o Paleozoico indiferenciado deve constituir um meio aquífero de dupla porosidade, com predomínio granular em alguns poços e predomínio fraturado em outros, ou até mesmo, no geral, com predomínio de meio fraturado.

Tabela 1.49 – Aquíferos e aquíferos do Paleozoico aflorante na PHA no Brasil e suas produtividades (m³/h/m).

Poço*	Unidade Litoestratigráfica	Profundidade (m)	Profundidade média (m)	Arenito (m)	Vazão (m³/h)	Produtividade (m³/h/m)	Produtividade Média (m³/h/m)	Litologia	Pelitos	% arenito	Média % arenito
PA5936	Base Nova Olinda	150	194	32	25	0,44	1,32	(solo, folhelhos, calcários)	118	21	81
PA3678	Base Nova Olinda	260		236	7,2	3,6		(solo, argilas)	24	91	
PA6480	Base Nova Olinda	260		260	17	2,42		(arenito compacto)	0	100	
PA6478	Base Nova Olinda	260		260	1,9	0,03		(arenito compacto)	0	100	
PA6306	Base Nova Olinda	41		38	3	0,12		(solo argiloso)	3	93	
PA7019	CURUÁ	210	195	76	-	-	0,67	(solo, folhelhos, diabásios)	134	36	20
PA7018	CURUÁ	180		6	12	0,67		(solo, folhelhos, diabásios)	174	3	
PA4783	Itaituba	184	201	0	1,2	0,06	0,34	(solo, folhelhos, diabásios)	184	0	16
PA3356	Itaituba	230		0	1,5	0,02		(solo, folhelhos, diabásios)	230	0	
PA3761	Itaituba	240		26	3	0,6		(folhelhos)	214	11	
PA1107	Itaituba	65		22	3	0,09		(argilas, calcários)	43	34	
AM6471	Itaituba	70		9	3,1	0,35		(folhelhos, calcarenitos)	61	13	
PA2100	Itaituba	364		65	28	0,59		(folhelhos, granito)	299	18	
PA6758	Itaituba	258		6	10	0,71		(solo, diabásios)	252	2	
PA5213	Monte Alegre	140	142	140	24	3,4	2,8	(arenito quartzíticos)	0	100	100
PA6342	Monte Alegre	144		144	20	2,2		(arenitos quartzíticos)	0	100	
AM7930	TROMBETAS	200	155	172	10	0,62	0,55	(folhelhos, argilas)	28	86	66
AM6016	TROMBETAS	122		113	20,8	0,63		(folhelhos)	9	93	
AM6624	TROMBETAS	150		120	18	0,56		(folhelhos)	30	80	
AM6839	TROMBETAS	150		108	17	0,4		(folhelhos)	42	72	
PA1104	URUPADI	270	222	0	30	1,36	0,72	(folhelhos)	270	0	8
PA4001	URUPADI	222		32	6	0,353		(folhelhos, siltitos)	190	14	
PA4002	URUPADI	230		20	20	1,667		(folhelhos, siltitos)	210	9	
PA6691	URUPADI	150		5	5,83	0,128		(rocha intemperizada, diabásio)	145	3	
PA1106	URUPADI/CURUÁ	277		46	65,4	1,21		(folhelhos, siltitos)	231	17	
PA5175	URUPADI	264		12	5	0,096		(argilitos, folhelhos)	252	5	
PA3345	URUPADI	140		10	4	0,2		(diabásio penatecaua)	130	7	

* Sigla SIAGAS simplificada: AM = 130000; PA = 150000.

A **tabela 1.50** mostra a profundidade média dos poços catalogados por aquífero/aquitardo na PHA.

Tabela 1.50 – Profundidade média dos poços catalogados do SIAGAS/CPRM 2015.

Unidade Hidrogeológica de Fluxo (UHF)	Profundidade média dos poços (m)	Minima	Máxima	N válidos
Aquífero Aluvial	22	0,1	183,5	624
Aquífero Içá	41	0,8	130	1.644
Aquífero Alter do Chão	85	0,9	280	6.849
Aquífero Barreiras	35	7,6	276	2.092
Aquífero Pirabas	123	11	310	498
Aquitardo Solimões	26	1	240	480
Aquífero Tucunará	62	16	160	37
Aquitardo Paleozoico aflorante	62	0,5	364	355
Aquífero Trombetas	52	0,5	364	202
Aquífero Urupadi	160	28	277	12
Aquitardo Curuá	129	35	230	18
Aquífero Monte Alegre	75	32	258	28
Aquitardo Itaituba	59	11	280	68
Aquífero Base Nova Olinda	85	28	258	11

Essas profundidades são quase desprezíveis em relação às espessuras máximas indicadas para as UHFs nas cartas crono e litoestratigráficas das bacias sedimentares da PHA, condensadas na **figura 1.43**. Como a potencialidade será avaliada com base na transmissividade, as espessuras precisam ser ajustadas com base no conhecimento oriundo do Volume II – Geologia e dos poços estratigráficos do BDEP, como apresentado na **tabela 1.51**.

Diante desses motivos, na escala de 1:1.000.000, ao invés de 6 (seis) classes de *produtividade de aquífero*, propõe-se neste trabalho uma classificação em 4 (quatro) classes de *potencialidade de aquífero*: *muito alta*, *alta*, *média* e *baixa*, baseada na transmissividade e nas áreas de ocorrência dos aquíferos, como será descrito no que segue.

Potencialidade dos Aquíferos

De modo geral os poços catalogados do SIAGAS em setembro de 2015 penetram muito pouco no sistema de águas subterrâneas livres da PHA, definido como SAAB. Assim sendo, como já visto na **tabela 1.48**, a suposição de que a produtividade dos poços corresponde à produtividade dos aquíferos subestima a potencialidade dos aquíferos, notadamente dos espessos pacotes arenosos Alter do Chão-Jazida da Fazendinha na bacia do Amazonas, e da Formação Tucunará na bacia do Marajó, quando comparados com os aquíferos do Paleozoico aflorante. Portanto, para o Mapa Hidrogeológico ao Milionésimo da PHA no Brasil, o critério mais indicado é o de *potencialidade* e não de *produtividade*.

Para deixar o mais claro possível o conceito de potencialidade proposto nesse relatório, alguns conceitos teóricos são lembrados:

Aquífero: unidade litoestratigráfica permeável capaz de armazenar e de transmitir quantidades significativas de água subterrânea para aproveitamento;

Aquitardo: unidade litoestratigráfica semipermeável capaz de armazenar e de transmitir quantidades pouco significativas de água subterrânea para aproveitamento;

Aquiclude: unidade litoestratigráfica pouco permeável capaz de armazenar e de transmitir apenas quantidades insignificantes de água subterrânea para aproveitamento.

À luz desses conceitos não se cogita da avaliação de potencialidade para aquíferos e nem para aquíferos, mas somente para aquíferos, que são as únicas unidades litoestratigráficas capazes de fornecer quantidades significativas de água para aproveitamento. Neste sentido, todos aquíferos e aquíferos são definidos como de baixa potencialidade, independente de qualquer outra característica.

Condutividade hidráulica K : coeficiente que expressa a quantidade de água do aquífero que passa através da face perpendicular ao fluxo, de um cubo de lado unitário (**figura 1.44a**).

Transmissividade de um aquífero: coeficiente que expressa a quantidade de água que se move pelo aquífero, através da área lateral de um prisma (seção perpendicular ao fluxo) de largura unitária e de altura igual à espessura do aquífero (**figura 1.44b**).

Para um aquífero livre de espessura saturada h , a transmissividade é igual à condutividade hidráulica multiplicada pela espessura h do aquífero, ou seja: $T=K.h$ pode ser interpretado como a *produtividade do aquífero* e não deve ser confundida com o conceito de capacidade específica ou vazão específica também chamado *produtividade de poço*.

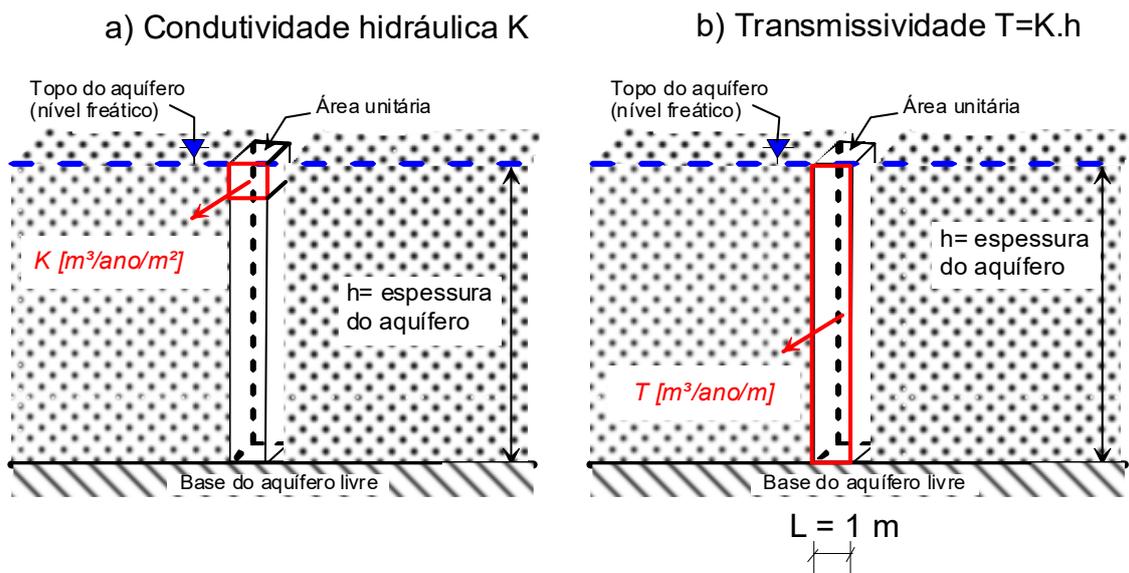


Figura 1.44 – Conceitos de condutividade hidráulica e transmissividade de um aquífero livre de espessura saturada h .

Potencialidade de um aquífero: na **equação 1.18**, a potencialidade de um aquífero de transmissividade T e largura média L , é definida pelo produto:

$$Pot = T \times L \quad (1.18)$$

Assim como a transmissividade é o produto da condutividade hidráulica pela espessura do aquífero numa seção transversal de largura unitária e altura igual à espessura do aquífero, a potencialidade é o produto da transmissividade pela largura média do aquífero. Essa largura é dada pela raiz quadrada da área de ocorrência, que equivale ao lado de um quadrado $L = \sqrt{A}$. O fluxo ocorre numa seção transversal com a largura média do aquífero e altura igual à espessura do aquífero (**figura 1.45**).

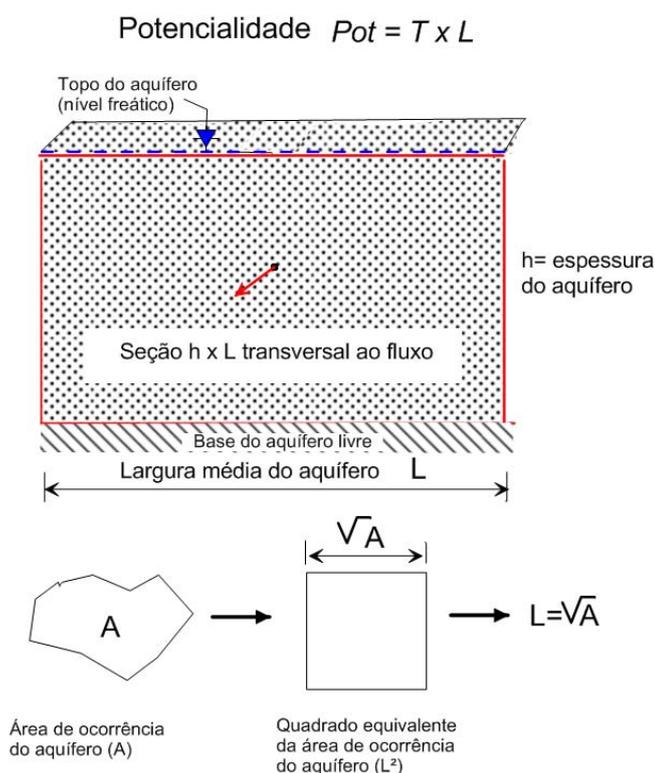


Figura 1.45 – Conceito de potencialidade de um aquífero dado pelo produto da transmissividade pela largura média do aquífero.

A potencialidade expressa em $[km^3/ano]$ leva à definição de 4 (quatro) classes: muito alta, alta, média e baixa, com as seguintes magnitudes:

- *Potencialidade muito alta* $Pot > 1.000 km^3/ano;$
- *Potencialidade alta* $100 \leq Pot < 1.000 km^3/ano;$
- *Potencialidade média* $10 \leq Pot < 100 km^3/ano;$
- *Potencialidade baixa* $Pot < 10 km^3/ano,$ além dos aquíferos e aquícludas.

Condutividade hidráulica

Para os aquíferos **Aluvial, Içá, Tucunaré, Alter do Chão-Jazida da Fazendinha e Barreiras-Pirabas** foram consideradas as condutividades hidráulicas obtidas nos testes de aquífero realizados no âmbito do projeto e

mostrados na **tabela 1.20**. Para o aquífero **Javari** que é muito profundo e não foi ainda alcançado por poços tubulares e permanece praticamente desconhecido, utilizou-se para fins de cálculo a condutividade hidráulica do aquífero Alter do Chão, levando em conta que ambas as formações são constituídas basicamente de arenitos e fazem parte de uma mesma sequência de deposição: Javari-Jazida da Fazendinha-Alter do Chão, como se vê no perfil longitudinal da **figura 1.21**.

Transmissividade ($T = K h$)

Usando as condutividades hidráulicas (**tabela 1.44**) e as espessuras h dos aquíferos livres constantes da **tabela 1.51**, foram calculadas para esses aquíferos as transmissividades que se encontram da **tabela 1.52**.

Para os aquíferos do Paleozoico aflorante (**Trombetas, Monte Alegre e Base Nova Olinda**) como não se dispõe de informações sobre parâmetros hidráulicos foi possível estimar as transmissividades desses aquíferos a partir do conhecimento das capacidades específicas de poços neles perfurados (**tabela 1.48**). Segundo a classificação de produtividade de poços do mapa hidrogeológico da CPRM (2014), trata-se de capacidades específicas de 12 horas.

Transmissividade (usando a capacidade específica)

A **equação (1.19)** indica que a capacidade específica de um poço varia com o diâmetro, o tempo de bombeamento e também com os parâmetros de transporte transmissividade (T) e de armazenamento (S).

Os valores da produtividade dos poços (0,55 m³/h/m no aquífero Trombetas, 2,8 m³/h/m no aquífero Monte Alegre e 1,32 m³/h/m no aquífero Base Nova Olinda), fornecidos na **tabela 1.49**, foram introduzidos na equação teórica (**1.19**) da capacidade específica, expressa por:

$$\frac{Q}{s} = \frac{4\pi T}{\ln \left[\frac{2,257t}{r_p^2 S} \right]} \quad (1.19)$$

$\frac{Q}{s}$ = capacidade específica teórica [m³/h/m];

T = transmissividade do aquífero [m² / dia];

t = tempo de bombeamento [horas];

r_p = raio do poço [m]

S = coeficiente de armazenamento do aquífero []

Trata-se de uma estimativa bastante aproximada mas que se justifica porque fornece uma ordem de grandeza da transmissividade desses aquíferos permitindo assim inferir a potencialidade dos mesmos na escala ao milionésimo. Afinal trata-se de uma estimativa baseada na produtividade dos poços existentes em exploração nesses aquíferos. Na aplicação da **equação (1.19)** estão implícitas as seguintes hipóteses:

- Os aquíferos Trombetas, Monte Alegre e Base Nova Olinda são do tipo livre, com as espessuras dadas na **tabela 1.51**;

- O tempo de bombeamento é de 12 horas, conforme já indicado no mapa hidrogeológico ao milionésimo da CPRM (2014);
- Para estimar o raio do poço, adota-se o diâmetro mediano e mais frequente dos poços tubulares catalogados do SIAGAS, que é igual a 152 mm (6”) e corresponde a um raio de poço igual a 0,0762 m;
- Como se trata de aquífero livre, o coeficiente de armazenamento é dado pela porosidade efetiva (S_y), cujo valor estimado pelo método de Neuman (1975) a partir dos testes realizados no âmbito do Projeto ANA-PHA variou de 0,006 a 0,24, com uma média de 0,13 (**tabela 1.46**).

A **equação (1.20)** pode ser simplificada fazendo $a = \frac{2,25t}{r_p^2 S}$, e pode ser escrita:

$$\frac{Q}{s} = \frac{4\pi T}{\ln(\frac{r}{r_p})} \text{ ou ainda:}$$

$$\frac{1}{4\pi} \times \frac{Q}{s} = \frac{T}{\ln(\frac{r}{r_p}) + \ln(\tau)} \quad (1.20)$$

A essa altura a transmissividade pode ser calculada por iteração expressando a **equação (1.20)** na forma $f(T)=0$, ou seja, calculando a raiz da **equação (1.21)**:

$$\frac{1}{4\pi} \times \frac{Q}{s} \times [\ln(\frac{r}{r_p}) + \ln(\tau)] - T = 0 \quad (1.21)$$

No caso, o cálculo foi feito por meio de uma pequena macro em VBA Excel e os resultados apresentados em vermelho na **tabela 1.52**.

Tabela 1.51 – Espessuras dos aquíferos da PHA no Brasil (Volume II e anexo 4.5).

Unidade Hidrogeológica de Fluxo (UHF)	Média	Mínima	Máxima
Aquífero Aluvial	22	10	183
Aquífero Içá	100	20	150
Aquífero Tucunaré	300	16	600
Aquífero Alter do Chão-Jazida da Fazendinha	450	22	1.530
Sistema Barreiras-Pirabas	200	10	1.010
Aquífero Javari	400	100	1.000
Aquífero Trombetas	155	10	364
Aquífero Monte Alegre	142	32	258
Aquífero Base Nova Olinda	194	28	258

Cálculo da potencialidade

Com a transmissividade e as áreas de ocorrência dos aquíferos, obtém-se a largura média do quadrado equivalente e calcula-se a potencialidade através da **equação (1.18)**. Os resultados encontrados são apresentados na **tabela 1.52**.

Na referida tabela se encontram as estimativas de potencialidade para todos os aquíferos.

Tabela 1.52 – Potencialidade dos aquíferos da PHA e do Sistema Aquífero Amazonas no Brasil (SAAB).

Unidade Hidrogeológica de Fluxo (UHF)	K (m/dia)	Espessura média (m)	(Q/s)* (m ³ /h/m)	T (m ² /dia)	T (km ² /ano)	Área (km ²)	Largura média (km)	Potencialidade (km ³ /ano)	Classe
Aquífero Aluvial	0,79	22	-	17	6,34E-03	318.394	564	4	Média
Aquífero Tucunaré	6,05	226	-	1.367	4,99E-01	77.779	279	139	Alta
Aquífero Alter do Chão- Jazida da Fazendinha	14,99	265	-	3.972	1,45E+00	552.155	743	1077	Muito Alta
Sistema Barreiras-Pirabas	7,9	200	-	1.580	5,77E-01	88.608	298	172	Alta
Aquífero Içá	1,01	100	-	101	3,69E-02	724.420	851	31	Média
Aquífero Javari	14,99	124	-	1.859	6,78E-01	787.642	887	602	Alta
Aquífero Trombetas	0,41	155	0,55	64	2,32E-02	19.779	141	3	Baixa
Aquífero Monte Alegre	3,19	142	2,8	453	1,65E-01	3.040	55	9	Baixa
Aquífero Base Nova Olinda	1,5	194	1,32	291	1,06E-01	11.037	105	11	Baixa
SAAB	-	-	-	-	-	-	-	2.049	Muito Alta

* K = condutividade hidráulica; Q/s = capacidade específica de poços; T = transmissividade; A espessura média adotada para estimativa da potencialidade do SAAB não foi a que consta na tabela 1.45, mas sim a espessura média deduzida da diferença entre as superfícies de topo e base do SAAB.

A potencialidade das formações cretácicas Moa (731 km²) e Ramon (1.131 km²), aflorantes na Serra do Divisor na bacia do Acre, não aparece na **tabela 1.52** pelo fato de não existirem poços cadastrados nessas formações e também de não se dispor de valores de transmissividade. Devido, porém, às reduzidas dimensões das suas áreas de afloramento a sua potencialidade é considerada baixa. Além disso, elas não fazem parte do SAAB porque estão em repouso sobre o embasamento cristalino numa região divisória de águas que escoam para oeste em direção ao Peru.

1.8 - Considerações Finais

Na **tabela 1.53** é mostrada uma síntese das reservas dos aquíferos e da produção dos poços conforme avaliação realizada nos **itens 1.6 e 1.7.4**.

Tabela 1.53 – Síntese da avaliação dos recursos hídricos subterrâneos da PHA no Brasil.

Reservas permanentes do SAAB	Saturação (km ³)	123.838,00
Produção dos Poços	Efetiva (km ³ /ano)	0,60
	Potencial (km ³ /ano)	1,95
Potencialidade do SAAB		2.049,00
Recarga Potencial Direta - RPD (km ³ /ano)		626,00
Reserva Potencial Explotável - RPE (km ³ /ano)		250,00

Os números acima apresentados admitem os seguintes comentários:

- As reservas permanentes do SAAB, a RPD e a RPE apresentadas na **tabela 1.53**, foram avaliadas para o conjunto dos aquíferos com uma porosidade efetiva de 13%. Considera-se, em termos de gestão, que essas estimativas do Projeto ANA-PHA no Brasil constituem valores iniciais que podem ser considerados factíveis. Cabe aos gestores, ao longo do acompanhamento dos processos de gestão, no dia a dia do seu trabalho, verificar a verossimilhança desses valores, ajustando-os na medida em que a evolução dos conhecimentos assim o permita e recomende;
- A produção efetiva de poços na PHA no Brasil (0,6 km³/ano) representa apenas 0,34% da RPE. Mesmo que a produção efetiva na PHA no Brasil fosse dez vezes maior que o número aqui avaliado, ela representaria apenas 3,4% da RPE, isto é, da reserva potencial explotável do SAAB;
- A produção potencial (24/24 h) é 3,25 vezes maior que a produção efetiva estimada, enquanto que a potencialidade do SAAB é 3.415 vezes maior do que a produção efetiva. Isso traduz o fato de que um grande número dentre os poços cadastrados é constituído de poços domésticos que funcionam poucas horas por dia;
- Os valores obtidos para a produção efetiva devem ser considerados como mínimos e muito aquém da realidade. As produções reais são muito maiores. Muitos poços existentes, com efeito, não estão registrados na planilha de poços. Só na zona urbana de Tabatinga, para citar um exemplo conhecido, Azevedo (2006) informava existir mais de 2.000 poços em funcionamento no ano de 2005. Em Manaus, para citar outro exemplo conhecido, França *et al.* (2005) falavam de 7.000 poços, dos

quais 1.113 eram registrados no SIAGAS e localizados numa área de 500 km². Nas demais capitais da PHA no Brasil a situação não é diferente;

- Pelos dados da planilha disponível de 2014, têm-se na PHA no Brasil 13.759 poços (14.676 em 2015) numa área de 2x10⁶ km². Isso nos dá uma densidade de 0,007 poços/km², compreensivelmente baixa em função das imensas áreas desabitadas e da desatualização da planilha. Os poços, com efeito, concentram-se sempre nas áreas urbanas e suas imediações. Se considerarmos os poços cadastrados, no exemplo de Manaus acima citado, a densidade chega a 2,2 poços/km².

Os comentários acima deixam a nítida sensação de que a atualização do cadastro de poços na PHA no Brasil é uma tarefa impositiva para se chegar a uma aproximação satisfatória da realidade. Essa atualização, por sua vez, que é uma tarefa permanente, somente se tornará exequível na medida em que os órgãos gestores estaduais tenham recursos, equipes treinadas e motivadas, e partam para assumir esse encargo nos respectivos estados.

2 – Modelagem Numérica de Fluxo na PHA no Brasil

2.1 - Introdução

A modelagem numérica do fluxo de água subterrânea é hoje reconhecida como uma ferramenta de grande relevância para a caracterização do fluxo subterrâneo, tanto em escala regional quanto local, servindo, portanto, de suporte à tomada de decisões na gestão de aquíferos.

De acordo com Voss (2011 a,b), um modelo é uma simplificação da realidade e não passa de uma ferramenta usada pelo hidrogeólogo para entender a subsuperfície. Neste sentido, considera que o modelista é mais importante do que o modelo e que a inclusão de complexidade indiscriminada em modelagem não é sofisticação, simplificação sim. Por outro lado, não vê nada de errado na busca de padrões complexos ou de detalhes, desde que o resultado não tenha uma única representação, pois para ele é impossível descrever em detalhe o “tecido geológico”.

Esse ponto de vista de Voss (2011 a,b) se insere no debate que tem sido travado nos últimos 3 (três) a 4 (quatro) anos sobre a simplicidade e/ou complexidade usadas na modelagem de água subterrânea. O enfoque se concentra no quão complexo (ou simples) a modelagem deve ser para cumprir os seus objetivos de suporte a decisão, ou em outras palavras, se o modelo deve contemplar um grande número ou um pequeno número de parâmetros para os ajustes.

Doherty & Simmons (2013), baseados em recentes resultados de pesquisas e em anos de experiência prática, advogam a adoção de uma *estrutura conceitual unificada* que admite a validade tanto de modelos simples, com poucos parâmetros e baixo custo, quanto de modelos extremamente complexos e com alta parametrização (com grande número de parâmetros) e custos computacionais elevados.

Os defensores da simplicidade da construção e parametrização dos modelos, geralmente são movidos pelas restrições de custos inerentes aos projetos de órgãos governamentais que tratam de gestão ambiental, nos quais se buscam soluções para atender a objetivos específicos, como por exemplo, a distribuição estacionária das cargas hidráulicas no domínio de estudo.

Em termos de complexidade, existem hoje serviços de computação em nuvem, como, por exemplo, o servidor *EC2* da *Amazon* e o servidor *Azure* da *Microsoft* para o qual Liu *et al.* (2012) apresentam uma implementação do *MODFLOW*. Buerger *et al.* (2012) apresentam uma interface gráfica com o usuário baseada na *web* para computação em nuvem com o modelo *PARFLOW*. Esses serviços podem calibrar modelos com grande número de unidades litoestratigráficas e longas séries temporais de dados históricos obtidos através de sensores automáticos.

Um exemplo de modelagem numérica com *FEFLOW*, apresentado por Hayley *et al.* (2014), utiliza o serviço em nuvem *EC2* da *Amazon* e trata da calibração baseada em *beoPEST* (Schreuder, 2009) de um modelo regional numa área de 30.865 km² em Alberta no Canadá, incluindo 28 unidades litoestratigráficas e 10 (dez) anos de medidas de nível de água em zonas de exploração de 3 (três) diferentes aquíferos. As propriedades hidráulicas foram calibradas em mais de 1.500 pontos de observação de nível de água. Na cobertura de recarga foram ajustados 450 parâmetros no total. A construção da malha em elementos finitos no *software FEFLOW* teve como base a locação de feições das águas superficiais interpretadas de um MDT (modelo digital do terreno). Condições de contorno incluindo de 1 (um) a 10 (dez) anos de fluxo de base observado em rios e a distribuição de poços de abastecimento de água, também foram incorporadas a essa modelagem.

No caso do projeto PHA no Brasil, por tratar-se de uma avaliação regional, numa área 65 vezes maior que a de Alberta, com dimensão provavelmente ímpar no mundo (2 milhões de km²) e sem dados de monitoramento, optou-se por uma modelagem extremamente simples, tendo como objetivos estimar e reproduzir a potenciometria do SAAB em regime permanente para inclusão no Mapa Hidrogeológico da Província Hidrogeológica Amazonas no Brasil, na escala 1:1.000.000.

Em relação à recarga convém destacar algumas considerações e conclusões de estudos recentes realizados em várias partes do mundo sobre os fatores mais influentes na sua quantificação, usando modelagem unidimensional na zona de aeração. Segundo Smerdon *et al.* (2008), a influência do clima e da profundidade do nível estático são os parâmetros mais sensíveis nas estimativas de recarga. A profundidade das raízes da vegetação também é destacada como um parâmetro sensível nas estimativas de recarga feitas por Scanlon *et al.* (2010), as quais foram validadas por ensaios de campo realizados na Índia, no deserto de Thar.

Keese *et al.* (2005) estudaram os fatores que controlam a recarga na escala do estado do Texas (USA). Através de uma análise de sensibilidade, chegaram à conclusão de que o parâmetro recarga é particularmente sensível às características da vegetação, evapotranspiração potencial e textura da zona não saturada.

Em perfis litológicos de solos mais arenosos, que são mais permeáveis, a água infiltrada da chuva atinge o nível estático relativamente rápido durante os eventos de precipitação, todavia, em perfis de solos com distribuição litológica mais complexa, marcada pela alternância de camadas argilosas e arenosas, maior quantidade de água é transpirada pela vegetação após eventos de chuva, reduzindo assim a recarga. Esse controle da vegetação é confirmado pelo fato de que em regiões simuladas sem vegetação a correlação entre chuva e infiltração é virtualmente a mesma em todos os perfis litológicos de solos.

Em outras palavras, nos modelos de recarga os parâmetros e os processos mais sensíveis dependem das características físicas do sistema, que são sempre incertas. Processos complexos, como, por exemplo, caminhos preferenciais de fluxo descendente (que também podem ser chamados de curtos circuitos de fluxo produzidos por descontinuidades do meio poroso), exercem um forte controle na recarga (Ireson & Butler, 2011), mas geralmente não são simulados em estudos regionais (Keese *et al.*, 2005). Ordens *et al.* (2014) chamam a atenção para a necessidade de introduzir variações nos modelos conceituais de modo a investigar de que forma esses processos complexos influem na recarga, problema que também é considerado por outros autores (Healy, 2010; Seifert *et al.*, 2008). Essa é uma das razões pelas quais se justifica no modelo conceitual do SAAB, no projeto ANA-PHA no Brasil, a hipótese de um sistema aquífero regionalmente livre, composto de uma única camada, em um meio que na verdade se constitui de inúmeras unidades litológicas superpostas e descontínuas, porém passíveis de comunicação hidráulica através de caminhos preferenciais de fluxo ou de processos complexos que controlam a recarga.

Taxas negativas de recarga sugerem altas taxas de evapotranspiração onde as raízes têm acesso às águas subterrâneas por ascensão capilar. Isto foi verificado por Ordens *et al.* (2012) e em outros estudos através de modelos (Smerdon *et al.*, 2008; Crosbie *et al.*, 2008).

Swaffer *et al.* (2013), com base em dados de campo coletados durante dois anos no sul da Austrália, concluíram que o balanço foi negativo em áreas cobertas por eucaliptos (*mallee trees*) e por casuarinas (*she-oak trees*), indicando recarga negativa, que o balanço foi positivo em áreas desprovidas de vegetação, sugerindo

uma recarga positiva. Os autores citados não conseguiram concluir se as raízes das árvores mencionadas estavam acessando a zona de saturação das águas subterrâneas ou apenas a zona de aeração.

Recargas negativas ocorrem tipicamente em simulações nas quais as profundidades das raízes das plantas ficam próximas da zona de saturação. Mesmo para níveis estáticos mais profundos a recarga ainda se revela praticamente nula para outros tipos de vegetação. Esse quadro geral é extremamente sugestivo de que nas condições da PHA no Brasil provavelmente todos esses fatores, desde o clima, cobertura vegetal e profundidade do nível estático e das raízes das plantas e, sobretudo, os afluxos externos de águas superficiais provenientes de 2/3 da bacia hidrográfica do rio Amazonas, desempenham um papel importante na recarga que, dentro da PHA no Brasil, não pode ser interpretada como unicamente resultante de infiltrações pluviométricas.

Essas conclusões são consistentes, em termos qualitativos, com as descobertas de Ordens *et al.* (2012), segundo as quais as taxas mais altas de recarga mostram correlação com áreas de pouca vegetação e que a transpiração domina sobre a evaporação na zona de aeração e na zona de saturação dos aquíferos.

2.2 – Construção do Modelo Numérico

Na construção do modelo numérico do SAAB na PHA no Brasil foi utilizado o MODFLOW-2000 (McDonald & Harbaugh, 1984; Harbaugh *et al.*, 2000), tendo como interface do usuário o GMS (*Groundwater Modeling System*) que, por sua vez, contém uma interface para um modelo de inversão chamado PEST (*Parameter Estimation*) que permite a estimativa de parâmetros no processo de calibração (Doherty, 2004).

2.2.1 - A Área Modelada

A área modelada, com uma superfície de $2,0 \times 10^6 \text{ km}^2$, situa-se no interior de um retângulo cujo lado maior está alinhado na direção leste-oeste, limitado entre os meridianos de 45° W e 75° W , com cerca de 3.300 km e entre os paralelos de 3° N e 12° S com aproximadamente 1.650 km, na direção norte-sul.

2.2.2 – Discretização da Área do Modelo

Como ilustrado na **figura 2.1**, a área do modelo foi discretizada em 120 x 60 células regulares de 15 minutos de lado e com apenas uma unidade hidrogeológica de fluxo (UHF) representativa do SAAB.

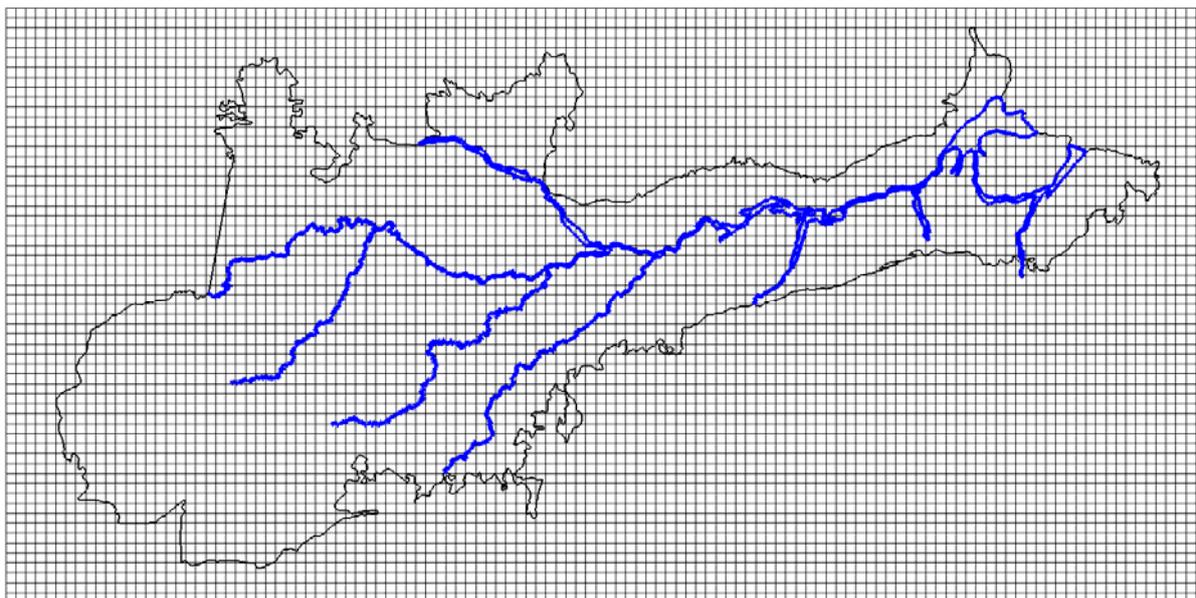


Figura 2.1 – Discretização da área do modelo numa malha de 7.200 (120 x 60) células regulares de 15" x 15", com apenas uma unidade hidrogeológica de fluxo (UHF), que representa o SAAB.

Células ativas

Das 7.200 células da área total do modelo, apenas 2.493 (**figura 2.2**) se encontram no interior do domínio da PHA e constituem as células ativas. Na escolha dessa malha, cada célula com dimensão de 15 minutos x 15 minutos (cerca de 750 km²) corresponde ao tamanho de uma folha mapeada no âmbito do Projeto ANA-PHA, nas cidades pilotos, na escala de 1:50.000. Essa escolha faz sentido, haja vista que, em relação à área do modelo, cada célula representa tão somente 0,04% da mesma. É, portanto, uma discretização que se pode considerar apropriada para a escala da PHA, notadamente quando também se sabe que a informação disponível dos poços estratigráficos do BDEP corresponde a 1 poço por cada 10.695 km².

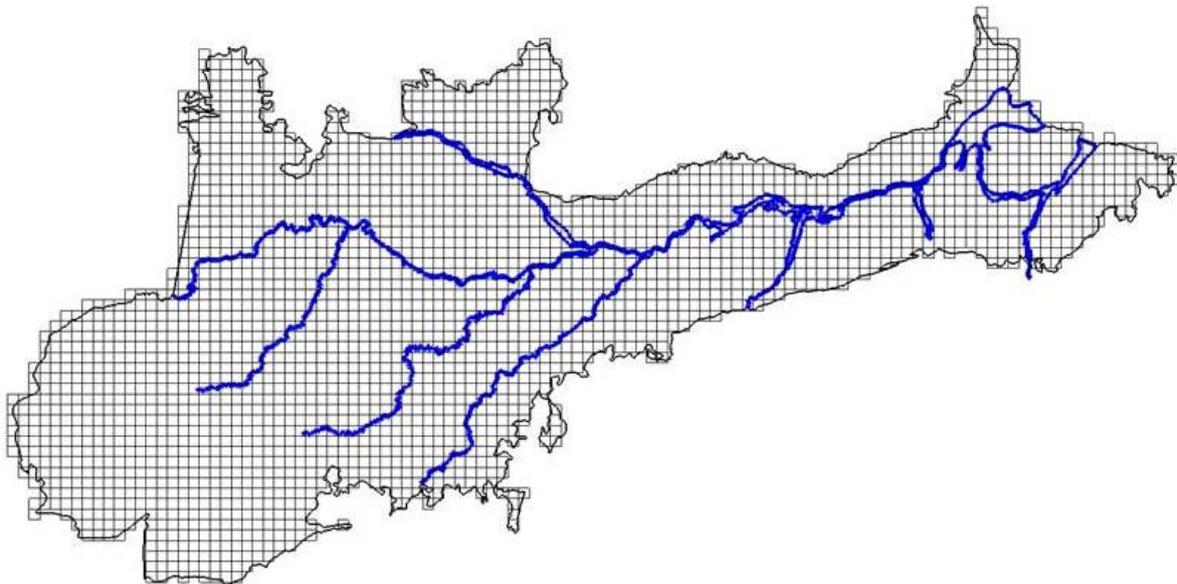


Figura 2.2 – Discretização do contorno da PHA com 2.493 células ativas.

2.2.3 – Condições de Contorno

Essas condições foram estabelecidas em 3 (três) camadas ou coberturas, conforme se descreve a seguir:

2.2.3.1 - Cobertura Fontes e Sumidouros

Nessa cobertura (**figura 2.3**) são impostos apenas os limites de carga especificada a leste e a oeste e os limites impermeáveis ou de fluxo nulo, ao sul e ao norte da PHA, considerando apenas uma única camada ou unidade hidrogeológica de fluxo (UHF), representativa do SAAB.

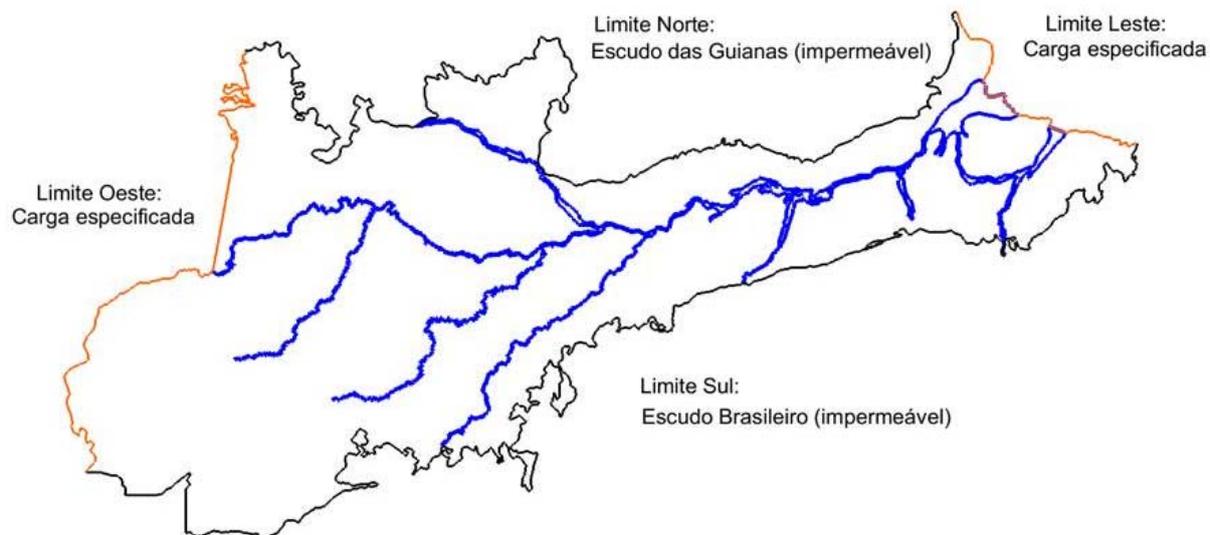


Figura 2.3 – Cobertura fontes e sumidouros constando unicamente das condições de carga especificada (a leste e a oeste) e de fluxo nulo (ao norte e ao sul).

Nenhuma condição de contorno envolvendo fluxos do tipo fonte/sumidouro (por exemplo, rios) ou do tipo sumidouro (por exemplo, poços) foi considerada, porque o modelo conceitual ignora completamente os fluxos dos rios e está focado unicamente nas suas cargas hidráulicas (obtidas a partir do MDT), as quais, em última instância, por hipótese, são interpretadas como “afloramentos” da superfície freática do SAAB. A inclusão de poços, por outro lado, está totalmente fora de cogitação na escala dessa modelagem, cujo objetivo fica restrito à avaliação do comportamento do fluxo subterrâneo, ou seja, à caracterização da potenciometria da PHA para inclusão no mapa hidrogeológico ao milionésimo do SAAB.

2.2.3.2 - Cobertura Recarga

A cobertura recarga (**figura 2.4**) foi constituída de um único polígono, no qual foi imposta inicialmente uma lâmina de 220 mm/ano, conforme sugerido pelo balanço hídrico da PHA (Volume I).

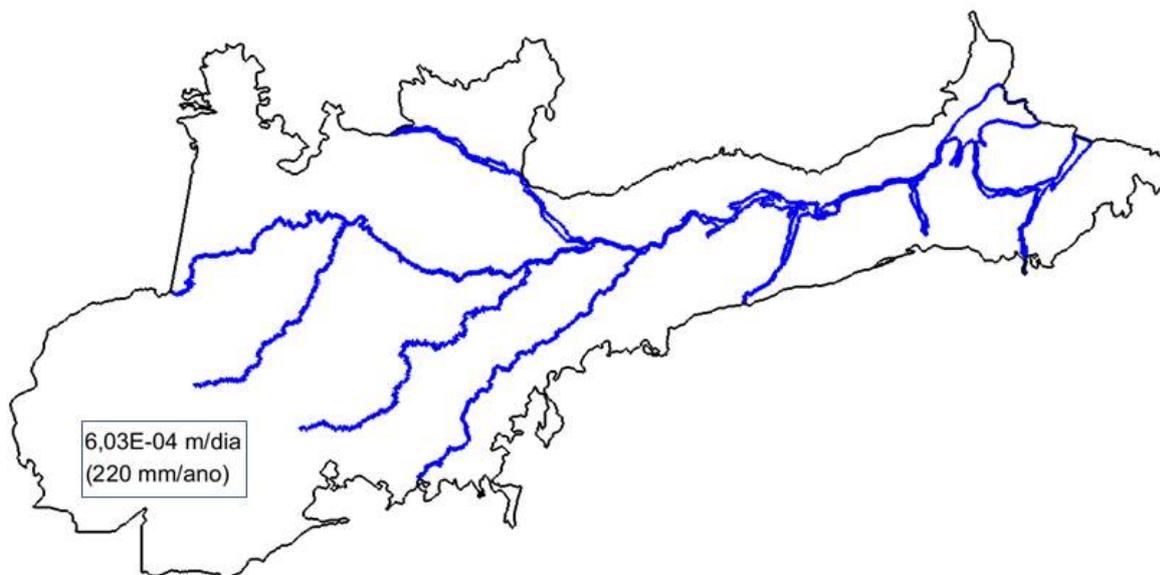


Figura 2.4 – Cobertura de recarga, representada por um único polígono no qual foi imposto um valor inicial correspondente à lâmina média de 220 mm/ano estimada pelo balanço hídrico da PHA (Volume I).

2.2.3.3 – Cargas Iniciais

As cargas iniciais do modelo são as do mapa potenciométrico da PHA no Brasil apresentado na **figura 2.6** e que foi elaborado a partir do modelo digital do terreno (**figura 2.5**). Admite-se que esse mapa representa a potencimetria de equilíbrio do SAAB, que deve ser reproduzida pelo modelo de fluxo, em regime permanente.

Considerou-se como hipótese de trabalho que a superfície potenciométrica do SAAB é livre e pode ser inferida das cargas dos rios no período de estiagem.

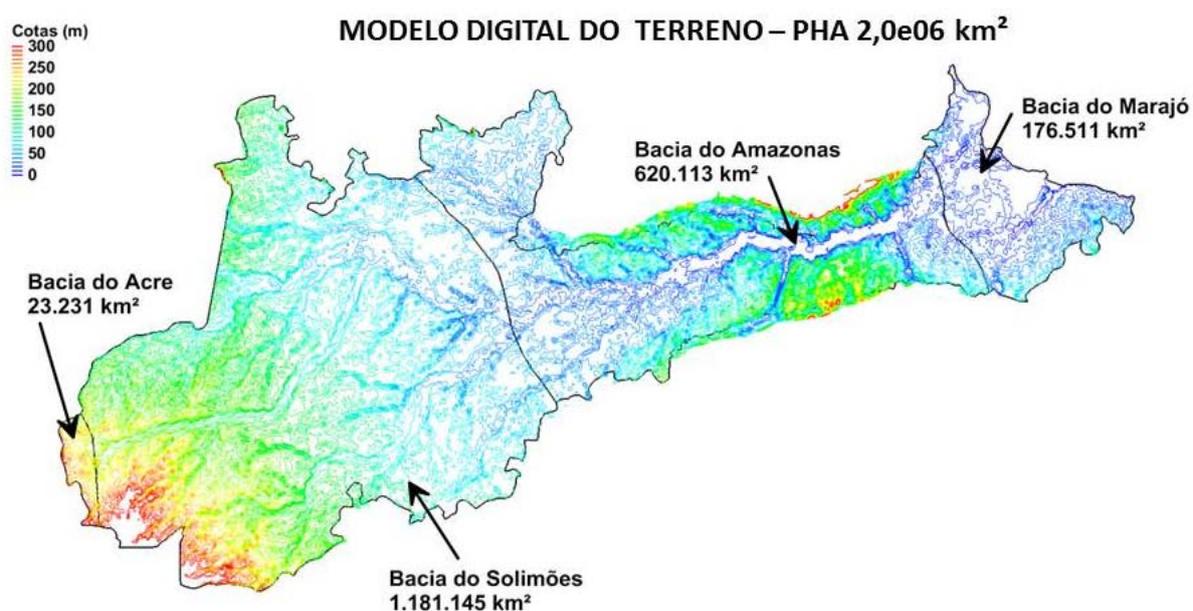


Figura 2.5 – Modelo digital do terreno utilizado para obtenção da potencimetria do SAAB a partir das cotas de nível de água dos aquíferos nas cidades estudadas e dos rios no período de estiagem.

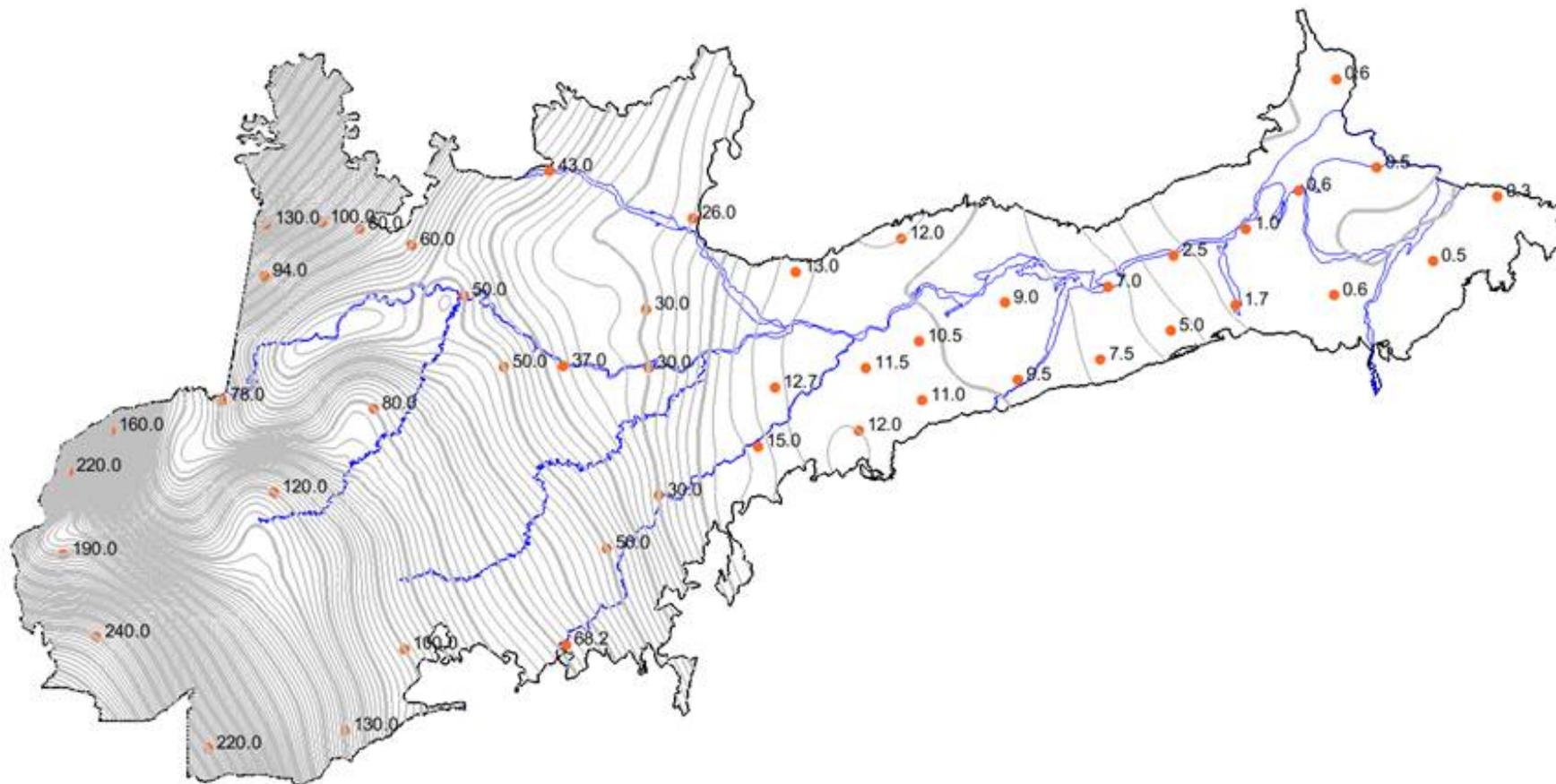


Figura 2.6 – Potenciometria do SAAB obtida a partir do modelo digital do terreno inferindo as cotas dos níveis de água dos aquíferos nas cidades estudadas e dos rios para o período de estiagem.

A distribuição espacial das cargas potenciométricas da superfície freática do SAAB, como se vê na **figura 2.6**, é marcada pela ocorrência de gradientes hidráulicos mais fracos no setor leste e mais fortes no setor oeste. Admite-se que isto decorre da geomorfologia, que engloba o relevo e a litologia das formações aflorantes. De fato, na escala da PHA no Brasil, segundo IBGE (1997), duas grandes unidades geomorfológicas se distinguem: a *Depressão do Baixo Amazonas* e a *Depressão do Solimões*.

A Depressão do Baixo Amazonas se desenvolveu na bacia do Amazonas em litologias arenosas da Formação Alter do Chão com prolongamentos para leste até a bacia do Marajó, em parte recoberta por espesso pacote de sedimentos do Quaternário, compondo a unidade Planície Amazônica. Já a Depressão do Solimões é composta, sobretudo, de argilitos e siltitos da Formação Solimões. Ainda segundo (IBGE, 1997) “As feições geomorfológicas predominantes na Depressão do Solimões, são extensas superfícies dissecadas em interflúvios tabulares, de média a fraca intensidade de aprofundamento da drenagem. Em paralelo à rede de drenagem dos rios Juruá, Purus, Tefé, Madeira, Jutai entre outros ocorrem faixas rebaixadas de interflúvios com características colinosas e rupturas de declive nas proximidades de terraços Amazônicos.”

2.2.3.4 - Cobertura de Condutividade Hidráulica

Para fins de entrada no modelo, em consonância com os gradientes hidráulicos do mapa de cargas iniciais da **figura 2.6**, foi possível distinguir 4 (quatro) zonas de condutividade hidráulica (K1, K2, K3 e K4). A zona de condutividade hidráulica K1 coincide com a Depressão do Baixo Amazonas, cuja área é de aproximadamente 604.000 km², enquanto que as zonas K2, K3 e K4 se encontram na Depressão do Solimões que cobre uma superfície aproximada de 1.396.000 km².

Os valores médios pontuais de condutividade hidráulica nas 14 (quatorze) cidades, avaliados a partir dos testes de aquífero e os valores médios em cada uma das zonas são indicados na **figura 2.7**.

A condutividade hidráulica média obtida para a zona K1 através dos testes realizados em 5 (cinco) cidades localizadas na Depressão do Baixo Amazonas é igual a 10,37 m/dia, conforme indicado na **tabela 2.1**. Na **tabela 2.2** são mostrados os valores médios de condutividade hidráulica para as zonas K2, K3 e K4, na Depressão do Solimões.

Tabela 2.1 – Valores médios de condutividade hidráulica avaliados em cidades situadas na Depressão do Baixo Amazonas.

Cidade	Testes (tabela 1.20)	Condutividade hidráulica (m/dia)				Média
Almeirim	1, 2	3,18	32,40	2,72	108,72	36,76
Belém	25, 26, 27, 28	2,21	12,70	3,84	12,88	7,91
Macapá	29, 30	2,90	9,20	-	-	6,05
Manaus	5, 6, 7, 8	0,79	0,16	0,17	0,06	0,30
Santarém	3, 4	0,27	1,38	-	-	0,83
Média na zona K1						10,37

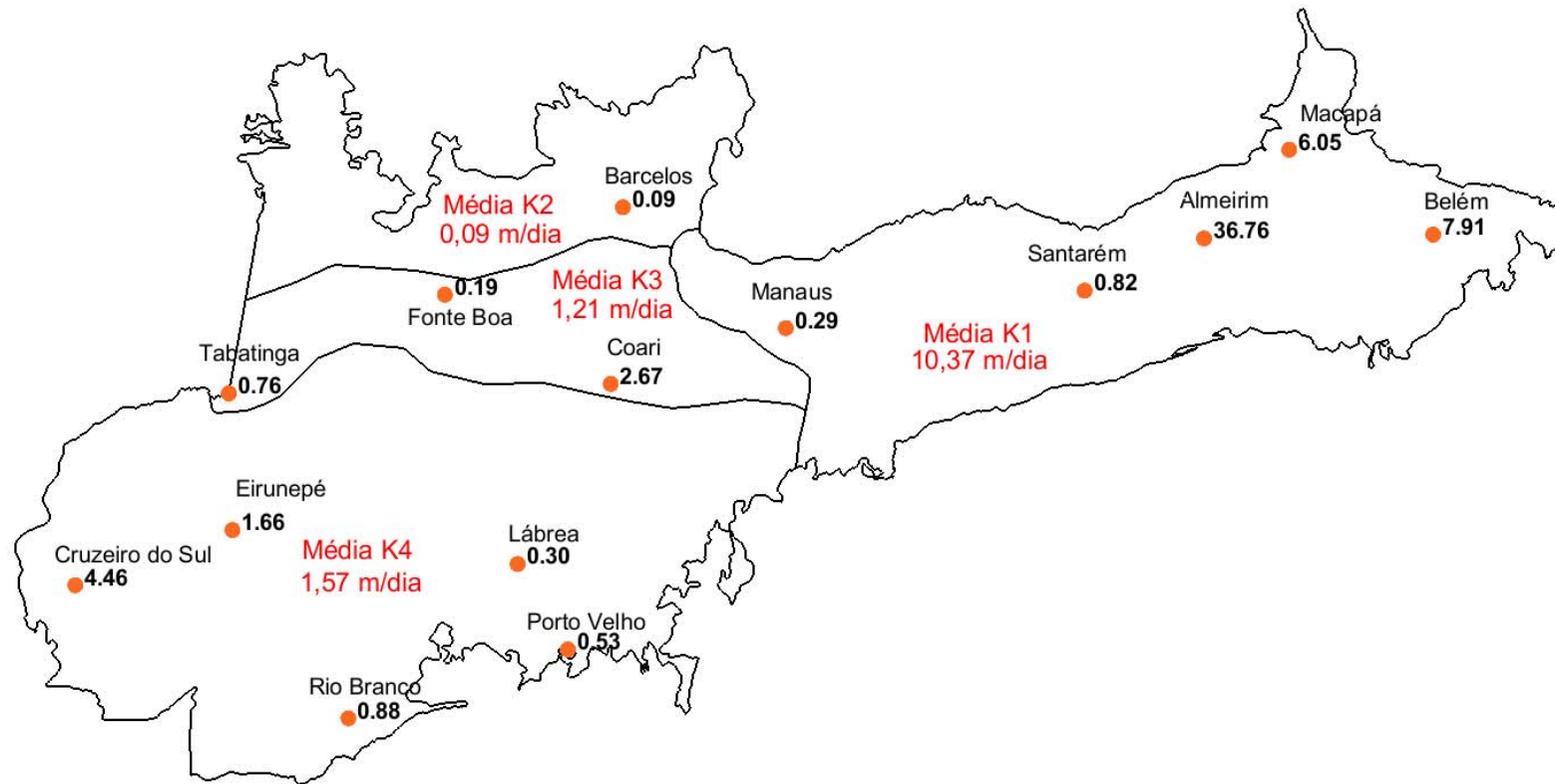


Figura 2.7 – Valores pontuais de condutividade hidráulica, avaliados nos 30 (trinta) testes de aquífero realizados em 14 (quatorze) cidades da PHA pelo método de Neuman (1975).

Tabela 2.2 – Valores médios de condutividade hidráulica obtidos em cidades situadas na Depressão do Solimões.

Cidade	Teste (tabela 1.20)	Condutividade hidráulica (m/dia)			Média
Barcelos	22	0,09	-	-	0,09
Média na Zona K2					0,09
Coari	18, 19	0,40	4,95	-	2,68
Fonte Boa	20, 21	0,11	0,26	-	0,19
Tabatinga	9, 10	0,75	0,77	-	0,76
Média na Zona K3					1,21
Cruzeiro do Sul	11, 11a, 12	0,95	11,48	0,94	4,46
Eirunepé	17	1,66	-	-	1,66
Lábrea	15, 16	0,21	0,39	-	0,30
Porto Velho	13, 14	0,94	0,12	-	0,53
Rio Branco	23, 24	0,78	0,98	-	0,88
Média na Zona K4					1,57

2.3 – Solução Manual

Usando apenas o MODFLOW 2000, mantendo constante a recarga e alterando manualmente apenas a condutividade hidráulica, obteve-se, por tentativa e erro, após 20 tentativas, a distribuição de cargas mostrada na **figura 2.8**, com as condutividades hidráulicas apresentadas na **figura 2.9**.

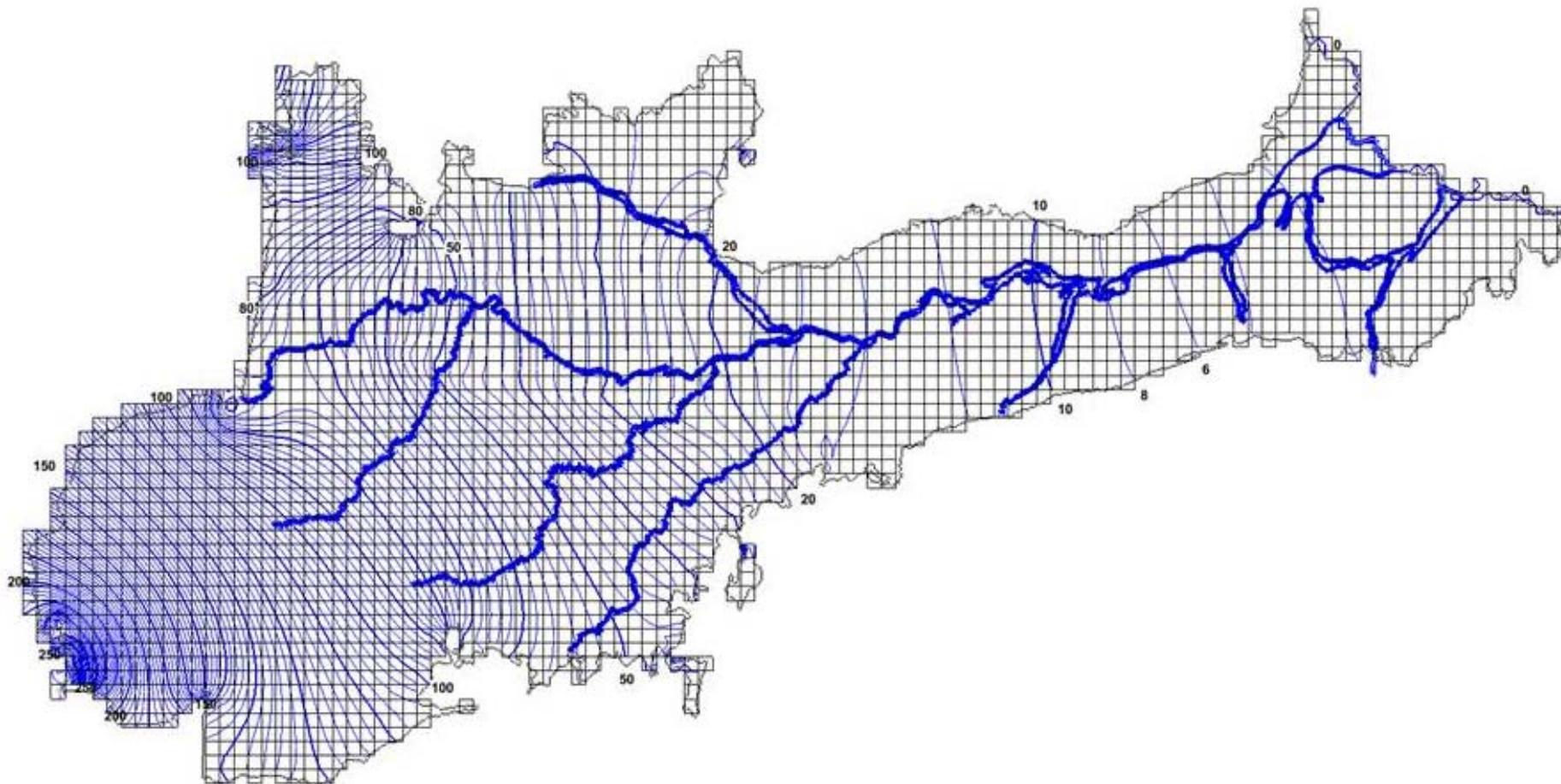


Figura 2.8 – Solução inicial de distribuição de cargas hidráulicas no SAAB obtida com MODFLOW 2000 em regime permanente, por tentativa e erro.

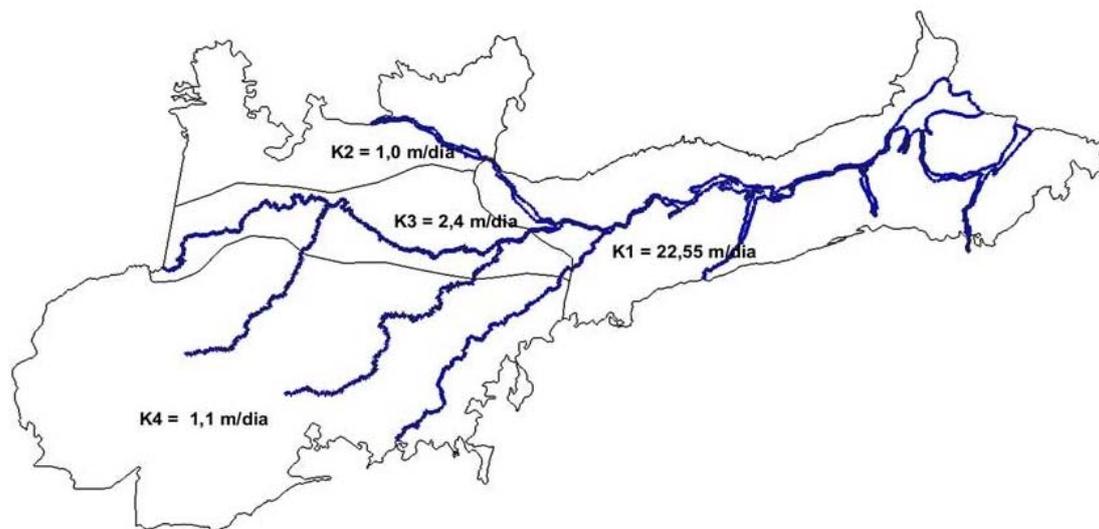


Figura 2.9 – Condutividades hidráulicas obtidas por tentativa e erro na solução inicial usando o MODFLOW e que aproximam a potencimetria do mapa de cargas iniciais inferidas para o período de estiagem a partir do modelo digital do terreno.

2.4 – Calibração do Modelo

A calibração em regime estacionário foi realizada através da interface PEST pelo método zonal, no qual as condutividades K1 a K4 são associadas a parâmetros HK_10, HK_20, HK_30 e HK_40, com valores chaves, improváveis de -10, -20, -30 e -40 e a recarga ao parâmetro RCH_110 com valor chave improvável de -110.

Uma primeira solução automática, iniciada com os valores de condutividade hidráulica da **figura 2.9** e uma recarga de 220 mm/ano ($6,03E-04$ m/dia), foi obtida após 8 (oito) iterações e indicou como parâmetros ótimos: K1 = 2,68 m/dia, K2 = 0,07 m/dia, K3 = 0,25 m/dia, K4 = 0,12 m/dia e recarga de 253 mm/ano ($6,93E-4$ m/dia) conforme **figura 2.10**.

Nesta solução a recarga mostrou comportamento instável passando por extremos de 365 mm/ano na quarta iteração, 163 mm/ano na quinta e daí crescendo até 253 mm/ano na oitava e última iteração (**figura 2.11**).

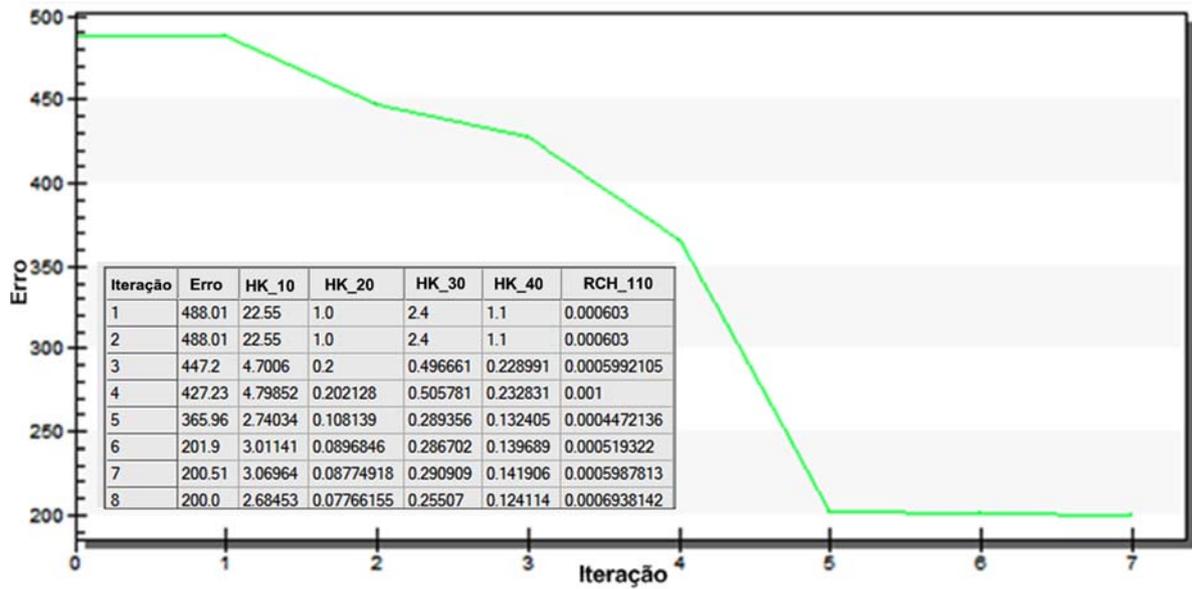


Figura 2.10 – Solução calibrada com estimativa de parâmetros após 08 (oito) iterações pelo método PEST Zonal indicando valores de $K_1 = 2,684$ m/dia, $K_2 = 0,077$ m/dia, $K_3 = 0,255$ m/dia, $K_4 = 0,124$ m/dia e recarga de $6,93 \times 10^{-4}$ m/dia ou 253 mm/ano.

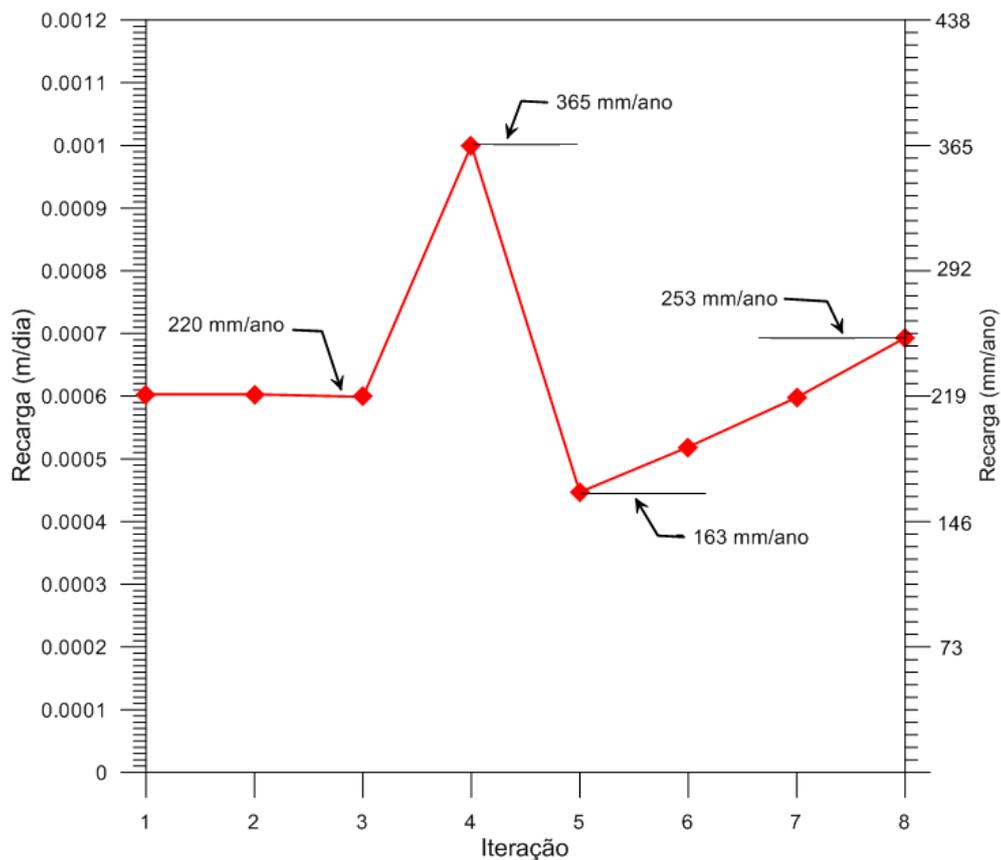


Figura 2.11 – Comportamento instável da recarga na primeira solução automática.

2.4.1 - Sensibilidade dos parâmetros

O comportamento instável da recarga nesta primeira solução automática não é consistente com a análise de sensibilidade dos parâmetros. Neste sentido, a

figura 2.12 mostra que a sensibilidade do parâmetro recarga é muito baixa e assim sendo não deve influir nas soluções e o seu valor pode ser considerado constante.

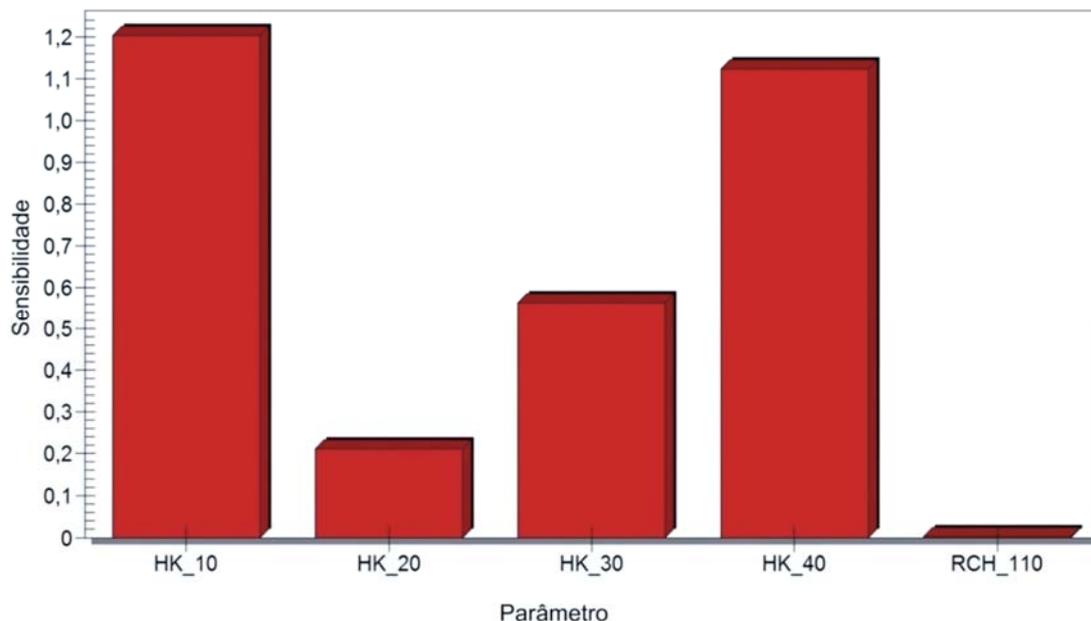


Figura 2.12 – Diagrama ilustrativo da sensibilidade dos parâmetros hidráulicos mostrando que o parâmetro recarga tem sensibilidade muito baixa, podendo assumir um valor constante qualquer e não influir nas soluções.

A conclusão decorrente da **figura 2.12** é comprovada pelas novas simulações realizadas com 3 (três) diferentes valores constantes de recarga (110, 22 e 0,22 mm/ano) e que levam, em termos práticos, à mesma solução, como mostram as **figuras 2.13 a 2.15**, sendo os parâmetros ótimos obtidos apresentados na **tabela 2.3** e a potenciometria na **figura 2.16**.

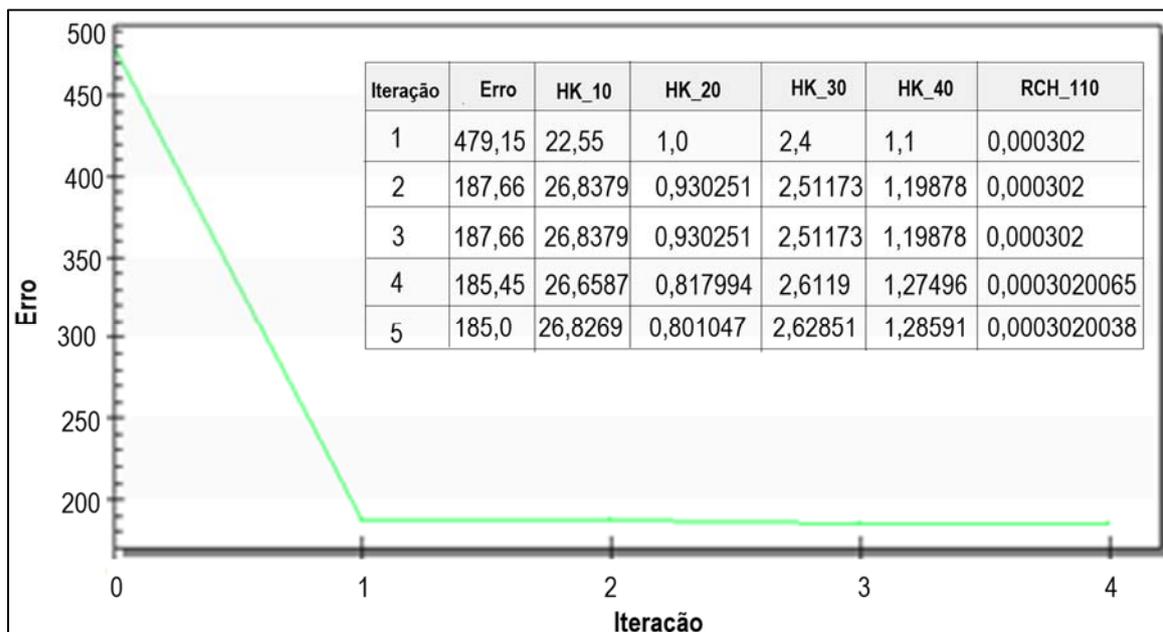


Figura 2.13 - Solução Pest Zonal com recarga constante de 110 mm/ano.

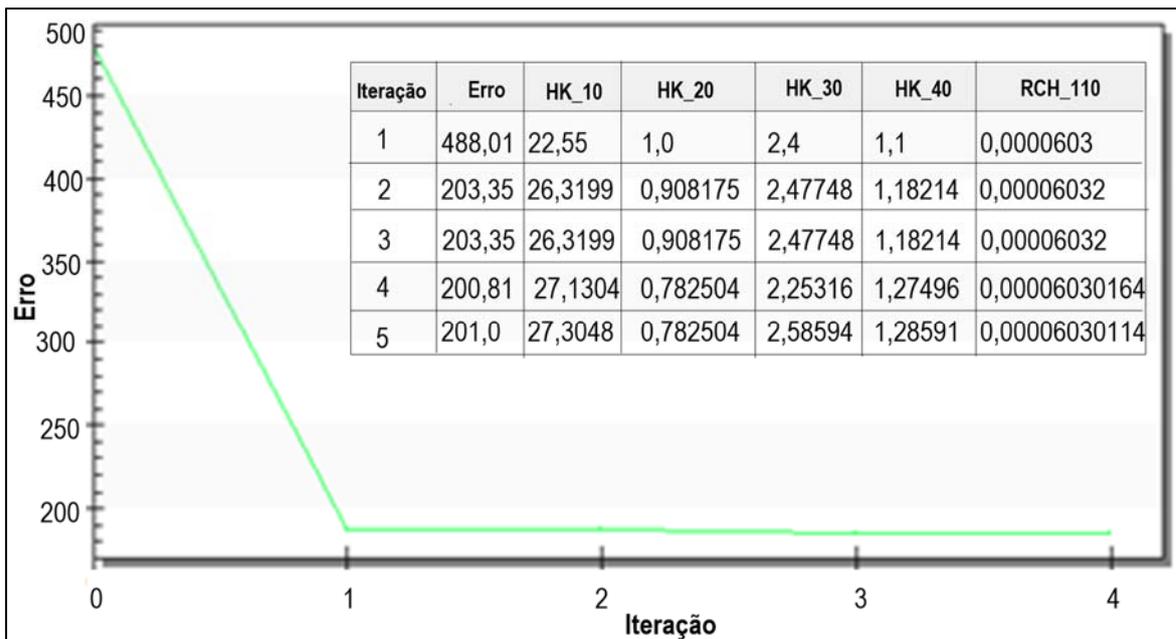


Figura 2.14 - Solução Pest_Zonal com recarga constante de 22 mm/ano.

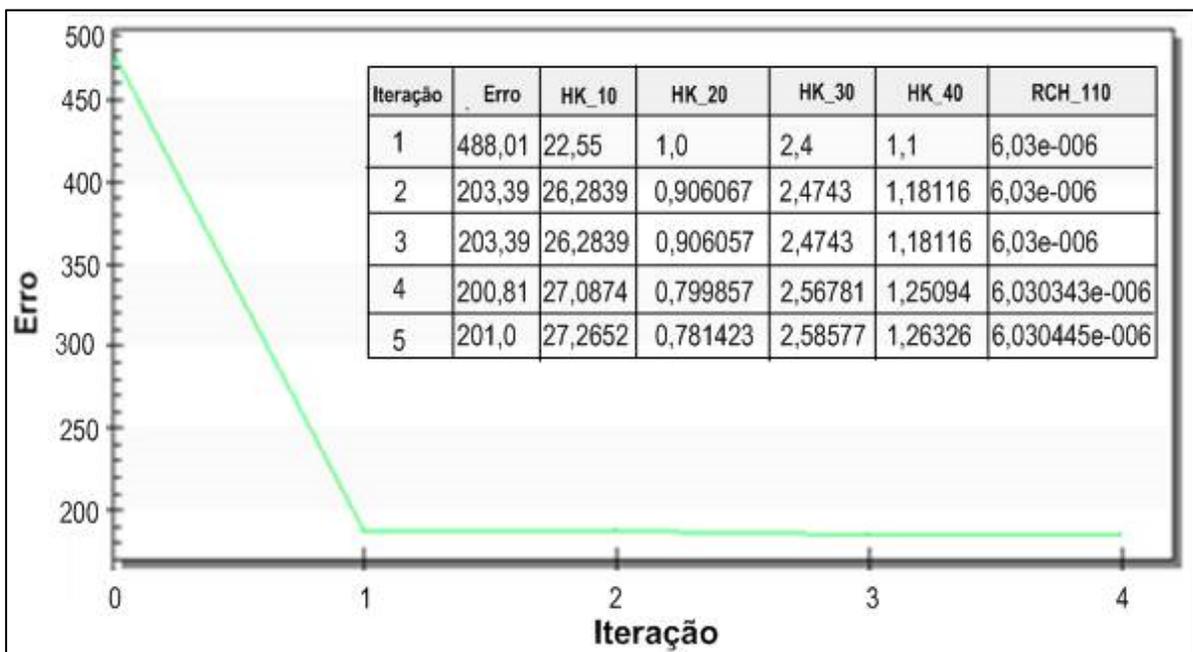


Figura 2.15 - Solução Pest_Zonal com recarga constante de 0,22 mm/ano.

Os resultados finais do modelo sugerem como valores ótimos uma condutividade hidráulica média de 27,46 m/dia na Depressão do Baixo Amazonas (zona K1) e uma condutividade média de 1,55 m/dia na Depressão do Solimões (Zonas K2, K3 e K4). Não foi possível avaliar a recarga através do modelo, pois esse parâmetro se revela insensível como mostram as soluções apresentadas na **tabela 2.3**.

Tabela 2.3 - Sumário dos parâmetros ótimos do modelo numérico do SAAB.

Solução	Condutividade hidráulica (m/dia)				Recarga (mm/ano)
	K1	K2	K3	K4	
Figura 2.13	27,82	0,80	2,63	1,28	110,00
Figura 2.14	27,30	0,78	2,59	1,26	22,00
Figura 2.15	27,26	0,78	2,58	1,26	0,22
Média	27,46	0,79	2,60	1,27	-

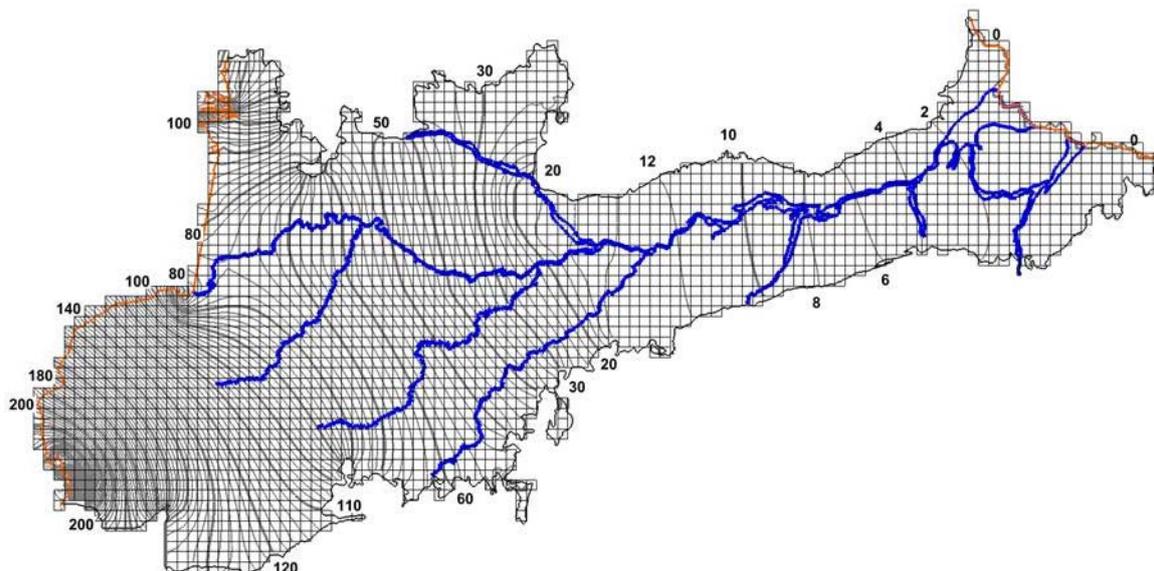


Figura 2.16 – Potenciometria da solução obtida com estimativa automática de parâmetros pelo método zonal (PEST Zonal).

Células Inundadas

A **figura 2.17** apresenta a distribuição final de cargas hidráulicas estacionárias, as quais, mesmo avaliadas com diferentes recargas (devido à baixa sensibilidade desse parâmetro), fornecem praticamente os mesmos valores de condutividade hidráulica. Isso decorre do fato de que todas as células do modelo permanecem inundadas, o que é consistente com a realidade, já que nas zonas baixas é muito pequena a profundidade dos níveis de água subterrânea do SAAB e nas zonas altas sempre existem águas em descenso devido à abundância de água superficial que constitui a rede perene de rios e igarapés da PHA.

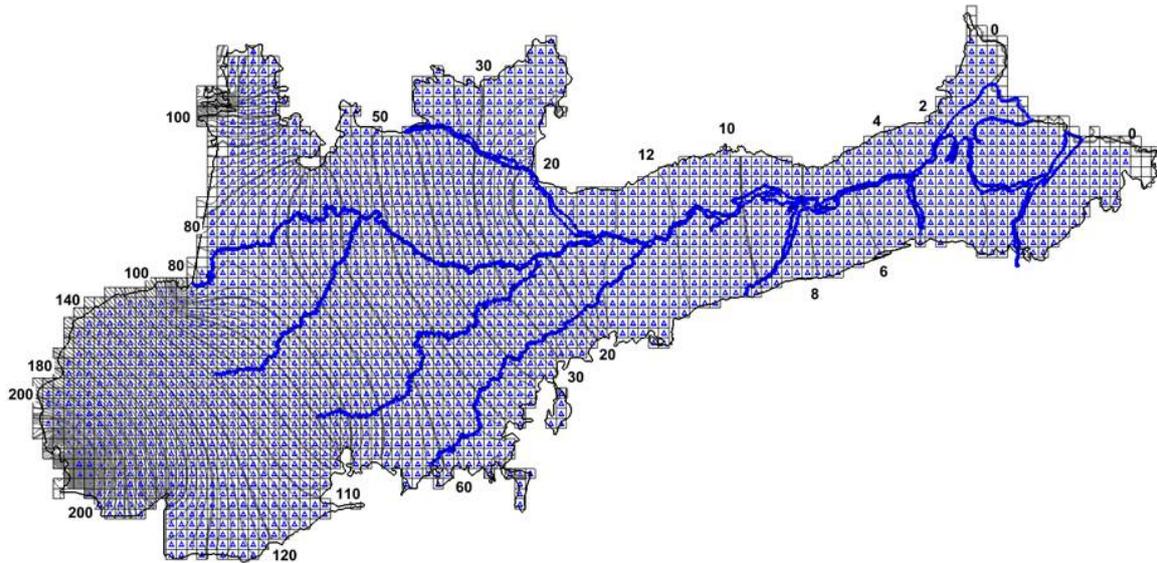


Figura 2.17 – Distribuição final das cargas hidráulicas do SAAB calibrada com PEST Zonal, mostrando que todas as células do modelo se apresentam inundadas.

2.4.2 - Cargas Calculadas e Cargas Observadas

Os resultados da calibração com 256 pontos de observação em regime permanente são apresentados no **anexo 4.6**, com os erros dados por:

$$\text{Erro absoluto} = \text{Cargas calculadas} - \text{Cargas observadas}$$

$$\text{Erro relativo} = \frac{\text{Erro absoluto}}{\text{Cargas calculadas}}$$

Analisando as equações anteriores verifica-se que o erro absoluto se exprime na unidade de carga (m) enquanto que o erro relativo é uma grandeza adimensional. Nota-se no **anexo 4.6** que o erro relativo médio é de -0,1. A relação entre cargas observadas e calculadas é também ilustrada na **figura 2.18**.

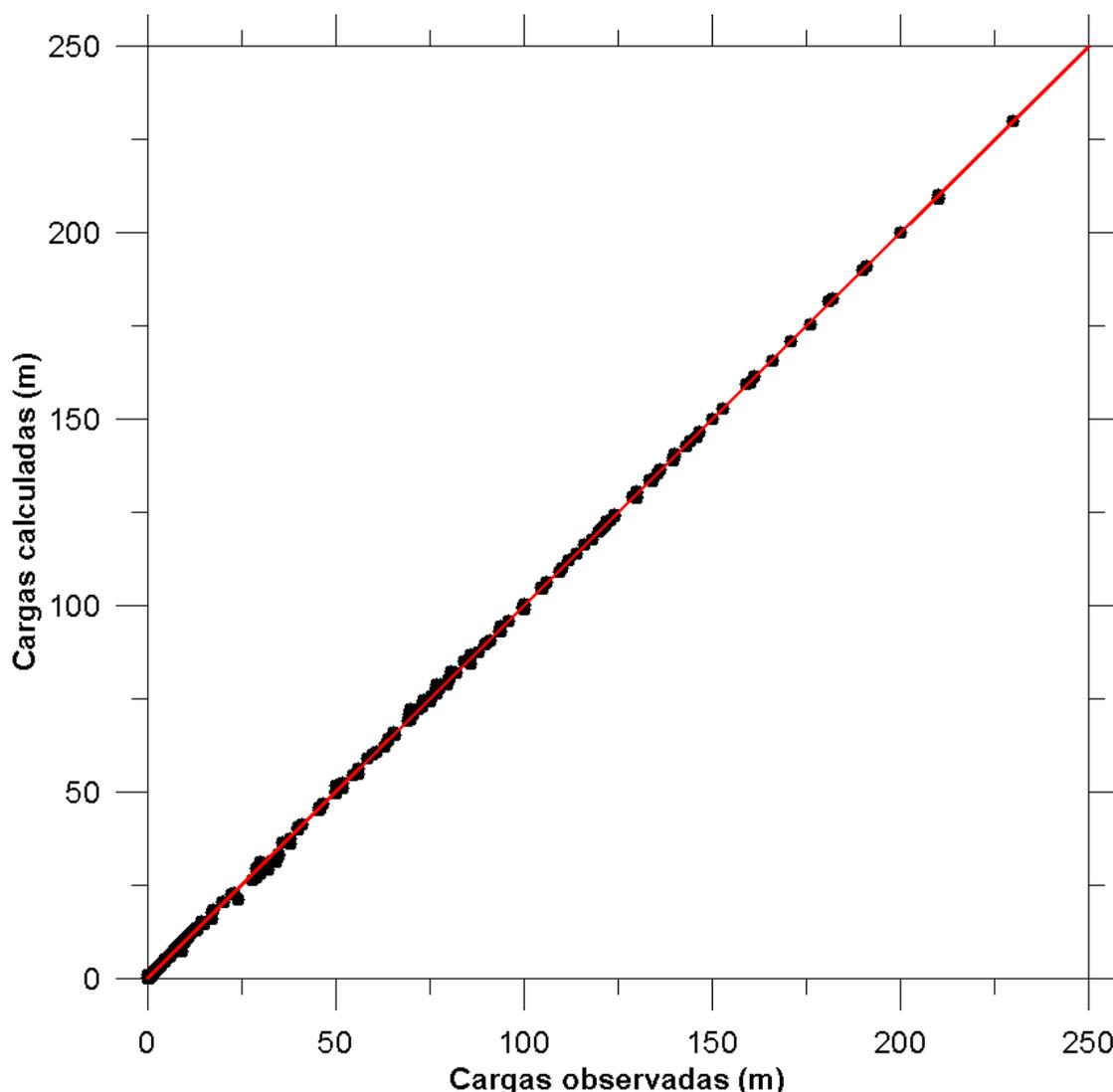


Figura 2.18 – Desvios da reta de 45° entre cargas observadas e cargas calculadas, com um erro absoluto de -0,05 m e um erro relativo de -0,1, considerado bastante pequeno.

Se considerarmos as dimensões da área modelada da PHA ($2 \times 10^6 \text{ km}^2$) e as influências externas que recebe sob a forma de influxos de água superficial provenientes de uma área 2 (duas) vezes maior ($4 \times 10^6 \text{ km}^2$), podemos concluir que o erro absoluto de -0,05 entre as cargas observadas e calculadas é extremamente baixo.

2.5 – Resultados

2.5.1 – Mapa Potenciométrico de Equilíbrio

Os resultados do modelo numérico de fluxo se expressam na forma do mapa potenciométrico de equilíbrio do SAAB na PHA, apresentado na **figura 2.19**, no qual se inclui a articulação das folhas do Mapa Hidrogeológico ao Milionésimo, objeto do estudo.

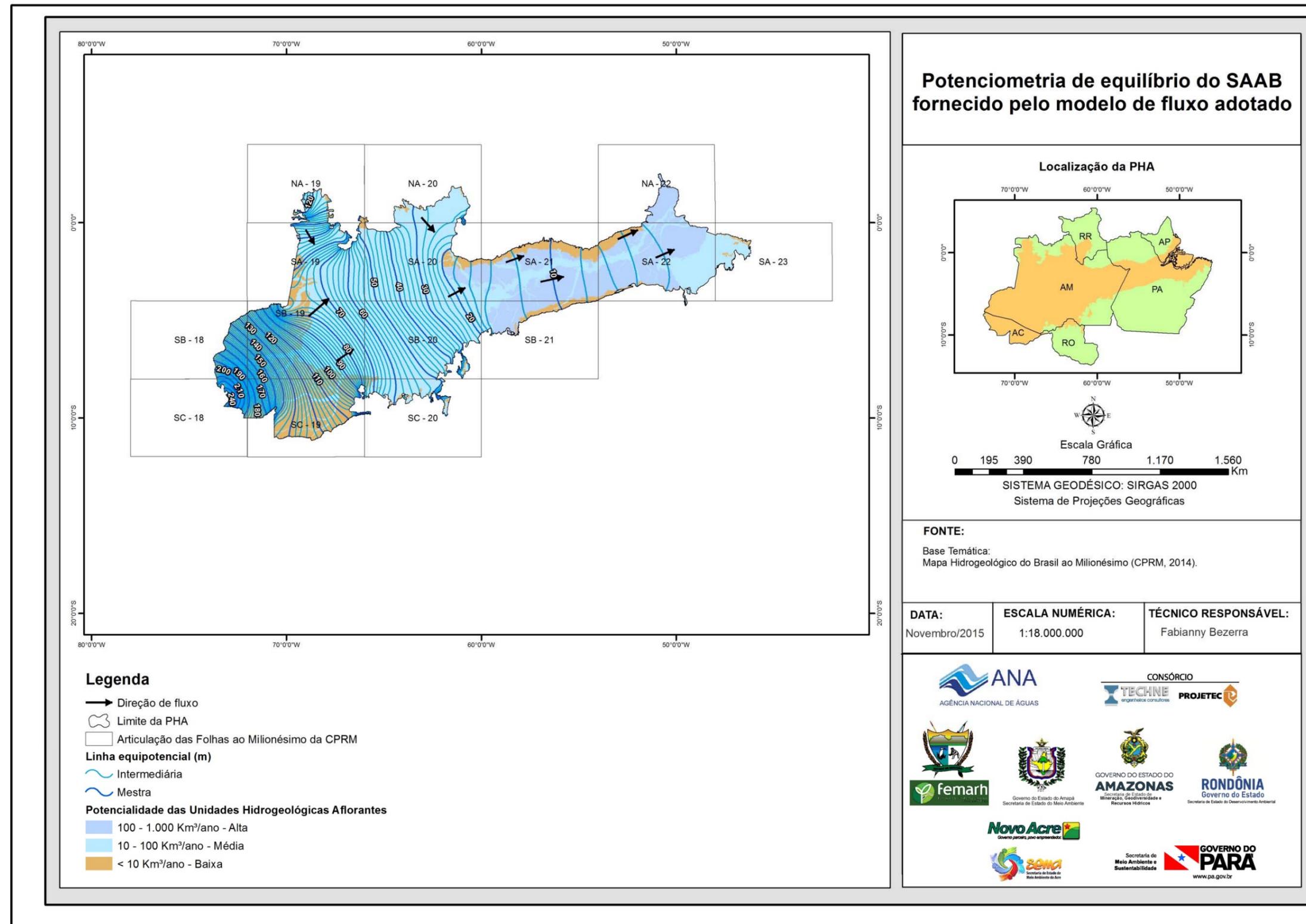


Figura 2.19 – Potenciometria de equilíbrio do SAAB fornecido pelo modelo de fluxo adotado.

2.5.2 – Vazão de Escoamento Natural

Para estimativa da vazão de escoamento natural do SAAB foi escolhida uma seção transversal (**figura 2.20**), na qual a espessura saturada do SAAB é conhecida em 02 (dois) poços estratigráficos do BDEP e varia de 510 m no poço 1-MA-1-PA (Monte Alegre) a 383 m no poço 1-TU-1-PA (Tucumã). Todavia, considerando que a área da seção é de 101,911 km² e a sua largura de 280,5 km, a espessura média saturada é de 0,363 km ou 363 m.

A escolha desta seção se justifica por estar a mesma localizada numa das porções mais estreitas da PHA mostrada na **figura 2.21** e situada na planície do baixo Amazonas, a jusante de Santarém. Ela representa um local ideal para avaliar a descarga de saída de água subterrânea do SAAB para o exutório final que é o oceano.

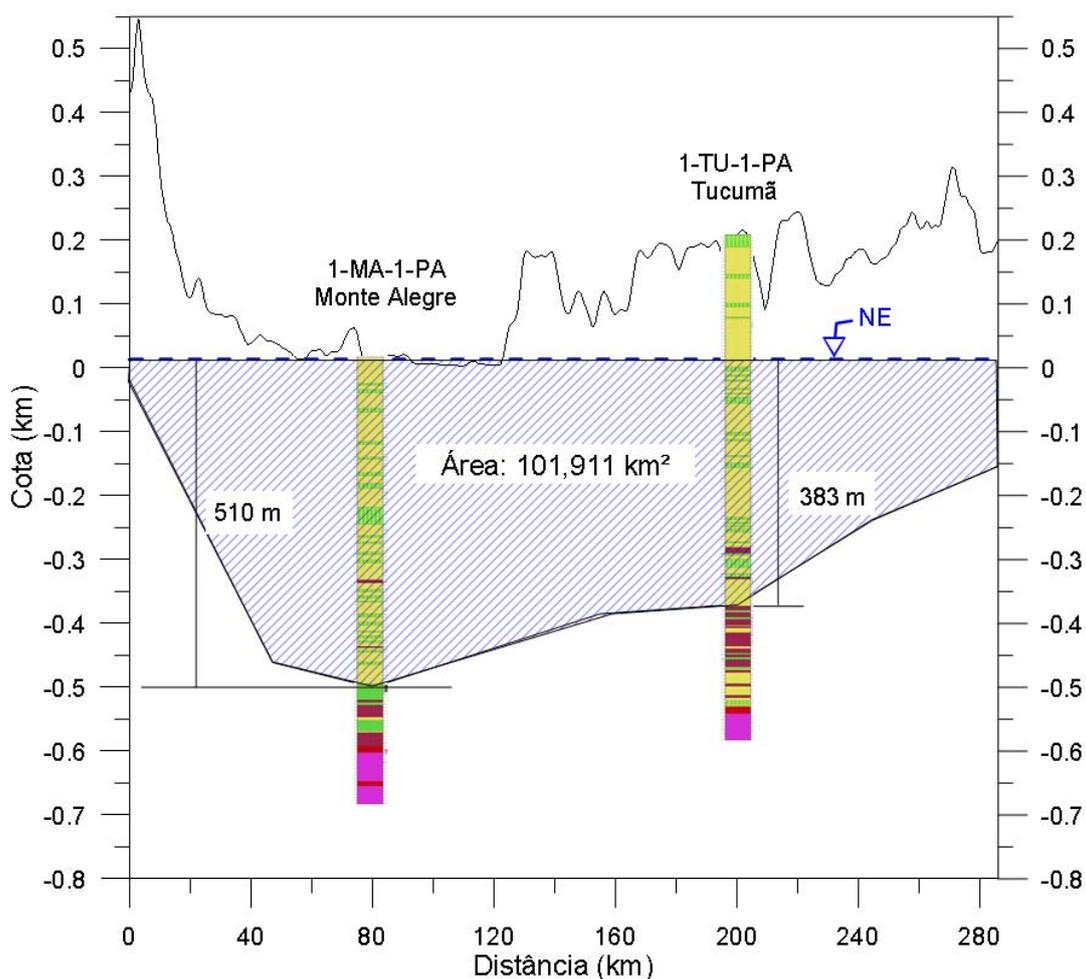


Figura 2.20 – Seção transversal de cálculo do fluxo natural do SAAB na planície do baixo Amazonas a jusante de Santarém – PA, com área de 101,911 km².

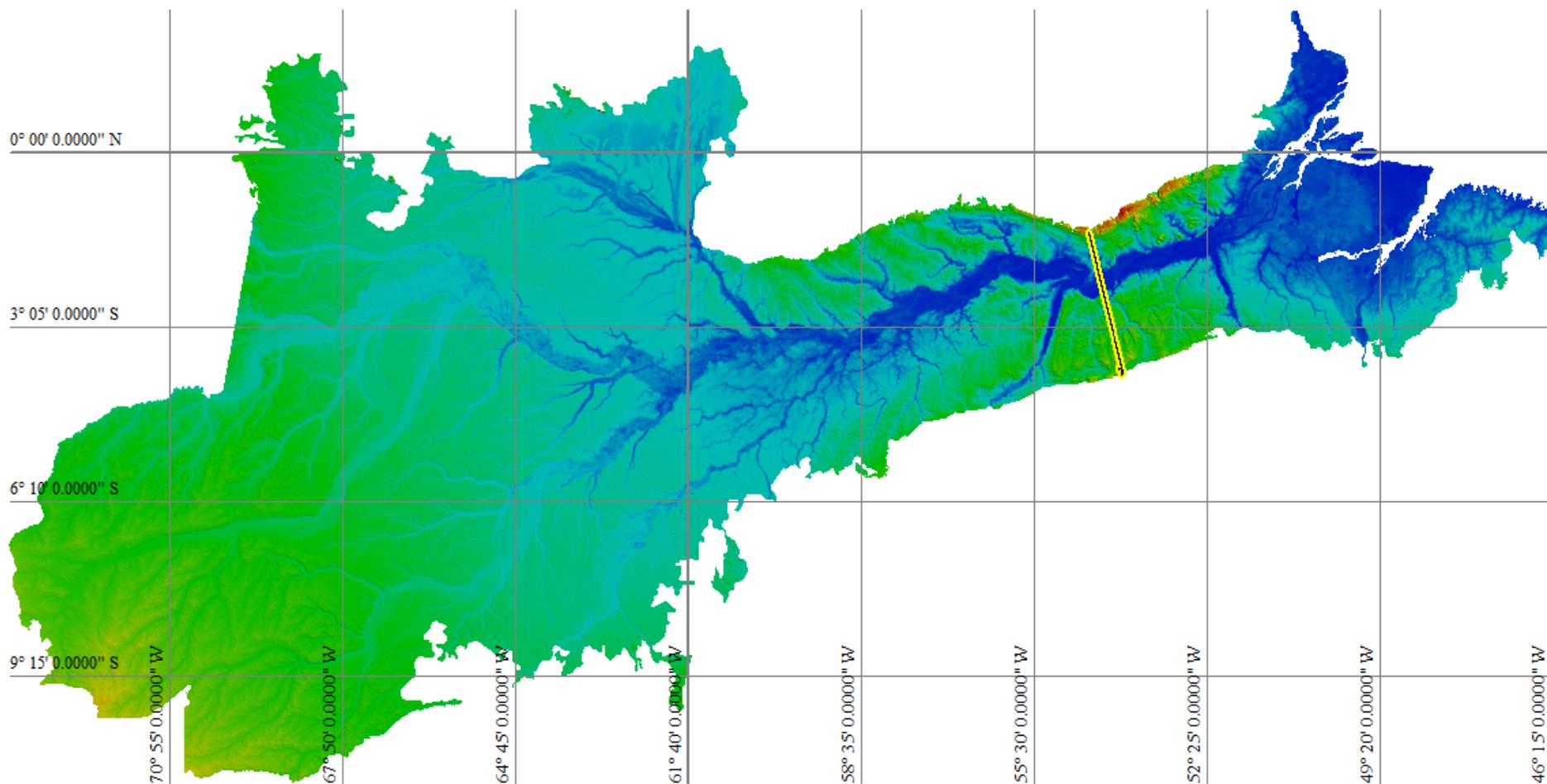


Figura 2.21 – Localização da seção de cálculo do fluxo natural do SAAB na planície do baixo Amazonas a jusante de Santarém – PA.

Segundo a potenciometria fornecida pelo modelo (**figura 2.22**), o gradiente hidráulico médio do SAAB na região do baixo Amazonas (**figura 2.22**) é de $1,13 \times 10^{-5}$ (**tabela 2.4**).

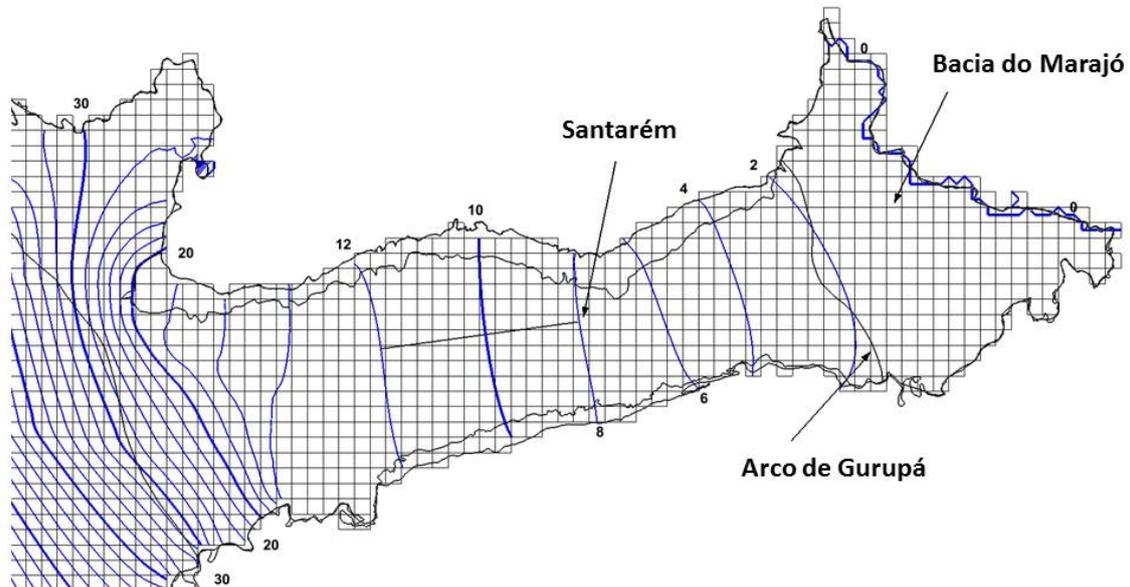


Figura 2.22 – Avaliação do gradiente hidráulico do SAAB na seção de cálculo do fluxo natural na região do baixo Amazonas na altura da cidade de Santarém – PA.

A partir da potenciometria ilustrada na **figura 2.19**, entre as equipotenciais de 8 e 12 m, foram obtidos os valores de comprimento e largura da seção transversal para fins de estimativa da vazão de escoamento natural do SAAB na região do baixo Amazonas, como mostrado na **tabela 2.4**. Nessa tabela encontra-se também o valor da espessura média saturada, que foi estimado em 363 m deduzido da área da seção ($101,911 \text{ km}^2$) e cuja largura é de 280,5 km.

Como resultado da modelagem numérica foi obtido para a Depressão do Baixo Amazonas (**tabela 2.5**) uma condutividade hidráulica de 27,46 m/dia (2,65 vezes maior do que a indicada na **tabela 2.1**), enquanto que na Depressão do Solimões a condutividade hidráulica média foi de 1,41 m/dia, ou apenas 10% maior do que a indicada na **tabela 2.2**.

Tabela 2.4 – Estimativa da vazão de escoamento natural do SAAB a partir do mapa potenciométrico de equilíbrio fornecido pelo modelo numérico de fluxo em seção transversal na região do baixo Amazonas na altura da cidade de Santarém – PA.

Largura (m)	dW1 (m)	Largura (m)	dW2	Largura (m)	W
Equipotencial E12	343.200	Equipotencial E10	312.400	Equipotencial E12	343.200
Equipotencial E10	312.400	Equipotencial E8	217.800	Equipotencial E8	217.800
dW médio (m)	327.800	dW médio (m)	265.100	dW médio (m)	280.500
Comprimento (m)	dL1 (m)	Comprimento (m)	dL2	Comprimento (m)	L
Entre E12 e E10	185.900	Entre E10 e E8	169.400	Entre E12 e E8	355.300
				dL =DL1+dL2	355300
dh (m)	2	dh (m)	2	dh (m)	4
dh/dL	1,08E-05	dh/dL	1,18E-05	dh/dL	1,13E-05
dh/dL (m/km)	0,01	dh/dL (m/km)	0,012	dh/dL (m/km)	0,011
T	0,115		0,115		1,15E-01
T x (dh/dL) x W		T x dh/dL x W		T x dh/dL x W	0,365
K = 27,46 m/dia					
b =363					
T=Kb= 0,115 m ² /s					

Para tornar mais clara a estimativa realizada, o cálculo é explicitado na **equação (2.1)**:

$$Q_n = T \frac{dh}{dL} W = 0,115 \times 1,13 \times 10^{-5} \times 280.500 = 0,365 m^3 / s \quad (2.1)$$

Q_n = vazão de escoamento natural $[L^3/T]$

T = transmissividade do aquífero $[L^2/T]$

$\frac{dh}{dL}$ = gradiente hidráulico $[]$

W = Largura da seção transversal $[L]$

Descarga específica (q): usando a área da seção transversal ao fluxo (101,911 km²) mostrada na **figura 2.21**, a descarga específica do SAAB é dada pela **equação (2.2)**.

$$q = \frac{Q_n}{A} = \frac{11,5 \times 10^6 m^3 / ano}{101,911 \times 10^6 m^2} = 0,113 m / ano \quad (2.2)$$

Levando ainda em conta a porosidade efetiva $S_y = 0,13$ (**tabela 1.46**), obtém-se a velocidade média real de fluxo como mostrado na **equação (2.3)**.

$$\text{Velocidade real de fluxo: } v = \frac{q}{S_y} = \frac{0,113}{0,13} = 0,87 \text{ m / ano} \quad (2.3)$$

Conclui-se, portanto, que a velocidade média real de fluxo no SAAB, igual a 0,87 m por ano é muito baixa. A velocidade do fluxo subterrâneo tende a diminuir com a profundidade e isto aumenta as chances de se encontrar água salinizada abaixo de 1.000 m, tanto pela falta de circulação quanto pela ocorrência bastante frequente de camadas de sais em profundidade, comprovada em muitos dos poços estratigráficos estudados.

2.5.3 – Comparação entre a Vazão de Escoamento Natural e a Descarga de Base do SAAB

De acordo com a **tabela 2.5** a vazão de escoamento natural do SAAB é desprezível em relação à descarga de base deduzida do balanço hídrico da PHA (Volume I), a qual se afigura aproximadamente 30 mil vezes maior.

Tabela 2.5 – Valores da descarga de base e da vazão de escoamento natural do SAAB, estimada em seção transversal na planície do baixo rio Amazonas.

FLUXOS	Vazão		A (km ²)*	Descargas	
	m ³ /s	m ³ /ano		m ³ /km ² .ano	mm/ano
Subterrâneo (Lei de Darcy)	0,365	11,5E+06	1.617.224	7,109	0,007
Descarga de base	11.295	3,56E+11	1.617.224	220.000	220

*A = área a montante da seção transversal selecionada na planície do baixo Amazonas para a estimativa do fluxo natural do SAAB.

Segundo o modelo numérico de fluxo, não é possível avaliar a recarga porque a sensibilidade desse parâmetro é muito baixa (**figura 2.12**) como ficou comprovado pela obtenção da mesma solução com 3 (três) diferentes valores de recarga (110 mm/ano, 22 mm/ano e 0,2 mm/ano). Isto é consistente com o fato de que nos 3 (três) casos as células da *grid* tridimensional do MODFLOW ficam inundadas. Pela lei de Darcy a recarga é praticamente desprezível, já que o seu valor é de apenas 0,007 mm/ano (**tabela 2.5**).

2.6 - Conclusões

Através da modelagem numérica do fluxo regional na Província Hidrogeológica Amazonas PHA no Brasil, foi possível obter um mapa potenciométrico (**figura 2.19**) que caracteriza o escoamento das águas subterrâneas no Sistema Aquífero Amazonas no Brasil (SAAB).

No presente volume, chegou-se à conclusão de que o **Sistema Aquífero Amazonas no Brasil (SAAB)**, multicamadas e multibacias, modelado como um grande sistema livre apresenta as seguintes características:

- Na região leste da PHA, que corresponde à Depressão do Baixo Amazonas, no domínio das bacias do Amazonas e do Marajó, a condutividade hidráulica média obtida foi de 27,46 m/s sobre uma superfície aproximada de 604.000 km², o que sugere uma predominância de formações essencialmente permeáveis e aquíferas, em 30% do território da PHA.

- Na região oeste, correspondente à Depressão do Solimões, no domínio das bacias do Solimões e do Acre, sobre uma superfície aproximada de 1.396.000 km², a condutividade hidráulica avaliada pelo modelo foi de 1,55 m/dia, indicativo de formações aquíferas aproximadamente 18 vezes menos permeáveis do que na Depressão do Baixo Amazonas.

Quanto à potencialidade do SAAB, os resultados obtidos (65.048 m³/s) em termos práticos pouco têm a ver com as suas reservas permanentes (que são praticamente inatingíveis) e das quais representa apenas 1,7% (2.049/123.838), mas sim com a grande potencialidade da reserva reguladora ou recarga potencial direta (RPD) de 626 km³/ano (**item 1.6.1**) ou 19.873 m³/s.

A modelagem numérica regional do fluxo mostrou que a vazão de escoamento natural do SAAB é praticamente desprezível (0,365 m³/s) porque o gradiente hidráulico na planície Amazônica é muito baixo. Mostrou ainda que a superfície potenciométrica de equilíbrio se encontra conectada com os rios e por esse motivo todas as células do modelo ficam inundadas, indicando que o sistema aquífero praticamente não tem condições de receber recarga porque existe água superficial em excesso. Portanto, a descarga de base, que é de 220 mm/ano (11.295 m³/s), tem caráter essencialmente potencial, retornando à rede hidrográfica tão logo alcança a superfície freática, indicada no mapa potenciométrico fornecido pelo modelo.

A velocidade média do fluxo subterrâneo é de apenas 0,87 m/ano e se deve ao fraquíssimo gradiente hidráulico da superfície freática na planície Amazônica que é de apenas 1,13E-05, ou seja, 1,13 cm/km.

Como fator de risco para uma exploração mais intensiva através de poços muito profundos (por exemplo, superior a 500 m de profundidade) destaca-se a possibilidade de ocorrência de água salgada em profundidade, que pode impactar e limitar a exploração do SAAB, conforme sugerem:

- A pequena vazão de escoamento natural, que é indicativa da falta de renovação sazonal das reservas de água subterrânea;
- A baixa velocidade de circulação do fluxo subterrâneo, estimada em apenas 87 cm por ano, contribui para o aumento do teor salino das águas subterrâneas;
- A ocorrência de paleoáguas, segundo resultados obtidos através de análises isotópicas de trício e de carbono-14, em várias unidades aquíferas (UHF's) do SAAB. É o caso do Aquífero Alter do Chão em Manaus, na bacia do Amazonas, onde os resultados analíticos de amostras coletadas a menos de 200 m de profundidade indicaram águas com idade superior a 2 mil anos; do aquífero Tucunaré em Macapá, na bacia do Marajó e dos aquíferos Barreiras e Pirabas em Belém, na Plataforma Bragantina, todos com paleoáguas de mais de 20 mil anos;
- A ocorrência de camadas de sais nas formações paleozoicas profundas conforme mostraram os perfis compostos dos poços estratigráficos do BDEP.

3 – Referências Bibliográficas

ABREU, F. A. M.; CAVALCANTE, I. N.; MATTA, M. A. S. O sistema aquífero grande Amazônia – SAGA: um imenso potencial de água subterrânea no Brasil. In: III Congresso Internacional Meio Ambiente Subterrâneo, 2013, São Paulo - SP. **Anais**. São Paulo: ABAS, 2013.

ADAMY, A.; ROMANINI, S. J. (Org.). **Geologia da Região Porto Velho-Abunã; folhas Porto Velho (SC.20-V-B-V), Mutumparaná (SC.20-D-I) e Abunã SC.20-V-C-V) Estados de Rondônia e Amazonas**. Brasília: DNPM/CPRM. 273p. (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil-PLGB). 1990.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Avaliação dos Aquíferos das Bacias Sedimentares da Província Hidrogeológica Amazonas no Brasil (escala 1:1.000.000) e Cidades Pilotos (escala 1:50.000): Relatório Parcial 4**. Consórcio Projetc-Techne. Brasília: ANA, 2012. 370 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: Disponibilidade Hídrica**. Brasília: ANA, 2013. 65p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Panorama da Qualidade das Águas Subterrâneas no Brasil**. Brasília: ANA, 2005. 80 p.

AGUIAR, C. J. B.; HORBE, M. A.; R. FILHO, S. F.; LOPES, E. S.; MOURA, U. F.; ANDRADE, N. M.; DIÓGENES, H. S. **Carta hidrogeológica da cidade de Manaus. CPRM-AM**. Manaus: Relatório Interno da CPRM, 2002. p.1-4.

AGUIAR, C. J. B.; MOURÃO, M. A. A. (Coord.). **Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas: relatório diagnóstico Aquífero Alter do Chão no Estado do Amazonas - Bacia Sedimentar do Amazonas**. Belo Horizonte: CPRM, 2012. Vol. 6. 30p.

AZEVEDO, R. P. Aspectos Sobre o Uso da Água Subterrânea na Fronteira Brasil-Colômbia: O Caso da Cidade de Tabatinga no Estado do Amazonas. In: XXX Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2006, Punta Del Este - Uruguai. **Anais**. Punta Del Este: ABES, 2006.

BARROS, A. M.; ALVES, E. D. O.; ARAÚJO, J. F. V.; LIMA, M. I. C.; FERNANDES, C. A. C. **Geologia**. In: BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. Folha SB/SC.18 – Javari/Contamana - Levantamento de Recursos Naturais. Rio de Janeiro, 1977. p. 17-101.

BATU, V. **Aquifer Hydraulics: A Comprehensive Guide to Hydrogeologic Data Analysis**. USA: John Wiley & Sons, 1998. 752p.

BOUMAN, Q. C. **Geology of the rio Uatumã, rio Abacate and surrounding areas**. Belém: PETROBRÁS, RENOR (Relatório Técnico Interno), 1959. 288p.

BUERGER, C.; KOLLET, S.; SCHUMACHER, J. Introduction of a web service for cloud computing with the integrated hydrologic simulation platform PartFlow. **Comput. Geosci**, vol.48, p.334-336, 2012.

CAMPOS, J. C. V. Avaliação Preliminar do Potencial Hidrogeológico da Cidade de Porto Velho - RO. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, X, 1998, São Paulo - SP. **Anais**. São Paulo: ABAS, 1998.

CAMPOS, J. C. V.; MORAIS, P. R. C. Morfologia dos Aquíferos da área urbana de Porto Velho (RO). In: 13º Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 1999, Belo Horizonte – MG. **Anais**. Belo Horizonte: ABAS, 1999.

CAPUTO, M. V. Origem do Alinhamento Estrutural do Juruá - Bacia do Solimões. In: 2º Simpósio de Geologia da Amazônia, 1985a, Belém - PA. **Anais**. Belém: SBG, vol.1, p.242-258, 1985.

CAPUTO, M. V. **Relatório preliminar de exploração da bacia do Acre**. Belém: PETROBRÁS; RENOR (Relatório Técnico Interno, 665 A), 1973. 24p.

CAPUTO, M. V. **Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of northern basins of Brazil**. 1984. 586p. Tese (Doutorado) - University of California Santa Barbara.

CAPUTO, M. V. The Solimões Megashield - Intraplate Tectonics in Northwestern Brazil. **Geology**, vol. 19, p.246-249, 1991.

CAPUTO, M. V.; RODRIGUES, R.; VASCONCELOS, D. N. H. Nomenclatura Estratigráfica da Bacia do Amazonas: Histórico e Atualização. In: XXVI Congresso Brasileiro de Geologia, 1972, Belém – PA. **Anais**. Belém: SBG, 1972. Vol. 3, p.35-46.

CAVALCANTE, L. M. **Zoneamento geológico e geomorfológico entre Feijó e Mâncio Lima – Acre**. Rio Branco: EMBRAPA - Acre, 2005. 24p.

COOPER, H. H. Jr.; JACOB, C. E. A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field story. **EOS Transactions American Geophysical Union**, vol. 27, p.526-534, 1946.

CORTEZ, C. M. B.; TAGLIARINI, E. M.; TANCREDI, A. C. F. N. S. Utilização de águas minerais dos aquíferos do grupo Barreiras na região de Belém (PA). In: 1st Joint World Congress on Groundwater, 2000, Fortaleza - CE. **Anais**. Fortaleza: ABAS, 2000. 11p

COSTA, J. B. S.; HASUI, Y.; BEMERGUY, R. I.; SOARES JUNIOR, A. V.; VILLEGAS, J. M. Tectonic and Paleogeography of the Marajó Region, Northern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, vol. 74, p.519-531, 2002.

CROSBIE, R. S.; WILSON, B.; HUGHES, J. D.; MCCULLOCH, C.; KING, W. M. A comparison of the water use of tree belts and pasture in recharge and discharge zones in a saline catchment in the central west of NSW Australia. **Agri. Water Manag**, vol.95, p.211-223, 2008.

CUNHA, P. R. C. Bacias sedimentares Brasileiras - Bacia do Acre. **Fundação Paleontológica Phoenix**, ano 8, vol. 6, nº 86, 2006.

CUNHA, P. R. C.; MELO, J. H. G.; SILVA, O. B. Bacia do Amazonas. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**, vol. 15, nº 2, p.227-251, 2007.

DOHERTY, J. **PEST – Model-independent parameter estimation**. User manual 5th Edition. Watermark Numerical Computing. 2004.

DOHERTY, J.; SIMMONS, C. T. Groundwater modeling in decision support: reflections on a unified conceptual framework. **Hydrogeology Journal**, vol.21, p.1531-1537, 2013.

FERREIRA, A. N. P.; LIMA, C. F.; CARDOSO, F. B. F.; OLIVEIRA JUNIOR, H. J.; KETTELHUT, J. T. S. **Panorama da gestão de aquíferos transfronteiriços – enfoque nas regiões centro-oeste e norte do Brasil**. VIII Congresso Latino americano de Hidrologia Subterrânea e Expo Água, 2006.

FETTER, C. W. **Applied Hydrogeology**. New York: Prentice Hall, 1994. 691p.

FRANÇA, H. P. M.; MANOEL Filho, J.; DUARTE, R. X.; ANDRÉ, H. O. **Estudos Hidrogeológicos da Cidade de Manaus**. Relatório Final, vol.3, Shaft Consultoria Ltda. / Águas do Amazonas S.A, Manaus, 2005.

GALVÃO, P. H. F. **Caracterização hidrogeológica dos aquíferos da Formação Solimões na base operacional geólogo Pedro de Moura, Província Petrolífera de Urucu/AM**. 2011. 148f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife, 2011.

HARBAUGH, A. W.; BANTA, E. R.; HILL, M. C.; MCDONALD, M. C. **MODFLOW - 2000: The USGS modular groundwater model: user guide to modularization concepts and the groundwater flow process**. USGS Open-File. Rep.00-99. 2000.

HAYLEY, K.; SCHUMACHER, J.; MCMILLAN, G. J.; BOUTIN, L. C. Highly parametrized model calibration with cloud computing: an example of regional flow calibration in northeast Alberta Canada. **Hydrogeology Journal**, vol.22, p.729-737, 2014.

HEALY, R. W. **Estimating Groundwater Recharge**. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. 264p.

HOORN, C. Marine incursions and the influence of Andean tectonics on Miocene depositional history of northwestern Amazonia: results of a palynostratigraphic study. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, vol.105, p.267-309, 1993.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Recursos naturais e meio ambiente: uma visão do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1997. 208p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. **Estudo hidrogeológico para a definição da possibilidade de captação de água subterrânea na usina de alumínio da ALBRÁS em Barcarena/PA - Relatório nº 21**. São Paulo: IPT, 1984. 381p.

IRESON, A. M.; BUTLER, A. P. Controls on preferential recharge to chalk aquifers. **Journal of Hydrology**, vol.398, p.109-123, 2011.

KEESE, K. E.; SCANLON, B. R.; REEDY, R.C. Assessing controls on diffuse groundwater recharge using unsaturated flow modeling. **Water Resources Research**, vol.41, nº6, 2005.

LIMA, M. I. C.; BEZERRA, P. E. I.; ARAÚJO, C. C. G. Sistematização da Geologia do Estado do Amapá. In: 3º Simpósio de Geologia da Amazônia, 1991, Belém – PA. **Anais**. Belém: SBG, 1991, p.332-335.

LIMA, M. L. A.; MELO JÚNIOR, H. R.; CHAVES, C. A. P.; SIMÃO, F. B. Krigagem indicativa aplicada à pesquisa de nitrato nas águas subterrâneas da área urbana de Porto Velho – RO. In: XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2008, Natal - RN. **Anais**. Natal: ABAS, 2008.

LIU, Y.; SUN, A.; NELSON, K. Cloud computing for integrated stochastic groundwater uncertainty analysis. **International Journal of Digital Earth**, p.1-25, 2012.

MAIA, M. A. M.; MARMOS, J. L. (Org.). **Geodiversidade do Estado do Amazonas: programa geologia do Brasil - levantamento da geodiversidade**. Manaus: CPRM, 2010. 275p.

MAIA, R. G. N.; GODOY, H. K.; YAMAGUTI, H. S.; MOURA, P. A.; COSTA, F. S. F.; HOLANDA, M. A.; COSTA, J. A. **Projeto Carvão no Alto Solimões: Relatório final**. Manaus: DNPM/CPRM, 1977. vol.11.

MANOEL FILHO, J. **Modernas Técnicas de Avaliação e Produção de Água Subterrânea**. Recife: UFPE / LABHID, 2007.

MATTA, M. A. S. **Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada dos recursos hídricos da região de Belém/Ananindeua, Pará/Brasil**. 2002. 292 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade Federal do Pará - UFPA, Belém, 2002.

MCDONALD, M. G; HARBAUGH, A. W. **A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model**. USGS: Open file report, p.83-875, 1984.

MELO JUNIOR, H. R.; MARMOS, J. L. **Avaliação Hidrogeológica do Município de Rio Branco - Acre: Relatório Final**. Porto Velho: Serviço Geológico do Brasil (CPRM) - Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial (DHT), 2006.

MELO JUNIOR, H. R.; ROSA FILHO, S. F.; KUNZLER, J. C. S. (Coord.). **Modelo de gestão do aquífero Rio Branco**. Porto Velho: CPRM, 2010. 128p.

MENTE, A.; MONT'ALVERNE, A. F. Mapa Hidrogeológico do Brasil na escala de 1:5.000.000. In: 2º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 1982, Salvador - BA. **Anais**. Salvador: ABAS, 1982.

MORAES, S. P.; MELO, JR. H. R.; MATTOS, J. C. P.; SALIMON, C. I. Avaliação das potencialidades hidrogeológicas e riscos de poluição hídrica no 2º Distrito do Município de Rio Branco-AC. In: I Simpósio de Recursos Hídricos do Norte e Centro-Oeste, 2007, Cuiabá-MT. **Anais**. Cuiabá: ABRH, 2007.

MOURÃO, M. A. A. **Projeto Implantação de Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas** - Proposta Técnica, Divisão de Hidrogeologia – DIHEXP. Brasília: CPRM, 2009.

NEUMAN, S. P. **Analysis of pumping test data from anisotropic unconfined aquifers considering delayed gravity response**. USA: Water Resources Research, vol. 11, nº 1, p.329-342, 1975.

OLIVEIRA W. **Relatório Final de Pesquisa - Fontes: Caimbé, Topazza e Água Clara**. Macapá: 2006. 52 p.

OLIVEIRA, J. R.; CONCEIÇÃO, A. L.; TANCREDI, A. F. N. S. Estudo das potencialidades hídricas subterrâneas da Região Metropolitana de Belém. In: X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 1998, São Paulo - SP. **Anais**. São Paulo: ABAS, 1998. 8p.

OLIVEIRA, J. R.; MATTA, M. A. S; VIEIRA, R.; PONTES, A. Exploração dos Aquíferos Costeiros em Salinópolis e Arredores. In: XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2006, Curitiba - PR. **Anais**. Curitiba: ABAS, 2006.

OLIVEIRA, J. R.; PASTANA, J. M. N. **Potencialidade hidrogeológica da vila de Alter-do-Chão, com proposta técnica para perfuração de poço tubular profundo**. Santarém: ABAS, 1999.

OLIVEIRA, J. R.; PASTANA, J. M. N.; NAVEGANTE, P. S. C.; SCHALKEN, C. G. P. S. Caracterização hidrogeológica da cidade de Santarém e das vilas de Mojuí dos Campos e Alter-do-Chão com proposta técnica para a perfuração de poços tubulares profundos. In: I Joint World Congress on Groundwater, 2000, Fortaleza - CE. **Anais**. Fortaleza: ABAS, 2000.

OLIVEIRA, M. J.; SOUTO, F. A. F.; ROSÁRIO, J. M. L.; SACASA, R. J. V.; MOURA, H. P. Vulnerabilidade natural e sazonalidade do aquífero livre no loteamento Marabaixo III, Macapá - AP. In: XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2004, São Paulo - SP. **Anais**. São Paulo: ABAS, 2004. 14p.

OLIVEIRA, M.; FERREIRA, A. Unidade Panorama: uma sedimentação fossilífera pós Mioceno no rio Acre - AC. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 2008, Curitiba - PR. **Anais**. Curitiba: SBG, 2008.

OLIVEIRA, W. **Relatório de Pesquisa Hidrogeológica - Fontes: Equinócio, Cristal e do Vale**. Belém: 2004. 48 p.

ORDENS C. M.; WERNER, A. D.; POST, V. E. A.; HUTSON, J. L.; SIMMONS, C. T.; IRVINE, B. M. Groundwater recharge to a sedimentary aquifer in the topographically closed Uley South Basin, South Australia. **Hydrogeology Journal**, vol.20, p.61-72, 2012.

ORDENS, C. M.; POST, V. E. A.; WERNER, A. D.; HUTSON, J. L. Influence of model conceptualization on one dimensional recharge quantification: Uley South, South Australia. **Hydrogeology Journal**, vol.22, p.795-805, 2014.

PEREIRA, L. A. C.; CAJAZEIRAS, C. C. A. Caracterização dos Principais Aquíferos da Região Sudoeste da Amazônia Ocidental. In: XVII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2012, Bonito - MS. **Anais**. Bonito: ABAS, 2012.

PESSOA, M. D.; MENTE, A.; LEAL, O. Províncias hidrogeológicas do Brasil. In: I Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 1980, Recife - PE. **Anais**. Recife: ABAS, 1980. p.461-474.

ROSÁRIO, F. F. **O sistema aquífero cretáceo multicamada Tikuna: subunidade do sistema aquífero amazonas**. 2011. 224f. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2011.

SANTOS, V. F.; COSTA, W. J. P.; SILVA, M. S.; SILVEIRA, O. F. M.; TORRES, A. M.; SILVA, A. Q.; MARTINS, M. H. A. **Projeto: Zoneamento Ecológico-Econômico do Setor Costeiro Estuarino do Estado do Amapá - ZEEC-AP. Tema I - Meio Natural: Capítulo 2 – Geologia**. Amapá: IEPA, 2004

SAUMA FILHO, M. **As águas subterrâneas de Belém e adjacências: influência da formação Pirabas e parâmetros físico-químicos para medidas de qualidade**. 1996. 128 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém, 1996.

SCANLON, B. R.; MUKHERJEE, A.; GALES, J.; REEDY, R. C.; SINHA, A. K. Groundwater recharge in natural dune systems and agricultural ecosystems in the Thar Desert Region. Rajasthan, India. **Hydrogeology Journal**, vol.18, p.959-972, 2010.

SCHREUDER, W. **RUNNING beoPEST**. In: Proceedings of the 1st PEST Conference, Potomac, MD. 2009.

SEIFERT, D.; SONNENBERG, T.; SCHARLING, P.; HINSBY, K. Use of alternative conceptual models to assess the impact of a buried valley on groundwater vulnerability. **Hydrogeology Journal**, vol.16, p.659-674, 2008.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS**. Disponível em: <www.siagasweb.cprm.gov.br/layout/>. Acesso em: 10 maio 2012.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. **Carta hidrogeológica do Brasil ao milionésimo - Folha Manaus (AS.20)**. 2010. Disponível em: <www.cprm.gov.br>. Acesso em 10 de março de 2014.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. **Mapa geológico do Estado do Amazonas: 1:1.000.000**. Manaus: CPRM, 2005. CD-ROM.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. **Mapa geológico do Estado do Pará: 1:1.000.000**. Belém: CPRM, 2006. CD-ROM.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. **Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado de Rondônia: 1:1.000.000**. Porto Velho: CPRM, 2007.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. **Mapa hidrogeológico do Brasil na escala 1:1.000.000, no formato SIG**. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e-Publicacoes/Mapa-Hidrogeologico-do-Brasil-ao-Milionesimo-756.html>>. Acesso em 10 de março de 2014.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. **Mapa Hidrogeológico do Estado de Rondônia: 1:1.000.000 - Programa Recursos Hídricos: texto explicativo**. Porto Velho: CPRM, 1998. 32 p.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. **Projeto estudos hidrogeológicos da Região Metropolitana de Belém e adjacências**. Belém: CPRM, 2002. 93p.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. **Zoneamento Ecológico - Econômico da Região Central do Estado de Roraima**. Rio de Janeiro: CPRM, 2002. CD-ROM.

SMERDON, B. D.; MENDOZA, C. A.; DEVITO, K. J. Influence of subhumid climate and water table depth on groundwater recharge in shallow outwash aquifers. **Water Resources Research**, vol.44, 2008.

SOUZA, E. **Projeto ECO-03: Caracterização Hidrogeológica de duas áreas da BOGPM (Pólo Arara e Complexo Vitória-Régia) para o Uso Sustentável da Água Subterrânea e Diagnóstico Geoambiental de Duas Áreas de Disposição de Resíduos de Perfuração (Urucu/AM) – 2º Relatório Técnico Trimestral**. Amazonas: FADESP/UFPA, 2009.

SOUZA, L. S.; VERMA, O. P. Mapeamento de aquíferos na cidade de Manaus, AM (zona norte e leste) através de perfilagem geofísica de poço e sondagem elétrica vertical. **Revista de Geologia**, vol.19, nº 1, p.111-127, 2006.

STRUCKMEIER, W. F.; MARGAT, J. Hydrogeological Maps. A guide and a standard legend. **International Association Hydrogeology**, vol.17. 1995.

SWAFFER, B. A.; HOLLAND, K. L.; DOODY, T. M.; LI, C.; HUTSON, J. L. Water use strategies of two co-occurring tree species in a semiarid karst environment. **Hydrol. Process**, 2013.

TANCREDI, A. C. F. N. S. **Distribuidora Amapaense de Bebidas Ltda. DABEL - Relatório Hidrogeológico e de Operação e Manutenção de Poços**. Belém: DABEL, 2004. 24p.

TANCREDI, A. C. F. N. S. **Relatório Final de Pesquisa - Fontes: Araguari, Amazonas e Matapi**. Belém, 2006. 68p.

TANCREDI, A. C. F. N. S. **Relatório Hidrogeológico: Belém Água Mineral Equador**. Belém, 2002. 43p.

TANCREDI, A. C. F. N. S. **Recursos Hídricos Subterrâneos de Santarém: fundamentos para uso e proteção**. 1996. 153f. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém, 1996.

VILLEGAS, J. M. **Geologia estrutural da Bacia de Marajó**. 1994. 119f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém, 1994.

VOSS, C. I. Editors message: groundwater modeling fantasies – part 1, a drift in the details. **Hydrogeology Journal**, vol.19, p.1281-1284, 2011a.

VOSS, C. I. Editors message: groundwater modeling fantasies – part 2, down to earth. **Hydrogeology Journal**, vol.19, p.1455-1458, 2011b.

WANDERLEY FILHO, J. R.; EIRAS, J. F.; VAZ, P. T. Bacia do Solimões. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**, vol.15, nº 2, p.217-225, 2007.

WANDERLEY FILHO, J. R.; MELO, J. H. G.; FONSECA, V. M. F.; MACHADO, D. M. C. Bacias Sedimentares Brasileiras: Bacia do Amazonas. **Phoenix**, ano 7, nº 82, 2005. 6p.

WANDERLEY FILHO, J.; TRAVASSOS, W. A. S. O. Graben Invertido do Purus. TAPIAS, J. G. In: XIV Congresso Latinoamericano de Geologia, 2011, Medellín – Colômbia. **Memórias**. Medellín: CLG, p. 268-269, 2011.

ZALÁN, P. V.; MATSUDA, N. S. Bacia do Marajó. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**, vol. 15, p.311-310, 2007.

4. ANEXOS

4.1 – Testes de Bombeamento – Planilhas, Gráficos e Parâmetros Hidráulicos

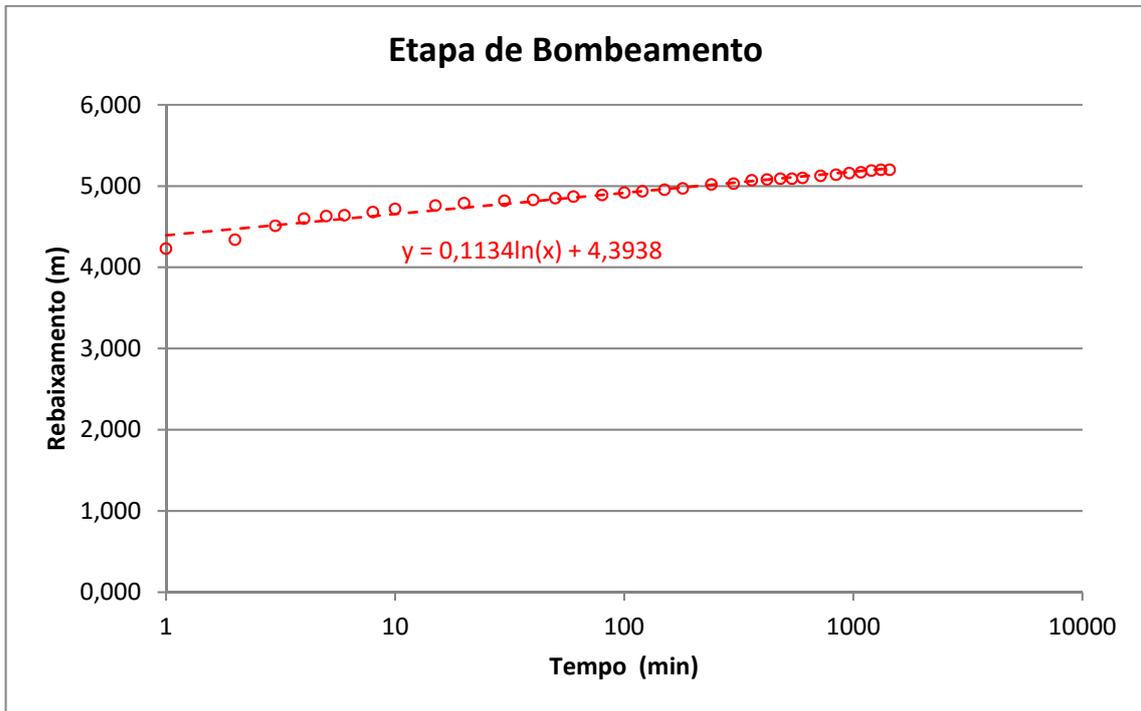
4.1.1 – Aquífero Alter do Chão em Almeirim

4.1.1a - Poço Matinha 1

ENSAIO DE BOMBEAMENTO - Poço bombeado									
REFERÊNCIA DO POÇO: ID1 - SAA.1			PROF.: 20,00 m			EQUIPAMENTO: B.Submersa			
MUNICÍPIO: ALMEIRIM			N.E.: 4,27 m			AQÜÍFERO: Alter do Chão			
ESTADO: PARÁ			N.D.: 9,47 m			EMPRESA: COSTA Consultoria			
LOCAL: BATERIA DE POÇOS MATINHA			Crivo: 12,00 m			DATA INÍCIO: 28/7/2012-10:0h			
PROPRIETÁRIO: PREFEITURA			Raio do poço: 0,075 m			DATA TÉRMINO: 29/07 -11:00h			
GPS:	Long. W	52° 34' 43,63"	Lat. S	1° 31' 20,77"	Altitude:	5 m			
REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO				
HORA	t (min)	N.D. (m)	s (m)	Q (m ³ /h)	Q/s (m ³ /h/m)	t' (min)	N.D. (m)	s (m)	tb/t' + 1
10:01	1	8.500	4.230	22.00	5.20	1	4.58	0.31	1441.00
10:02	2	8.610	4.340			2	4.55	0.28	721.00
10:03	3	8.780	4.510	22.00	4.88	3	4.50	0.23	481.00
10:04	4	8.870	4.600			4	4.47	0.20	361.00
10:05	5	8.900	4.630			5	4.45	0.18	241.00
10:06	6	8.910	4.640	21.00	4.53	6	4.43	0.16	181.00
10:08	8	8.950	4.680			8	4.42	0.15	145.00
10:10	10	8.990	4.720			10	4.39	0.12	97.00
10:15	15	9.030	4.760			15	4.37	0.10	73.00
10:20	20	9.060	4.790	20.00	4.18	20	4.36	0.09	49.00
10:30	30	9.090	4.820			30	4.31	0.04	49.00
10:40	40	9.100	4.830			40	4.30	0.03	37.00
10:50	50	9.120	4.850			50	4.28	0.01	29.80
11:00	60	9.140	4.870	20.00	4.11	60	4.27	0.00	25.00
11:20	80	9.160	4.890						
11:40	100	9.190	4.920						
12:00	120	9.205	4.935						
12:30	150	9.225	4.955						
13:00	180	9.240	4.970	20.00	4.02				
14:00	240	9.290	5.020						
15:00	300	9.300	5.030						
16:00	360	9.340	5.070						
17:00	420	9.350	5.080	20.00	3.94				
18:00	480	9.360	5.090						
19:00	540	9.360	5.090						
20:00	600	9.370	5.100						
22:00	720	9.395	5.125						
0:00	840	9.410	5.140	20.00	3.89				
2:00	960	9.430	5.160						
4:00	1080	9.440	5.170						
6:00	1200	9.460	5.190						
8:00	1320	9.470	5.200						
10:00	1440	9.470	5.200	20.00	3.85				

Gráficos e Parâmetros Hidráulicos

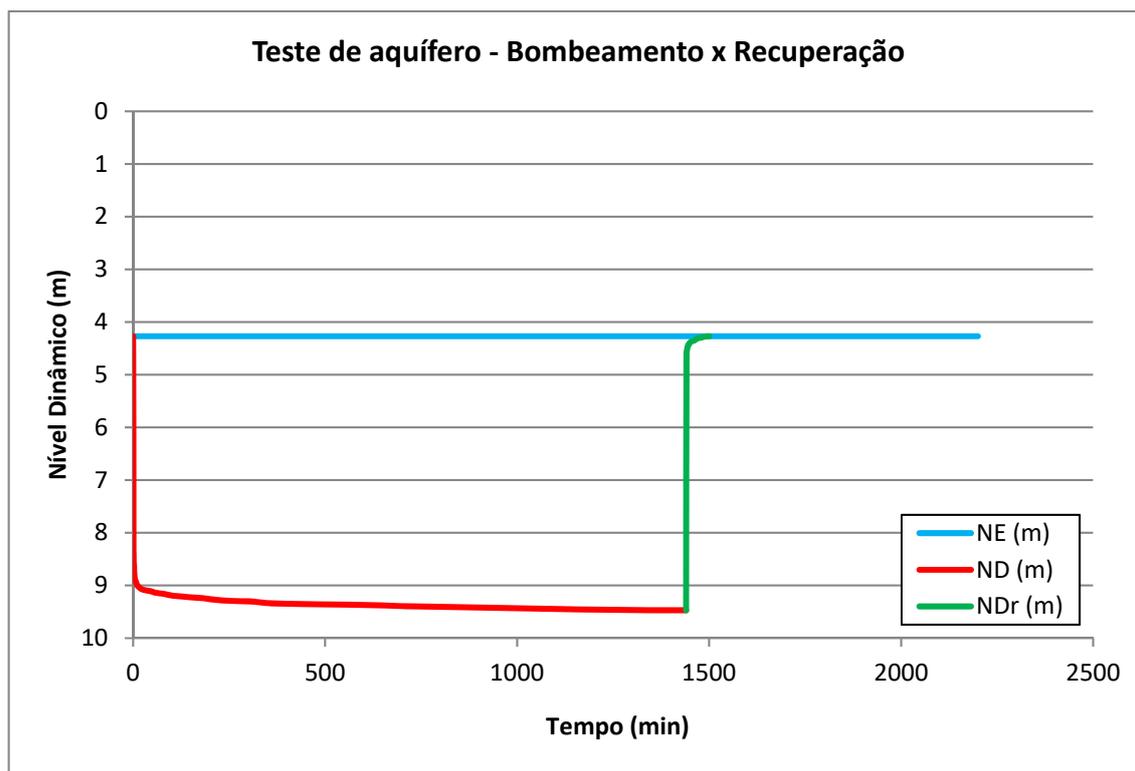
Curva de Rebaixamento do Poço Matinha 1 – Almeirim- PA



Curva de Recuperação do Poço Matinha 1 – Almeirim - PA



Evolução do nível dinâmico do poço Matinha 1 nas duas fases



Parâmetros hidráulicos T, K, S no poço Matinha 1 – Almeirim – PA

Etapas	T			K		S
	m ² /s	m ² /min	m ² /h	m/s	m/h	
Bombeamento	3,89E-03	2,34E-01	1,40E+01	1,51E-04	5,45E-01	3,51E-03
Recuperação	1,56E-03	9,37E-02	5,62E+00	6,07E-05	2,18E-01	
Média	2,73E-03	1,64E-01	9,82E+00	1,06E-04	3,82E-01	

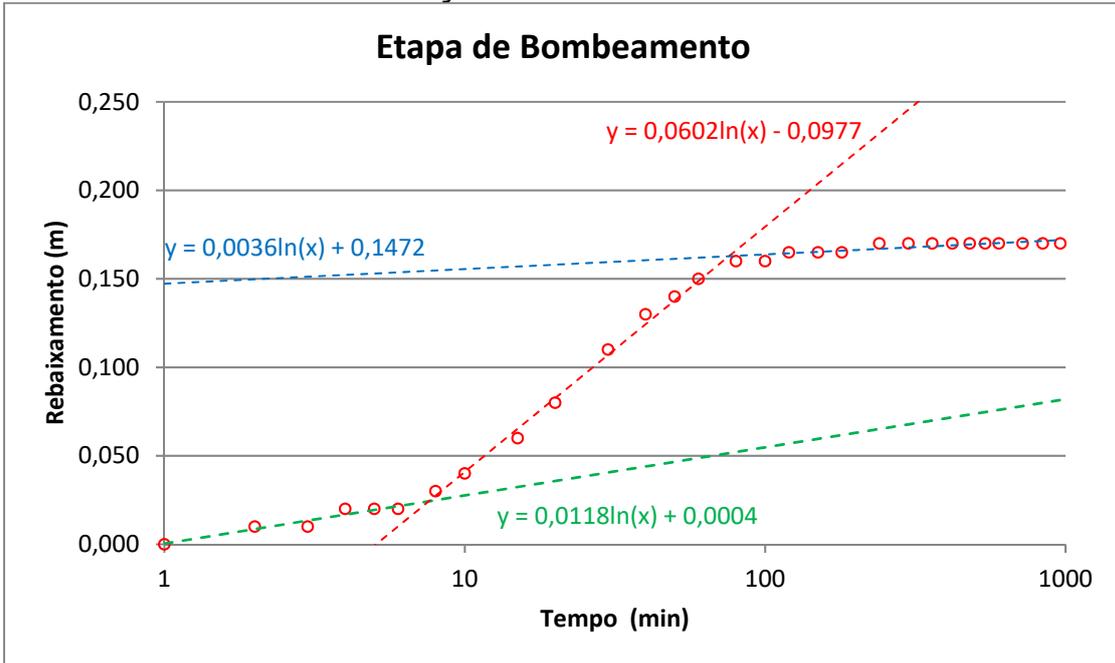
Nota: A avaliação aproximada do coeficiente S de armazenamento do aquífero no próprio poço bombeado é feita a 1 m de distância do mesmo, supondo que o seu raio é infinitamente pequeno (ou seja, supondo que o armazenamento no poço é desprezível).

4.1.1b - Poço Matinha 2 – observado (20 m)

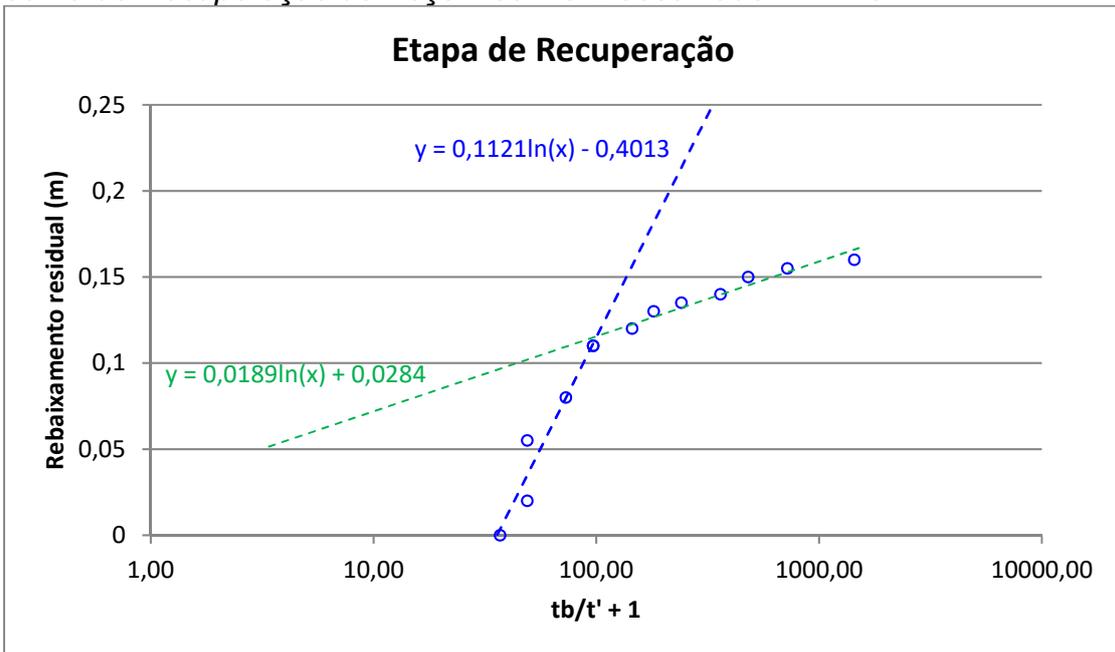
ENSAIO DE BOMBEAMENTO - Poço de Observação							
REFERÊNCIA DO POÇO: ID301 - SAA.2		PROF.: 22,00 m	EQUIPAMENTO: Sonda sônica				
MUNICÍPIO: ALMEIRM		N.E.: 4,00 m	AQUIFERO: Alter do Chão				
ESTADO: PARÁ		N.D.: 4,17 m	EMPRESA: COSTA Consult.				
LOCAL: BATERIA DE POÇOS MATINHA		Distância R : 20,00 m	DATA INÍCIO:28/7/2012-10:0h				
PROPRIETÁRIO: PREFEITURA		Raio poço obs.: 0,15 m	DATA TÉRMINO:29/07 -11:00h				
GPS:	Long.W:	52° 34' 44,33"	Lat.S:	1° 31' 19,57"	Altitude		8 m
REBAIXAMENTO				RECUPERAÇÃO			
HORA	t (min)	N.D. (m)	s (m)	t' (min)	N.D. (m)	s (m)	tb/t' + 1
10:01	1	4.000	0.000	1	4.160	0.16	1441.00
10:02	2	4.010	0.010	2	4.155	0.16	721.00
10:03	3	4.010	0.010	3	4.150	0.15	481.00
10:04	4	4.020	0.020	4	4.140	0.14	361.00
10:05	5	4.020	0.020	5	4.135	0.14	241.00
10:06	6	4.020	0.020	6	4.130	0.13	181.00
10:08	8	4.030	0.030	8	4.120	0.12	145.00
10:10	10	4.040	0.040	10	4.110	0.11	97.00
10:15	15	4.060	0.060	15	4.080	0.08	73.00
10:20	20	4.080	0.080	20	4.055	0.05	49.00
10:30	30	4.110	0.110	30	4.020	0.02	49.00
10:40	40	4.130	0.130	40	4.000	0.00	37.00
10:50	50	4.140	0.140				
11:00	60	4.150	0.150				
11:20	80	4.160	0.160				
11:40	100	4.160	0.160				
12:00	120	4.165	0.165				
12:30	150	4.165	0.165				
13:00	180	4.165	0.165				
14:00	240	4.170	0.170				
15:00	300	4.170	0.170				
16:00	360	4.170	0.170				
17:00	420	4.170	0.170				
18:00	480	4.170	0.170				
19:00	540	4.170	0.170				
20:00	600	4.170	0.170				
22:00	720	4.170	0.170				
0:00	840	4.170	0.170				
2:00	960	4.170	0.170				

Gráficos e Parâmetros Hidráulicos

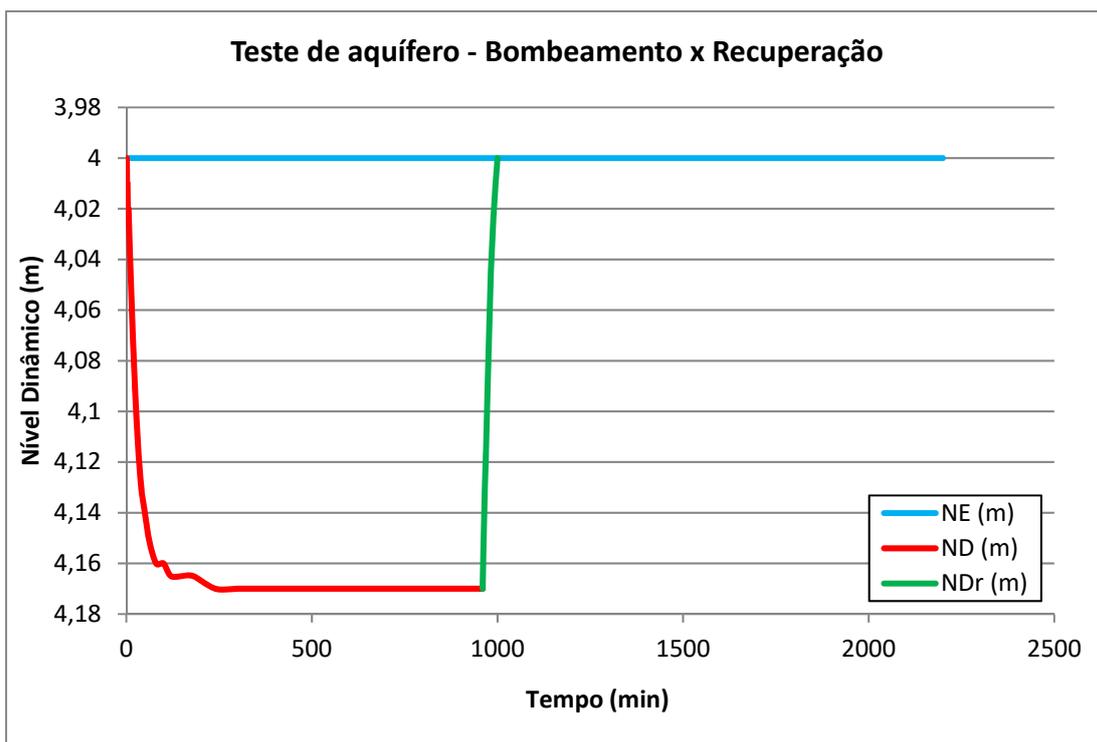
Curva de Rebaixamento do Poço Matinha 2 observado – Almeirim



Curva de Recuperação do Poço Matinha 2 observado – Almeirim - PA



Evolução do nível dinâmico do poço Matinha 2 observado nas duas fases



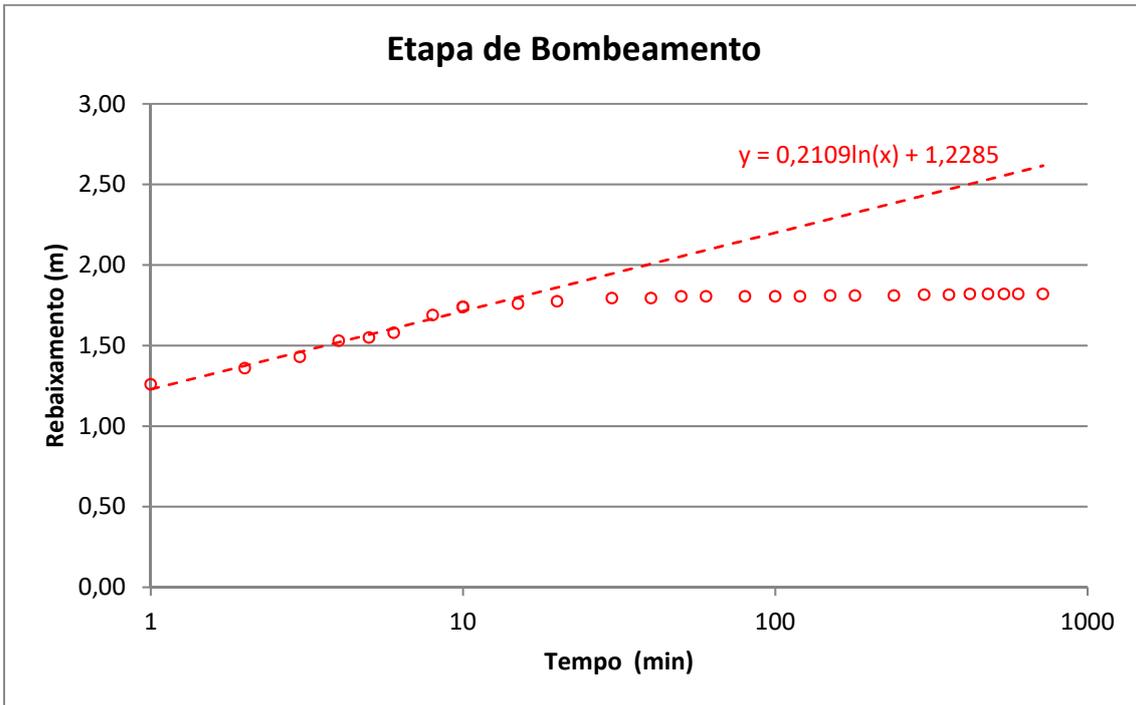
Parâmetros hidráulicos T, K, S no poço Matinha 2 observado – Almeirim – PA

Etapas	T			K		S
	m ² /s	m ² /min	m ² /h	m/s	m/h	
Bombeamento 1	3,74E-02	2,25E+00	1,35E+02	1,44E-03	5,18E+00	1,22E-02
Bombeamento 2	7,33E-03	4,40E-01	2,64E+01	2,82E-04	1,02E+00	1,25E-02
Recuperação 1	3,94E-03	2,36E-01	1,42E+01	1,51E-04	5,45E-01	
Recuperação 2	2,34E-02	1,40E+00	8,41E+01	8,99E-04	3,23E+00	
Média Geral	1,80E-02	1,08E+00	6,48E+01	6,93E-04	2,49E+00	1,24E-02

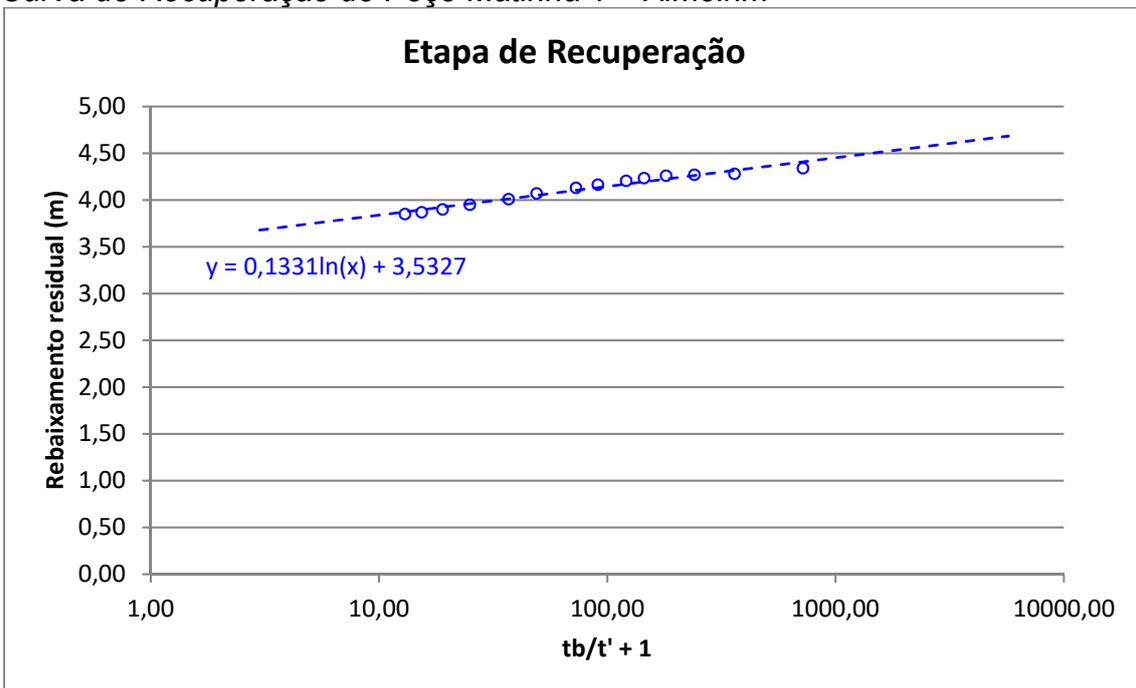
Nota: A avaliação aproximada do coeficiente S de armazenamento do aquífero no próprio poço bombeado é feita a 1 m de distância do mesmo, supondo que o seu raio é infinitamente pequeno (ou seja, supondo que o armazenamento no poço é desprezível).

Gráficos e Parâmetros Hidráulicos

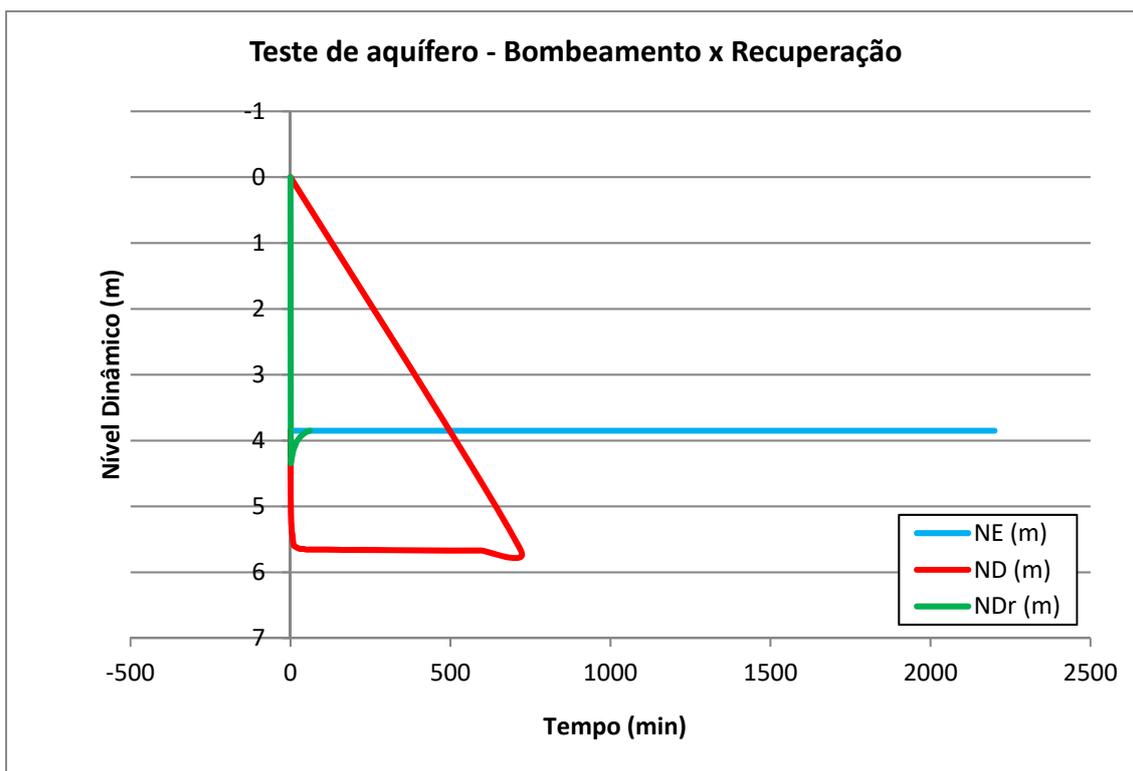
Curva de Rebaixamento do Poço Matinha 2 bombeado – Almeirim



Curva de Recuperação do Poço Matinha 1 – Almeirim



Evolução do nível dinâmico do poço Matinha 2 bombeado nas duas fases



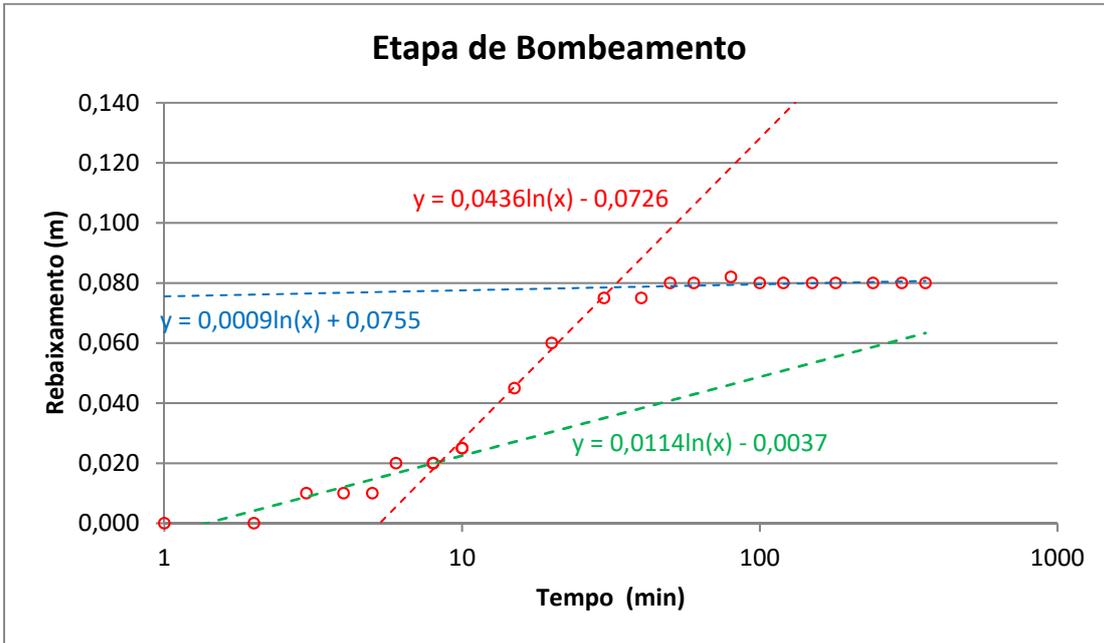
Parâmetros hidráulicos T, K, S no poço Matinha 2 bombeado – Almeirim – PA

Etapas	T			K		S
	m ² /s	m ² /min	m ² /h	m/s	m/h	
Rebaixamento	1,05E-03	6,28E-02	3,77E+00	4,00E-05	1,44E-01	4,17E-04
Recuperação	1,66E-03	9,95E-02	5,97E+00	6,34E-05	2,28E-01	
Média	1,35E-03	8,12E-02	4,87E+00	5,17E-05	1,86E-01	4,17E-04

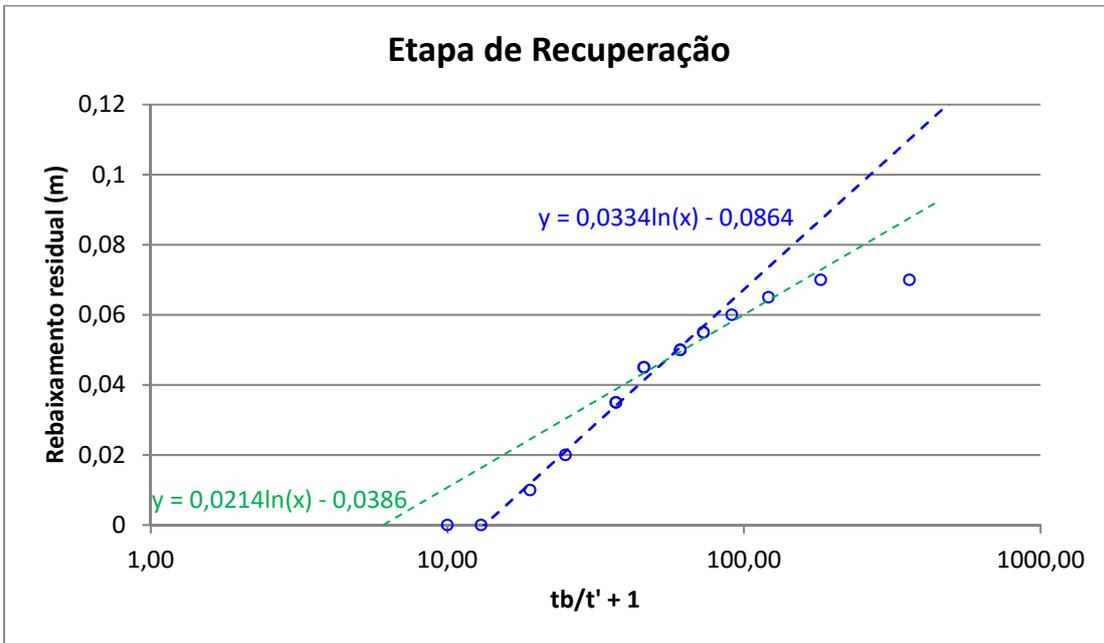
Nota: A avaliação aproximada do coeficiente S de armazenamento do aquífero no próprio poço bombeado é feita a 1 m de distância do mesmo, supondo que o seu raio é infinitamente pequeno (ou seja, supondo que o armazenamento no poço é desprezível).

Gráficos e Parâmetros Hidráulicos

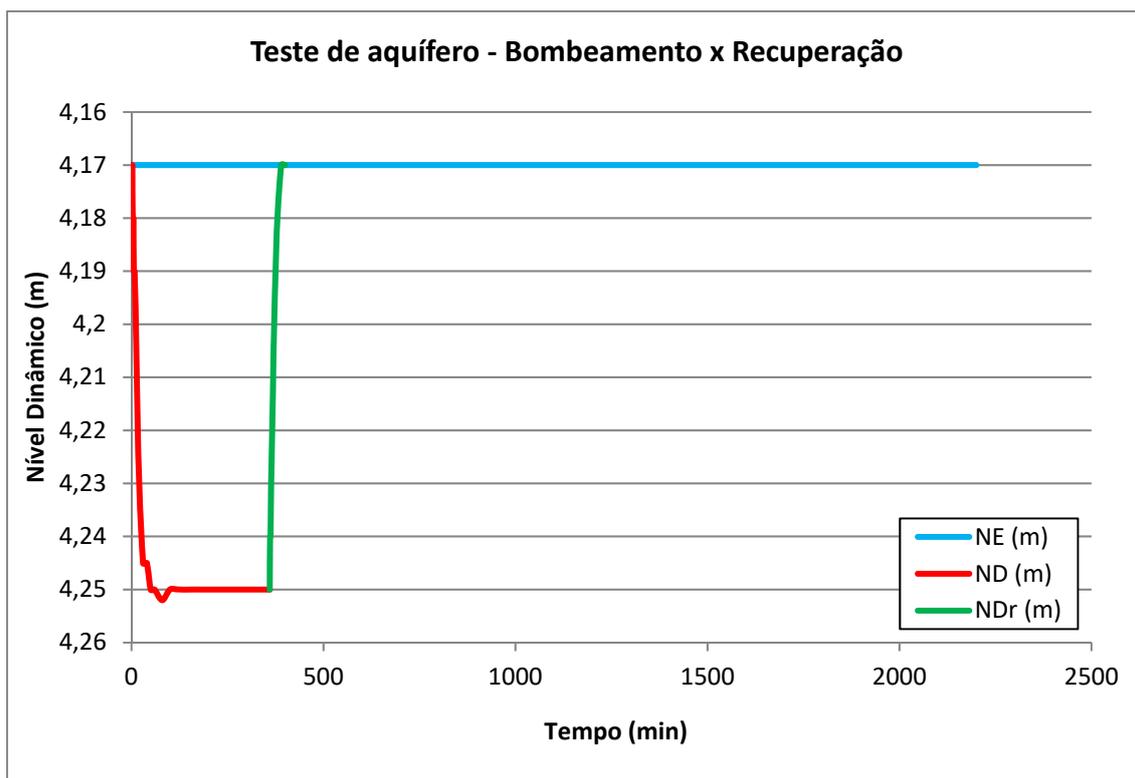
Curva de Rebaixamento do Poço Matinha 1 observado – Almeirim - PA



Curva de Recuperação do Poço Matinha 1 observado – Almeirim



Evolução do nível dinâmico do poço Matinha 1 observado nas duas fases



Parâmetros hidráulicos T, K, S no poço Matinha 1 observado – Almeirim – PA

Etapas	T			K		S
	m ² /s	m ² /min	m ² /h	m/s	m/h	
Bombeamento 1	1,94E-02	1,16E+00	6,97E+01	7,50E-04	2,70E+00	9,04E-03
Bombeamento 2	5,06E-03	3,04E-01	1,82E+01	1,96E-04	7,06E-01	9,03E-03
Recuperação 1	6,61E-03	3,97E-01	2,38E+01	2,56E-04	9,21E-01	
Recuperação 2	1,03E-02	6,19E-01	3,71E+01	3,99E-04	1,44E+00	
Média Geral	1,03E-02	6,20E-01	3,72E+01	4,00E-04	1,44E+00	9,04E-03

Nota: A avaliação aproximada do coeficiente S de armazenamento do aquífero no próprio poço bombeado é feita a 1 m de distância do mesmo, supondo que o seu raio é infinitamente pequeno (ou seja, supondo que o armazenamento no poço é desprezível).

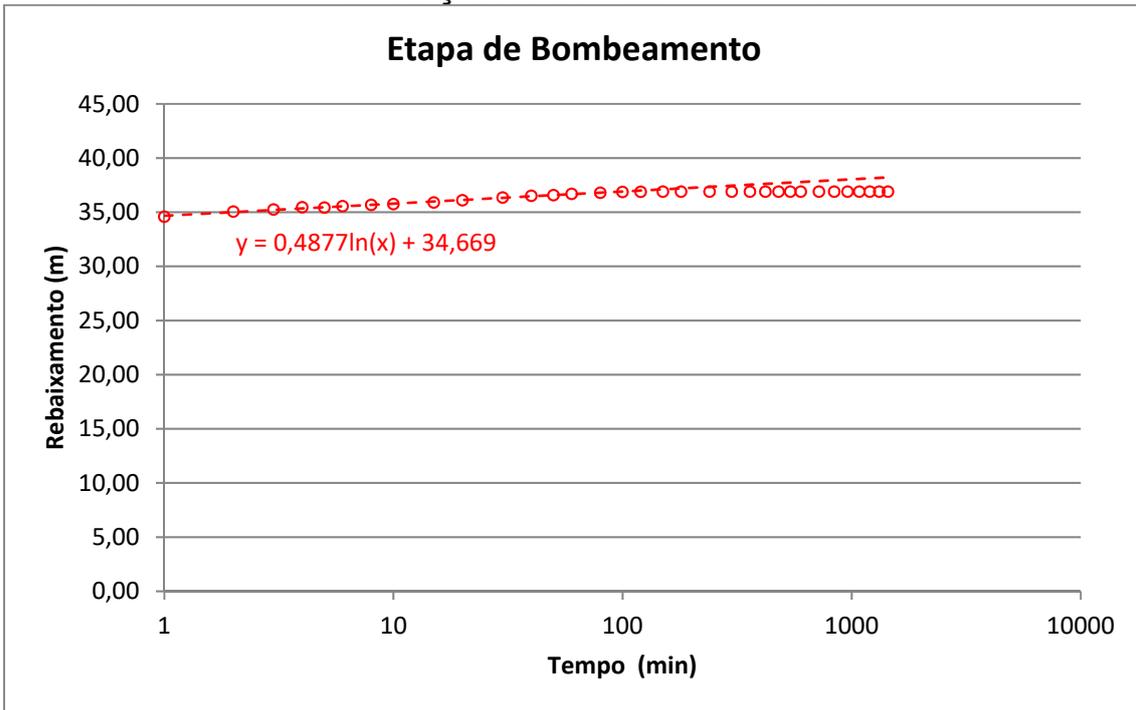
4.1.2 – Aquífero Alter do Chão em Santarém – PA

4.1.2a – Poço T. R. Ville

TESTE DE AQUÍFERO - Poço bombeado									
REFERÊNCIA DO POÇO: ID284 - STM42			PROF.: 186,00 m			EQUIPAMENTO: B.SUBMERSA			
MUNICÍPIO: SANTARÉM			N.E.: 25,87 m			AQUÍFERO: ALTER DO CHÃO			
ESTADO: PARÁ			N.D.: 36,89 m			EMPRESA: Particular			
LOCAL: LOTEAM.TAPAJÓS ROYAL VILLE			Crivo: 55,22 m			DATA INÍCIO: 28/07/2012			
PROPRIETÁRIO: CONDOMINIO T.R.VILLE			Raio do poço: 0,075 m			DATA TÉRMINO: 29/07/2012			
GPS:	Long. W	54°45'24"	Lat. S	2°26'30,1"	ALTITUDE:	34 m			
REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO				
HORA	t (min)	N.D. (m)	s (m)	Q (m ³ /h)	Q/s (m ³ /h/m)	t' (min)	N.D. (m)	s (m)	tb/t' + 1
11:01	1	34.590	8.720	22.300	2.557	1	37.070	11.200	1441.00
11:02	2	35.060	9.190	21.200	2.307	2	34.390	8.520	721.00
11:03	3	35.240	9.370	20.800	2.220	3	33.460	7.590	481.00
11:04	4	35.452	9.582	20.600	2.150	4	32.940	7.070	361.00
11:05	5	35.430	9.560	19.900	2.082	5	32.640	6.770	289.00
11:06	6	35.560	9.690	18.700	1.930	6	32.170	6.300	241.00
11:08	8	35.670	9.800	19.830	2.023	8	31.690	5.820	181.00
11:10	10	35.750	9.880	19.690	1.993	10	31.250	5.380	145.00
11:15	15	35.890	10.020	19.630	1.959	15	30.430	4.560	97.00
11:20	20	36.100	10.230	19.630	1.919	20	30.050	4.180	73.00
11:30	30	36.350	10.480	19.630	1.873	30	29.320	3.450	49.00
11:40	40	36.520	10.650	19.630	1.843	40	28.770	2.900	37.00
11:50	50	36.570	10.700	19.630	1.835	50	28.380	2.510	29.80
12:00	60	36.690	10.820	19.630	1.814	60	28.200	2.330	25.00
12:20	80	36.790	10.920	19.630	1.798	80	27.773	1.903	19.00
12:40	100	36.870	11.000	19.630	1.785	100	27.410	1.540	15.40
13:00	120	36.880	11.010	19.630	1.783	120	27.000	1.130	13.00
13:30	150	36.890	11.020	19.630	1.781	150	26.700	0.830	10.60
14:00	180	36.890	11.020	19.630	1.781	180	26.580	0.710	9.00
15:00	240	36.890	11.020	19.630	1.781	240	26.310	0.440	7.00
16:44	300	36.890	11.020	19.630	1.781	300	26.220	0.350	5.80
17:00	360	36.890	11.020	19.630	1.781				
18:30	420	36.890	11.020	19.630	1.781				
19:00	480	36.890	11.020	19.630	1.781				
20:00	540	36.890	11.020	19.630	1.781				
21:00	600	36.890	11.020	19.630	1.781				
23:00	720	36.890	11.020	19.630	1.781				
1:00	840	36.890	11.020	19.630	1.781				
3:00	960	36.890	11.020	19.630	1.781				
5:00	1080	36.890	11.020	19.630	1.781				
7:00	1200	36.890	11.020	19.630	1.781				
9:00	1320	36.890	11.020	19.630	1.781				
10:55	1440	36.890	11.020	19.63	1.781				

Gráficos e Parâmetros Hidráulicos

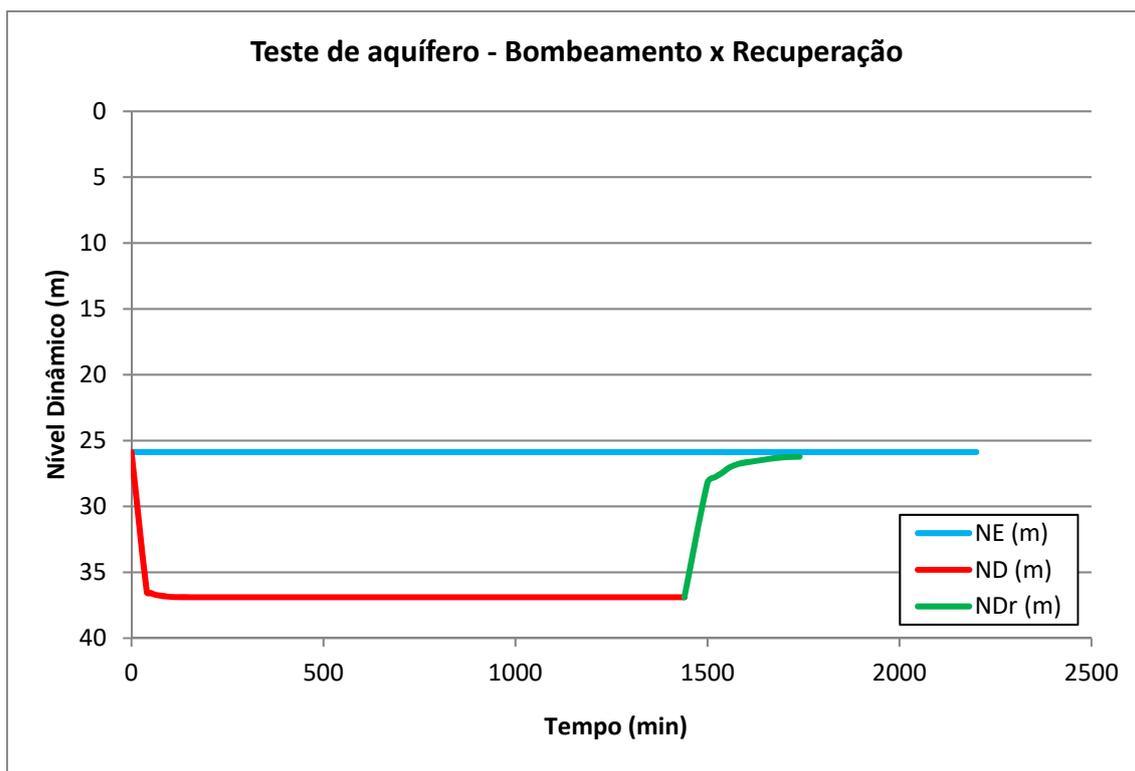
Curva de Rebaixamento do Poço T. R. Ville – Santarém PA



Curva de Recuperação do Poço T. R. Ville – Santarém PA



Evolução do nível dinâmico do poço T. R. Ville – Santarém PA



Parâmetros hidráulicos T, K, S no poço T. R. Ville – Santarém PA

Etapas	T			K		S
	m ² /s	m ² /min	m ² /h	m/s	m/h	
Bombeamento	8,89E-04	5,33E-02	3,20E+00	3,24E-06	1,17E-02	5,48E-04
Recuperação	2,44E-04	1,46E-02	8,77E-01	8,89E-07	3,20E-03	
Média	5,66E-04	3,40E-02	2,04E+00	2,07E-06	7,44E-03	

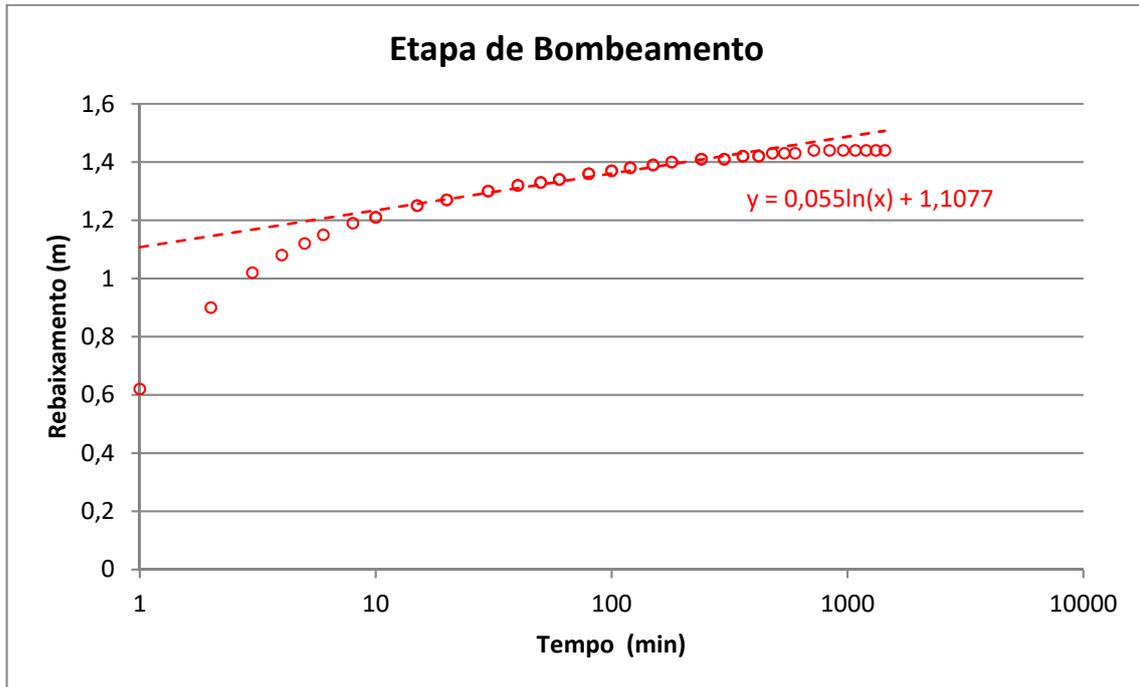
Nota: A avaliação aproximada do coeficiente S de armazenamento do aquífero no próprio poço bombeado é feita a 1 m de distância do mesmo, supondo que o seu raio é infinitamente pequeno (ou seja, supondo que o armazenamento no poço é desprezível).

4.1.2b – Poço A. M. Jutai

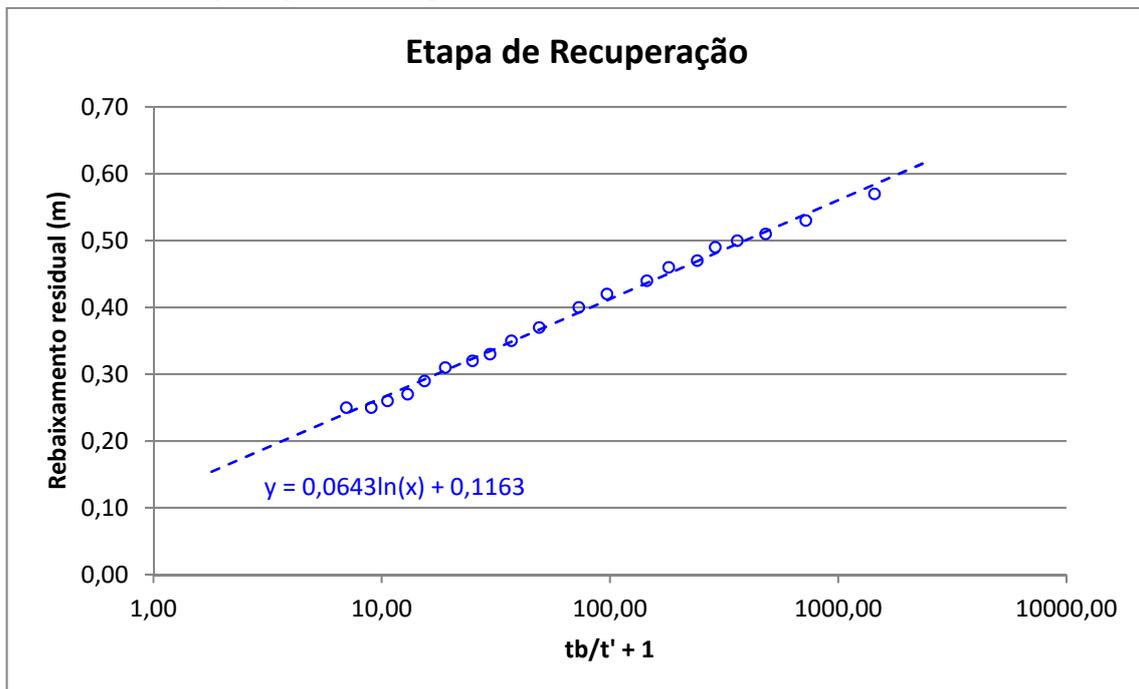
TESTE DE AQUÍFERO - Poço bombeado									
REFERÊNCIA DO POÇO: ID240 - ST053			PROF.: 85,00 m		EQUIPAMENTO: B.SUBMERSA				
MUNICÍPIO: SANTARÉM			N.E.: 46,81 m		AQUÍFERO: ALTER DO CHÃO				
ESTADO: PARÁ			N.D.: 48,25 m		EMPRESA: Particular				
LOCAL: A. M. JUTAI			Crivo: 58,00 m		DATA INÍCIO: 25/07/2012				
PROPRIETÁRIO: ASS.MORADORES			Raio do poço: 0,075 m		DATA TÉRMINO: 26/07/2012				
GPS:	Long. W	54°41'47"		Lat. S	2°27'41"		ALTITUDE:	49 m	
REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO				
HORA	t (min)	N.D. (m)	s (m)	Q (m ³ /h)	Q/s (m ³ /h/m)	t' (min)	N.D. (m)	s (m)	tb/t' + 1
11:01	1	47.430	0.620	11.59	18.694	1	47.38	0.57	1441.00
11:02	2	47.710	0.900	10.23	11.367	2	47.34	0.53	721.00
11:03	3	47.830	1.020	10.23	10.029	3	47.32	0.51	481.00
11:04	4	47.890	1.080	10.20	9.444	4	47.31	0.50	361.00
11:05	5	47.930	1.120	10.20	9.107	5	47.30	0.49	289.00
11:06	6	47.960	1.150	10.19	8.861	6	47.28	0.47	241.00
11:08	8	48.000	1.190	10.05	8.445	8	47.27	0.46	181.00
11:10	10	48.020	1.210	9.91	8.190	10	47.25	0.44	145.00
11:15	15	48.060	1.250	9.91	7.928	15	47.23	0.42	97.00
11:20	20	48.080	1.270	9.89	7.787	20	47.21	0.40	73.00
11:30	30	48.110	1.300	9.84	7.566	30	47.18	0.37	49.00
11:40	40	48.130	1.320	9.63	7.295	40	47.16	0.35	37.00
11:50	50	48.140	1.330	9.59	7.211	50	47.14	0.33	29.80
12:00	60	48.150	1.340	9.59	7.157	60	47.13	0.32	25.00
12:20	80	48.170	1.360	9.58	7.044	80	47.12	0.31	19.00
12:40	100	48.180	1.370	9.56	6.978	100	47.10	0.29	15.40
13:00	120	48.190	1.380	9.56	6.928	120	47.08	0.27	13.00
13:30	150	48.200	1.390	9.55	6.871	150	47.07	0.26	10.60
14:00	180	48.210	1.400	9.55	6.821	180	47.06	0.25	9.00
15:00	240	48.220	1.410	9.53	6.759	240	47.06	0.25	7.00
16:44	300	48.220	1.410	9.50	6.738	300	47.05	0.24	5.80
17:00	360	48.230	1.420	9.49	6.683				
18:30	420	48.230	1.420	9.42	6.634				
19:00	480	48.240	1.430	9.42	6.587				
20:00	540	48.240	1.430	9.42	6.587				
21:00	600	48.240	1.430	9.42	6.587				
23:00	720	48.250	1.440	9.41	6.535				
1:00	840	48.250	1.440	9.41	6.535				
3:00	960	48.250	1.440	9.41	6.535				
5:00	1080	48.250	1.440	9.41	6.535				
7:00	1200	48.250	1.440	9.41	6.535				
9:00	1320	48.250	1.440	9.41	6.535				
10:55	1440	48.250	1.440	9.41	6.535				

Gráficos e Parâmetros Hidráulicos

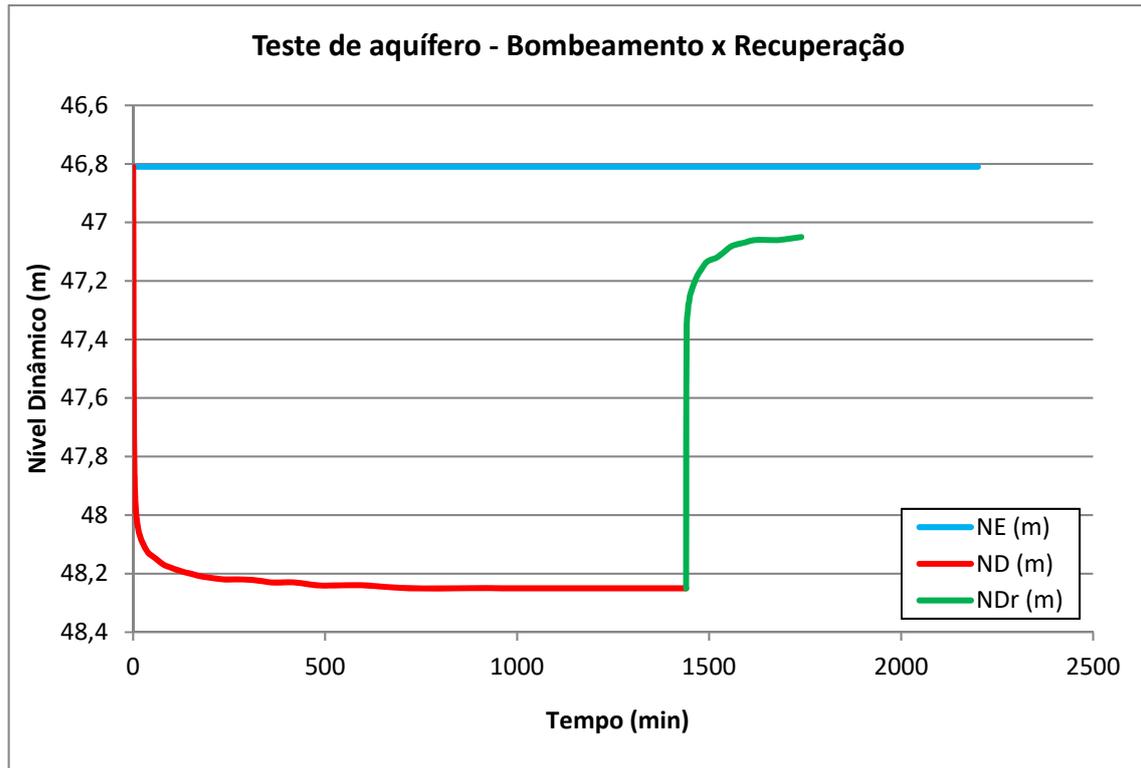
Curva de Rebaixamento do Poço A. M. Jutai – Santarém PA



Curva de Recuperação do Poço A. M. Jutai – Santarém PA



Evolução do nível dinâmico do poço A. M. Jutai – Santarém PA



Parâmetros hidráulicos T, K, S no poço A. M. Jutai – Santarém PA

Etapas	T			K		S
	m ² /s	m ² /min	m ² /h	m/s	m/h	
Bombeamento	3,79E-03	2,28E-01	1,37E+01	1,50E-05	5,39E-02	7,30E-03
Recuperação	3,25E-03	1,95E-01	1,17E+01	1,28E-05	4,61E-02	
Média	3,52E-03	2,11E-01	1,27E+01	1,39E-05	5,00E-02	

Nota: A avaliação aproximada do coeficiente S de armazenamento do aquífero no próprio poço bombeado é feita a 1 m de distância do mesmo, supondo que o seu raio é infinitamente pequeno (ou seja, supondo que o armazenamento no poço é desprezível).

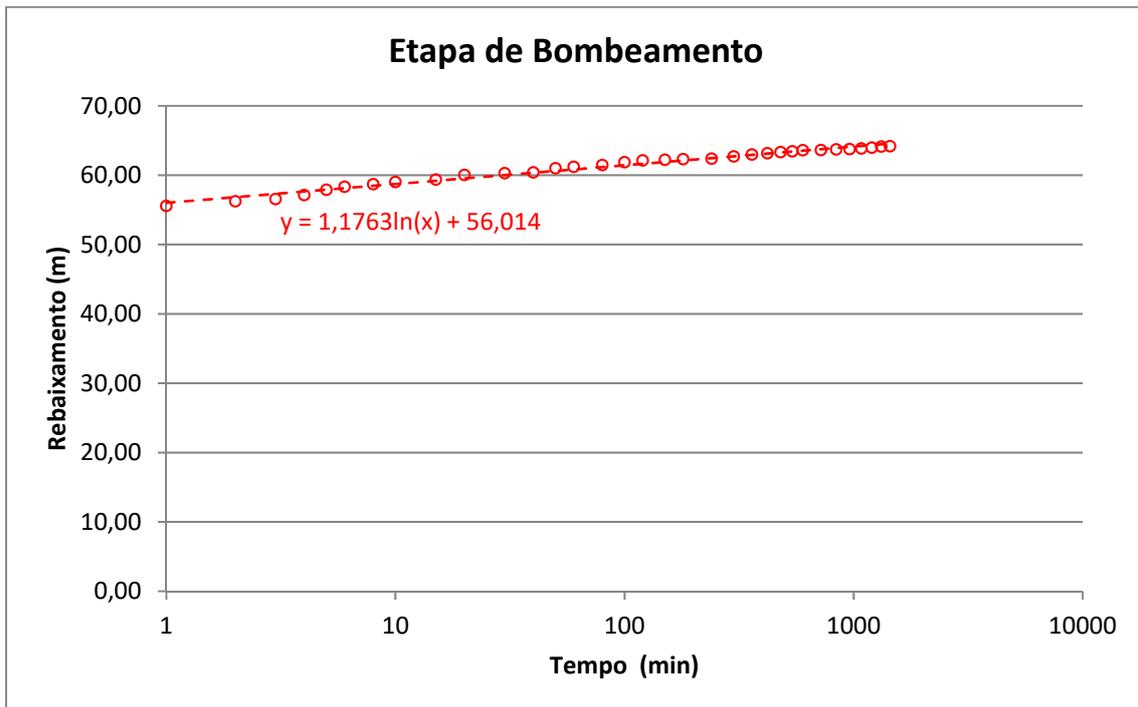
4.1.3 – Aquífero Alter do Chão em Manaus - AM

4.1.3a – Poço São José

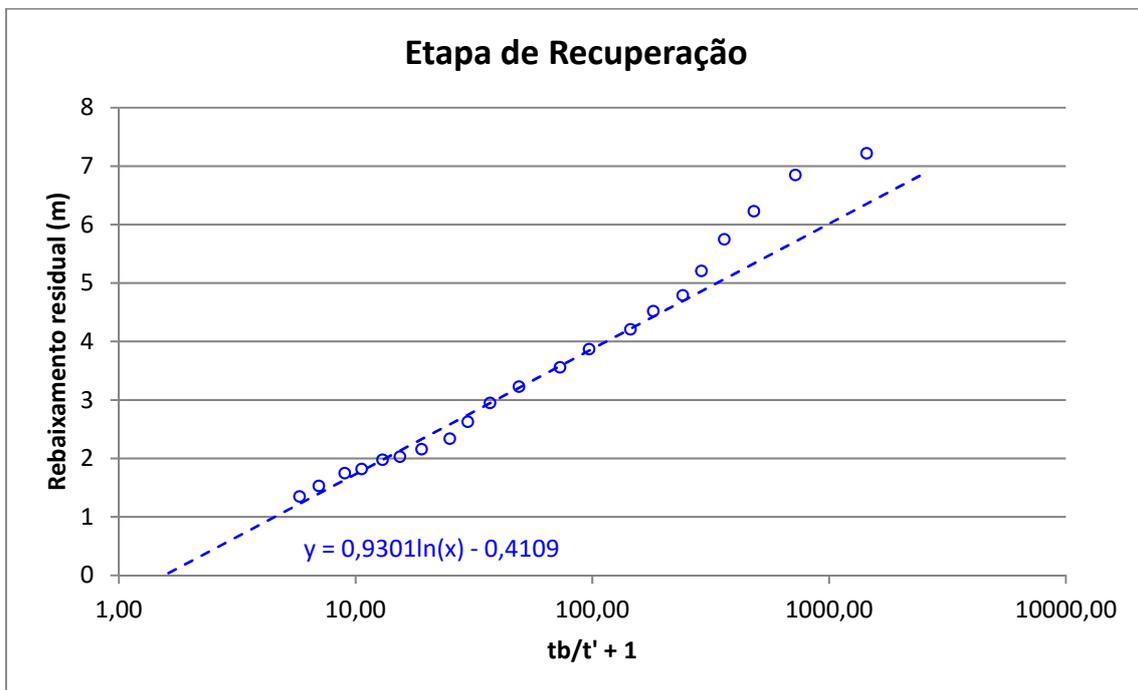
ENSAIO DE BOMBEAMENTO - Poço de Observação									
REFERÊNCIA DO POÇO: ID305 - MAU51			PROF.: 100,00 m			EQUIPAMENTO: B.submersa			
MUNICÍPIO: Manaus			N.E.: 48,35 m			AQUÍFERO: Alter do Chão			
ESTADO: Amazonas			N.D.: 63,55 m			EMPRESA: Particular			
LOCAL: São José			Crivo: 80,00 m			DATA INÍCIO: 3/9/12-8:00h			
PROPRIETÁRIO: Manaus Ambiental			Raio poço: 0,125m			DATA TÉRMINO: 4/9/12-14:			
GPS:	Long. W	59°57'14,27"		Lat. S	3°03'32,27"		ALTITUDE:	34 m	
REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO				
HORA	t (min)	N.D. (m)	s (m)	Q (m ³ /h)	Q/s (m ³ /h/m)	t' (min)	N.D. (m)	s (m)	tb/t' + 1
8:01	1	55.580	7.230			1	55.57	7.22	1441.00
8:02	2	56.240	7.890			2	55.20	6.85	721.00
8:03	3	56.570	8.220			3	54.58	6.23	481.00
8:04	4	57.140	8.790			4	54.10	5.75	361.00
8:05	5	57.900	9.550			5	53.56	5.21	289.00
8:06	6	58.330	9.980			6	53.14	4.79	241.00
8:08	8	58.700	10.350			8	52.87	4.52	181.00
8:10	10	59.020	10.670			10	52.56	4.21	145.00
8:15	15	59.370	11.020			15	52.22	3.87	97.00
8:20	20	60.040	11.690	38.000	3.251	20	51.91	3.56	73.00
8:30	30	60.300	11.950			30	51.58	3.23	49.00
8:40	40	60.400	12.050			40	51.30	2.95	37.00
8:50	50	61.010	12.660			50	50.98	2.63	29.80
9:00	60	61.220	12.870			60	50.69	2.34	25.00
9:20	80	61.460	13.110			80	50.51	2.16	19.00
9:40	100	61.870	13.520			100	50.38	2.03	15.40
10:00	120	62.140	13.790	37.200	2.698	120	50.33	1.98	13.00
10:30	150	62.230	13.880			150	50.17	1.82	10.60
11:00	180	62.320	13.970			180	50.10	1.75	9.00
16:00	240	62.380	14.030			240	49.88	1.53	7.00
13:00	300	62.710	14.360	36.800	2.563	300	49.70	1.35	5.80
14:00	360	62.990	14.640			360	49.57	1.22	5.00
15:00	420	63.170	14.820						
16:00	480	63.320	14.970						
17:00	540	63.450	15.100	36.000	2.384				
18:00	600	63.600	15.250						
20:00	720	63.620	15.270						
22:00	840	63.710	15.360						
0:00	960	63.770	15.420	35.500	2.302				
2:00	1080	63.860	15.510						
4:00	1200	63.970	15.620						
6:00	1320	64.130	15.780	35.000	2.218				
8:00	1440	64.170	15.820						

Gráficos e Parâmetros Hidráulicos

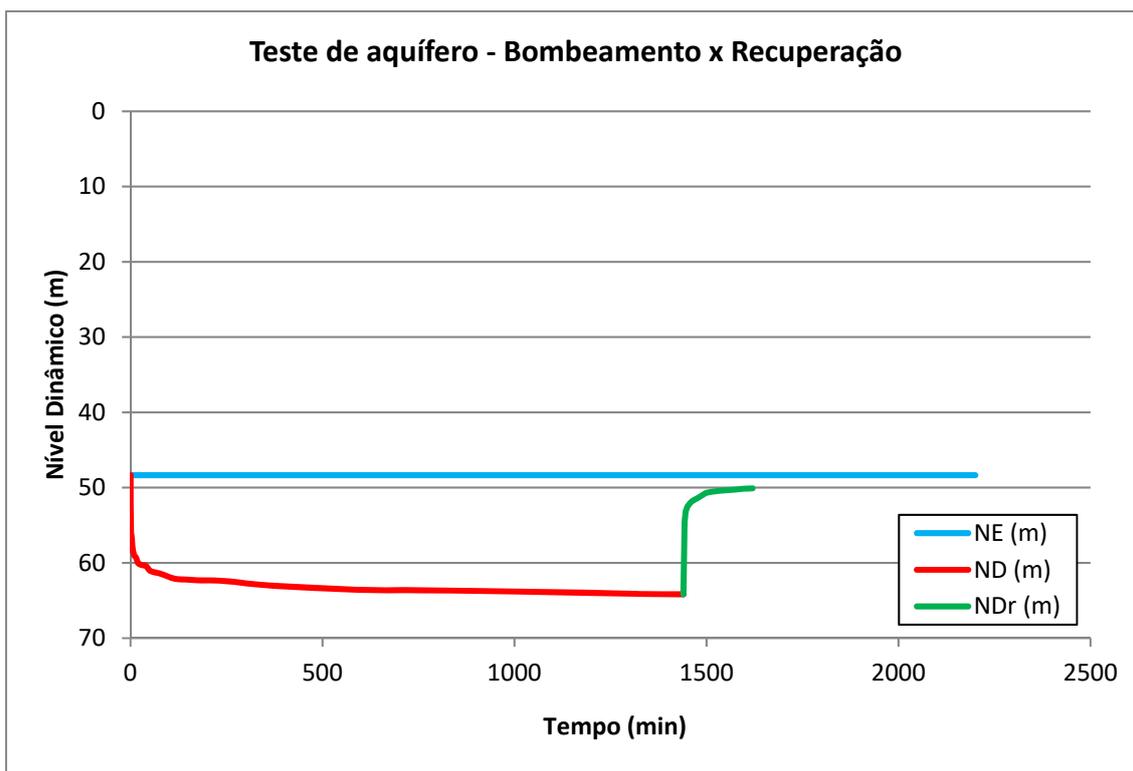
Curva de Rebaixamento do Poço São José Manaus - AM



Curva de Recuperação do Poço São José Manaus - AM



Evolução do nível dinâmico do poço São José Manaus - AM



Parâmetros hidráulicos T, K, S no poço São José Manaus - AM

Etapas	T			K		S
	m ² /s	m ² /min	m ² /h	m/s	m/h	
Bombeamento	6,77E-04	4,06E-02	2,44E+00	2,69E-06	9,69E-03	1,83E-03
Recuperação	8,13E-04	4,88E-02	2,93E+00	3,23E-06	1,16E-02	
Média	7,45E-04	4,47E-02	2,68E+00	2,96E-06	1,07E-02	

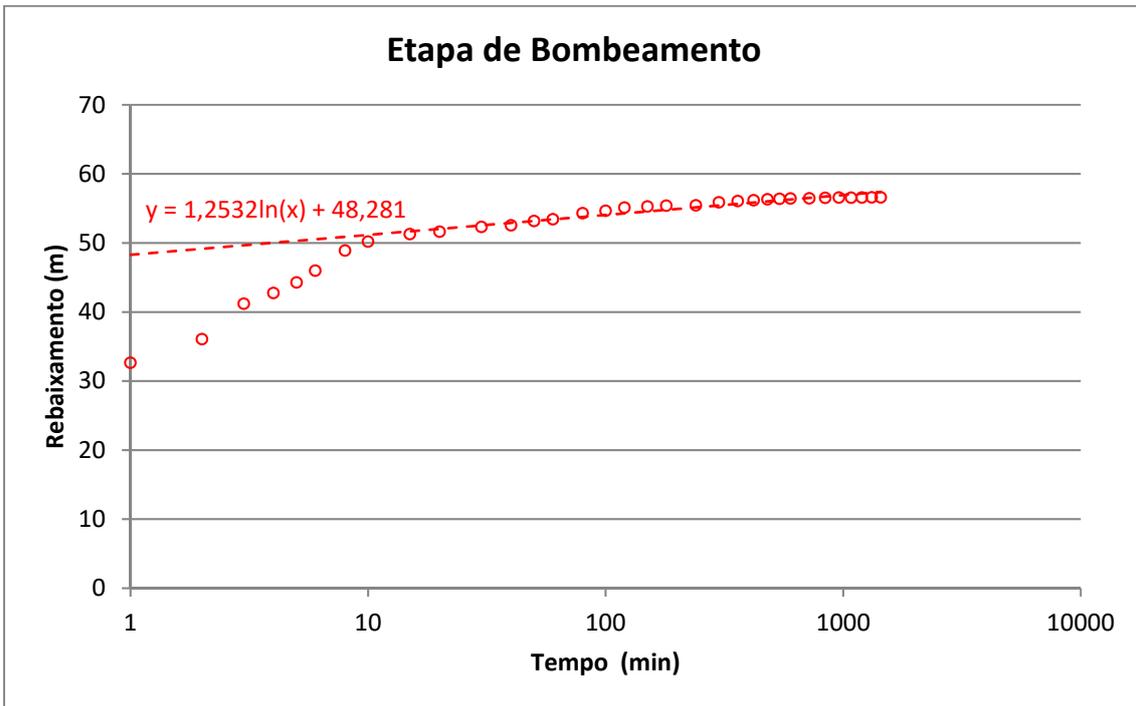
Nota: A avaliação aproximada do coeficiente S de armazenamento do aquífero no próprio poço bombeado é feita a 1 m de distância do mesmo, supondo que o seu raio é infinitamente pequeno (ou seja, supondo que o armazenamento no poço é desprezível).

4.1.3b – Poço Nova Floresta

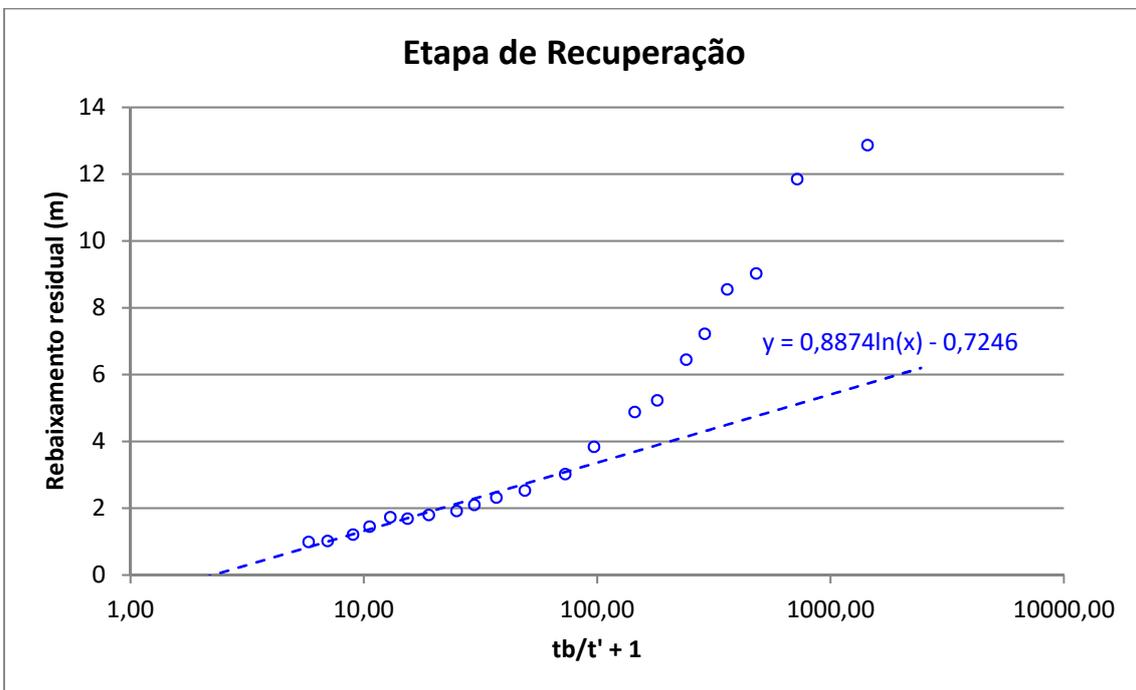
ENSAIO DE BOMBEAMENTO - Poço de Observação									
REFERÊNCIA DO POÇO: ID306 - MAU52			PROF.: 90,00 m			EQUIPAMENTO: B.submersa			
MUNICÍPIO: Manaus			N.E.: 23,42 m			AQUIFERO: Alter do Chão			
ESTADO: Amazonas			N.D.: 56,59 m			EMPRESA: Particular			
LOCAL: Nova Floresta			Crivo: 70,00 m			DATA INÍCIO: 5/9/12-8:00h			
PROPRIETÁRIO: Manaus Ambiental			Raio poço: 0,125m			DATA TÉRMINO: 6/9/12-14			
GPS:	Long. W	59°55'49,06"		Lat. S	3°02'57,11"		ALTITUDE:	90 m	
REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO				
HORA	t (min)	N.D. (m)	s (m)	Q (m ³ /h)	Q/s (m ³ /h/m)	t' (min)	N.D. (m)	s (m)	tb/t' + 1
8:01	1	32.640	9.220			1	36.29	12.87	1441.00
8:02	2	36.070	12.650			2	35.27	11.85	721.00
8:03	3	41.210	17.790			3	32.45	9.03	481.00
8:04	4	42.760	19.340			4	31.97	8.55	361.00
8:05	5	44.270	20.850			5	30.64	7.22	289.00
8:06	6	45.980	22.560			6	29.87	6.45	241.00
8:08	8	48.890	25.470			8	28.65	5.23	181.00
8:10	10	50.200	26.780			10	28.30	4.88	145.00
8:15	15	51.280	27.860			15	27.26	3.84	97.00
8:20	20	51.630	28.210			20	26.44	3.02	73.00
8:30	30	52.310	28.890	43.550		30	25.95	2.53	49.00
8:40	40	52.560	29.140			40	25.74	2.32	37.00
8:50	50	53.180	29.760			50	25.52	2.10	29.80
9:00	60	53.430	30.010			60	25.34	1.92	25.00
9:20	80	54.300	30.880			80	25.22	1.80	19.00
9:40	100	54.660	31.240			100	25.11	1.69	15.40
10:00	120	55.110	31.690			120	25.15	1.73	13.00
10:30	150	55.290	31.870			150	24.87	1.45	10.60
11:00	180	55.400	31.980	43.020		180	24.63	1.21	9.00
16:00	240	55.440	32.020			240	24.44	1.02	7.00
13:00	300	55.870	32.450			300	24.41	0.99	5.80
14:00	360	56.070	32.650			360	24.27	0.85	5.00
15:00	420	56.190	32.770						
16:00	480	56.310	32.890	42.720					
17:00	540	56.400	32.980						
18:00	600	56.440	33.020						
20:00	720	56.460	33.040						
22:00	840	56.520	33.100						
0:00	960	56.570	33.150						
2:00	1080	56.560	33.140						
4:00	1200	56.580	33.160						
6:00	1320	56.600	33.180	42.000					
8:00	1440	56.590	33.170						

Gráficos e Parâmetros Hidráulicos

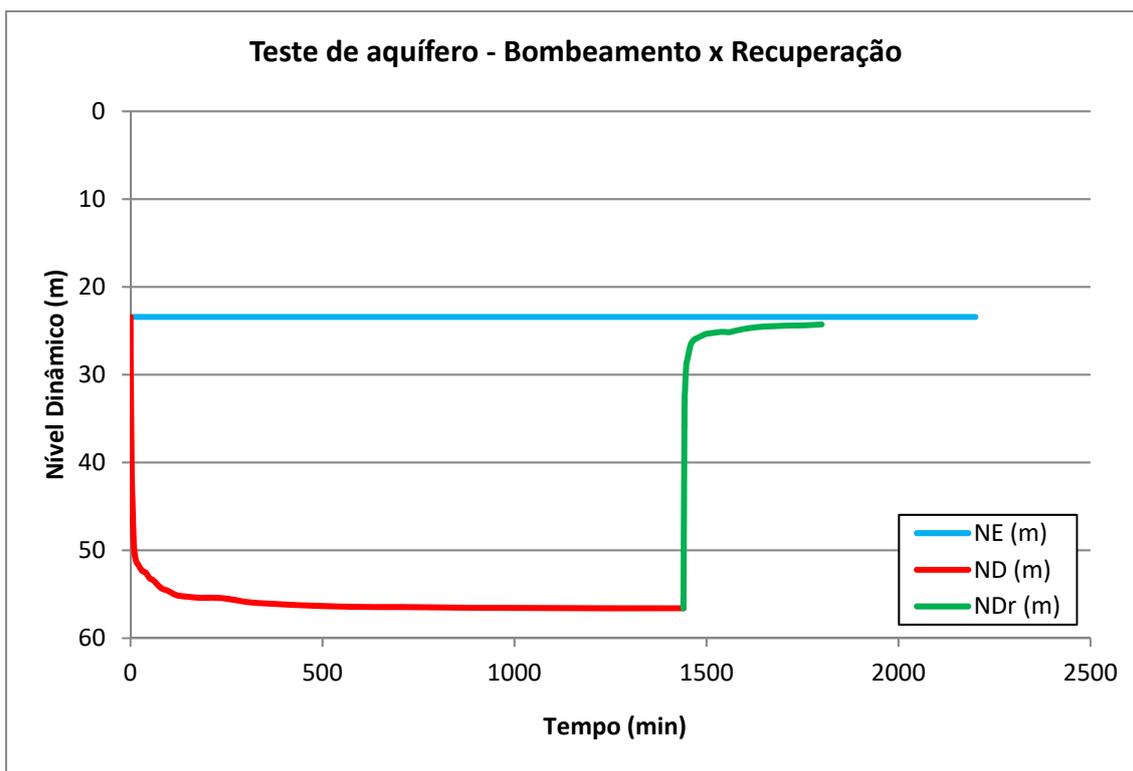
Curva de Rebaixamento do Poço Nova Floresta Manaus - AM



Curva de Recuperação do Poço Nova Floresta Manaus - AM



Evolução do nível dinâmico do poço Nova Floresta Manaus - AM



Parâmetros hidráulicos T, K, S no poço Nova Floresta Manaus - AM

Etapas	T			K		S
	m ² /s	m ² /min	m ² /h	m/s	m/h	
Bombeamento	7,53E-04	4,52E-02	2,71E+00	2,72E-06	9,80E-03	2,39E-03
Recuperação	1,06E-03	6,38E-02	3,83E+00	3,84E-06	1,38E-02	
Média	9,08E-04	5,45E-02	3,27E+00	3,28E-06	1,18E-02	

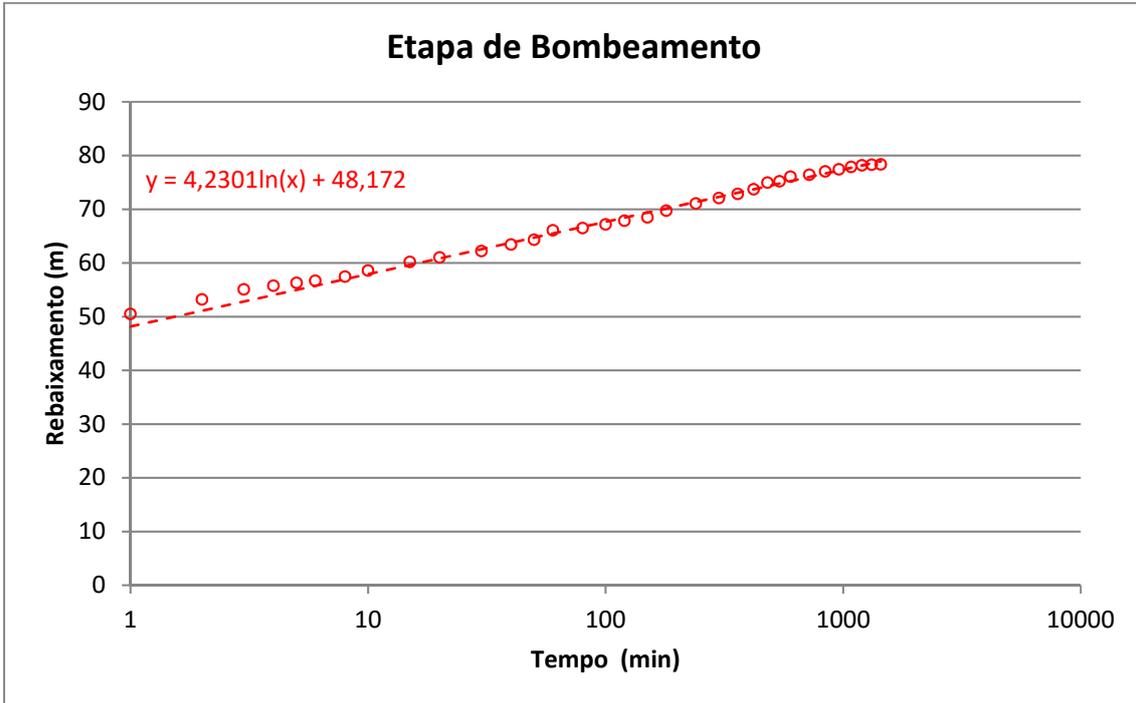
Nota: A avaliação aproximada do coeficiente S de armazenamento do aquífero no próprio poço bombeado é feita a 1 m de distância do mesmo, supondo que o seu raio é infinitamente pequeno (ou seja, supondo que o armazenamento no poço é desprezível).

4.1.3c – Poço Novo Israel

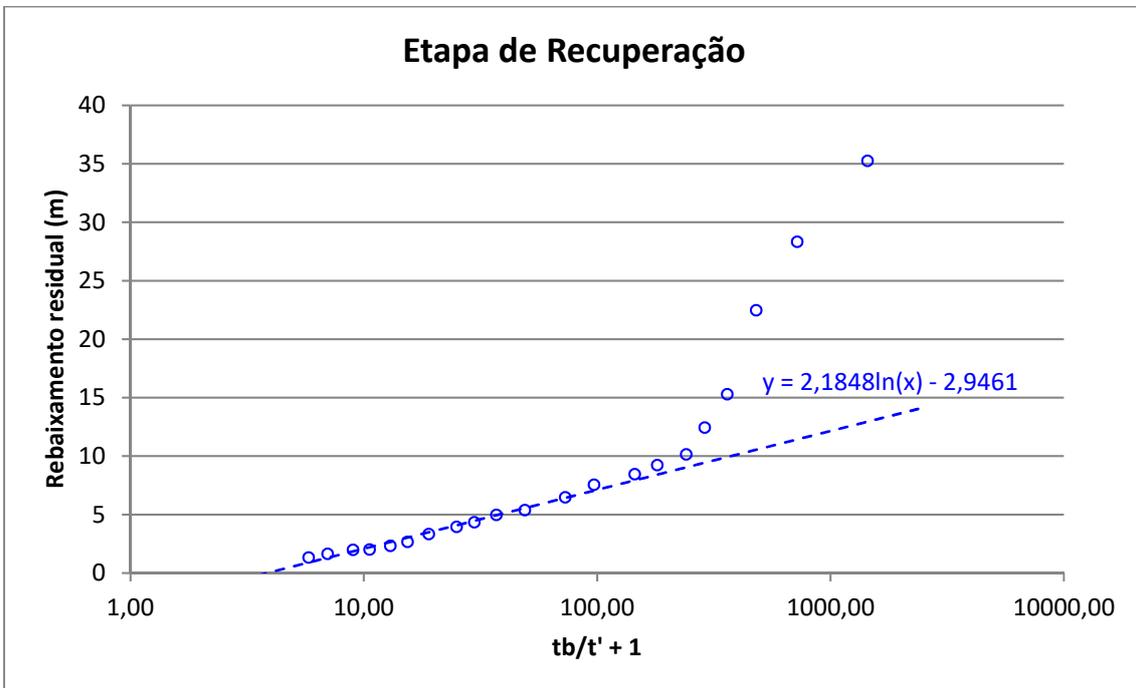
ENSAIO DE BOMBEAMENTO - Poço de Observação									
REFERÊNCIA DO POÇO: ID307 - MAU53			PROF.: 120,00 m			EQUIPAMENTO: B.submersa			
MUNICÍPIO: Manaus			N.E.: 23,20 m			AQUIFERO: Alter do Chão			
ESTADO: Amazonas			N.D.: 78,35 m			EMPRESA: Particular			
LOCAL: Novo Israel			Crivo: 70,00 m			DATA INÍCIO: 30/10/12-8:0			
PROPRIETÁRIO: Manaus Ambiental			Raio poço: 0,125m			DATA TÉRMINO: 31/10/12-			
GPS:	Long. W	60°01'36"	Lat. S	3°01'43,55"	ALTITUDE:	85 m			
REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO				
HORA	t (min)	N.D. (m)	s (m)	Q (m ³ /h)	Q/s (m ³ /h/m)	t' (min)	N.D. (m)	s (m)	tb/t' + 1
8:01	1	50.520	27.320			1	58.45	35.25	1441.00
8:02	2	53.220	30.020			2	51.53	28.33	721.00
8:03	3	55.080	31.880			3	45.67	22.47	481.00
8:04	4	55.760	32.560			4	38.49	15.29	361.00
8:05	5	56.310	33.110			5	35.64	12.44	289.00
8:06	6	56.690	33.490			6	33.35	10.15	241.00
8:08	8	57.460	34.260			8	32.43	9.23	181.00
8:10	10	58.580	35.380			10	31.66	8.46	145.00
8:15	15	60.190	36.990			15	30.75	7.55	97.00
8:20	20	61.020	37.820			20	29.67	6.47	73.00
8:30	30	62.230	39.030	60.000		30	28.58	5.38	49.00
8:40	40	63.450	40.250			40	28.17	4.97	37.00
8:50	50	64.330	41.130			50	27.55	4.35	29.80
9:00	60	66.080	42.880			60	27.15	3.95	25.00
9:20	80	66.490	43.290			80	26.54	3.34	19.00
9:40	100	67.180	43.980			100	25.87	2.67	15.40
10:00	120	67.850	44.650	59.310		120	25.52	2.32	13.00
10:30	150	68.480	45.280			150	25.21	2.01	10.60
11:00	180	69.740	46.540			180	25.18	1.98	9.00
16:00	240	71.080	47.880			240	24.85	1.65	7.00
13:00	300	72.090	48.890			300	24.53	1.33	5.80
14:00	360	72.870	49.670			360	24.31	1.11	5.00
15:00	420	73.720	50.520	58.680					
16:00	480	74.960	51.760						
17:00	540	75.210	52.010						
18:00	600	76.070	52.870						
20:00	720	76.430	53.230						
22:00	840	77.050	53.850						
0:00	960	77.430	54.230						
2:00	1080	77.870	54.670						
4:00	1200	78.180	54.980						
6:00	1320	78.310	55.110	58.000					
8:00	1440	78.350	55.150						

Gráficos e Parâmetros Hidráulicos

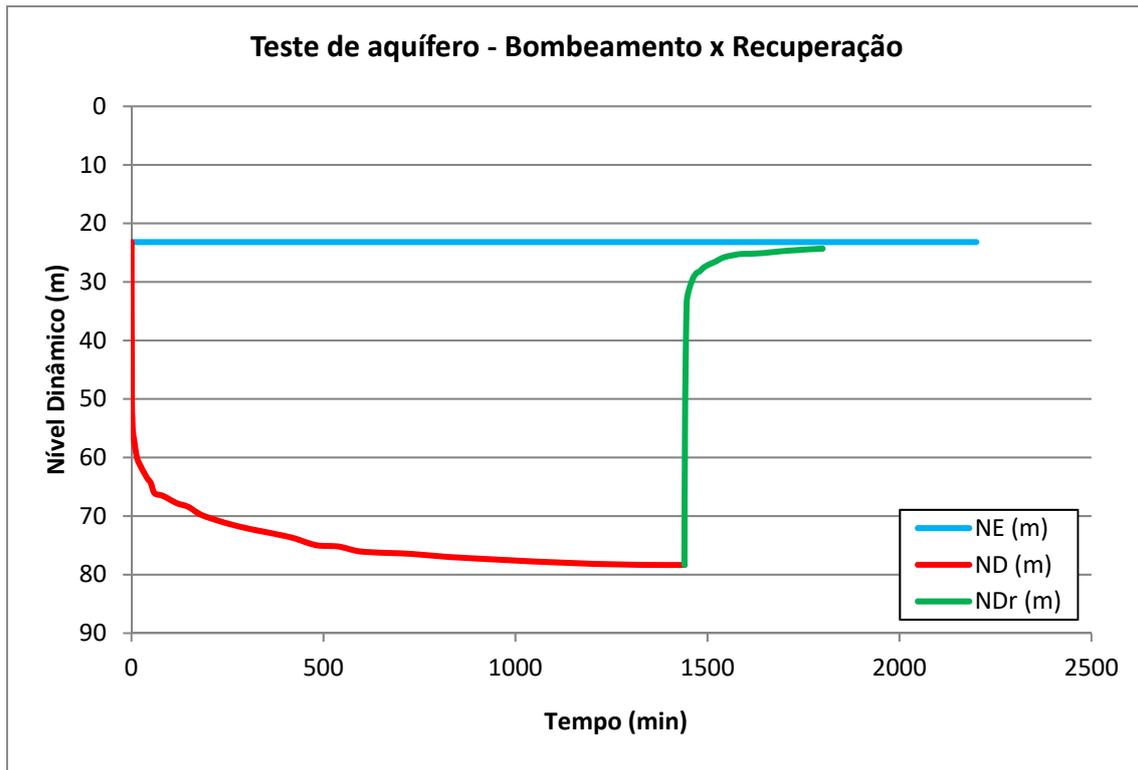
Curva de Rebaixamento do Poço Novo Israel Manaus - AM



Curva de Recuperação do Poço Novo Israel Manaus - AM



Evolução do nível dinâmico do poço Novo Israel Manaus - AM



Parâmetros hidráulicos T, K, S no poço Novo Israel Manaus - AM

Etapas	T			K		S
	m ² /s	m ² /min	m ² /h	m/s	m/h	
Bombeamento	3,07E-04	1,84E-02	1,10E+00	1,11E-06	3,99E-03	1,34E-03
Recuperação	5,94E-04	3,56E-02	2,14E+00	2,15E-06	7,72E-03	
Média	4,50E-04	2,70E-02	1,62E+00	1,63E-06	5,86E-03	

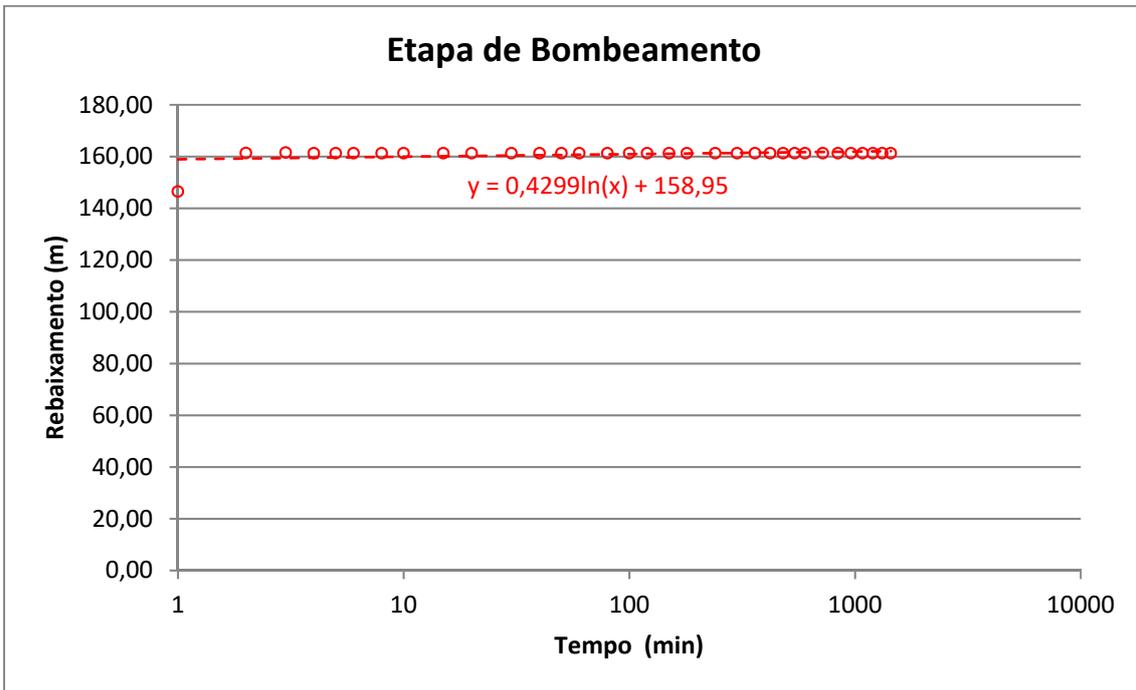
Nota: A avaliação aproximada do coeficiente S de armazenamento do aquífero no próprio poço bombeado é feita a 1 m de distância do mesmo, supondo que o seu raio é infinitamente pequeno (ou seja, supondo que o armazenamento no poço é desprezível).

4.1.3d – Poço Cidade de Deus

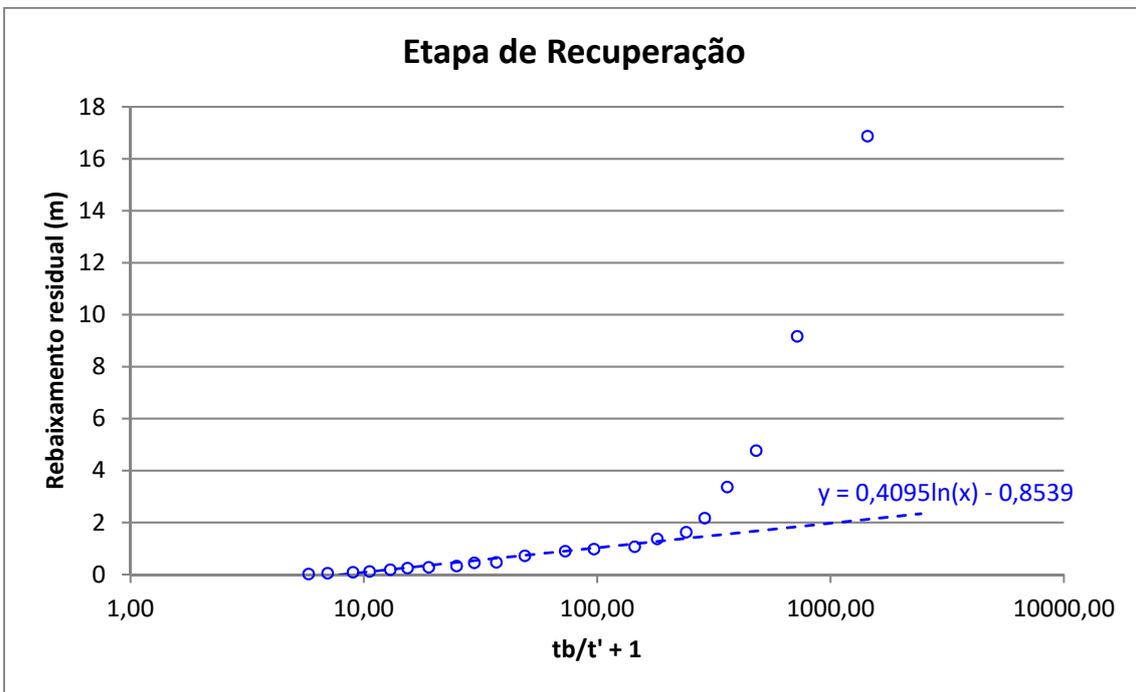
TESTE DE AQUÍFERO - Poço bombeado									
REFERÊNCIA DO POÇO: ID308 - MAU54			PROF.: 204,00 m			EQUIPAMENTO: B.submersa			
MUNICÍPIO: Manaus			N.E.: 136,43 m			AQUÍFERO: Alter do Chão			
ESTADO: Amazonas			N.D.: 161,20 m			EMPRESA: Percol			
LOCAL: Cidade de Deus			Crivo: 180,00 m			DATA INÍCIO: 12/10/12-20:00h			
PROPRIETÁRIO: Manaus Ambiental			Raio do poço: 0,125 m			DATA TÉRMINO: 14/10/12-2:00			
GPS:	Long. W	59°56'44,46	Lat. S	3°01'32,01	ALTITUDE	73 m			
REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO				
HORA	t (min)	N.D. (m)	s (m)	Q (m ³ /h)	Q/s (m ³ /h/m)	t' (min)	N.D. (m)	s (m)	tb/t' + 1
20:01	1	146.500	10.070	6.05	0.60	1	153.38	16.87	1441.00
20:02	2	161.400	24.970	6.89	0.28	2	145.60	9.17	721.00
20:03	3	161.550	25.120	7.08	0.28	3	141.20	4.77	481.00
20:04	4	161.300	24.870	7.34	0.30	4	139.80	3.37	361.00
20:05	5	161.300	24.870	7.36	0.30	5	138.60	2.17	289.00
20:06	6	161.300	24.870	7.98	0.32	6	138.06	1.63	241.00
20:08	8	161.300	24.870	7.36	0.30	8	137.80	1.37	181.00
20:10	10	161.300	24.870	7.90	0.32	10	137.50	1.07	145.00
20:15	15	161.300	24.870	7.93	0.32	15	137.41	0.98	97.00
20:20	20	161.300	24.870	8.69	0.35	20	137.33	0.90	73.00
20:30	30	161.300	24.870	9.08	0.37	30	137.15	0.72	49.00
20:40	40	161.300	24.870	9.62	0.39	40	136.90	0.47	37.00
20:50	50	161.300	24.870	9.62	0.39	50	136.88	0.45	29.80
21:00	60	161.300	24.870	9.62	0.39	60	136.76	0.33	25.00
21:20	80	161.300	24.870	9.65	0.39	80	136.71	0.28	19.00
21:40	100	161.300	24.870	9.62	0.39	100	136.68	0.25	15.40
22:00	120	161.300	24.870	9.61	0.39	120	136.62	0.19	13.00
22:30	150	161.300	24.870	9.62	0.39	150	136.55	0.12	10.60
23:00	180	161.300	24.870	9.62	0.39	180	136.52	0.09	9.00
0:00	240	161.300	24.870	9.62	0.39	240	136.48	0.05	7.00
1:00	300	161.300	24.870	9.62	0.39	300	136.45	0.02	5.80
2:00	360	161.300	24.870	9.62	0.39				
3:00	420	161.300	24.870	9.62	0.39				
4:00	480	161.300	24.870	9.63	0.39				
5:00	540	161.300	24.870	9.62	0.39				
6:00	600	161.300	24.870	9.62	0.39				
8:00	720	161.300	24.870	9.61	0.39				
10:00	840	161.300	24.870	9.62	0.39				
12:00	960	161.300	24.870	9.62	0.39				
14:00	1080	161.300	24.870	9.62	0.39				
16:00	1200	161.300	24.870	9.62	0.39				
18:00	1320	161.300	24.870	9.62	0.39				
20:00	1440	161.300	24.870	9.62	0.39				

Gráficos e Parâmetros Hidráulicos

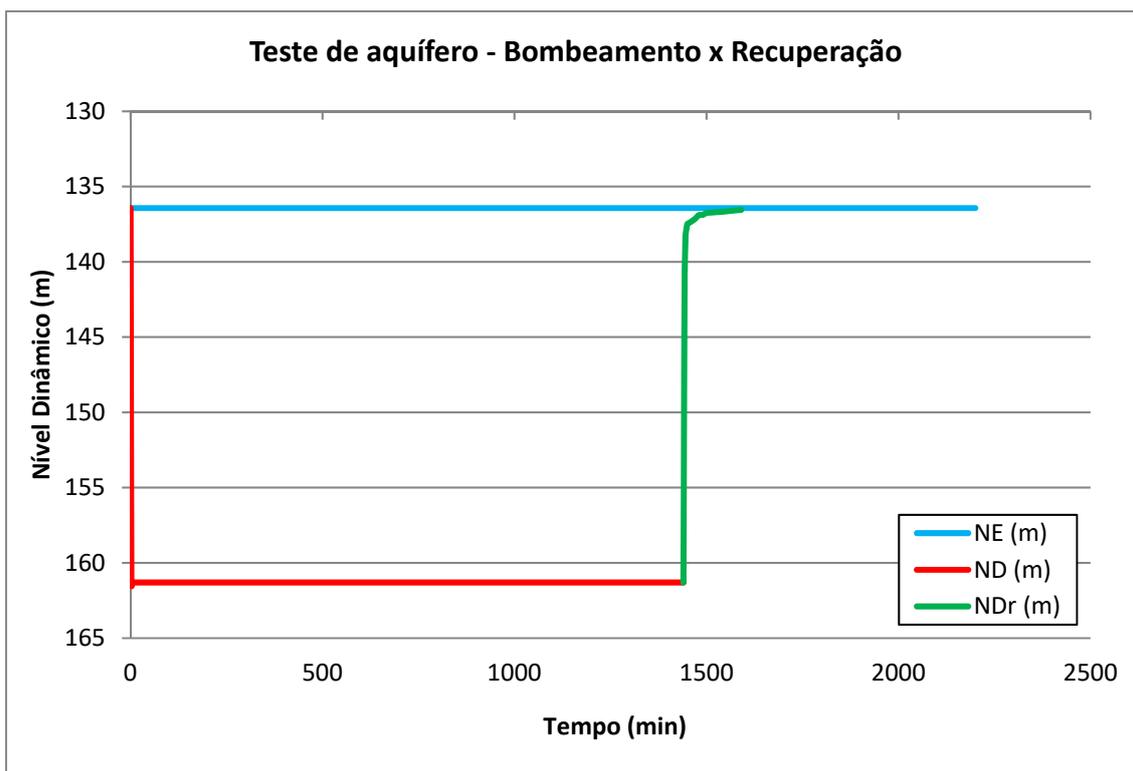
Curva de Rebaixamento do Poço Cidade de Deus Manaus - AM



Curva de Recuperação do Poço Cidade de Deus Manaus - AM



Evolução do nível dinâmico do poço Cidade de Deus Manaus - AM



Parâmetros hidráulicos T, K, S no poço Cidade de Deus Manaus - AM

Etapas	T			K		S
	m ² /s	m ² /min	m ² /h	m/s	m/h	
Bombeamento	4,93E-04	2,96E-02	1,77E+00	3,01E-06	1,08E-02	1,16E-03
Recuperação	5,17E-04	3,10E-02	1,86E+00	3,16E-06	1,14E-02	
Média	5,05E-04	3,03E-02	1,82E+00	3,09E-06	1,11E-02	

Nota: A avaliação aproximada do coeficiente S de armazenamento do aquífero no próprio poço bombeado é feita a 1 m de distância do mesmo, supondo que o seu raio é infinitamente pequeno (ou seja, supondo que o armazenamento no poço é desprezível).

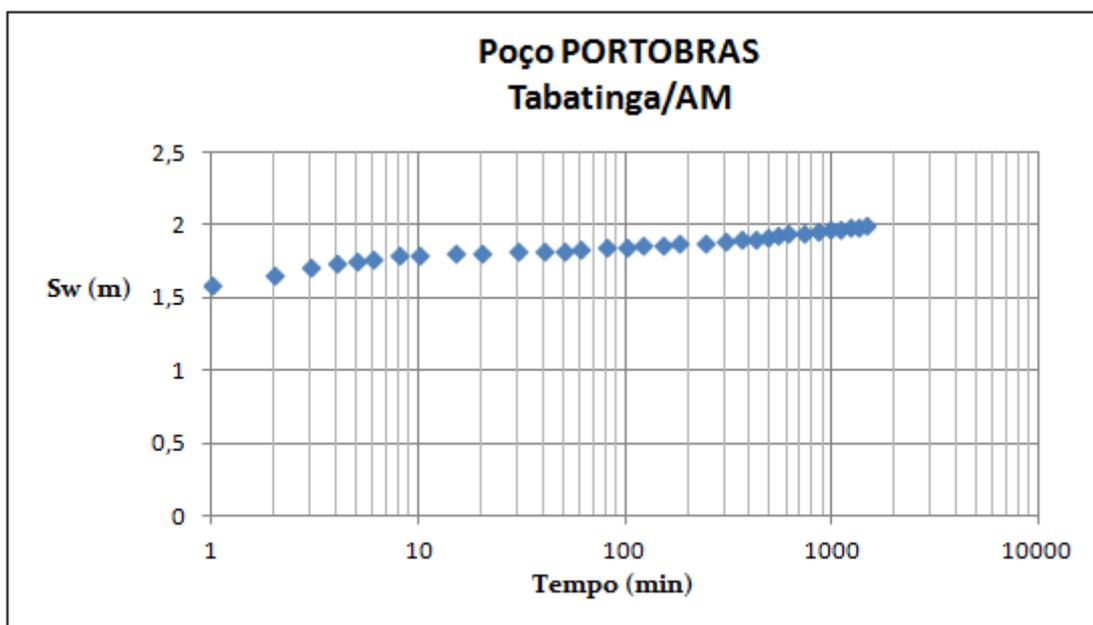
4.1.4 – Aquífero Aluvial em Tabatinga - AM

4.1.4a – Poço Portobras

ENSAIO DE BOMBEAMENTO - Poço bombeado									
REFERÊNCIA DO POÇO: ID309 - TBT16			PROF.: 32,00 m		EQUIPAMENTO: B. Injetora				
MUNICÍPIO: Tabatinga			N.E.: 9,741 m		AQÚÍFERO: Aluvião				
ESTADO: AM			N.D.: 11,741 m		EMPRESA: PORTOBRAS				
LOCAL: Porto Fluvial de Tabatinga			Q: 1,200 m ³ /h		DATA INÍCIO: 31.07.2012				
PROPRIETÁRIO: PORTOBRAS			Q/s: 0,600 (m ³ /h)/m		DATA TÉRMINO: 01.08.2012				
GPS:	Long. W	69° 56' 36,1"	Lat. S	04° 14' 06,1"	ALTITUDE:	81 metros			
REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO				
HORA	t (min)	N.D. (m)	s (m)	Q (m ³ /h)	Q/s (m ³ /h/m)	t' (min)	N.D. (m)	s (m)	tb/t' + 1
8:01	1	11.331	1.590	1.309	0.823	1	11.132	1.391	1441
8:02	2	11.406	1.665	1.309	0.786	2	10.991	1.250	721
8:03	3	11.454	1.713	1.309	0.764	3	10.947	1.206	481
8:04	4	11.488	1.747	1.309	0.749	4	10.912	1.171	361
8:05	5	11.502	1.761	1.309	0.743	5	10.888	1.147	289
8:06	6	11.518	1.777	1.309	0.737	6	10.880	1.139	241
8:08	8	11.538	1.797	1.309	0.728	8	10.870	1.129	181
8:10	10	11.547	1.806	1.309	0.725	10	10.867	1.126	145
8:15	15	11.561	1.820	1.309	0.719	15	10.846	1.105	97
8:20	20	11.559	1.818	1.309	0.720	20	10.839	1.098	73
8:30	30	11.563	1.822	1.309	0.718	30	10.832	1.091	49
8:40	40	11.568	1.827	1.241	0.679	40			
8:50	50	11.574	1.833	1.241	0.677	50			
9:00	60	11.580	1.839	1.241	0.675	60			
9:20	80	11.593	1.852	1.241	0.670	80			
9:40	100	11.595	1.854	1.241	0.669	100			
10:00	120	11.604	1.863	1.241	0.666	120			
10:30	150	11.615	1.874	1.241	0.662	150			
11:00	180	11.621	1.880	1.241	0.660	180			
12:00	240	11.629	1.888	1.241	0.657	240			
13:00	300	11.637	1.896	1.241	0.655	300			
14:00	360	11.648	1.907	1.241	0.651	360			
15:00	420	11.658	1.917	1.200	0.626	420			
16:00	480	11.669	1.928	1.200	0.622	480			
17:00	540	11.680	1.939	1.200	0.619	540			
18:00	600	11.688	1.947	1.200	0.616	600			
20:00	720	11.698	1.957	1.200	0.613	720			
22:00	840	11.706	1.965	1.200	0.611				
0:00	960	11.715	1.974	1.200	0.608				
2:00	1080	11.723	1.982	1.200	0.605				
4:00	1200	11.729	1.988	1.200	0.604				
6:00	1320	11.735	1.994	1.200	0.602				
8:00	1440	11.741	2.000	1.200	0.600				

Gráficos e Parâmetros Hidráulicos

Curva de Rebaixamento do Poço Portobras - Tabatinga AM



Parâmetros hidráulicos T, K, S no Poço Portobras - Tabatinga AM

Etapas	T			K		S
	m ² /s	m ² /min	m ² /h	m/s	m/h	
Rebaixamento	6,09E-04	3,66E-02	2,19E+00	3,01E-05	1,08E-01	1,60E-03
Recuperação	7,13E-04	4,28E-02	2,57E+00	3,52E-05	1,27E-01	
Média	6,61E-04	3,97E-02	2,38E+00	3,26E-05	1,18E-01	

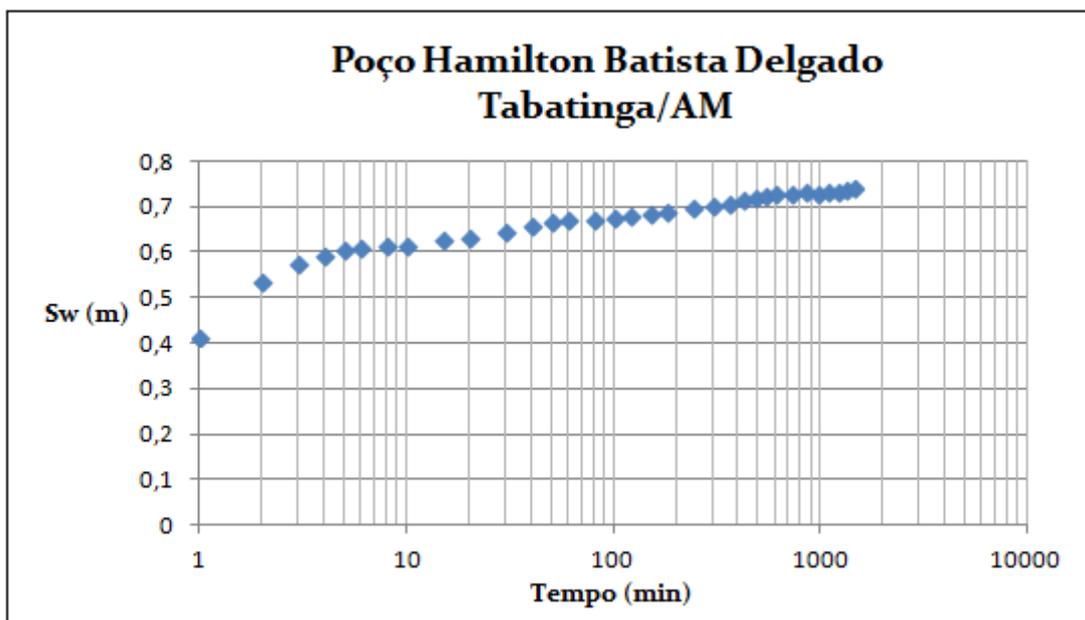
Nota: A avaliação aproximada do coeficiente S de armazenamento do aquífero no próprio poço bombeado é feita a 1 m de distância do mesmo, supondo que o seu raio é infinitamente pequeno (ou seja, supondo que o armazenamento no poço é desprezível).

4.1.4b – Poço Brilhante

ENSAIO DE BOMBEAMENTO - Poço bombeado									
REFERÊNCIA DO POÇO: ID310 - TBT17			PROF.: 24,00 m		EQUIPAMENTO: B. Injetora				
MUNICÍPIO: Tabatinga			N.E.: 8,851 m		AQÜÍFERO: Aluvião				
ESTADO: AM			N.D.: 9,592 m		EMPRESA: Particular				
LOCAL: Bairro Brilhante			Q: 1,296 m ³ /h		DATA INÍCIO: 30.07.2012				
PROPRIETÁRIO: Hamilton Batista Delgado			Q/s: 1,749 (m ³ /h)/m		DATA TÉRMINO: 31.07.2012				
GPS:	Long. W	69° 56' 27,3"	Lat. S	04° 14' 25,4"	ALTITUDE:	90 m			
REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO				
HORA	t (min)	N.D. (m)	s (m)	Q (m ³ /h)	Q/s (m ³ /h/m)	t' (min)	N.D. (m)	s (m)	tb/t' + 1
8:01	1	9.267	0.416	1.296	3.115	1	8.962	0.111	1441
8:02	2	9.387	0.536	1.296	2.418	2	8.931	0.080	721
8:03	3	9.429	0.578	1.296	2.242	3	8.922	0.071	481
8:04	4	9.447	0.596	1.296	2.174	4	8.918	0.067	361
8:05	5	9.456	0.605	1.296	2.142	5	8.911	0.060	289
8:06	6	9.461	0.610	1.296	2.125	6	8.911	0.060	241
8:08	8	9.466	0.615	1.296	2.107	8	8.911	0.060	181
8:10	10	9.469	0.618	1.296	2.097	10	8.908	0.057	145
8:15	15	9.478	0.627	1.296	2.067	15	8.904	0.053	97
8:20	20	9.484	0.633	1.296	2.047	20	8.901	0.050	73
8:30	30	9.496	0.645	1.296	2.009	30	8.898	0.047	49
8:40	40	9.509	0.658	1.296	1.970	40	8.892	0.041	37
8:50	50	9.518	0.667	1.296	1.943	50	8.891	0.040	29.8
9:00	60	9.522	0.671	1.296	1.931	60	8.889	0.038	25
9:20	80	9.526	0.675	1.296	1.920	80	8.886	0.035	19
9:40	100	9.528	0.677	1.296	1.914	100	8.883	0.032	15.4
10:00	120	9.531	0.680	1.296	1.906	120	8.880	0.029	13
10:30	150	9.537	0.686	1.296	1.889	150			
11:00	180	9.541	0.690	1.296	1.878	180			
12:00	240	9.549	0.698	1.296	1.857	240			
13:00	300	9.554	0.703	1.296	1.844	300			
14:00	360	9.561	0.710	1.296	1.825	360			
15:00	420	9.567	0.716	1.296	1.810	420			
16:00	480	9.574	0.723	1.296	1.793	480			
17:00	540	9.576	0.725	1.296	1.788	540			
18:00	600	9.579	0.728	1.296	1.780	600			
20:00	720	9.582	0.731	1.296	1.773	720			
22:00	840	9.584	0.733	1.296	1.768				
0:00	960	9.582	0.731	1.296	1.773				
2:00	1080	9.585	0.734	1.296	1.766				
4:00	1200	9.587	0.736	1.296	1.761				
6:00	1320	9.589	0.738	1.296	1.756				
8:00	1440	9.592	0.741	1.296	1.749				

Gráficos e Parâmetros Hidráulicos

Curva de Rebaixamento do Poço Brilhante - Tabatinga AM



Parâmetros hidráulicos T, K, S no Poço Brilhante - Tabatinga AM

Etapas	T			K		S
	m ² /s	m ² /min	m ² /h	m/s	m/h	
Rebaixamento	9,32E-04	5,59E-02	3,36E+00	4,41E-05	1,59E-01	5,65E-03
Recuperação	2,51E-03	1,51E-01	9,04E+00	1,19E-04	4,27E-01	
Média	1,72E-03	1,03E-01	6,20E+00	8,14E-05	2,93E-01	

Nota: A avaliação aproximada do coeficiente S de armazenamento do aquífero no próprio poço bombeado é feita a 1 m de distância do mesmo, supondo que o seu raio é infinitamente pequeno (ou seja, supondo que o armazenamento no poço é desprezível).

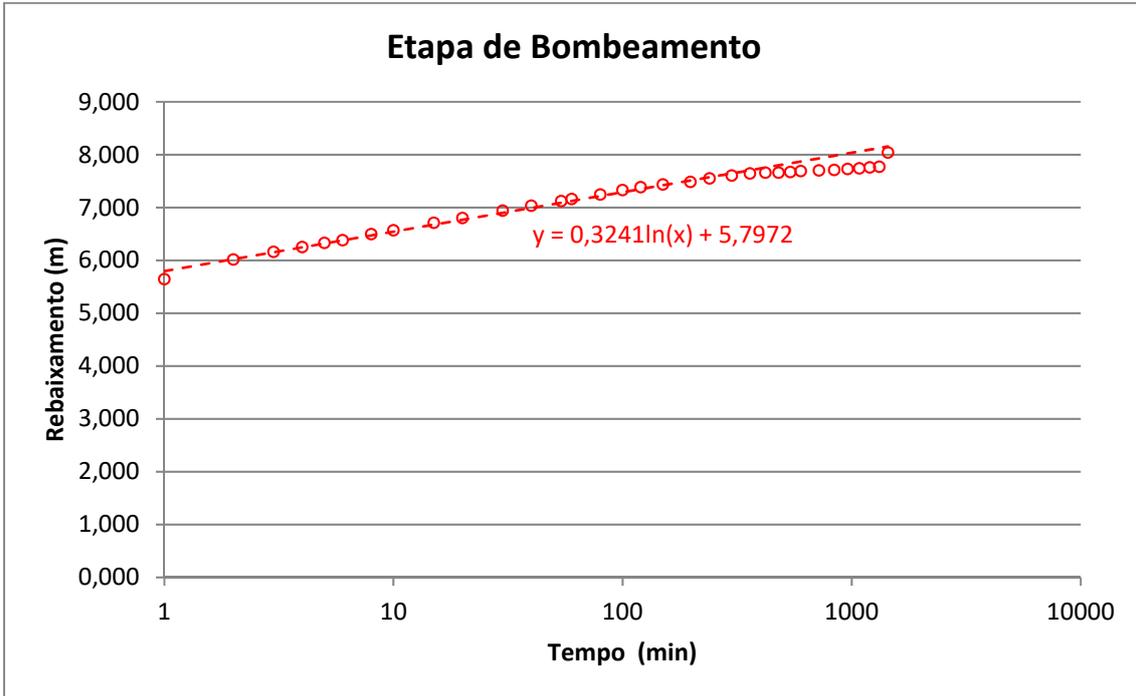
4.1.5 – Aquífero Cruzeiro do Sul em Cruzeiro do Sul – AC

4.1.5a – Poço Eta do DEPASA

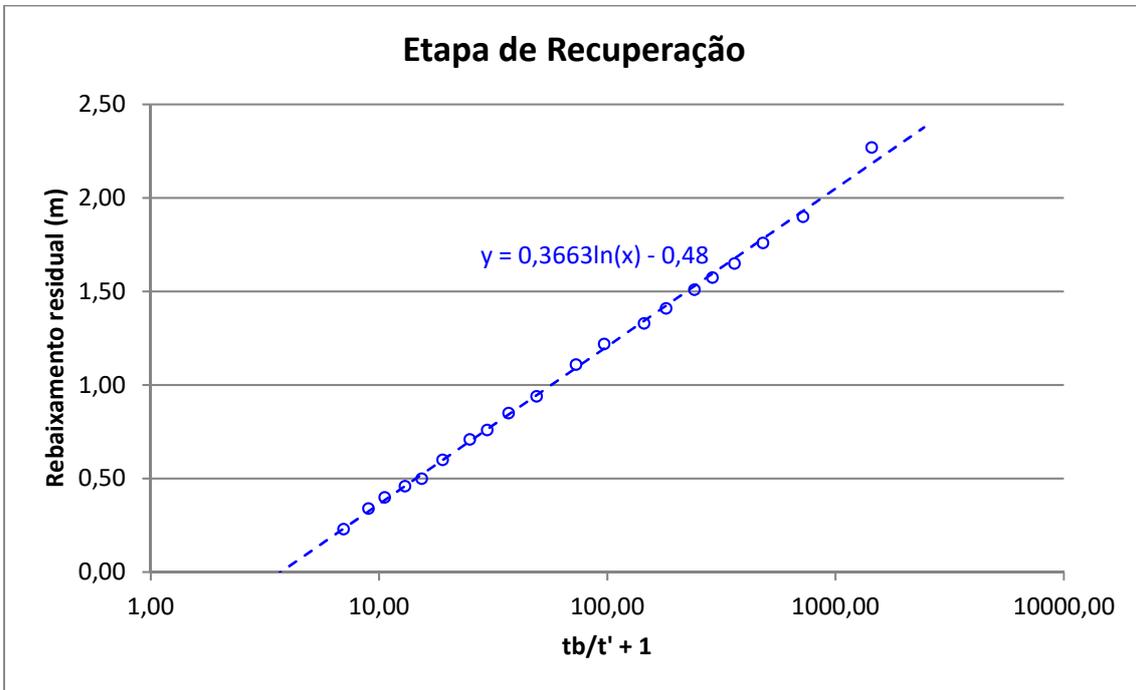
ENSAIO DE BOMBEAMENTO									
REFERÊNCIA DO POÇO: ID318 -JQ-536 (bor			PROF.: 120,00 m		EQUIPAMENTO:				
MUNICÍPIO: Cruzeiro do Sul			N.E.: 59,21 m		AQUÍFERO: Solimões				
ESTADO: Acre			N.D.: 67,25 m		EMPRESA:				
LOCAL: ETA do DEPASA			Q: 53,69 m ³ /h		DATA INÍCIO: 25/07/2012				
PROPRIETÁRIO: DEPASA			Q/s: 6,7 m ³ /h/m		DATA TÉRMINO: 26/07/2012				
GPS:	Long. W	72°40'41,44"	Lat. S	7°37'54,95"	ALTITUDE:	212 m			
REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO				
HORA	t (min)	N.D. (m)	s (m)	Q (m ³ /h)	Q/s (m ³ /h/m)	t' (min)	N.D. (m)	s (m)	tb/t' + 1
16:01	1	64.855	5.645			1	61.48	2.27	1441.00
16:02	2	65.225	6.015			2	61.11	1.90	721.00
16:03	3	65.370	6.160			3	60.97	1.76	481.00
16:04	4	65.460	6.250			4	60.86	1.65	361.00
16:05	5	65.540	6.330			5	60.79	1.58	289.00
16:06	6	65.590	6.380			6	60.72	1.51	241.00
16:08	8	65.705	6.495			8	60.62	1.41	181.00
16:10	10	65.780	6.570			10	60.54	1.33	145.00
16:15	15	65.920	6.710			15	60.43	1.22	97.00
16:20	20	66.010	6.800			20	60.32	1.11	73.00
16:30	30	66.150	6.940			30	60.15	0.94	49.00
16:40	40	66.245	7.035			40	60.06	0.85	37.00
16:54	54	66.330	7.120			50	59.97	0.76	29.80
17:00	60	66.370	7.160			60	59.92	0.71	25.00
17:20	80	66.455	7.245			80	59.81	0.60	19.00
17:40	100	66.540	7.330	52.79	7.20	100	59.71	0.50	15.40
18:00	120	66.595	7.385			120	59.67	0.46	13.00
18:30	150	66.645	7.435			150	59.61	0.40	10.60
19:18	198	66.695	7.485			180	59.55	0.34	9.00
20:00	240	66.760	7.550			240	59.44	0.23	7.00
21:00	300	66.815	7.605			300	59.34	0.13	5.80
22:00	360	66.855	7.645	53.73	7.03	360	59.25	0.04	5.00
23:00	420	66.870	7.660			420	59.18	-0.03	4.43
0:00	480	66.870	7.660			480			
1:00	540	66.880	7.670			540			
2:00	600	66.900	7.690			600			
4:00	720	66.910	7.700			660			
6:00	840	66.920	7.710			720			
8:00	960	66.940	7.730						
10:00	1080	66.950	7.740						
12:00	1200	66.970	7.760	54.55	7.03				
14:00	1320	66.980	7.770						
16:00	1440	67.250	8.040						

Gráficos e Parâmetros Hidráulicos

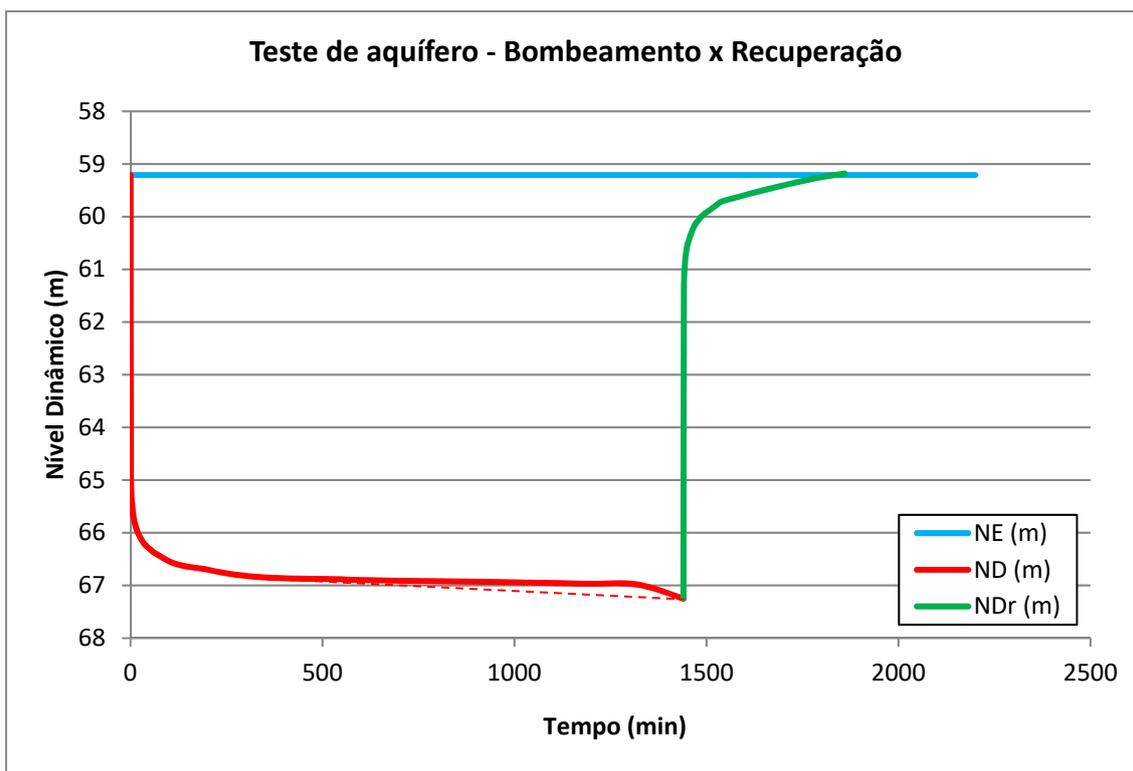
Curva de Rebaixamento do Poço ETA do DEPASA – Cruzeiro do Sul AC



Curva de Recuperação do Poço ETA do DEPASA – Cruzeiro do Sul AC



Evolução do nível dinâmico do Poço ETA do DEPASA – Cruzeiro do Sul AC



Parâmetros hidráulicos T, K, S no Poço ETA do DEPASA – Cruzeiro do Sul AC

Etapas	T			K		S
	m ² /s	m ² /min	m ² /h	m/s	m/h	
Rebaixamento	3,66E-03	2,19E-01	1,32E+01	1,52E-05	5,47E-02	7,28E-03
Recuperação	3,24E-03	1,94E-01	1,16E+01	1,34E-05	4,84E-02	
Média	3,45E-03	2,07E-01	1,24E+01	1,43E-05	5,15E-02	

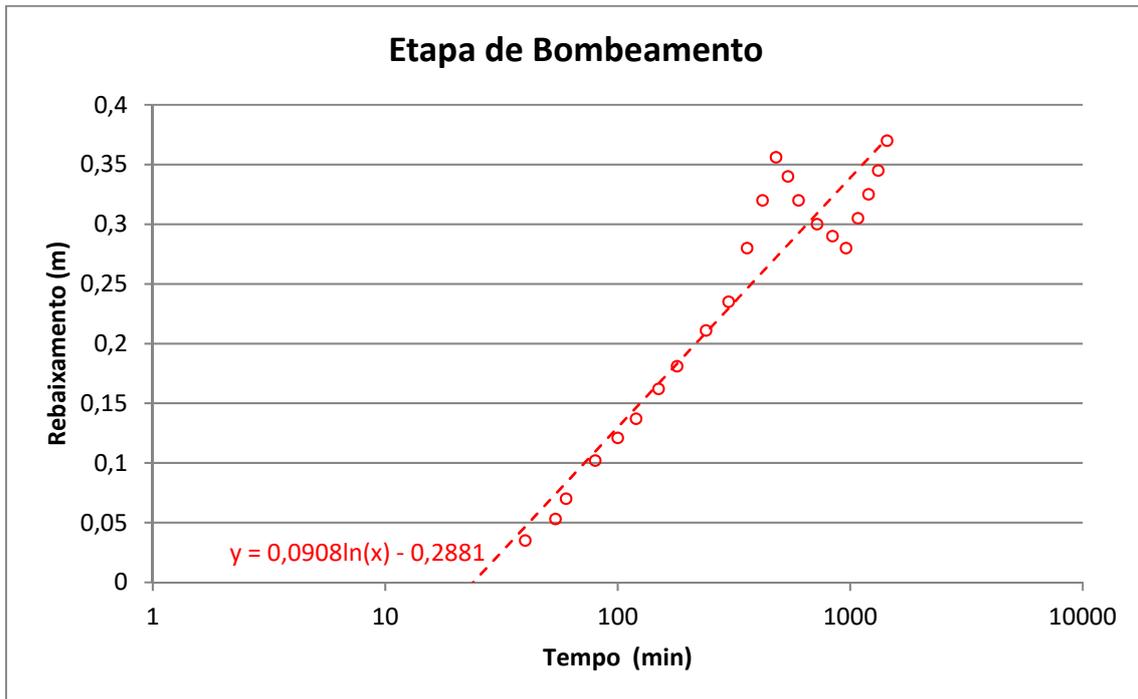
Nota: A avaliação aproximada do coeficiente S de armazenamento do aquífero no próprio poço bombeado é feita a 1 m de distância do mesmo, supondo que o seu raio é infinitamente pequeno (ou seja, supondo que o armazenamento no poço é desprezível).

4.1.5b – Poço Observado Teatro Navas

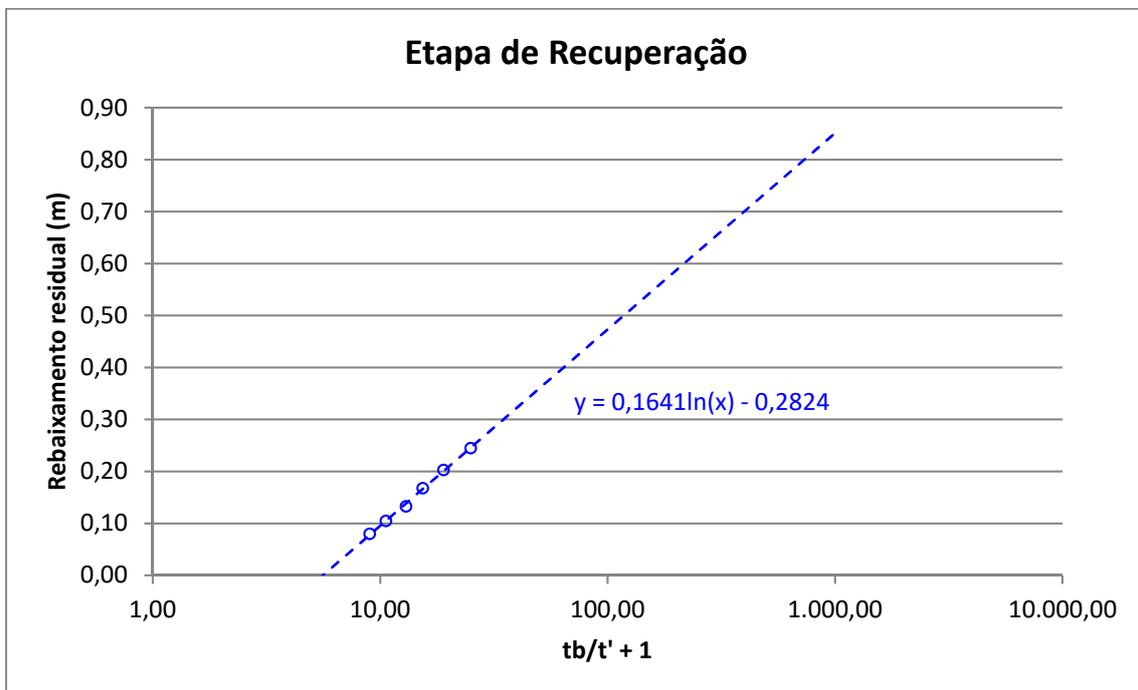
ENSAIO DE BOMBEAMENTO									
REFERÊNCIA DO POÇO: ID319 - JQ-537 (Ob			PROF.: 150,00 m		r = 430 m				
MUNICÍPIO: Cruzeiro do Sul			N.E.: 55,765 m		AQUÍFERO: Solimões				
ESTADO: Acre			N.D.: 56,135 m		EMPRESA:				
LOCAL: Teatro Navas			Q: 53,69 m ³ /h		DATA INÍCIO: 26/07/2012				
PROPRIETÁRIO: DEPASA			Q/s: 167,83 m ³ /h/m		DATA TÉRMINO: 26/07/2012				
GPS:	Long. W	72°40'50,16"	Lat. S	7°37'44,64	ALTITUDE:	213 m			
REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO				
HORA	t (min)	N.D. (m)	s (m)	Q (m ³ /h)	Q/s (m ³ /h/m)	t' (min)	N.D. (m)	s (m)	tb/t' + 1
16:01	1					1			1,441.00
16:02	2					2			721.00
16:03	3					3			481.00
16:04	4					4			361.00
16:05	5					5			289.00
16:06	6					6			241.00
16:08	8					8			181.00
16:10	10					10			145.00
16:15	15					15			97.00
16:20	20					20			73.00
16:30	30					30			49.00
16:40	40	55.800	0.035	53.26	1521.71	40			37.00
16:54	54	55.818	0.053			50			29.80
17:00	60	55.835	0.070			60	56.01	0.245	25.00
17:20	80	55.867	0.102			80	55.968	0.203	19.00
17:40	100	55.886	0.121	52.79	436.25	100	55.933	0.168	15.40
18:00	120	55.902	0.137			120	55.898	0.133	13.00
18:30	150	55.927	0.162			150	55.87	0.105	10.60
19:00	180	55.946	0.181			180	55.845	0.08	9.00
20:00	240	55.976	0.211			240	55.795	0.03	7.00
21:00	300	56.000	0.235			300	55.702	-0.063	5.80
22:00	360	56.045	0.280	53.73	191.90	360	55.745	-0.02	5.00
23:00	420	56.085	0.320			420	55.663	-0.102	4.43
0:00	480	56.121	0.356			480			
1:00	540	56.105	0.340			540			
2:00	600	56.085	0.320			600			
4:00	720	56.065	0.300			660			
6:00	840	56.055	0.290			720			
8:00	960	56.045	0.280						
10:00	1080	56.070	0.305						
12:00	1200	56.090	0.325	54.55	167.83				
14:00	1320	56.110	0.345						
16:00	1440	56.135	0.370						

Gráficos e Parâmetros Hidráulicos

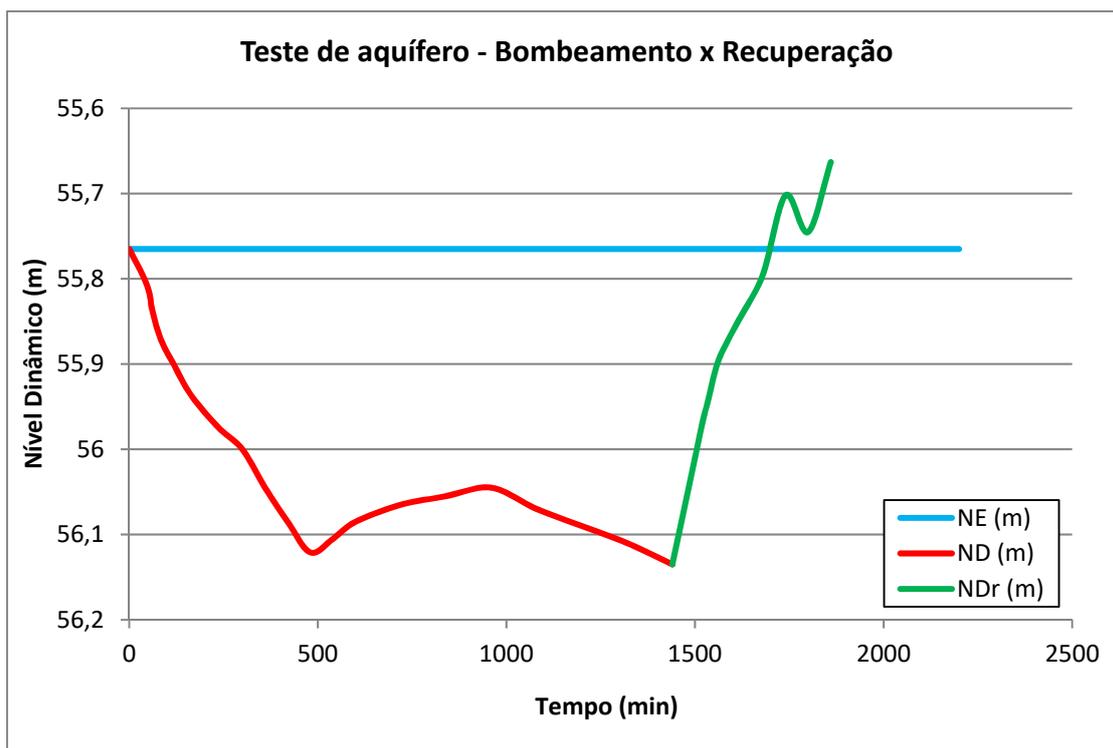
Curva de Rebaixamento do Poço Observado Teatro – Cruzeiro do Sul AC



Curva de Recuperação do Poço Observado Teatro – Cruzeiro do Sul AC



Evolução do nível dinâmico do Poço Observado Teatro – Cruzeiro do Sul AC



Parâmetros hidráulicos T, K, S no Poço Observado Teatro – Cruzeiro do Sul AC.

Etapas	T			K		S
	m ² /s	m ² /min	m ² /h	m/s	m/h	
Rebaixamento	1,31E-02	7,83E-01	4,70E+01	5,34E-05	1,92E-01	2,28E-04
Recuperação	7,22E-03	4,33E-01	2,60E+01	2,96E-05	1,06E-01	
Média	1,01E-02	6,08E-01	3,65E+01	4,15E-05	1,49E-01	

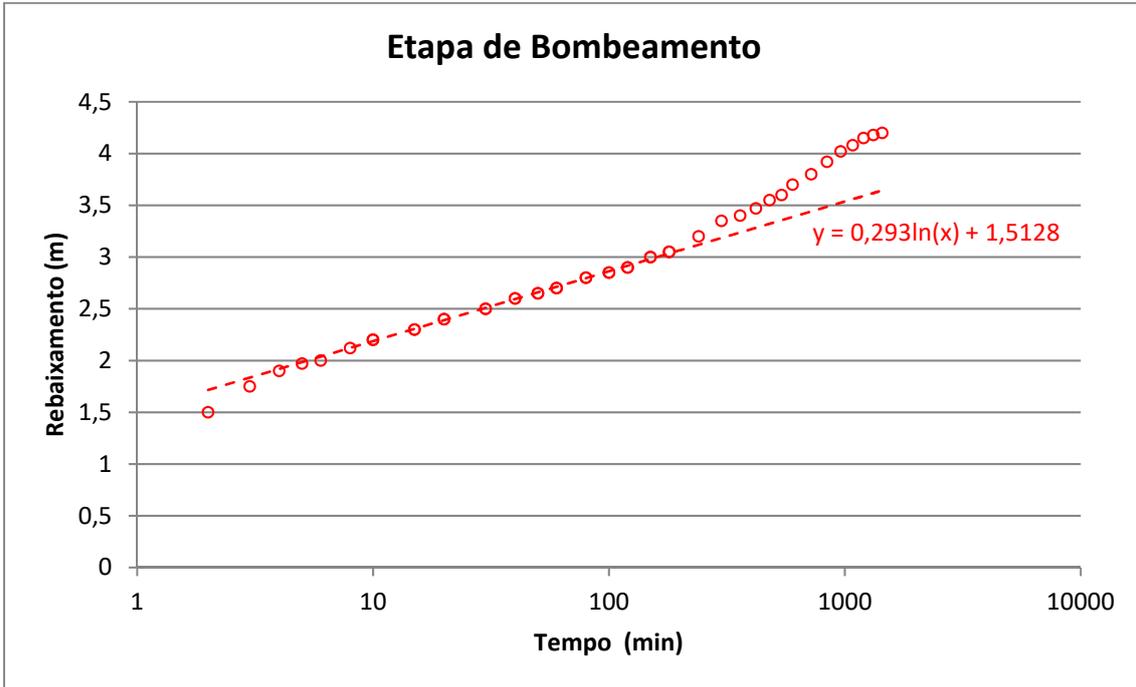
Nota: A avaliação aproximada do coeficiente S de armazenamento do aquífero no próprio poço bombeado é feita a 1 m de distância do mesmo, supondo que o seu raio é infinitamente pequeno (ou seja, supondo que o armazenamento no poço é desprezível).

4.1.5c – Poço DEPASA 2

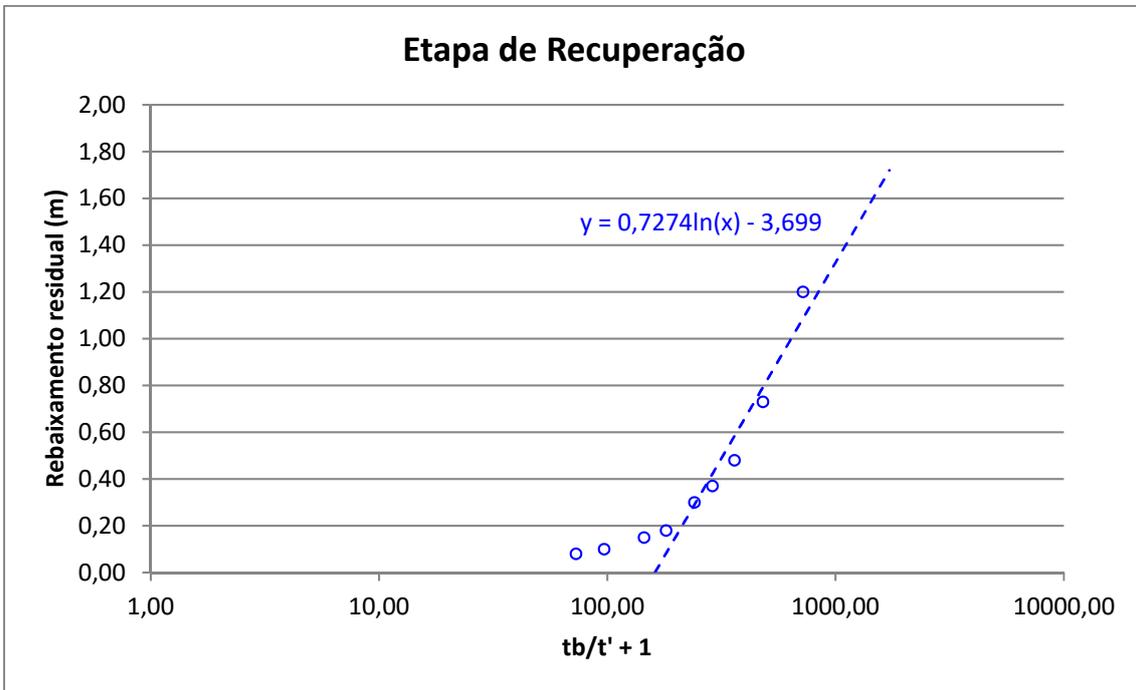
TESTE DE AQUÍFERO - Poço bombeado									
REFERÊNCIA DO POÇO: ID320 - JQ-546			PROF.: 130,00 m			EQUIPAMENTO:			
MUNICÍPIO: Cruzeiro do Sul			N.E.: 52,17 m			AQUÍFERO: SOLIMÕES			
ESTADO: ACRE			N.D.: 56,37 m			EMPRESA:			
LOCAL: Ao lado da Polícia Federal			Crivo: m			DATA INÍCIO: 13/10/2012			
PROPRIETÁRIO: DEPASA			Raio do poço: m			DATA TÉRMINO: 14/10/2012			
GPS:	Long. W	72°39'40,24"	Lat. S	7°37'43,27"	ALTITUDE:	210 m			
REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO				
HORA	t (min)	N.D. (m)	s (m)	Q (m ³ /h)	Q/s (m ³ /h/m)	t' (min)	N.D. (m)	s (m)	tb/t' + 1
20:01	1					1			
20:02	2	53.670	1.500			2	53.37	1.20	721.00
20:03	3	53.920	1.750			3	52.90	0.73	481.00
20:04	4	54.070	1.900			4	52.65	0.48	361.00
20:05	5	54.140	1.970			5	52.54	0.37	289.00
20:06	6	54.170	2.000			6	52.47	0.30	241.00
20:08	8	54.290	2.120			8	52.35	0.18	181.00
20:10	10	54.370	2.200			10	52.32	0.15	145.00
20:15	15	54.470	2.300			15	52.27	0.10	97.00
20:20	20	54.570	2.400			20	52.25	0.08	73.00
20:30	30	54.670	2.500						
20:40	40	54.770	2.600						
20:50	50	54.820	2.650						
21:00	60	54.870	2.700						
21:20	80	54.970	2.800						
21:40	100	55.020	2.850	35.36	12.407				
22:00	120	55.070	2.900						
22:30	150	55.170	3.000						
23:00	180	55.220	3.050						
0:00	240	55.370	3.200						
1:00	300	55.520	3.350						
2:00	360	55.570	3.400	35.20	10.353				
3:00	420	55.640	3.470						
4:00	480	55.720	3.550						
5:00	540	55.770	3.600						
6:00	600	55.870	3.700						
8:00	720	55.970	3.800	35.00	9.211				
10:00	840	56.090	3.920						
12:00	960	56.190	4.020						
14:00	1080	56.250	4.080						
16:00	1200	56.320	4.150	35.00	8.434				
18:00	1320	56.350	4.180						
20:00	1440	56.370	4.200						

Gráficos e Parâmetros Hidráulicos

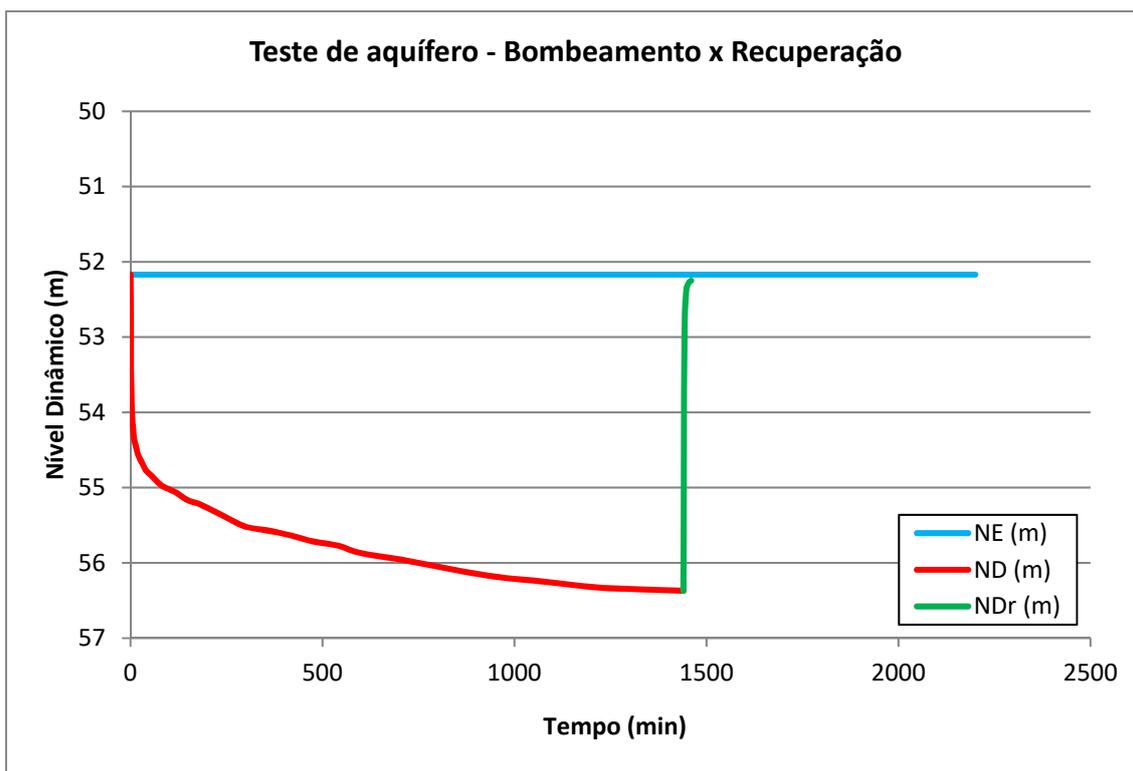
Curva de Rebaixamento do Poço DEPASA 2 – Cruzeiro do Sul AC



Curva de Recuperação do Poço DEPASA 2– Cruzeiro do Sul AC



Evolução do nível dinâmico do Poço DEPASA 2– Cruzeiro do Sul AC



Parâmetros hidráulicos T, K, S no Poço DEPASA 2– Cruzeiro do Sul AC

Etapas	T			K		S
	m ² /s	m ² /min	m ² /h	m/s	m/h	
Bombeamento	2,64E-03	1,58E-01	9,50E+00	1,07E-05	3,83E-02	2,04E-03
Recuperação	1,06E-03	6,38E-02	3,83E+00	4,29E-06	1,54E-02	
Média	1,85E-03	1,11E-01	6,67E+00	7,47E-06	2,69E-02	

Nota: A avaliação aproximada do coeficiente S de armazenamento do aquífero no próprio poço bombeado é feita a 1 m de distância do mesmo, supondo que o seu raio é infinitamente pequeno (ou seja, supondo que o armazenamento no poço é desprezível).

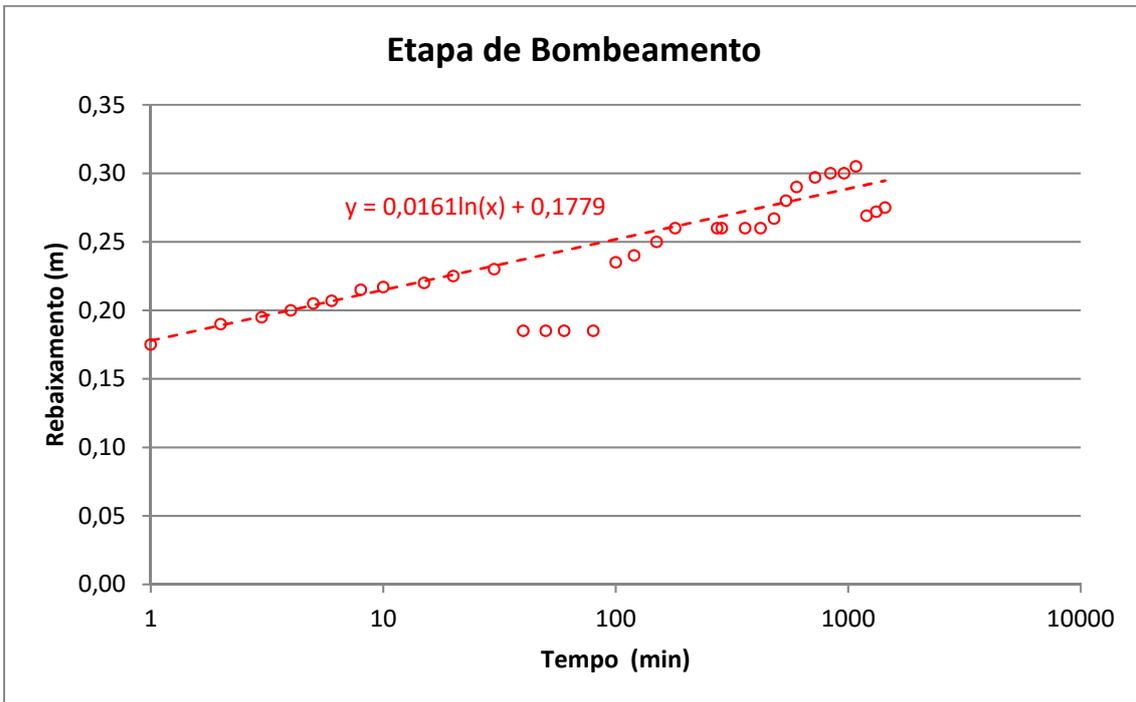
4.1.6 – Aquífero Coberturas Cenozoicas em Porto Velho - RO

4.1.6a – Poço Escola Pública

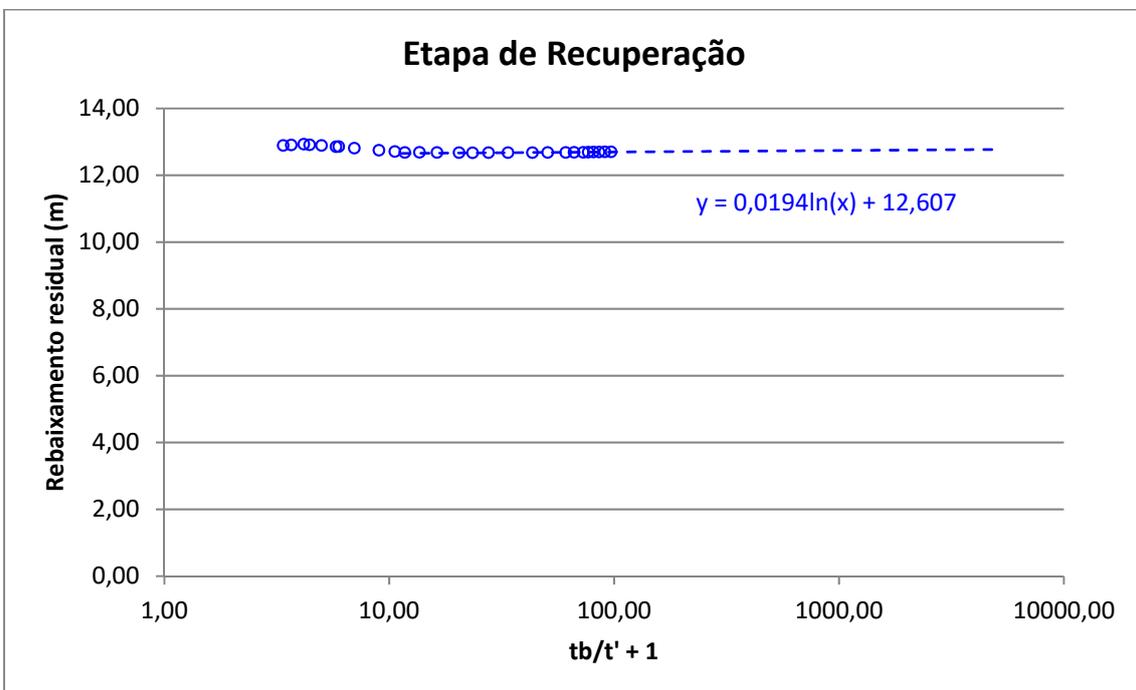
ENSAIO DE BOMBEAMENTO									
REFERÊNCIA DO POÇO: ID171 - PVH-18			PROF.: 80,00 m			EQUIPAMENTO:			
MUNICÍPIO: Porto Velho			N.E.: 12,66 m			AQÚIFERO: Jaci-Paraná			
ESTADO: Rondonia			N.D.: 12,935 m			EMPRESA:			
LOCAL: Escola Pública Araújo Lima			Q: 1,82 m ³ /h			DATA INÍCIO: 03/08/2012			
PROPRIETÁRIO: Escola Pública Araújo Lima			Q/s: 6,62 m ³ /h/m			DATA TÉRMINO: 04/08/2012			
GPS:	Long. W	63°52'33,57"	Lat. S	8°45'27,1"	ALTITUDE:	94,00			
REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO				
HORA	t (min)	N.D. (m)	s (m)	Q (m ³ /h)	Q/s (m ³ /h/m)	t' (min)	N.D. (m)	s (m)	tb/t' + 1
08:41	1	12,835	0,175			15	12,7	0,04	97,00
08:42	2	12,85	0,190			16	12,7	0,04	91,00
08:43	3	12,855	0,195			17	12,695	0,04	85,71
08:44	4	12,86	0,200			18	12,693	0,03	81,00
08:45	5	12,865	0,205			19	12,69	0,03	76,79
08:46	6	12,867	0,207			20	12,687	0,03	73,00
08:48	8	12,875	0,215			22	12,687	0,03	66,45
08:50	10	12,877	0,217			24	12,68	0,02	61,00
08:55	15	12,88	0,220			29	12,68	0,02	50,66
09:00	20	12,885	0,225	1,79	7,95	34	12,675	0,02	43,35
09:10	30	12,89	0,230	1,84	8,00	44	12,675	0,02	33,73
09:20	40	12,845	0,185			54	12,675	0,02	27,67
09:30	50	12,845	0,185			64	12,672	0,01	23,50
09:40	60	12,845	0,185			74	12,675	0,02	20,46
10:00	80	12,845	0,185	1,55	8,37	94	12,68	0,02	16,32
10:20	100	12,895	0,235	1,81	7,70	114	12,685	0,03	13,63
10:40	120	12,900	0,240	1,79	7,45	134	12,68	0,02	11,75
11:10	150	12,910	0,250			150	12,71	0,05	10,60
11:40	180	12,920	0,260	1,89	7,26	180	12,748	0,09	9,00
13:13	273	12,920	0,260	1,88	7,24	240	12,81	0,15	7,00
13:26	286	12,920	0,260			290	12,86	0,20	5,97
14:40	360	12,920	0,260			300	12,855	0,20	5,80
15:40	420	12,920	0,260	1,90	7,33	360	12,89	0,23	5,00
16:40	480	12,927	0,267	1,90	7,13	420	12,91	0,25	4,43
17:40	540	12,940	0,280			454	12,927	0,27	4,17
18:40	600	12,950	0,290	1,90	6,54	540	12,905	0,24	3,67
20:40	720	12,957	0,297			605	12,89	0,23	3,38
22:40	840	12,960	0,300			720			3,00
00:40	960	12,960	0,300						
02:40	1080	12,965	0,305						
04:40	1200	12,929	0,269						
06:40	1320	12,932	0,272						
08:40	1440	12,935	0,275						
TÉCNICO RESPONSÁVEL: Edilton Carneiro Feitosa									

Gráficos e Parâmetros Hidráulicos

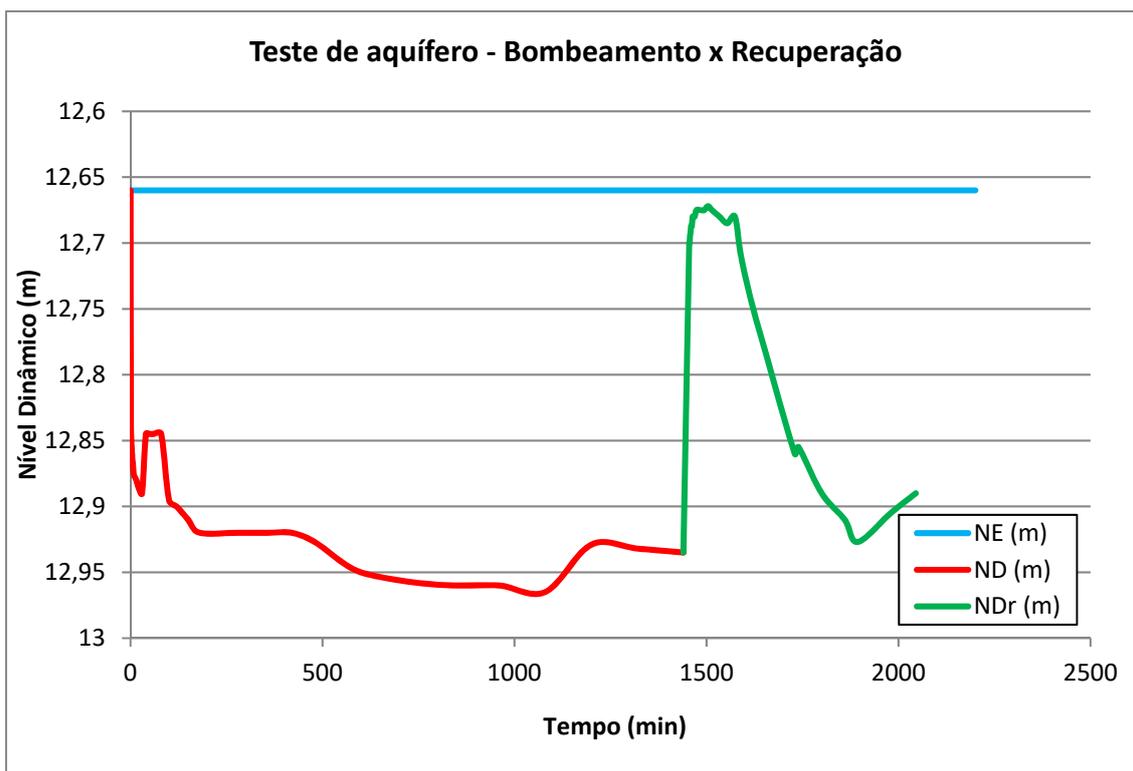
Curva de Rebaixamento do Poço Escola Pública – Porto Velho RO



Curva de Recuperação do Poço Escola Pública – Porto Velho RO



Evolução do nível dinâmico do Poço Escola Pública – Porto Velho RO



Parâmetros hidráulicos T, K, S no Poço Escola Pública – Porto Velho RO

Etapas	T			K		S
	m ² /s	m ² /min	m ² /h	m/s	m/h	
Rebaixamento	2,50E-03	1,50E-01	8,98E+00	3,71E-05	1,33E-01	4,66E-03
Recuperação	2,07E-03	1,24E-01	7,46E+00	3,08E-05	1,11E-01	
Média	2,28E-03	1,37E-01	8,22E+00	3,39E-05	1,22E-01	

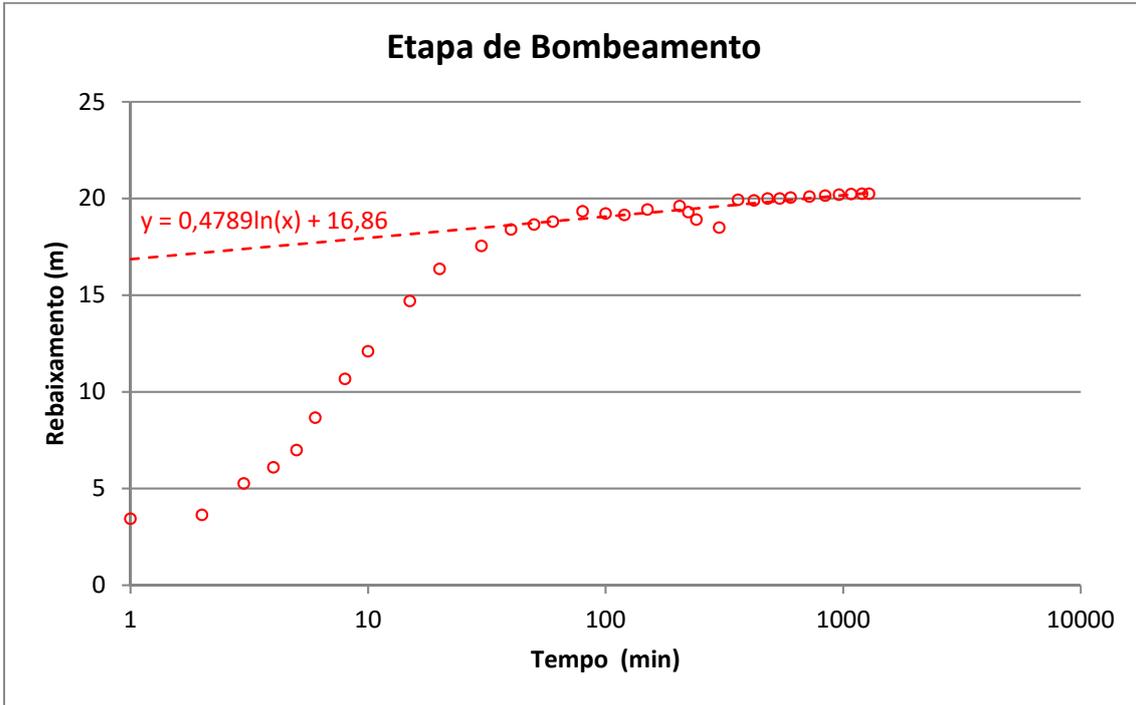
Nota: A avaliação aproximada do coeficiente S de armazenamento do aquífero no próprio poço bombeado é feita a 1 m de distância do mesmo, supondo que o seu raio é infinitamente pequeno (ou seja, supondo que o armazenamento no poço é desprezível).

4.1.6b – Poço Cuniã

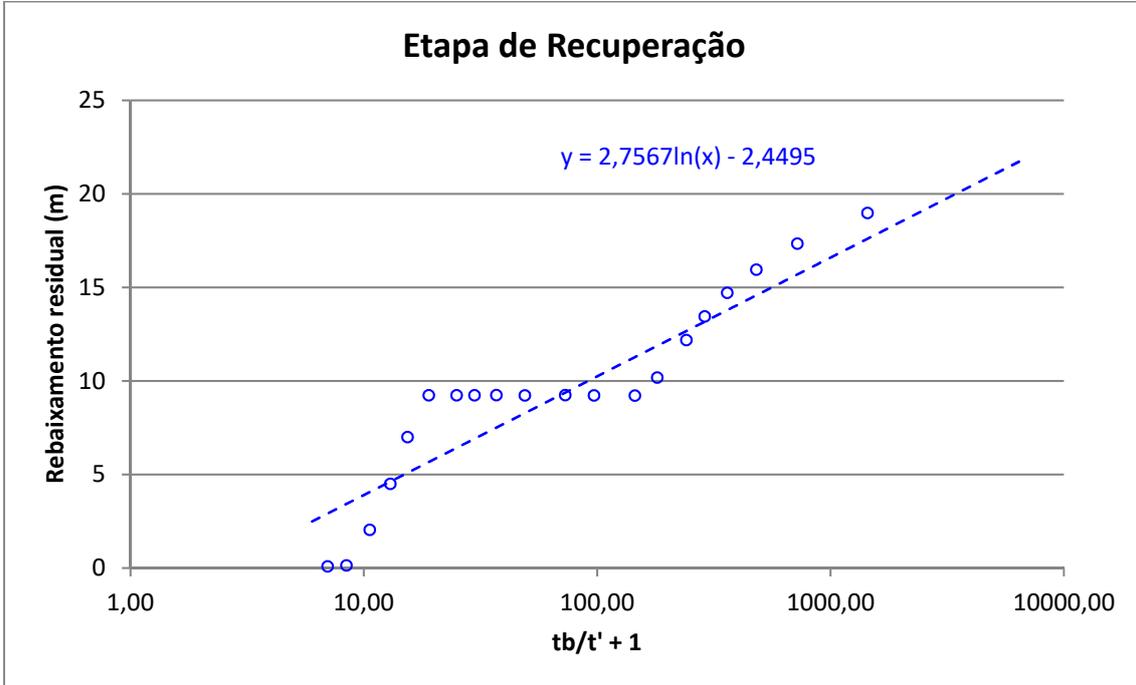
ENSAIO DE BOMBEAMENTO									
REFERÊNCIA DO POÇO: ID296 - PVH-15			PROF.: 80,00 m			EQUIPAMENTO:			
MUNICÍPIO: Porto Velho			N.E.: 2,86 m			AQÚIFERO: Jaci-Paraná			
ESTADO: Rondonia			N.D.: 23,09 m			EMPRESA:			
LOCAL: Bairro Cuniã			Q: 2,06 m ³ /h			DATA INÍCIO: 02/08/2012			
PROPRIETÁRIO: Lúcio Jorge Gusmão			Q/s: 0,1 m ³ /h/m			DATA TÉRMINO: 03/08/2012			
GPS:	Long. W	63°51'33,1"	Lat. S	8°48'03"	ALTITUDE:	86,00			
REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO				
HORA	t (min)	N.D. (m)	s (m)	Q (m ³ /h)	Q/s (m ³ /h/m)	t'	N.D. (m)	s (m)	tb/t' + 1
14:06	1	6,3	3,440			1	21,84	18,98	1442,00
14:07	2	6,5	3,640			2	20,2	17,34	721,50
14:08	3	8,12	5,260			3	18,81	15,95	481,33
14:09	4					4	17,57	14,71	361,25
14:10	5	9,85	6,990			5	16,31	13,45	289,20
14:11	6	11,52	8,660			6	15,05	12,19	241,17
14:13	8	13,53	10,670			8	13,04	10,18	181,13
14:15	10	14,96	12,100			10	12,08	9,22	145,10
14:20	15	17,56	14,700			15	12,09	9,23	97,07
14:25	20	19,22	16,360			20	12,10	9,24	73,05
14:35	30	20,41	17,550	2,23	0,13	30	12,09	9,23	49,03
14:45	40	21,26	18,400	2,18	0,12	40	12,10	9,24	37,03
14:55	50	21,51	18,650			50	12,095	9,24	29,82
15:05	60	21,66	18,800			60	12,095	9,24	25,02
15:25	80	22,2	19,340			80	12,095	9,24	19,01
15:45	100	22,08	19,220	2,06	0,11	100	9,86	7,00	15,41
16:05	120	22,01	19,150	2,03	0,11	120	7,36	4,50	13,01
16:35	150	22,29	19,430			150	4,90	2,04	10,61
17:30	205	22,47	19,610			194	3,00	0,14	8,43
17:48	223	22,16	19,300	2,09	0,11	240	2,95	0,09	7,00
18:06	241	21,77	18,910	2,09	0,11	300			5,80
19:06	301	21,36	18,500			360			5,00
20:06	361	22,795	19,935	2,01	0,10	420			4,43
21:06	421	22,76	19,900			480			4,00
22:06	481	22,86	20,000			540			3,67
23:06	541	22,86	20,000			600			3,40
00:06	601	22,91	20,050			214			7,73
02:06	721	22,96	20,100			605			3,38
04:06	841	23,01	20,150						
06:06	961	23,06	20,200						
08:06	1081	23,09	20,230	2,00	0,10				
10:06	1201	23,11	20,250						
11:30	1285	23,11	20,250						
12:06	1321	23,09	20,230						
14:06	1441	23,09	20,230	2,00	0,10				
TÉCNICO RESPONSÁVEL: Edilton Carneiro Feitosa									

Gráficos e Parâmetros Hidráulicos

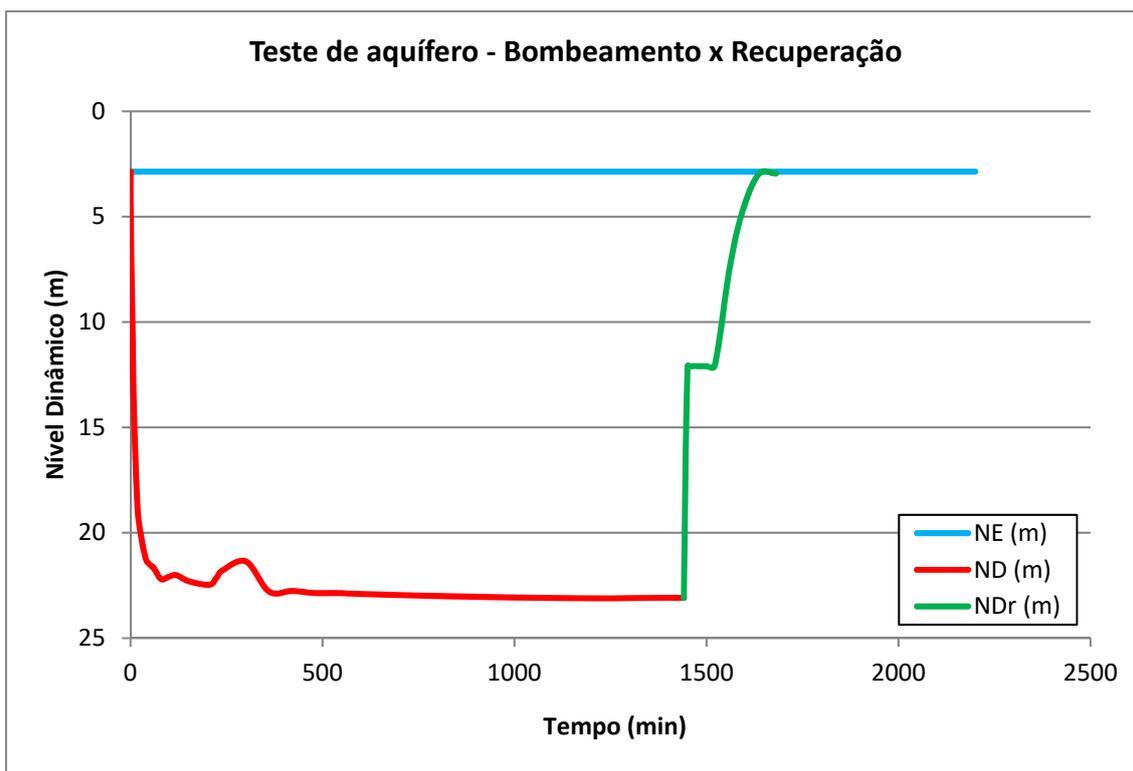
Curva de Rebaixamento do Poço Cuniã – Porto Velho RO



Curva de Recuperação do Poço Cuniã – Porto Velho RO



Evolução do nível dinâmico do Poço Cuniã – Porto Velho RO



Parâmetros hidráulicos T, K, S no Poço Cuniã – Porto Velho RO

Etapas	T			K		S
	m ² /s	m ² /min	m ² /h	m/s	m/h	
Rebaixamento	9,50E-05	5,70E-03	3,42E-01	1,23E-06	4,43E-03	2,14E-04
Recuperação	1,65E-05	9,90E-04	5,94E-02	2,14E-07	7,70E-04	
Média	5,57E-05	3,34E-03	2,01E-01	7,22E-07	2,60E-03	

Nota: A avaliação aproximada do coeficiente S de armazenamento do aquífero no próprio poço bombeado é feita a 1 m de distância do mesmo, supondo que o seu raio é infinitamente pequeno (ou seja, supondo que o armazenamento no poço é desprezível).

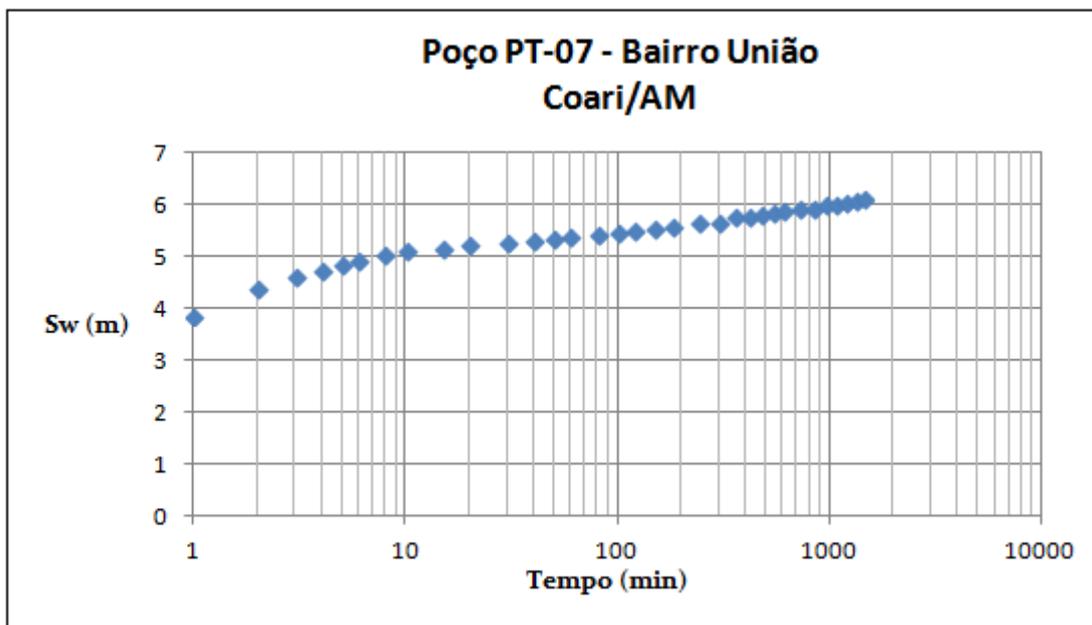
4.1.7 – Aquífero Içá em Coari - AM

4.1.7a – Poço União

ENSAIO DE BOMBEAMENTO - Poço bombeado									
REFERÊNCIA DO POÇO: ID311 - CRI06			PROF.: 58,00 m		EQUIPAMENTO: BS 3 CV				
MUNICÍPIO: Coari			N.E.: 12,956 m		AQÚIFERO:				
ESTADO: AM			N.D.: 19,033 m		EMPRESA: CAESC				
LOCAL: Bairro União			Q: 11,880 m ³ /h		DATA INÍCIO: 09.08.2012				
PROPRIETÁRIO: Prefeitura			Q/s: 1,955 (m ³ /h)/m		DATA TÉRMINO: 10.08.2012				
GPS:	Long. W	63° 08' 56,8"		Lat. S	04° 05' 55,6"		ALTITUDE:	40 m	
REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO				
HORA	t (min)	N.D. (m)	s (m)	Q (m ³ /h)	Q/s (m ³ /h/m)	t' (min)	N.D. (m)	s (m)	tb/t' + 1
9:01	1	16.796	3.840	11.880	3.094	1	14.159	1.203	1441
9:02	2	17.314	4.358	11.880	2.726	2	14.042	1.086	721
9:03	3	17.553	4.597	11.880	2.584	3	13.976	1.020	481
9:04	4	17.662	4.706	11.880	2.524	4	13.908	0.952	361
9:05	5	17.795	4.839	11.880	2.455	5	13.904	0.948	289
9:06	6	17.854	4.898	11.880	2.425	6	13.859	0.903	149
9:08	8	17.961	5.005	11.880	2.374	8	13.844	0.888	181
9:10	10	18.040	5.084	11.880	2.337	10	13.831	0.875	145
9:15	15	18.099	5.143	11.880	2.310	15	13.814	0.858	97
9:20	20	18.153	5.197	11.880	2.286	20			
9:30	30	18.204	5.248	11.880	2.264	30			
9:40	40	18.232	5.276	11.880	2.252	40			
9:50	50	18.291	5.335	11.880	2.227	50			
10:00	60	18.313	5.357	11.880	2.218	60			
10:20	80	18.354	5.398	11.880	2.201	80			
10:40	100	18.405	5.449	11.880	2.180	100			
11:00	120	18.423	5.467	11.880	2.173	120			
11:30	150	18.492	5.536	11.880	2.146	150			
12:00	180	18.514	5.558	11.880	2.137	180			
13:00	240	18.597	5.641	11.880	2.106	240			
14:00	300	18.608	5.652	11.880	2.102	300			
15:00	360	18.701	5.745	11.880	2.068	360			
16:00	420	18.710	5.754	11.880	2.065	420			
17:00	480	18.742	5.786	11.880	2.053	480			
18:00	540	18.779	5.823	11.880	2.040	540			
19:00	600	18.803	5.847	11.880	2.032	600			
21:00	720	18.852	5.896	11.880	2.015	720			
23:00	840	18.871	5.915	11.880	2.008				
1:00	960	18.918	5.962	11.880	1.993				
3:00	1080	18.950	5.994	11.880	1.982				
5:00	1200	18.989	6.033	11.880	1.969				
7:00	1320	19.007	6.051	11.880	1.963				
9:00	1440	19.033	6.077	11.880	1.955				

Gráficos e Parâmetros Hidráulicos

Curva de Rebaixamento do Poço União – Coari AM



Parâmetros hidráulicos T, K, S no Poço União – Coari AM

Etapas	T			K		S
	m ² /s	m ² /min	m ² /h	m/s	m/h	
Rebaixamento	1,30E-03	7,79E-02	4,67E+00	6,94E-06	2,50E-02	4,61E-03
Recuperação	2,05E-03	1,23E-01	7,38E+00	1,10E-05	3,95E-02	
Média	1,67E-03	1,00E-01	6,03E+00	8,95E-06	3,22E-02	

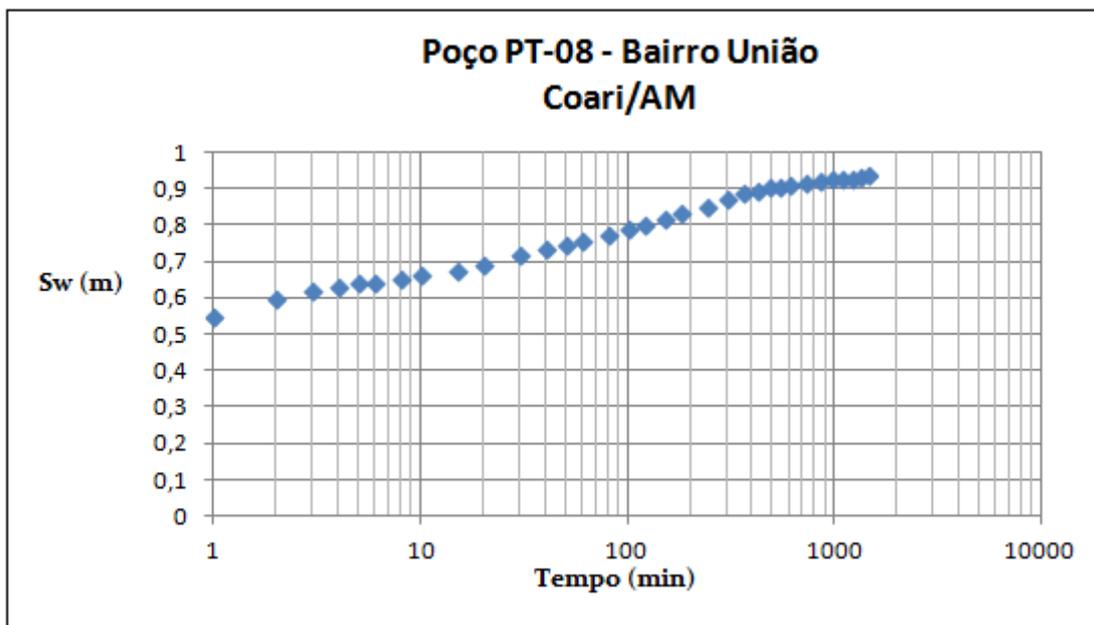
Nota: A avaliação aproximada do coeficiente S de armazenamento do aquífero no próprio poço bombeado é feita a 1 m de distância do mesmo, supondo que o seu raio é infinitamente pequeno (ou seja, supondo que o armazenamento no poço é desprezível).

4.1.7b – Poço Coari União 2

ENSAIO DE BOMBEAMENTO - Poço bombeado									
REFERÊNCIA DO POÇO: ID312 - CRI07			PROF.: 52,00 m		EQUIPAMENTO: BS 3 CV				
MUNICÍPIO: Coari			N.E.: 11,269 m		AQÚIFERO:				
ESTADO: AM			N.D.: 12,205 m		EMPRESA: CAESC				
LOCAL: Bairro União			Q: 20,035 m ³ /m		DATA INÍCIO: 08.08.2012				
PROPRIETÁRIO: Prefeitura			Q/s: 21,405 (m ³ /h)/m		DATA TÉRMINO: 09.08.2012				
GPS:	Long. W	63° 08' 54,1"	Lat. S	04° 05' 53,3"	ALTITUDE:	39 m			
REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO				
HORA	t (min)	N.D. (m)	s (m)	Q (m ³ /h)	Q/s (m ³ /h/m)	t' (min)	N.D. (m)	s (m)	tb/t' + 1
8:01	1	11.818	0.549	20.035	36.494	1	14.159	2.890	1441
8:02	2	11.867	0.598	20.035	33.503	2	14.042	2.773	721
8:03	3	11.891	0.622	20.035	32.211	3	13.976	2.707	481
9:04	4	11.902	0.633	20.035	31.651	4	13.908	2.639	361
9:05	5	11.911	0.642	20.035	31.207	5	13.904	2.635	289
9:06	6	11.914	0.645	20.035	31.062	6	13.859	2.590	149
9:08	8	11.923	0.654	20.035	30.635	8	13.844	2.575	181
9:10	10	11.932	0.663	20.035	30.219	10	13.831	2.562	145
9:15	15	11.947	0.678	20.035	29.550	15	13.814	2.545	97
9:20	20	11.961	0.692	20.035	28.952	20			
9:30	30	11.986	0.717	20.035	27.943	30			
9:40	40	12.003	0.734	20.035	27.296	40			
9:50	50	12.018	0.749	20.035	26.749	50			
10:00	60	12.029	0.760	20.035	26.362	60			
10:20	80	12.044	0.775	20.035	25.852	80			
10:40	100	12.057	0.788	20.035	25.425	100			
11:00	120	12.069	0.800	20.035	25.044	120			
11:30	150	12.088	0.819	20.035	24.463	150			
12:00	180	12.103	0.834	20.035	24.023	180			
13:00	240	12.12	0.851	20.035	23.543	240			
14:00	300	12.143	0.874	20.035	22.923	300			
15:00	360	12.157	0.888	20.035	22.562	360			
16:00	420	12.166	0.897	20.035	22.336	420			
17:00	480	12.173	0.904	20.035	22.163	480			
18:00	540	12.176	0.907	20.035	22.089	540			
19:00	600	12.181	0.912	20.035	21.968	600			
21:00	720	12.188	0.919	20.035	21.801	720			
23:00	840	12.193	0.924	20.035	21.683				
1:00	960	12.195	0.926	20.035	21.636				
3:00	1080	12.197	0.928	20.035	21.589				
5:00	1200	12.199	0.930	20.035	21.543				
7:00	1320	12.202	0.933	20.035	21.474				
9:00	1440	12.205	0.936	20.035	21.405				

Gráficos e Parâmetros Hidráulicos

Curva de Rebaixamento do Poço União 2– Coari AM



Parâmetros hidráulicos T, K, S no Poço União 2– Coari AM

Etapas	T			K		S
	m ² /s	m ² /min	m ² /h	m/s	m/h	
Rebaixamento	7,96E-03	4,77E-01	2,86E+01	4,22E-05	1,52E-01	7,78E-03
Recuperação	3,46E-03	2,07E-01	1,24E+01	1,83E-05	6,60E-02	
Média	5,71E-03	3,42E-01	2,05E+01	3,02E-05	1,09E-01	

Nota: A avaliação aproximada do coeficiente S de armazenamento do aquífero no próprio poço bombeado é feita a 1 m de distância do mesmo, supondo que o seu raio é infinitamente pequeno (ou seja, supondo que o armazenamento no poço é desprezível).

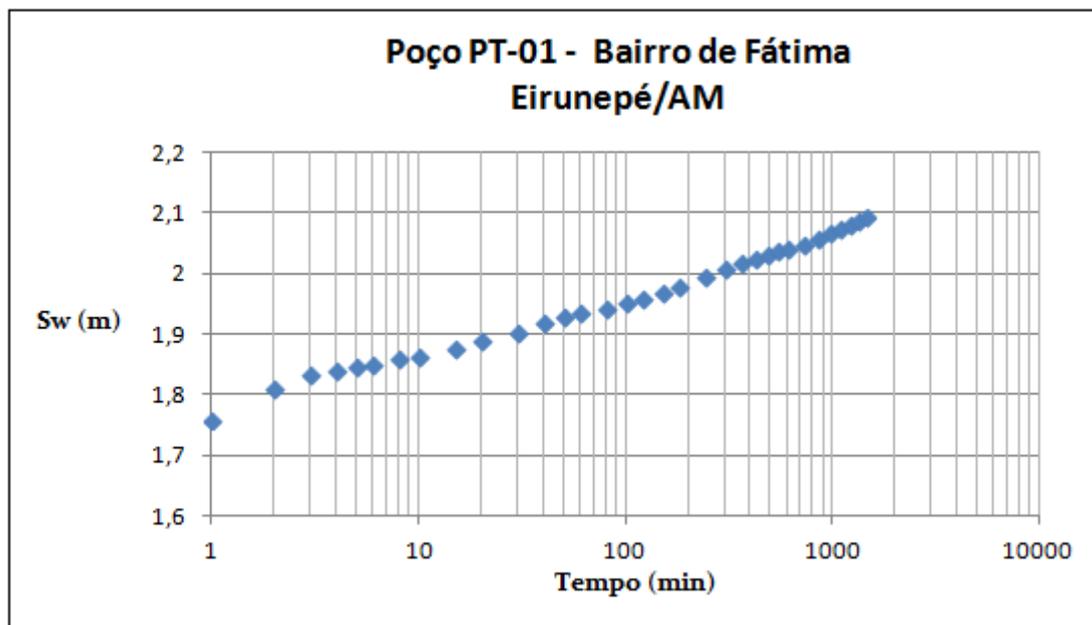
4.1.8 – Aquífero Içá em Eirunepé – AM

4.1.8a – Poço ETA Fátima

ENSAIO DE BOMBEAMENTO - Poço bombeado									
REFERÊNCIA DO POÇO: ID315 - EIR06			PROF.: 60,00 m		EQUIPAMENTO: BS 7 CV				
MUNICÍPIO: Eirunepé			N.E.: 6,588 m		AQUÍFERO: Solimões				
ESTADO: AM			N.D.: 8,652 m		EMPRESA: COSAMA				
LOCAL: ETA-01 Bairro de Fátima			Q: 25,715 m ³ /h		DATA INÍCIO: 04.08.2012				
PROPRIETÁRIO: Governo do Estado			Q/s: 12,280 (m ³ /m)/m		DATA TÉRMINO: 05.08.2012				
GPS:	Long. W	69° 52' 15,8"	Lat. S	06° 39' 33,9"	ALTITUDE:	122 m			
REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO				
HORA	t (min)	N.D. (m)	s (m)	Q (m ³ /h)	Q/s (m ³ /h/m)	t' (min)	N.D. (m)	s (m)	tb/t' + 1
7:01	1	8.318	1.760	25.715	14.611	1	6.865	0.307	1441.00
7:02	2	8.371	1.813	25.715	14.184	2	6.842	0.284	721.00
7:03	3	8.394	1.836	25.715	14.006	3	6.828	0.270	481.00
7:04	4	8.401	1.843	25.715	13.953	4	6.823	0.265	361.00
7:05	5	8.406	1.848	25.715	13.915	5	6.818	0.260	289.00
7:06	6	8.410	1.852	25.715	13.885	6	6.809	0.251	241.00
7:08	8	8.419	1.861	25.715	13.818	8	6.801	0.243	181.00
7:10	10	8.424	1.866	25.715	13.781	10	6.793	0.235	145.00
7:15	15	8.437	1.879	25.715	13.685	15	6.775	0.217	97.00
7:20	20	8.448	1.890	25.715	13.606	20	6.766	0.208	73.00
7:30	30	8.464	1.906	25.715	13.492	30	6.757	0.199	49.00
7:40	40	8.479	1.921	25.715	13.386	40	6.726	0.168	37.00
7:50	50	8.489	1.931	25.715	13.317	50	6.720	0.162	29.00
8:00	60	8.495	1.937	25.715	13.276	60	6.711	0.153	25.00
8:20	80	8.503	1.945	25.715	13.221	80	6.705	0.147	19.00
8:40	100	8.513	1.955	25.715	13.153	100	6.689	0.131	15.40
9:00	120	8.519	1.961	25.715	13.113	120	6.678	0.120	13.00
9:30	150	8.529	1.971	25.715	13.047	150	6.669	0.111	9.60
10:00	180	8.538	1.980	25.715	12.987	180	6.666	0.108	9.00
11:00	240	8.556	1.998	25.715	12.870	240	6.662	0.104	7.00
12:00	300	8.567	2.009	25.715	12.800	300	6.652	0.094	5.80
13:00	360	8.578	2.020	25.715	12.730	360	6.645	0.087	5.00
14:00	420	8.585	2.027	25.715	12.686	420	6.641	0.083	4.40
15:00	480	8.592	2.034	25.715	12.643	480	6.636	0.078	4.00
16:00	540	8.597	2.039	25.715	12.612	540	6.633	0.075	3.70
17:00	600	8.602	2.044	25.715	12.581	600	6.631	0.073	3.40
19:00	720	8.609	2.051	25.715	12.538	720	6.626	0.068	3.00
21:00	840	8.618	2.060	25.715	12.483				
23:00	960	8.627	2.069	25.715	12.429				
1:00	1080	8.633	2.075	25.715	12.393				
3:00	1200	8.641	2.083	25.715	12.345				
5:00	1320	8.647	2.089	25.715	12.310				
7:00	1440	8.652	2.094	25.715	12.280				

Gráficos e Parâmetros Hidráulicos

Curva de Rebaixamento do Poço ETA Fátima – Eirunepé AM



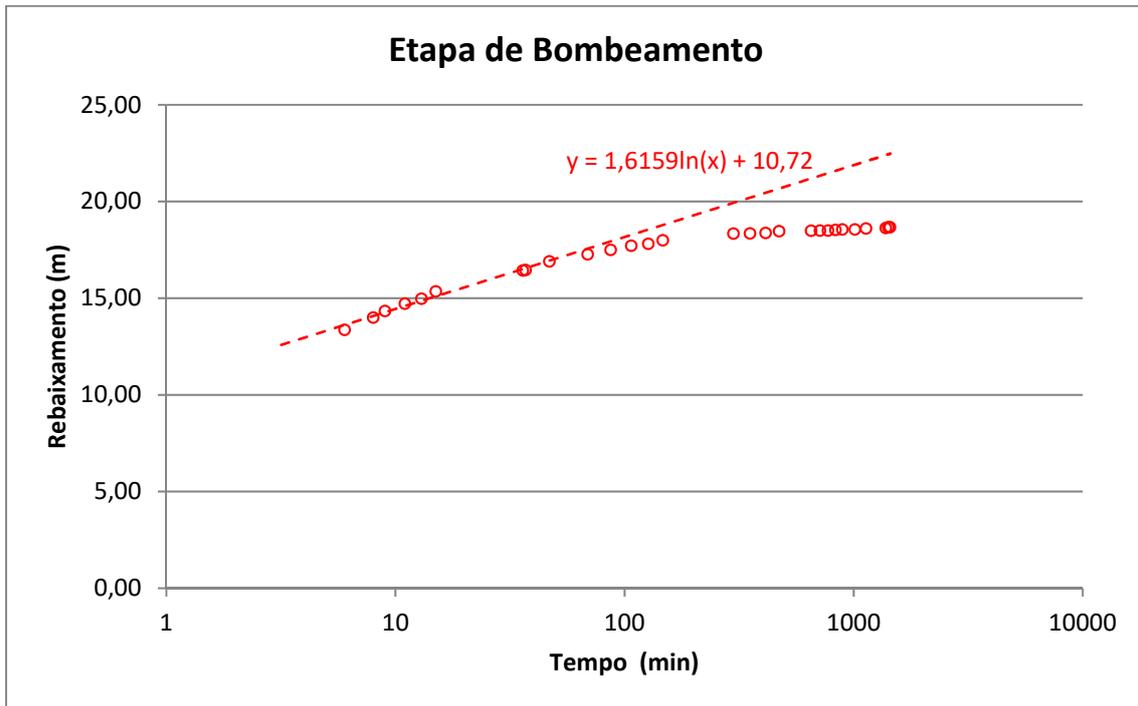
Parâmetros hidráulicos T, K, S no Poço ETA Fátima – Eirunepé AM

Etapas	T			K		S
	m ² /s	m ² /min	m ² /h	m/s	m/h	
Rebaixamento	1,33E-02	8,00E-01	4,80E+01	4,54E-05	1,64E-01	3,12E-02
Recuperação	1,38E-02	8,31E-01	4,98E+01	4,72E-05	1,70E-01	
Média	1,36E-02	8,15E-01	4,89E+01	4,63E-05	1,67E-01	

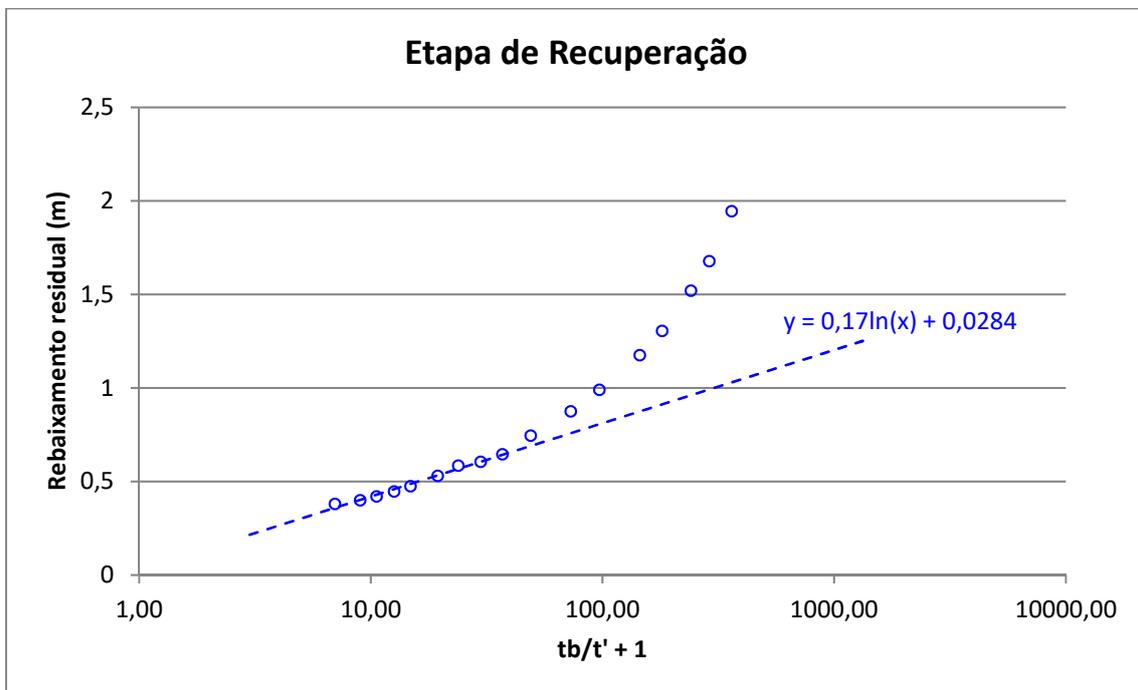
Nota: A avaliação aproximada do coeficiente S de armazenamento do aquífero no próprio poço bombeado é feita a 1 m de distância do mesmo, supondo que o seu raio é infinitamente pequeno (ou seja, supondo que o armazenamento no poço é desprezível).

Gráficos e Parâmetros Hidráulicos

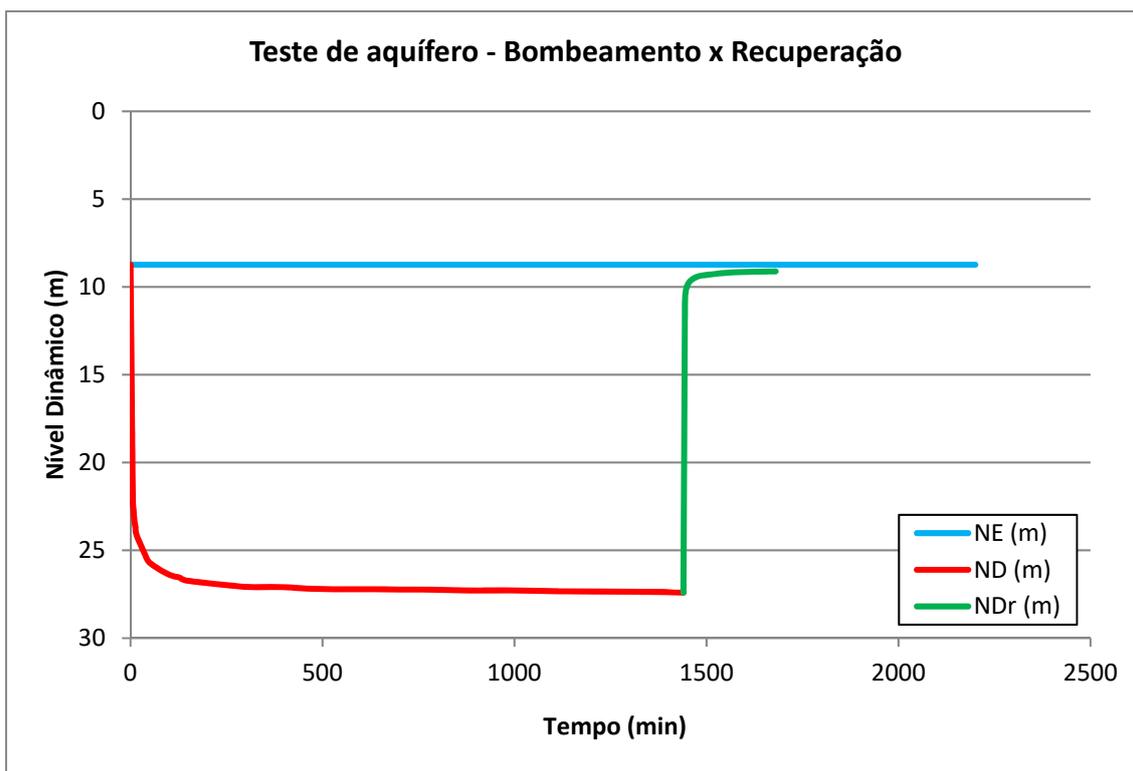
Curva de Rebaixamento do Poço ETA SAAE Lábrea AM



Curva de Recuperação do Poço ETA SAAE Lábrea AM



Evolução do nível dinâmico do Poço ETA SAAE Lábrea AM



Parâmetros hidráulicos T, K, S no Poço ETA SAAE Lábrea AM

Etapas	T			K		S
	m ² /s	m ² /min	m ² /h	m/s	m/h	
Rebaixamento	4,88E-04	2,93E-02	1,76E+00	2,55E-06	9,18E-03	1,10E-03
Recuperação	4,64E-03	2,78E-01	1,67E+01	2,42E-05	8,73E-02	
Média	2,56E-03	1,54E-01	9,22E+00	1,34E-05	4,82E-02	

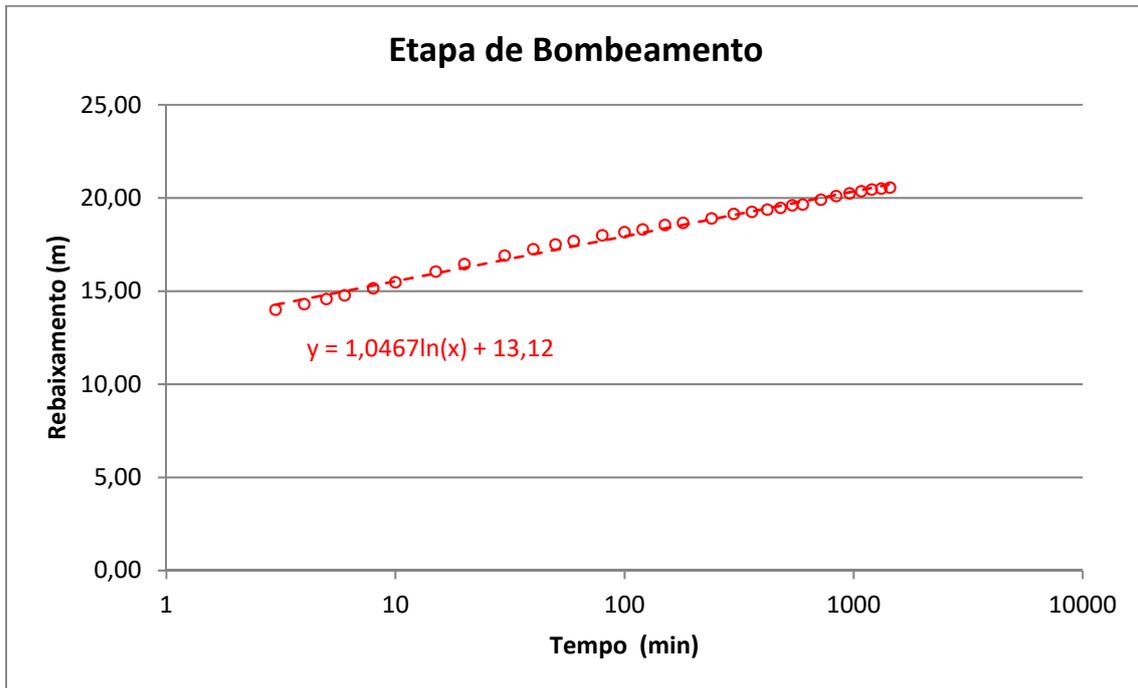
Nota: A avaliação aproximada do coeficiente S de armazenamento do aquífero no próprio poço bombeado é feita a 1 m de distância do mesmo, supondo que o seu raio é infinitamente pequeno (ou seja, supondo que o armazenamento no poço é desprezível).

4.1.9b – Poço Centro

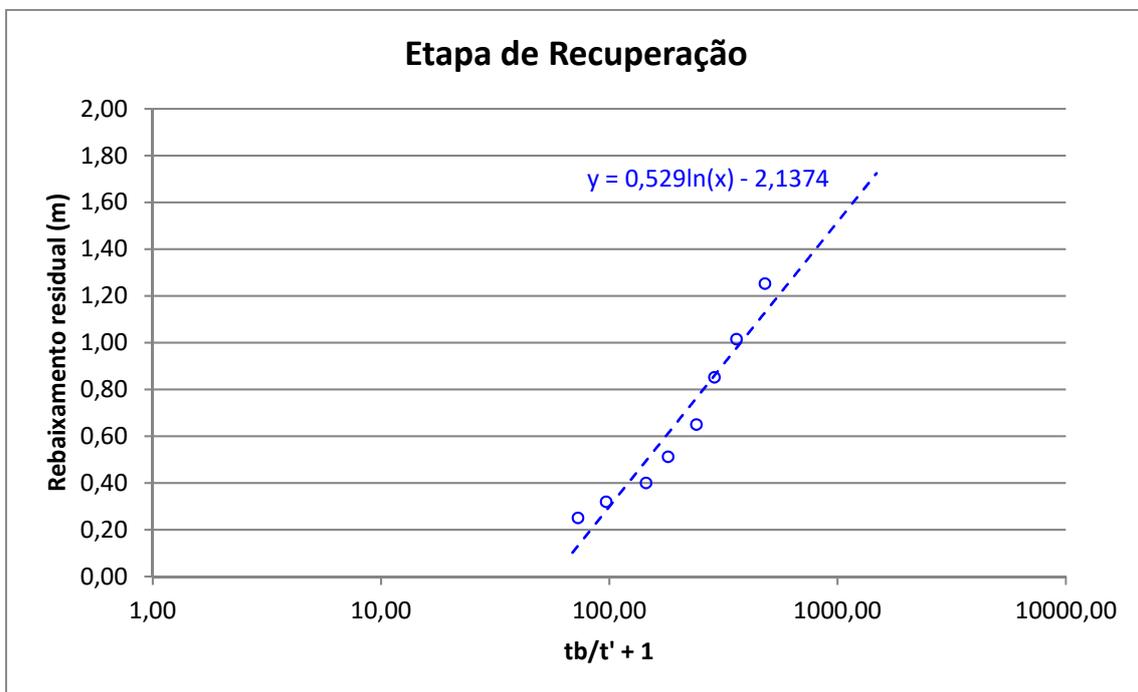
TESTE DE AQUÍFERO - Poço bombeado									
REFERÊNCIA DO POÇO: ID322 - PT-01			PROF.: m		EQUIPAMENTO:				
MUNICÍPIO: Lábrea			N.E.: 5,75 m		AQUÍFERO: Solimões				
ESTADO: Amazonas			N.D.: 14,80 m		EMPRESA:				
LOCAL: Zona Urbana			Crivo: m		DATA INÍCIO: 06/08/2012				
PROPRIETÁRIO: SAAE/AM			Raio do poço: m		DATA TÉRMINO: 07/08/2012				
GPS:	Long. W	64°47'45"	Lat. S	7°14'59,08"	ALTITUDE:	140 m			
REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO				
HORA	t (min)	N.D. (m)	s (m)	Q (m ³ /h)	Q/s (m ³ /h/m)	t' (min)	N.D. (m)	s (m)	tb/t' + 1
10:01	1					1			
10:02	2					2			
10:03	3	14.000	8.250			3	7.003	1.253	481.00
10:04	4	14.300	8.550			4	6.765	1.015	361.00
10:05	5	14.570	8.820			5	6.602	0.852	289.00
10:06	6	14.770	9.020			6	6.400	0.650	241.00
10:08	8	15.150	9.400			8	6.262	0.512	181.00
10:10	10	15.470	9.720			10	6.150	0.400	145.00
10:15	15	16.050	10.300			15	6.070	0.320	97.00
10:20	20	16.450	10.700	25.320	2.366	20	6.001	0.251	73.00
10:30	30	16.900	11.150						
10:40	40	17.245	11.495						
10:50	50	17.500	11.750	25.150	2.140				
11:00	60	17.680	11.930						
11:20	80	17.995	12.245						
11:40	100	18.160	12.410	25.000	2.015				
12:00	120	18.312	12.562						
12:30	150	18.550	12.800						
13:00	180	18.660	12.910	25.480	1.974				
14:00	240	18.900	13.150	25.350	1.928				
15:00	300	19.144	13.394						
16:00	360	19.255	13.505						
17:00	420	19.370	13.620						
18:00	480	19.462	13.712						
19:00	540	19.600	13.850						
20:00	600	19.650	13.900						
22:00	720	19.900	14.150						
0:00	840	20.102	14.352	24.860	1.732				
2:00	960	20.245	14.495						
4:00	1080	20.360	14.610						
6:00	1200	20.450	14.700						
8:00	1320	20.502	14.752	15.160	1.028				
10:00	1440	20.550	14.800						

Gráficos e Parâmetros Hidráulicos

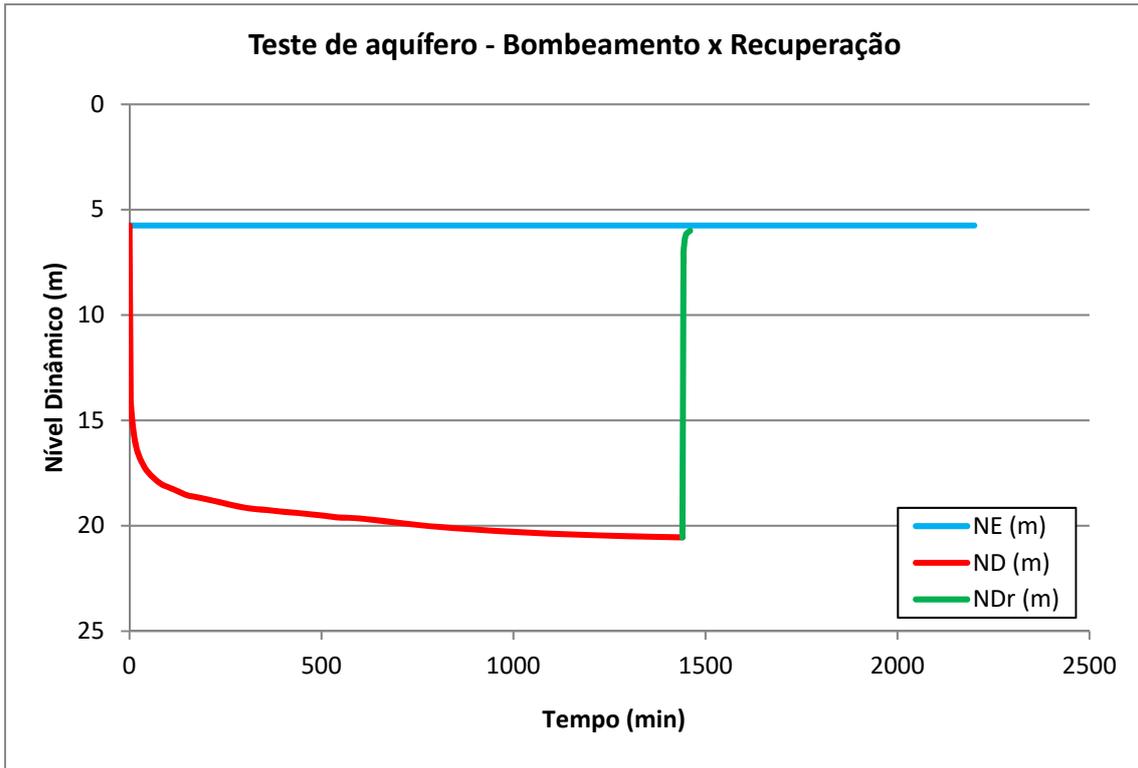
Curva de Rebaixamento do Poço Centro Lábrea AM



Curva de Recuperação do Poço Centro Lábrea AM



Evolução do nível dinâmico do Poço Centro Lábrea AM



Parâmetros hidráulicos T, K, S no Poço Centro Lábrea AM

Etapas	T			K		S
	m ² /s	m ² /min	m ² /h	m/s	m/h	
Bombeamento	4,94E-04	2,97E-02	1,78E+00	1,68E-06	6,05E-03	2,20E-03
Recuperação	9,78E-04	5,87E-02	3,52E+00	3,32E-06	1,20E-02	
Média	7,36E-04	4,42E-02	2,65E+00	2,50E-06	9,01E-03	

Nota: A avaliação aproximada do coeficiente S de armazenamento do aquífero no próprio poço bombeado é feita a 1 m de distância do mesmo, supondo que o seu raio é infinitamente pequeno (ou seja, supondo que o armazenamento no poço é desprezível).

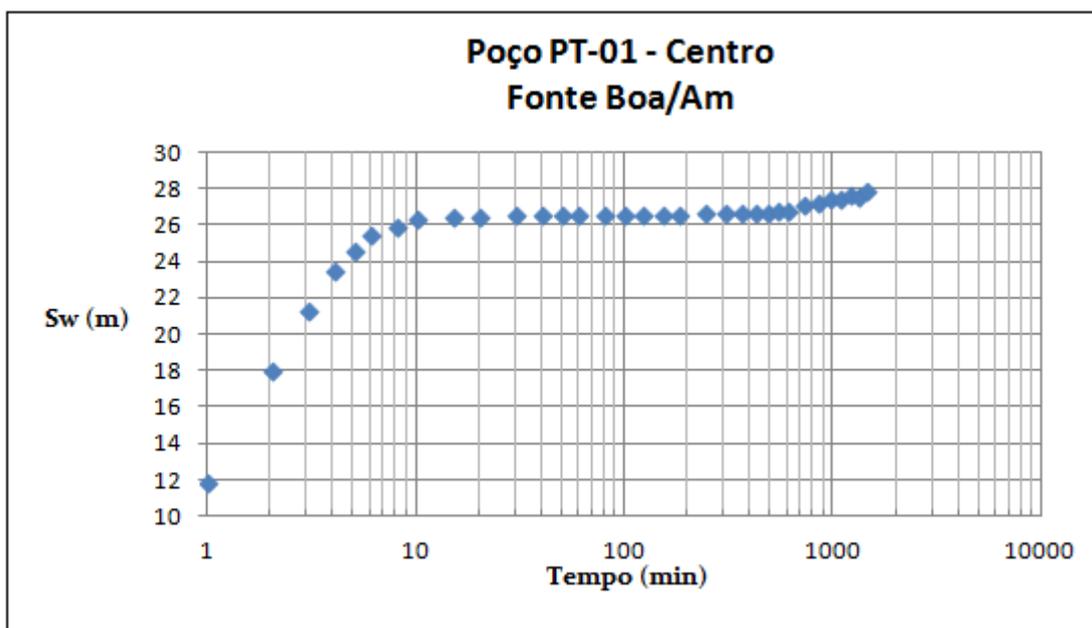
4.1.10 – Aquífero Içá em Fonte Boa - AM

4.1.10a – Poço Centro FB06

ENSAIO DE BOMBEAMENTO - Poço bombeado									
REFERÊNCIA DO POÇO: ID313 - FBA06			PROF.: 60,00 m			EQUIPAMENTO: BS 12 CV			
MUNICÍPIO: FONTE BOA			N.E.: 14,367 m			AQUÍFERO: Içá			
ESTADO: AM			N.D.: 42,235 m			EMPRESA: SEMAA			
LOCAL: CENTRO			Q: 24,00 m ³ /h			DATA INÍCIO: 28.07.2012			
PROPRIETÁRIO: PREFEITURA			Q/s: 0,861 (m ³ /h)/m			DATA TÉRMINO: 29.07.2012			
GPS:	Long. W	66° 06' 09,2"	Lat. S	2° 30' 54,2"	ALTITUDE:	61 m			
REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO				
HORA	t (min)	N.D. (m)	s (m)	Q (m ³ /h)	Q/s (m ³ /h/m)	t' (min)	N.D. (m)	s (m)	tb/t' + 1
7:01	1	26.234	11.867	24.00	2.022	1	30.394	16.03	1441.00
7:02	2	32.448	18.081	24.00	1.327	2	25.329	10.96	721.00
7:03	3	35.684	21.317	24.00	1.126	3	21.121	6.75	481.00
7:04	4	37.848	23.481	24.00	1.022	4	18.045	3.68	361.00
7:05	5	38.974	24.607	24.00	0.975	5	16.353	1.99	289.00
7:06	6	39.835	25.468	24.00	0.942	6	15.632	1.27	249.00
7:08	8	40.368	26.001	24.00	0.923	8	14.816	0.45	181.00
7:10	10	40.709	26.342	24.00	0.911	10	14.622	0.25	145.00
7:15	15	40.826	26.459	24.00	0.907	15	14.442	0.07	97.00
7:20	20	40.909	26.542	24.00	0.904	20	14.398	0.03	73.00
7:30	30	40.960	26.593	24.00	0.902	30	14.367	0.00	49.00
7:40	40	40.968	26.601	24.00	0.902	40			
7:50	50	40.973	26.606	24.00	0.902	50			
8:00	60	40.998	26.631	24.00	0.901	60			
8:20	80	41.002	26.635	24.00	0.901	80			
8:40	100	41.004	26.637	24.00	0.901	100			
9:00	120	41.009	26.642	24.00	0.901	120			
9:30	150	41.012	26.645	24.00	0.901	150			
10:00	180	41.021	26.654	24.00	0.900	180			
11:00	240	41.038	26.671	24.00	0.900	240			
12:00	300	41.052	26.685	24.00	0.899	300			
13:00	360	41.063	26.696	24.00	0.899	360			
14:00	420	41.046	26.679	24.00	0.900	420			
15:00	480	41.082	26.715	24.00	0.898	480			
16:00	540	41.138	26.771	24.00	0.896	540			
17:00	600	41.164	26.797	24.00	0.896	600			
19:00	720	41.473	27.106	24.00	0.885	720			
21:00	840	41.606	27.239	24.00	0.881				
23:00	960	41.890	27.523	24.00	0.872				
1:00	1080	41.895	27.528	24.00	0.872				
3:00	1200	42.113	27.746	24.00	0.865				
5:00	1320	41.984	27.617	24.00	0.869				
7:00	1440	42.235	27.868	24.00	0.861				

Gráficos e Parâmetros Hidráulicos

Curva de Rebaixamento do Poço Centro FB06 – Fonte Boa AM



Parâmetros hidráulicos T, K, S no Poço Centro FB06 – Fonte Boa AM

Etapas	T			K		S
	m ² /s	m ² /min	m ² /h	m/s	m/h	
Rebaixamento	2,25E-03	1,35E-01	8,10E+00	1,21E-05	4,36E-02	3,59E-03
Recuperação	1,60E-03	9,58E-02	5,75E+00	8,60E-06	3,09E-02	
Média	1,92E-03	1,15E-01	6,92E+00	1,04E-05	3,73E-02	

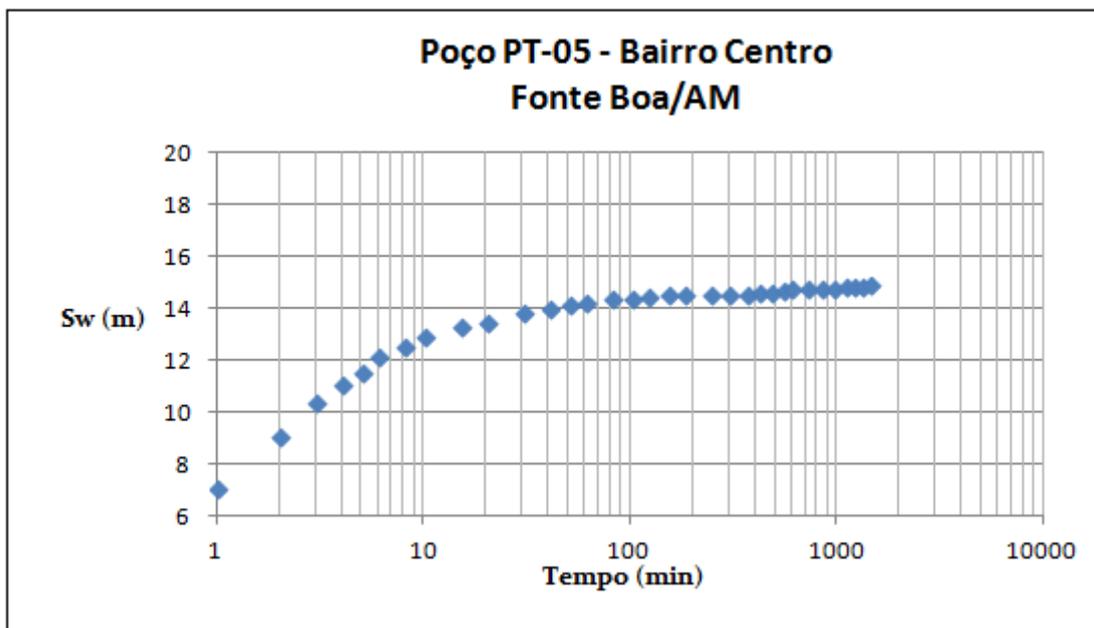
Nota: A avaliação aproximada do coeficiente S de armazenamento do aquífero no próprio poço bombeado é feita a 1 m de distância do mesmo, supondo que o seu raio é infinitamente pequeno (ou seja, supondo que o armazenamento no poço é desprezível).

4.1.10b – Poço Centro FB07

ENSAIO DE BOMBEAMENTO - Poço bombeado									
REFERÊNCIA DO POÇO: ID314 - FBA07			PROF.: 60,00 m			EQUIPAMENTO: BS			
MUNICÍPIO: FONTE BOA			N.E.: 10,792 m			AQUÍFERO: Içá			
ESTADO: AM			N.D.: 25,678 m			EMPRESA: SEMAA			
LOCAL: CENTRO			Q: 48,00 m ³ /h			DATA INÍCIO: 26.07.2012			
PROPRIETÁRIO: PREFEITURA			Q/s: 3,225 (m ³ /h)/m			DATA TÉRMINO: 27.07.2012			
GPS:	Long. W	66° 05' 50,7"		Lat. S	2° 30' 58,5"		ALTITUDE:	65 m	
REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO				
HORA	t (min)	N.D. (m)	s (m)	Q (m ³ /h)	Q/s (m ³ /h/m)	t'	N.D. (m)	s (m)	tb/t' + 1
7:01	1	17.856	7.064	48.00	6.795	1	19.527	8.735	1441.00
7:02	2	19.846	9.054	48.00	5.302	2	16.931	6.139	721.00
7:03	3	21.194	10.402	48.00	4.614	3	15.552	4.760	481.00
7:04	4	21.878	11.086	48.00	4.330	4	14.699	3.907	361.00
7:05	5	22.363	11.571	48.00	4.148	5	14.090	3.298	289.00
7:06	6	22.969	12.177	48.00	3.942	6	13.726	2.934	249.00
7:08	8	23.331	12.539	48.00	3.828	8	13.152	2.360	181.00
7:10	10	23.698	12.906	48.00	3.719	10	12.778	1.986	145.00
7:15	15	24.097	13.305	48.00	3.608	15	12.236	1.444	97.00
7:20	20	24.289	13.497	48.00	3.556	20	11.844	1.052	73.00
7:30	30	24.608	13.816	48.00	3.474	30	11.439	0.647	49.00
7:40	40	24.801	14.009	48.00	3.426	40	11.173	0.381	37.00
7:50	50	24.933	14.141	48.00	3.394	50	11.005	0.213	29.80
8:00	60	25.008	14.216	48.00	3.376	60	10.889	0.097	25.00
8:20	80	25.167	14.375	48.00	3.339	80	10.792	0.000	19.00
8:40	100	25.210	14.418	48.00	3.329	100			
9:00	120	25.274	14.482	48.00	3.314	120			
9:30	150	25.312	14.520	48.00	3.306	150			
10:00	180	25.326	14.534	48.00	3.303	180			
11:00	240	25.339	14.547	48.00	3.300	240			
12:00	300	25.348	14.556	48.00	3.298	300			
13:00	360	25.365	14.573	48.00	3.294	360			
14:00	420	25.395	14.603	48.00	3.287	420			
15:00	480	25.432	14.640	48.00	3.279	480			
16:00	540	25.507	14.715	48.00	3.262	540			
17:00	600	25.539	14.747	48.00	3.255	600			
19:00	720	25.559	14.767	48.00	3.250	720			
21:00	840	25.581	14.789	48.00	3.246				
23:00	960	25.601	14.809	48.00	3.241				
1:00	1080	25.635	14.843	48.00	3.234				
3:00	1200	25.638	14.846	48.00	3.233				
5:00	1320	25.642	14.850	48.00	3.232				
7:00	1440	25.678	14.886	48.00	3.225				

Gráficos e Parâmetros Hidráulicos

Curva de Rebaixamento do Poço Centro FB07 – Fonte Boa AM



Parâmetros hidráulicos T, K, S no Poço Centro FB07 – Fonte Boa AM

Etapas	T			K		S
	m ² /s	m ² /min	m ² /h	m/s	m/h	
Rebaixamento	3,73E-03	2,24E-01	1,34E+01	1,97E-05	7,09E-02	2,65E-03
Recuperação	1,18E-03	7,06E-02	4,24E+00	6,22E-06	2,24E-02	
Média	2,45E-03	1,47E-01	8,83E+00	1,30E-05	4,67E-02	

Nota: A avaliação aproximada do coeficiente S de armazenamento do aquífero no próprio poço bombeado é feita a 1 m de distância do mesmo, supondo que o seu raio é infinitamente pequeno (ou seja, supondo que o armazenamento no poço é desprezível).

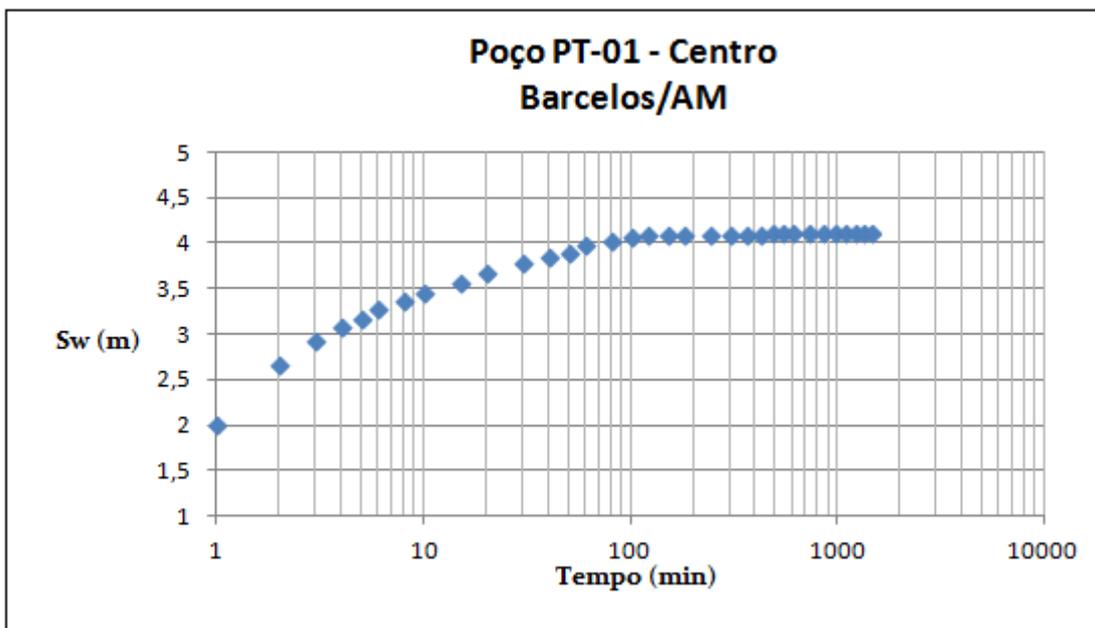
4.1.11 – Aquífero Içá em Barcelos - AM

4.1.11a – Poço C. Turístico

ENSAIO DE BOMBEAMENTO - Poço bombeado									
REFERÊNCIA DO POÇO: ID8 - BAR03			PROF.: 42,00 m			EQUIPAMENTO: BS Leão 12Cv			
MUNICÍPIO: Barcelos			N.E.: 7,292 m			AQUÍFERO: IÇÁ			
ESTADO: AM			N.D.: 11,405 m			EMPRESA: SAAE			
LOCAL: Centro de Atendimento do Turista			Q: 20,571 m ³ /h			DATA INÍCIO: 23.07.2012			
PROPRIETÁRIO: Prefeitura Municipal			Q/s: 0,102 (m ³ /h)/m			DATA TÉRMINO: 24.07.2012			
GPS:		Long. W	62°55'20"	Lat. S	0°58'48"	ALTITUDE:		33 m	
REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO				
HORA	t (min)	N.D. (m)	s (m)	Q (m ³ /h)	Q/s (m ³ /h/m)	t'	N.D. (m)	s (m)	tb/t' + 1
15:01	1	9.304	2.012	19.460	6.672	1	7.438	0.146	1441
15:03	2	9.977	2.685	20.571	7.661	2	7.379	0.087	721
15:03	3	10.236	2.944	20.000	6.793	3	7.354	0.062	481
15:04	4	10.376	3.084	19.460	6.310	4	7.352	0.060	361
15:05	5	10.483	3.191	20.000	6.268	5	7.349	0.057	289
15:06	6	10.579	3.287	19.460	5.920	6	7.346	0.054	249
15:08	8	10.674	3.382	19.460	5.754	8	7.339	0.047	181
15:10	10	10.762	3.470	19.460	5.608	10	7.336	0.044	145
15:15	15	10.875	3.583	19.460	5.431	15	7.321	0.029	97
15:20	20	10.976	3.684	19.460	5.282	20	7.320	0.028	73
15:30	30	11.093	3.801	19.460	5.120	30	7.318	0.026	49
15:40	40	11.163	3.871	20.571	5.314	40	7.316	0.024	37
15:00	50	11.206	3.914	20.000	5.110	50	7.315	0.023	29.8
16:00	60	11.279	3.987	20.571	5.160	60	7.313	0.021	25
16:20	80	11.324	4.032	20.571	5.102	80	7.311	0.019	19
16:40	100	11.377	4.085	20.571	5.036	100	7.310	0.018	15
17:00	120	11.385	4.093	20.571	5.026	120	7.309	0.017	13
17:30	150	11.388	4.096	20.571	5.022	150			
18:00	180	11.391	4.099	20.571	5.019	180			
19:00	240	11.394	4.102	20.571	5.015	240			
20:00	300	11.398	4.106	20.571	5.010	300			
21:00	360	11.402	4.110	20.571	5.005	360			
22:00	420	11.403	4.111	20.571	5.004	420			
23:00	480	11.405	4.113	20.571	5.001	480			
0:00	540	11.405	4.113	20.571	5.001	540			
1:00	600	11.405	4.113	20.571	5.001	600			
3:00	720	11.405	4.113	20.571	5.001	720			
5:00	840	11.405	4.113	20.571	5.001				
7:00	960	11.405	4.113	20.571	5.001				
9:00	1080	11.405	4.113	20.571	5.001				
11:00	1200	11.405	4.113	20.571	5.001				
13:00	1320	11.405	4.113	20.571	5.001				
15:00	1440	11.405	4.113	20.571	5.001				

Gráficos e Parâmetros Hidráulicois

Curva de Rebaixamento do Poço Centro Turístico – Barcelos AM



Parâmetros hidráulicos T, K, S no Poço Centro Turístico – Barcelos AM

Etapas	T			K		S
	m ² /s	m ² /min	m ² /h	m/s	m/h	
Rebaixamento	4,38E-03	2,63E-01	1,58E+01	2,27E-05	8,18E-02	7,56E-02
Recuperação	3,36E-02	2,02E+00	1,21E+02	1,74E-04	6,28E-01	
Média	1,90E-02	1,14E+00	6,84E+01	9,85E-05	3,55E-01	

Nota: A avaliação aproximada do coeficiente S de armazenamento do aquífero no próprio poço bombeado é feita a 1 m de distância do mesmo, supondo que o seu raio é infinitamente pequeno (ou seja, supondo que o armazenamento no poço é desprezível).

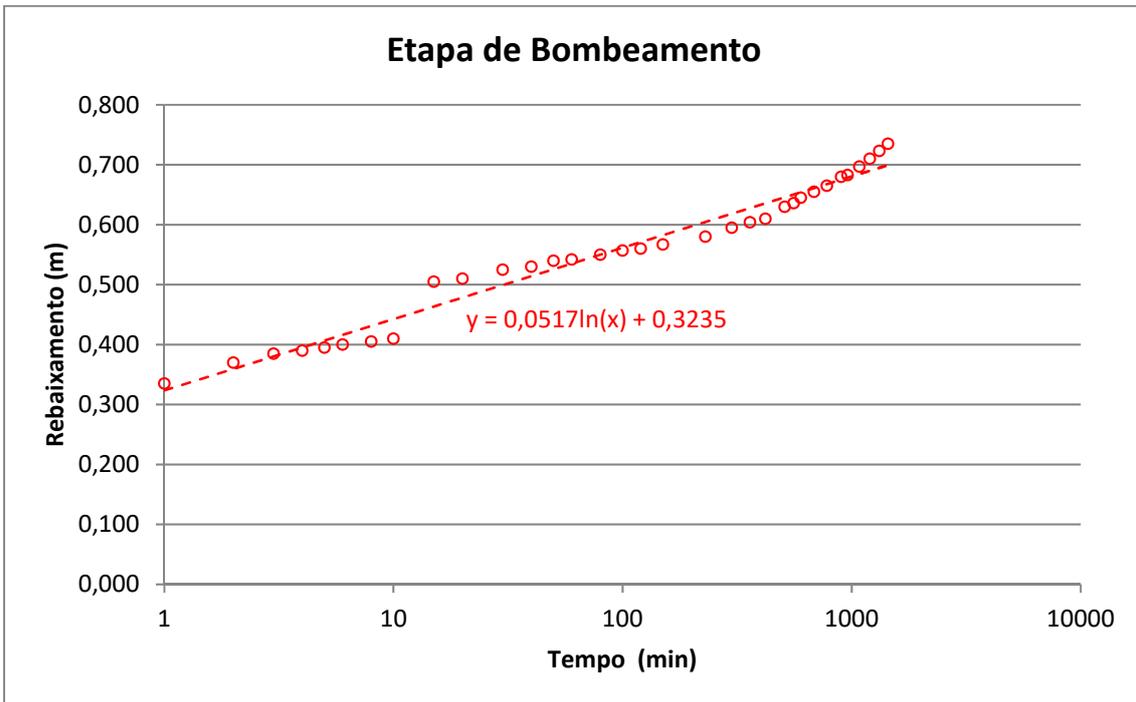
4.1.12 – Aquífero Rio Branco em Rio Branco - AC

4.1.12a – Poço Bombeiros

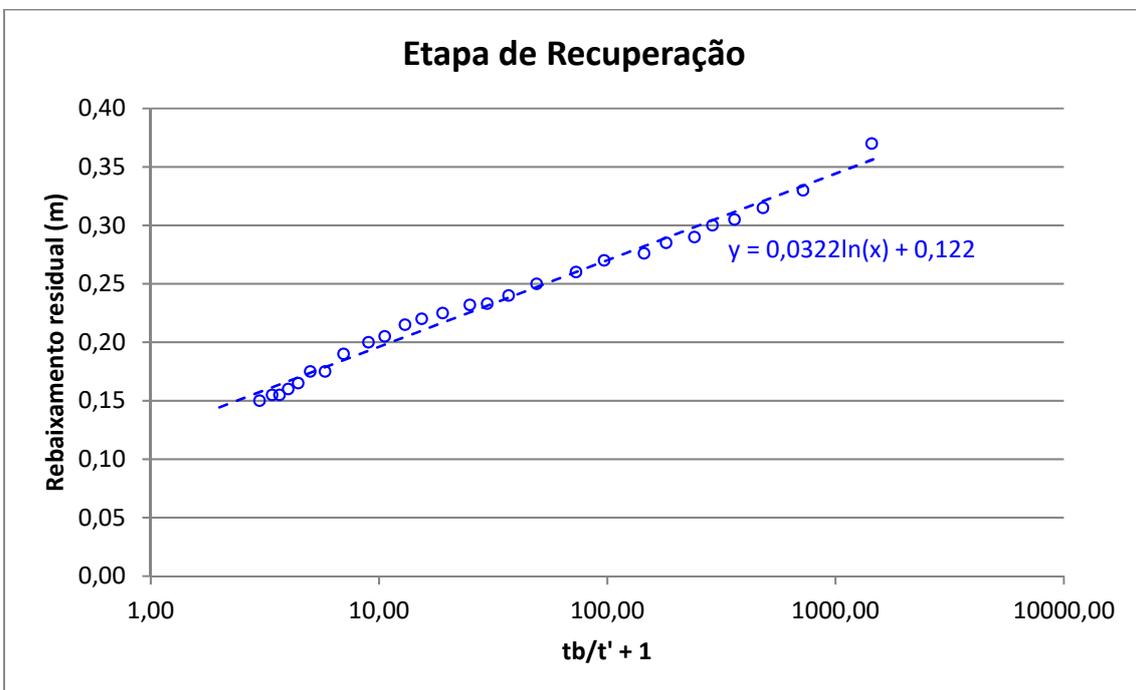
ENSAIO DE BOMBEAMENTO									
REFERÊNCIA DO POÇO: ID316 - RB-029			PROF.: 50,00 m			EQUIPAMENTO:			
MUNICÍPIO: Rio Branco			N.E.: 2,76 m			AQUÍFERO: Rio Branco			
ESTADO: Acre			N.D.: 3,495 m			EMPRESA:			
LOCAL: Quartel dos Bombeiros			Q: 1,52 m ³ /h			DATA INÍCIO: 29/07/2012			
PROPRIETÁRIO: Bombeiros			Q/s: 2,08 m ³ /h/m			DATA TÉRMINO: 30/07/2012			
GPS:	Long. W	67°48'20,04	Lat. S	10°0'38,43"	ALTITUDE:	142 m			
REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO				
HORA	t (min)	N.D. (m)	s (m)	Q (m ³ /h)	Q/s (m ³ /h/m)	t' (min)	N.D. (m)	s (m)	tb/t' + 1
8:01	1	3.095	0.335			1	3.13	0.37	1441.00
8:02	2	3.130	0.370			2	3.09	0.33	721.00
8:03	3	3.145	0.385			3	3.08	0.32	481.00
8:04	4	3.150	0.390			4	3.07	0.31	361.00
8:05	5	3.155	0.395			5	3.06	0.30	289.00
8:06	6	3.160	0.400			6	3.05	0.29	241.00
8:08	8	3.165	0.405			8	3.05	0.29	181.00
8:10	10	3.170	0.410			10	3.04	0.28	145.00
8:15	15	3.265	0.505	1.53	3.04	15	3.03	0.27	97.00
8:20	20	3.270	0.510			20	3.02	0.26	73.00
8:30	30	3.285	0.525	1.56	2.98	30	3.01	0.25	49.00
8:40	40	3.290	0.530	1.57	2.97	40	3.00	0.24	37.00
8:50	50	3.300	0.540			50	2.99	0.23	29.80
9:00	60	3.302	0.542			60	2.99	0.23	25.00
9:20	80	3.310	0.550	1.52	2.76	80	2.99	0.23	19.00
9:40	100	3.317	0.557			100	2.98	0.22	15.40
10:00	120	3.320	0.560	1.52	2.71	120	2.98	0.22	13.00
10:30	150	3.327	0.567	1.55	2.73	150	2.97	0.21	10.60
11:50	230	3.340	0.580	1.50	2.59	180			9.00
13:00	300	3.355	0.595			240	2.95	0.19	7.00
14:00	360	3.364	0.604	1.50	2.49	300	2.94	0.18	5.80
15:00	420	3.370	0.610	1.52	2.49	360			5.00
16:30	510	3.390	0.630			420	2.93	0.17	4.43
17:19	559	3.396	0.636			480	2.92	0.16	4.00
18:00	600	3.405	0.645	1.52	2.35	540	2.92	0.16	3.67
19:25	685	3.415	0.655	1.52	2.31	600			3.40
21:00	780	3.425	0.665			720	2.91	0.15	3.00
23:00	900	3.440	0.680						
0:00	960	3.443	0.683						
2:00	1080	3.457	0.697						
4:00	1200	3.470	0.710						
6:00	1320	3.483	0.723						
8:00	1440	3.495	0.735	1.52	2.07				

Gráficos e Parâmetros Hidráulicoís

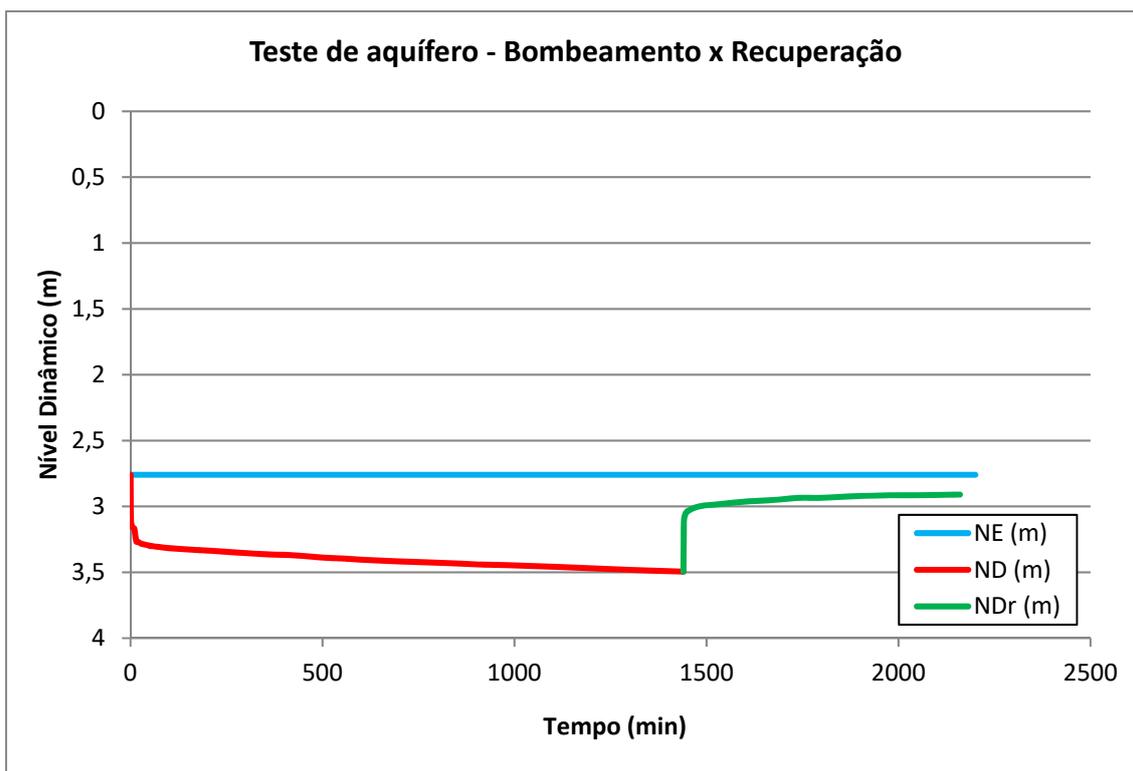
Curva de Rebaixamento do Poço Bombeiros – Rio Branco AC



Curva de Recuperação do Poço Bombeiros – Rio Branco AC



Evolução do nível dinâmico do Poço Bombeiros – Rio Branco AC



Parâmetros hidráulicos T, K, S no Poço Bombeiros – Rio Branco AC

Etapas	T			K		S
	m ² /s	m ² /min	m ² /h	m/s	m/h	
Rebaixamento	6,49E-04	3,89E-02	2,34E+00	1,37E-05	4,95E-02	1,68E-04
Recuperação	1,04E-03	6,25E-02	3,75E+00	2,21E-05	7,94E-02	
Média	8,46E-04	5,07E-02	3,04E+00	1,79E-05	6,44E-02	

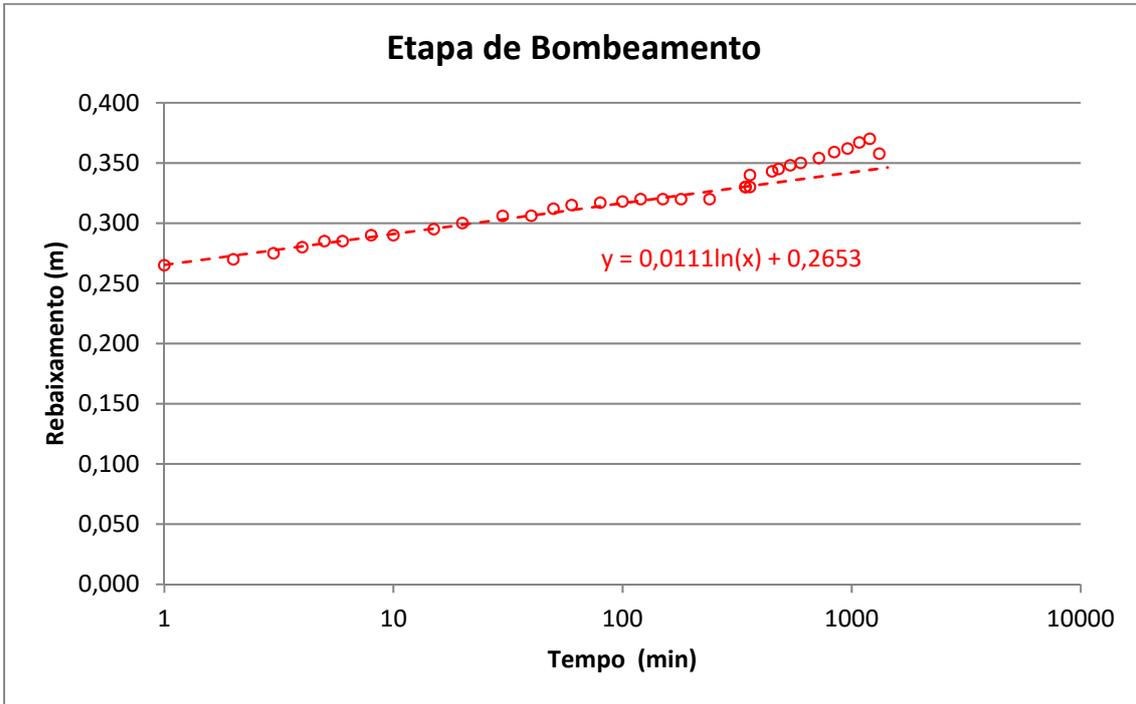
Nota: A avaliação aproximada do coeficiente S de armazenamento do aquífero no próprio poço bombeado é feita a 1 m de distância do mesmo, supondo que o seu raio é infinitamente pequeno (ou seja, supondo que o armazenamento no poço é desprezível).

4.1.12b – Poço Belo Jardim I

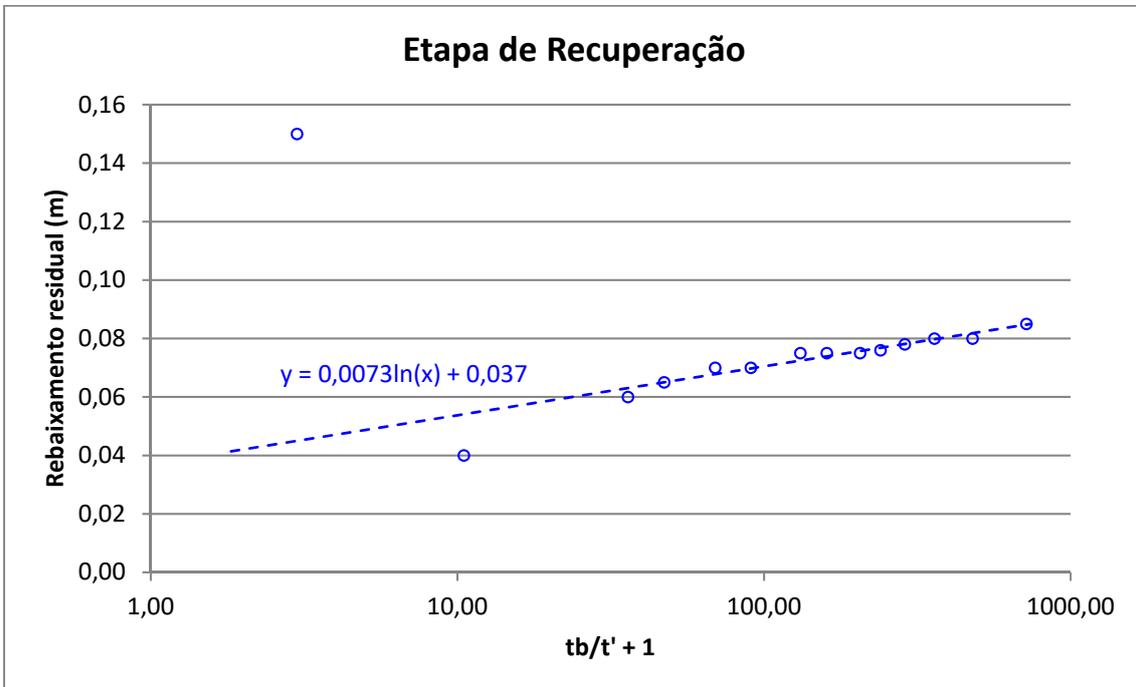
ENSAIO DE BOMBEAMENTO									
REFERÊNCIA DO POÇO: ID317 - RB-054			PROF.: 50,00 m			EQUIPAMENTO:			
MUNICÍPIO: Rio Branco			N.E.: 4,75 m			AQUÍFERO: Rio Branco			
ESTADO: Acre			N.D.: 4,95 m			EMPRESA:			
LOCAL: Belo Jardim I			Q: 1,28 m ³ /h			DATA INÍCIO: 29/07/2012			
PROPRIETÁRIO: José Wilson R. da Cunha			Q/s: 3,40 m ³ /h/m			DATA TÉRMINO: 30/07/2012			
GPS:	Long. W	67°47'6,68"	Lat. S	10°0'38,37"	ALTITUDE:	150 m			
REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO				
HORA	t (min)	N.D. (m)	s (m)	Q (m ³ /h)	Q/s (m ³ /h/m)	t'	N.D. (m)	s (m)	tb/t' + 1
11:01	1	5.015	0.265			2	4.84	0.09	718.50
11:02	2	5.02	0.270			3	4.83	0.08	479.33
11:03	3	5.025	0.275			4	4.83	0.08	359.75
11:04	4	5.03	0.280			5	4.83	0.08	288.00
11:05	5	5.035	0.285			6	4.83	0.08	240.17
11:06	6	5.035	0.285			7	4.83	0.08	206.00
11:08	8	5.04	0.290			9	4.83	0.08	160.44
11:10	10	5.04	0.290			11	4.83	0.08	131.45
11:15	15	5.045	0.295	1.33	4.50	16	4.82	0.07	90.69
11:20	20	5.05	0.300			21	4.82	0.07	69.33
11:30	30	5.056	0.306	1.30	4.26	31	4.82	0.07	47.29
11:40	40	5.059	0.306			41	4.81	0.06	36.00
11:50	50	5.062	0.312			51			29.14
12:00	60	5.065	0.315			61			24.52
12:20	80	5.067	0.317			81			18.72
12:40	100	5.068	0.318			101			15.21
13:00	120	5.07	0.320	1.30	4.07	121			12.86
13:30	150	5.07	0.320			151	4.79	0.04	10.50
14:00	180	5.07	0.320			241	4.74		6.95
15:00	240	5.07	0.320	1.26	3.92	275	4.79		6.22
16:44	344	5.08	0.330	1.26	3.81	381			4.77
17:00	360	5.08	0.330			425			4.38
18:30	450	5.09	0.340	1.25	3.68	545			3.63
19:00	480	5.093	0.343			665			3.16
20:00	540	5.095	0.345			785			2.83
21:00	600	5.098	0.348			600			3.40
23:00	720	5.1	0.350			720	4.91	0.15	3.00
1:00	840	5.104	0.354			720			3.00
3:00	960	5.109	0.359						
5:00	1080	5.112	0.362						
7:00	1200	5.117	0.367						
9:00	1320	5.12	0.370	1.26	3.40				
10:55	1435	4.95	0.358	0.63					

Gráficos e Parâmetros Hidráulicos

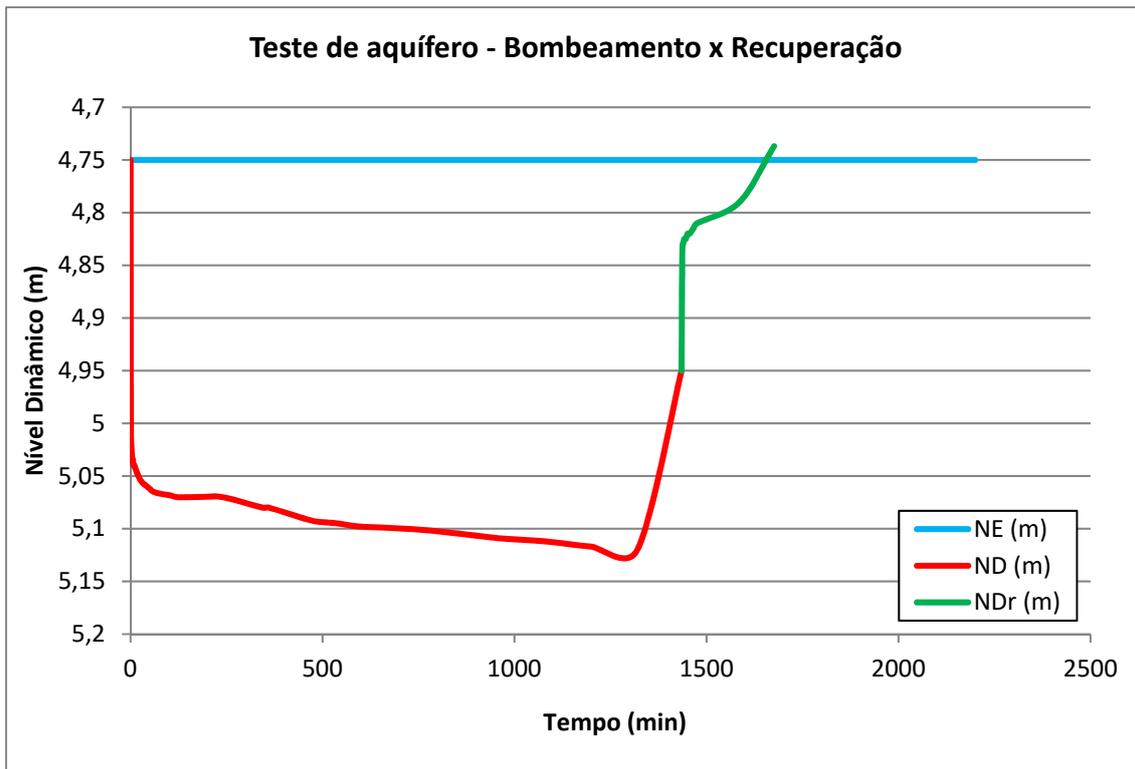
Curva de Rebaixamento do Poço Belo Jardim I – Rio Branco AC



Curva de Recuperação do Poço Belo Jardim I – Rio Branco AC



Evolução do nível dinâmico do Poço Belo Jardim I – Rio Branco AC



Parâmetros hidráulicos T, K, S no Poço Belo Jardim I – Rio Branco AC

Etapas	T			K		S
	m ² /s	m ² /min	m ² /h	m/s	m/h	
Rebaixamento	2,55E-03	1,53E-01	9,16E+00	5,63E-05	2,03E-01	8,71E-03
Recuperação	3,87E-03	2,32E-01	1,39E+01	8,55E-05	3,08E-01	
Média	3,21E-03	1,93E-01	1,16E+01	7,09E-05	2,55E-01	

Nota: A avaliação aproximada do coeficiente S de armazenamento do aquífero no próprio poço bombeado é feita a 1 m de distância do mesmo, supondo que o seu raio é infinitamente pequeno (ou seja, supondo que o armazenamento no poço é desprezível).

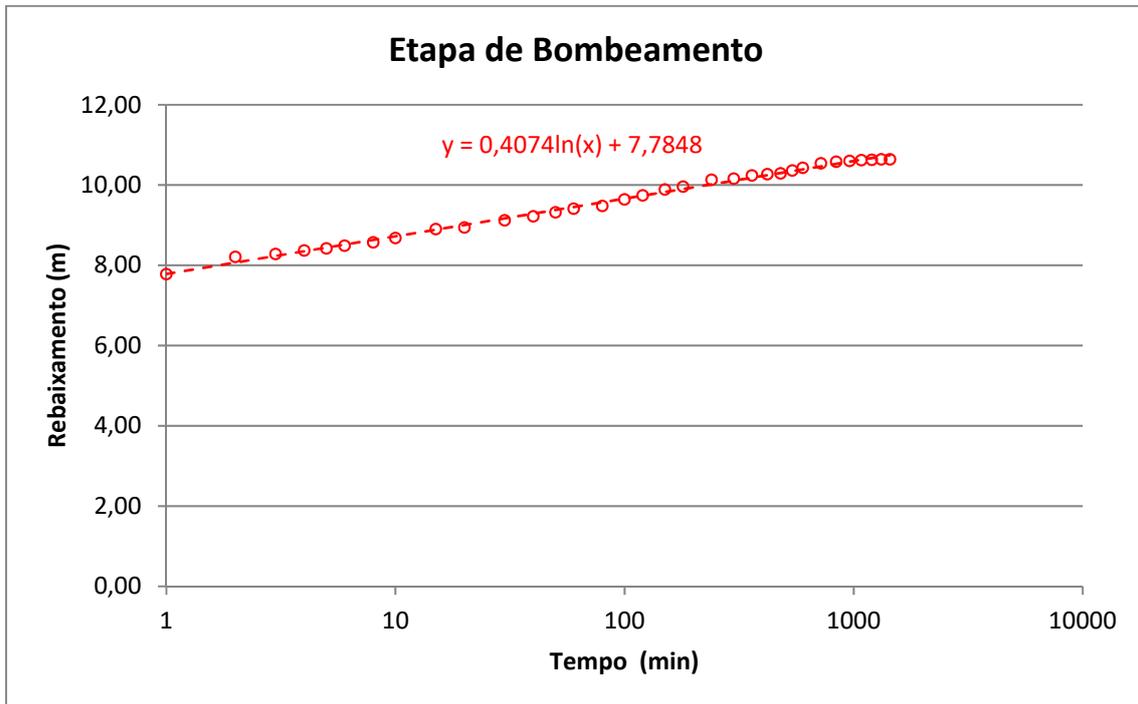
4.1.13 – Sistema Aquífero Barreiras-Pirabas em Belém - PA

4.1.13a – Poço Infraero

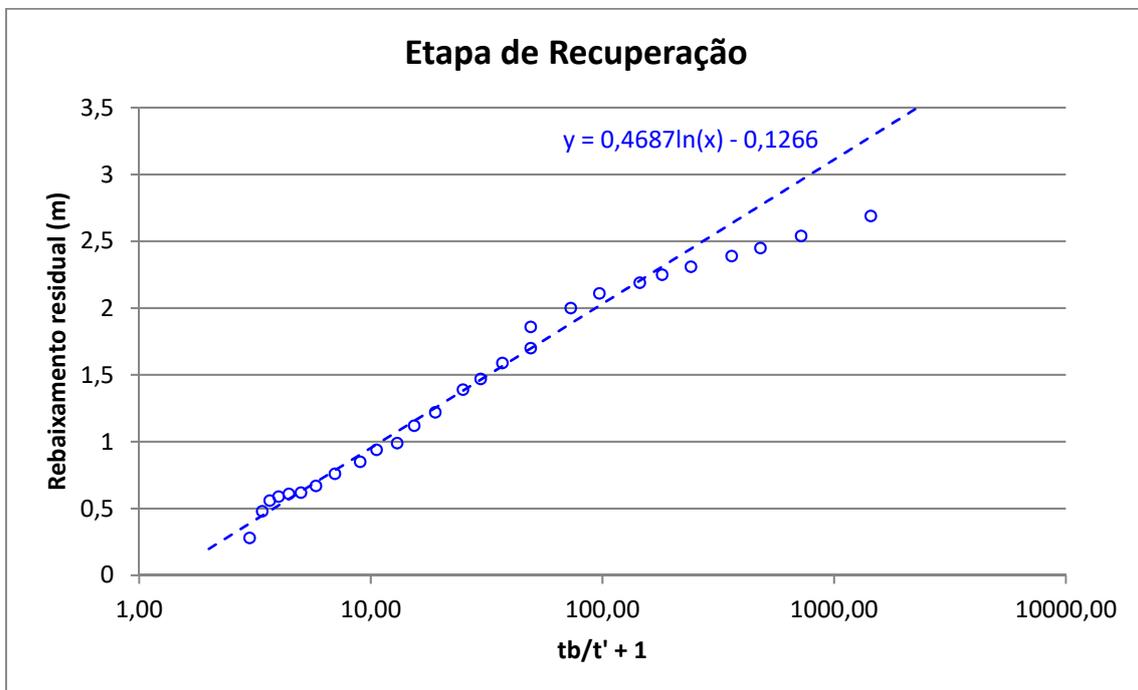
ENSAIO DE BOMBEAMENTO - Poço bombeado									
REFERÊNCIA DO POÇO: ID302 - PT-21			PROF.: 160,00 m			EQUIPAMENTO: B.Submersa			
MUNICÍPIO: BELÉM			N.E.: 14,47 m			AQUÍFERO: Pirabas			
ESTADO: PARÁ			N.D.: 25,11 m			EMPRESA: COSTA			
LOCAL: PRAÇA DO AEROPORTO			Crivo: 42,00 m			DATA INÍCIO: 1/8/2012-10:00h			
PROPRIETÁRIO: INFRAERO			Raio do poço: 0,075 m			DATA TÉRMINO: 2/8- 22:00h			
GPS:	Long. W:	48° 28' 51,3"		Lat. S:	1° 23' 19,6"		ALTITUDE:	14,00 m	
REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO				
HORA	t (min)	N.D. (m)	s (m)	Q (m ³ /h)	Q/s (m ³ /h/m)	t' (min)	N.D. (m)	s (m)	tb/t' + 1
10:01	1	22.25	7.78	30.00	3.86	1	17.16	2.69	1441.00
10:02	2	22.68	8.21			2	17.01	2.54	721.00
10:03	3	22.75	8.28			3	16.92	2.45	481.00
10:04	4	22.84	8.37	29.00	3.46	4	16.86	2.39	361.00
10:05	5	22.89	8.42			5	16.78	2.31	241.00
10:06	6	22.96	8.49			6	16.72	2.25	181.00
10:08	8	23.04	8.57	28.00	3.27	8	16.66	2.19	145.00
10:10	10	23.15	8.68			10	16.58	2.11	97.00
10:15	15	23.37	8.90	27.00	3.03	15	16.47	2.00	73.00
10:20	20	23.41	8.94			20	16.33	1.86	49.00
10:30	30	23.59	9.12			30	16.17	1.70	49.00
10:40	40	23.69	9.22			40	16.06	1.59	37.00
10:50	50	23.79	9.32			50	15.94	1.47	29.80
11:00	60	23.88	9.41	27.00	2.87	60	15.86	1.39	25.00
11:20	80	23.95	9.48			80	15.69	1.22	19.00
11:40	100	24.11	9.64			100	15.59	1.12	15.40
12:00	120	24.21	9.74			120	15.46	0.99	13.00
12:30	150	24.36	9.89			150	15.41	0.94	10.60
13:00	180	24.43	9.96			180	15.32	0.85	9.00
14:00	240	24.60	10.13	27.00	2.67	240	15.23	0.76	7.00
15:00	300	24.63	10.16			300	15.14	0.67	5.80
16:00	360	24.71	10.24			360	15.09	0.62	5.00
17:00	420	24.74	10.27			420	15.08	0.61	4.43
18:00	480	24.76	10.29			480	15.06	0.59	4.00
19:00	540	24.83	10.36	27.00	2.61	540	15.03	0.56	3.67
20:00	600	24.90	10.43			600	14.95	0.48	3.40
22:00	720	25.01	10.54			720	14.75	0.28	3.00
0:00	840	25.05	10.58						
2:00	960	25.07	10.60						
4:00	1080	25.09	10.62	27.00	2.54				
6:00	1200	25.10	10.63						
8:00	1320	25.11	10.64						
10:00	1440	25.11	10.64	27.00	2.54				

Gráficos e Parâmetros Hidráulicos

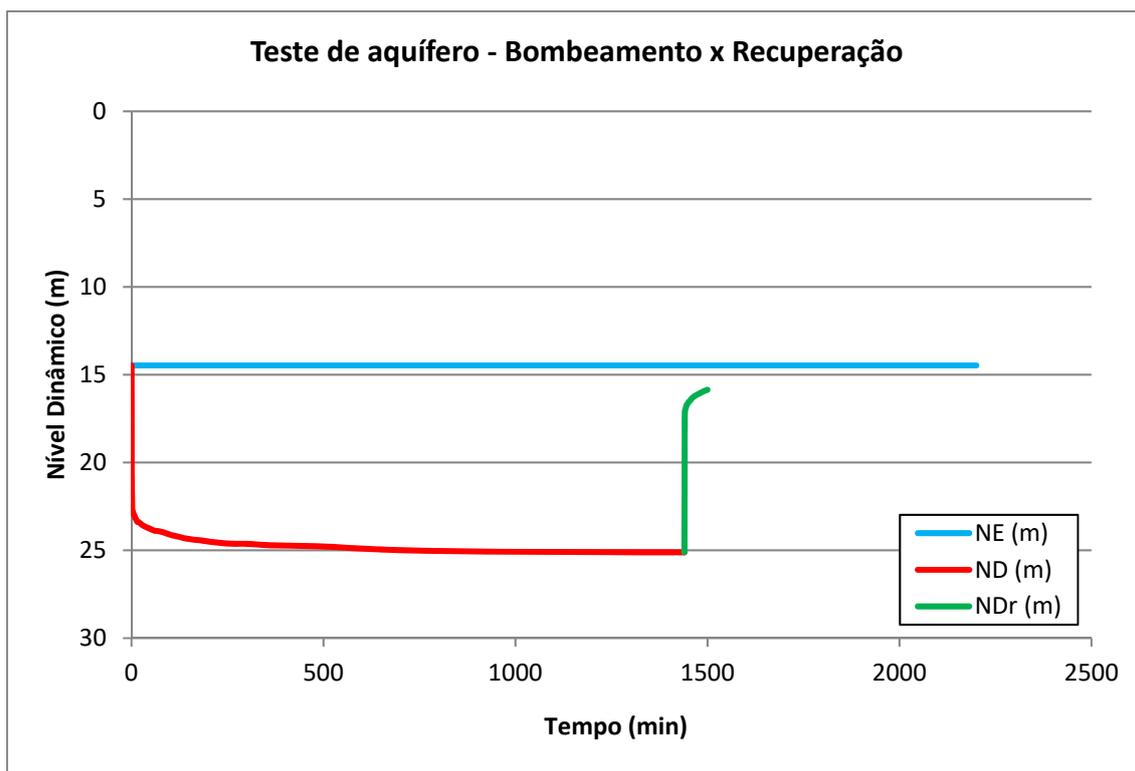
Curva de Rebaixamento do Poço Infraero – Belém PA



Curva de Recuperação do Poço Infraero – Belém PA



Evolução do nível dinâmico do poço Infraero nas duas fases



Parâmetros hidráulicos T, K, S no poço Infraero – Belém PA

Etapas	T			K		S
	m ² /s	m ² /min	m ² /h	m/s	m/h	
Bombeamento	1,46E-03	8,78E-02	5,27E+00	5,12E-06	1,84E-02	2,86E-03
Recuperação	1,27E-03	7,63E-02	4,58E+00	4,45E-06	1,60E-02	
Média	1,37E-03	8,20E-02	4,92E+00	4,79E-06	1,72E-02	2,86E-03

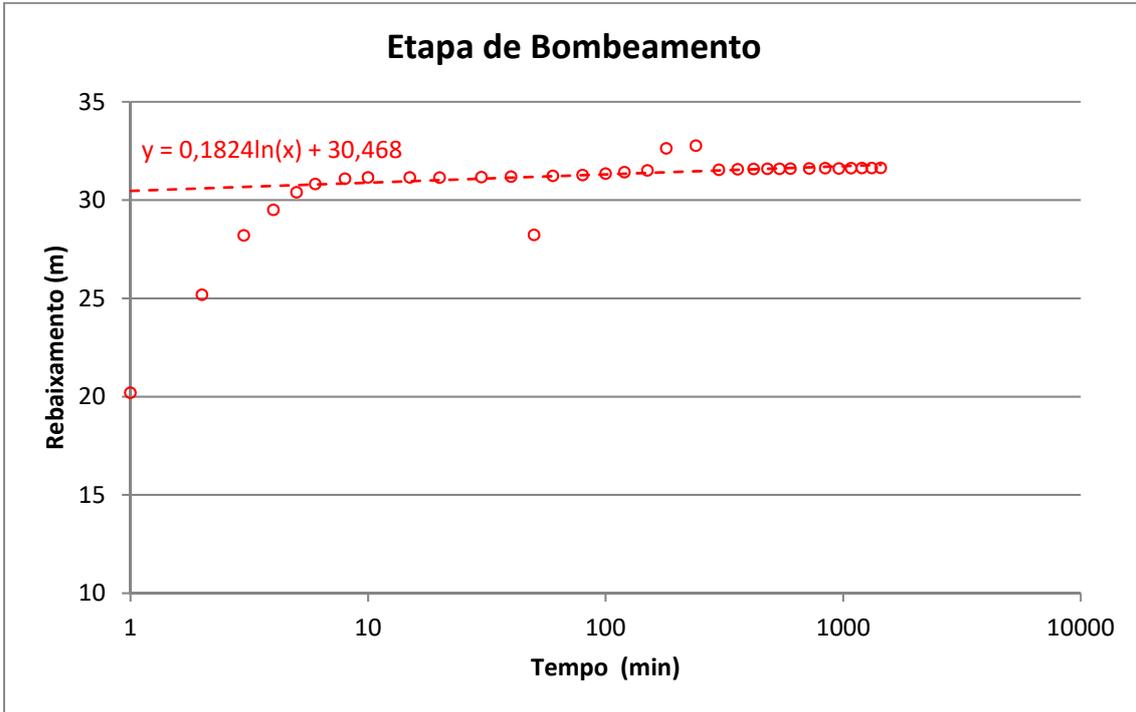
Nota: A avaliação aproximada do coeficiente S de armazenamento do aquífero no próprio poço bombeado é feita a 1 m de distância do mesmo, supondo que o seu raio é infinitamente pequeno (ou seja, supondo que o armazenamento no poço é desprezível).

4.1.13b - Poço UFPA

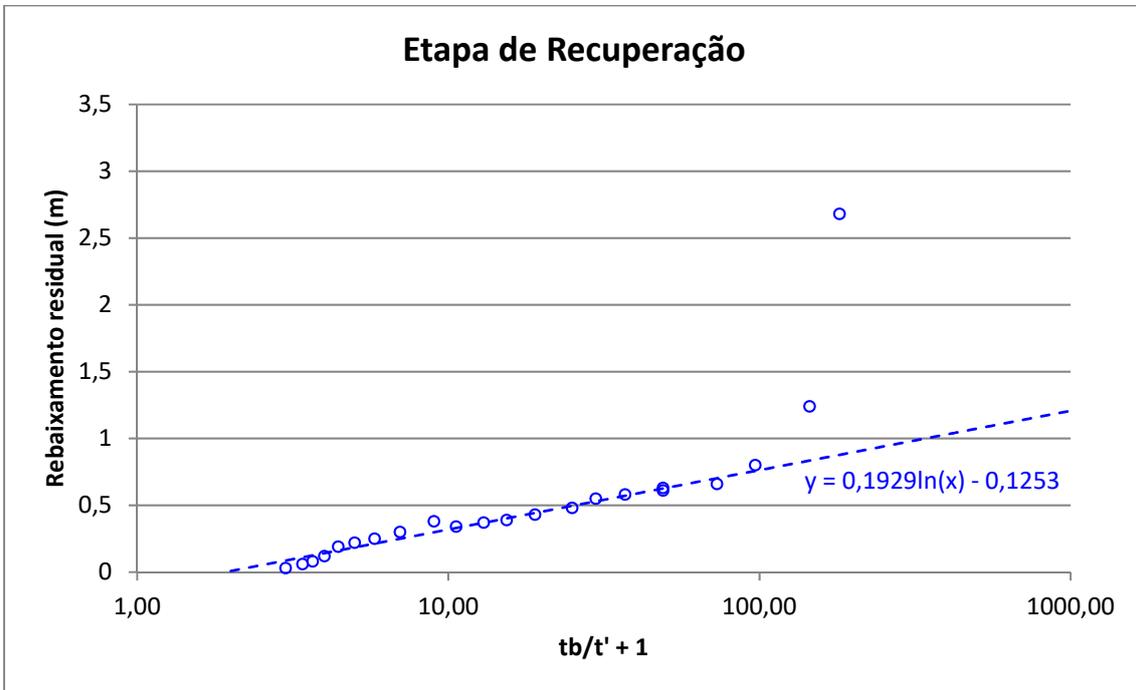
ENSAIO DE BOMBEAMENTO - Poço bombeado									
REFERÊNCIA DO POÇO: ID303 - PT-01			PROF.: 250,00 m			EQUIPAMENTO: B.Submersa			
MUNICÍPIO: BELÉM			N.E.: 8,30 m			AQÚÍFERO: Pirabas			
ESTADO: PARÁ			N.D.: 39,64 m			EMPRESA: COSTA			
LOCAL: CAMPUS DA UFPA			Crivo: 46,00 m			DATA INÍCIO: 3/8/2012 - 8:00 h			
PROPRIETÁRIO: UFPA			Raio do poço: 0,1 m			DATA TÉRMINO: 4/8 - 12:00 h			
GPS:	Long.W:	48° 27' 02,2"	Lat.S:	1° 28' 28,9"	ALTITUDE:	1,00 m			
REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO				
HORA	t (min)	N.D. (m)	s (m)	Q (m ³ /h)	Q/s (m ³ /h/m)	t'	N.D. (m)	s (m)	tb/t' + 1
8:01	1	28.50	20.20	100.00	4.95	1	30.90	22.60	1441.00
8:02	2	33.48	25.18			2	23.05	14.75	721.00
8:03	3	36.50	28.20			3	18.63	10.33	481.00
8:04	4	37.80	29.50	80.00	2.71	4	15.17	6.87	361.00
8:05	5	38.70	30.40			5	12.47	4.17	241.00
8:06	6	39.12	30.82			6	10.98	2.68	181.00
8:08	8	39.39	31.09			8	9.54	1.24	145.00
8:10	10	39.45	31.15	75.00	2.41	10	9.10	0.80	97.00
8:15	15	39.45	31.15			15	8.96	0.66	73.00
8:20	20	39.44	31.14			20	8.93	0.63	49.00
8:30	30	39.47	31.17	70.00	2.25	30	8.91	0.61	49.00
8:40	40	39.49	31.19			40	8.88	0.58	37.00
8:50	50	36.53	28.23			50	8.85	0.55	29.80
9:00	60	39.53	31.23	60.00	1.92	60	8.78	0.48	25.00
9:20	80	39.57	31.27			80	8.73	0.43	19.00
9:40	100	39.65	31.35			100	8.69	0.39	15.40
10:00	120	39.72	31.42			120	8.67	0.37	13.00
10:30	150	39.81	31.51	60.00	1.90	150	8.64	0.34	10.60
11:00	180	40.93	32.63			180	8.68	0.38	9.00
16:00	240	41.07	32.77			240	8.60	0.30	7.00
13:00	300	39.84	31.54			300	8.55	0.25	5.80
14:00	360	39.87	31.57	60.00	1.90	360	8.52	0.22	5.00
15:00	420	39.88	31.58			420	8.49	0.19	4.43
16:00	480	39.89	31.59			480	8.42	0.12	4.00
17:00	540	39.89	31.59			540	8.38	0.08	3.67
18:00	600	39.90	31.60	60.00	1.90	600	8.36	0.06	3.40
20:00	720	39.91	31.61			720	8.33	0.03	3.00
22:00	840	39.92	31.62						
0:00	960	39.91	31.61						
2:00	1080	39.92	31.62	60.00	1.90				
4:00	1200	39.93	31.63						
6:00	1320	39.93	31.63						
8:00	1440	39.94	31.64	60.00	1.90				

Gráficos e Parâmetros Hidráulicos

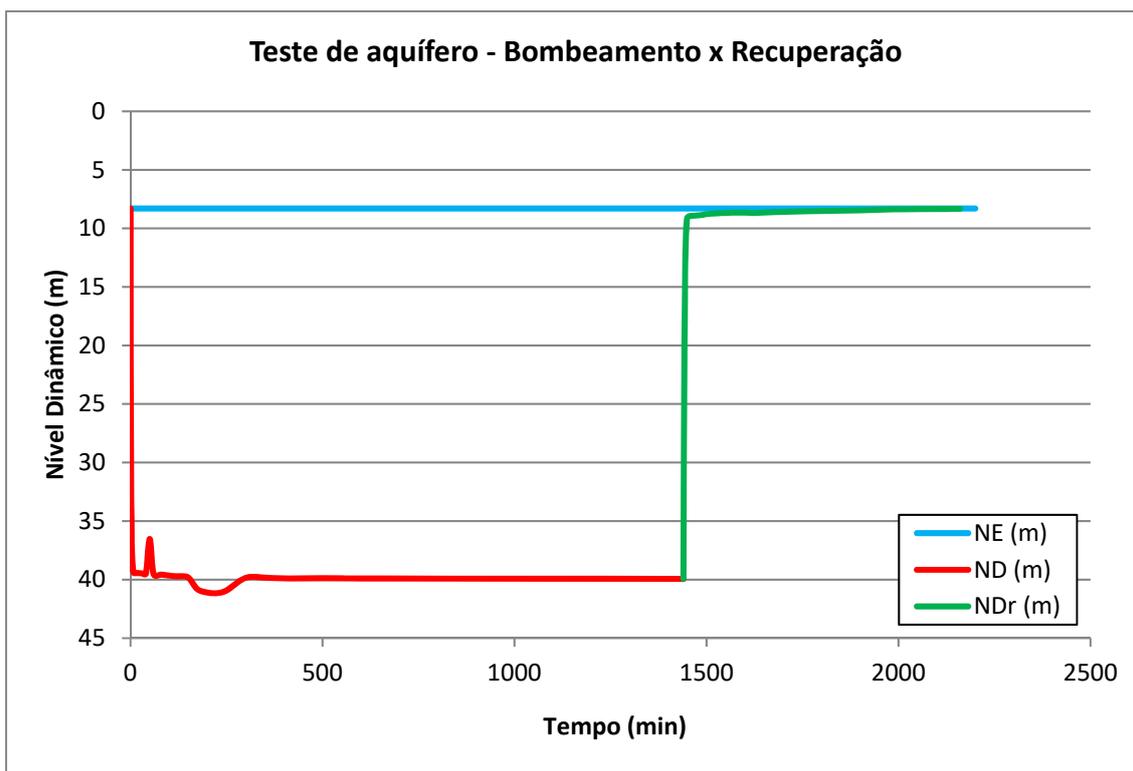
Curva de Rebaixamento do Poço UFPA – Belém PA



Curva de Recuperação do Poço UFPA – Belém PA



Evolução do nível dinâmico do poço UFPA nas duas fases



Parâmetros hidráulicos T, K, S no poço UFPA – Belém PA

Etapas	T			K		S
	m ² /s	m ² /min	m ² /h	m/s	m/h	
Rebaixamento	7,26E-03	4,36E-01	2,61E+01	2,49E-05	8,96E-02	1,55E-02
Recuperação	6,87E-03	4,12E-01	2,47E+01	2,35E-05	8,47E-02	
Média	7,06E-03	4,24E-01	2,54E+01	2,42E-05	8,72E-02	1,55E-02

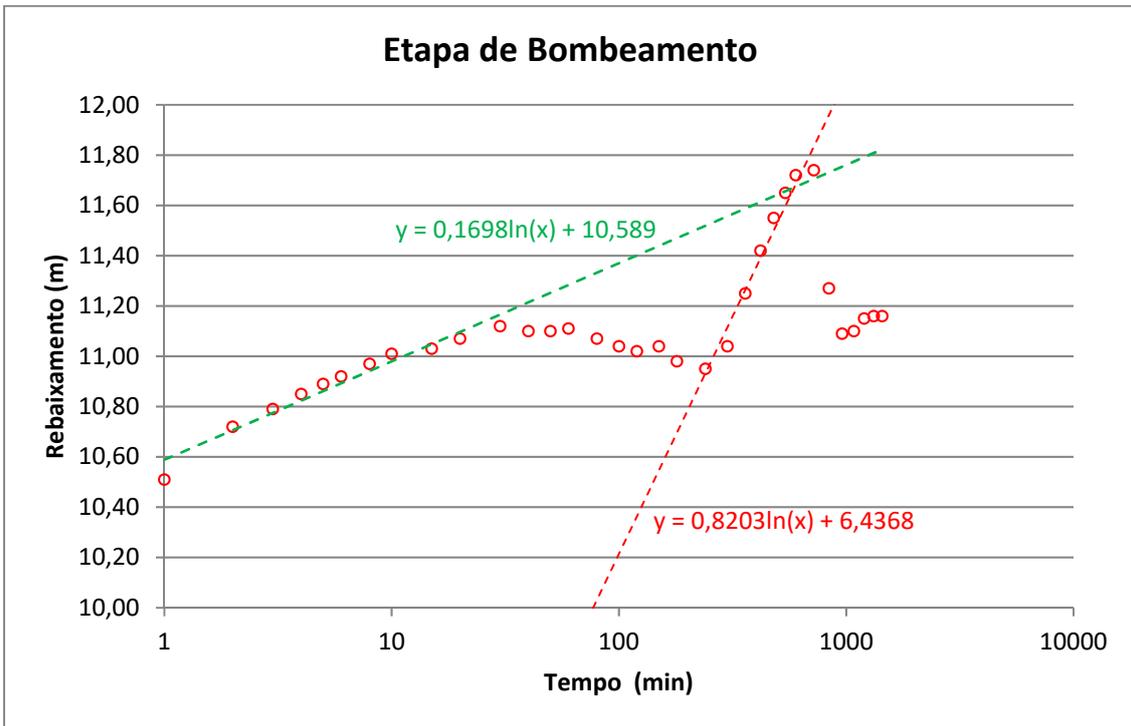
Nota: A avaliação aproximada do coeficiente S de armazenamento do aquífero no próprio poço bombeado é feita a 1 m de distância do mesmo, supondo que o seu raio é infinitamente pequeno (ou seja, supondo que o armazenamento no poço é desprezível).

4.1.13c – Poço 3 CERPA

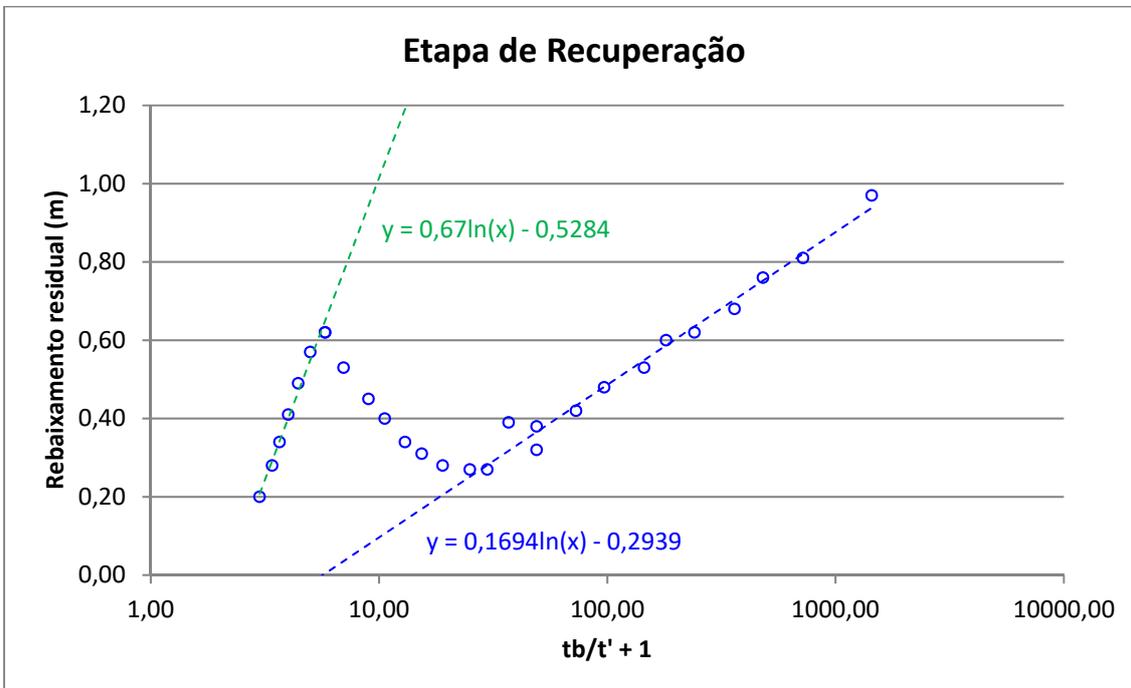
ENSAIO DE BOMBEAMENTO - Poço bombeado									
REFERÊNCIA DO POÇO: ID304 - Poço 3			PROF.: 304,00 m			EQUIPAMENTO: B.Submersa			
MUNICÍPIO: BELÉM			N.E.: 22,40 m			AQÜÍFERO: Pirabas			
ESTADO: PARÁ			N.D.: 33,56 m			EMPRESA: COSTA Consultoria			
LOCAL: PÁTIO DA FÁBRICA DE CERVEJA			Crivo: 42,00 m			DATA INÍCIO: 4/8/2012-9:30 h			
PROPRIETÁRIO: CERPA PARAENSE			Raio do poço: 0,1 m			DATA TÉRMINO: 5/8-21:30 h			
GPS:	Long.W	48° 28' 46,3"	Lat. S	01° 22' 04,1"	ALTITUDE	20 m			
REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO				
HORA	t (min)	N.D. (m)	s (m)	Q (m ³ /h)	Q/s (m ³ /h/m)	t' (min)	N.D. (m)	s (m)	tb/t' + 1
9:31	1	32.91	10.51	311.00		1	23.37	0.97	1441.00
9:32	2	33.12	10.72			2	23.21	0.81	721.00
9:33	3	33.19	10.79			3	23.16	0.76	481.00
9:34	4	33.25	10.85	302.00		4	23.08	0.68	361.00
9:35	5	33.29	10.89			5	23.02	0.62	241.00
9:36	6	33.32	10.92			6	23.00	0.60	181.00
9:38	8	33.37	10.97	295.80		8	22.93	0.53	145.00
9:40	10	33.41	11.01			10	22.88	0.48	97.00
9:45	15	33.43	11.03			15	22.82	0.42	73.00
9:50	20	33.47	11.07			20	22.78	0.38	49.00
10:00	30	33.52	11.12			30	22.72	0.32	49.00
10:10	40	33.50	11.10	295.80		40	22.79	0.39	37.00
10:20	50	33.50	11.10			50	22.67	0.27	29.80
10:30	60	33.51	11.11			60	22.67	0.27	25.00
10:50	80	33.47	11.07			80	22.68	0.28	19.00
11:10	100	33.44	11.04	295.80		100	22.71	0.31	15.40
11:30	120	33.42	11.02			120	22.74	0.34	13.00
12:00	150	33.44	11.04			150	22.80	0.40	10.60
12:30	180	33.38	10.98			180	22.85	0.45	9.00
13:30	240	33.35	10.95			240	22.93	0.53	7.00
14:30	300	33.44	11.04	295.80		300	23.02	0.62	5.80
15:30	360	33.65	11.25			360	22.97	0.57	5.00
16:30	420	33.82	11.42			420	22.89	0.49	4.43
17:30	480	33.95	11.55			480	22.81	0.41	4.00
18:30	540	34.05	11.65			540	22.74	0.34	3.67
19:30	600	34.12	11.72	295.80		600	22.68	0.28	3.40
21:30	720	34.14	11.74			720	22.60	0.20	3.00
23:30	840	33.67	11.27						
1:30	960	33.49	11.09						
3:30	1080	33.50	11.10						
5:30	1200	33.55	11.15						
7:30	1320	33.56	11.16						
9:30	1440	33.56	11.16	295.80					

Gráficos e Parâmetros Hidráulicos

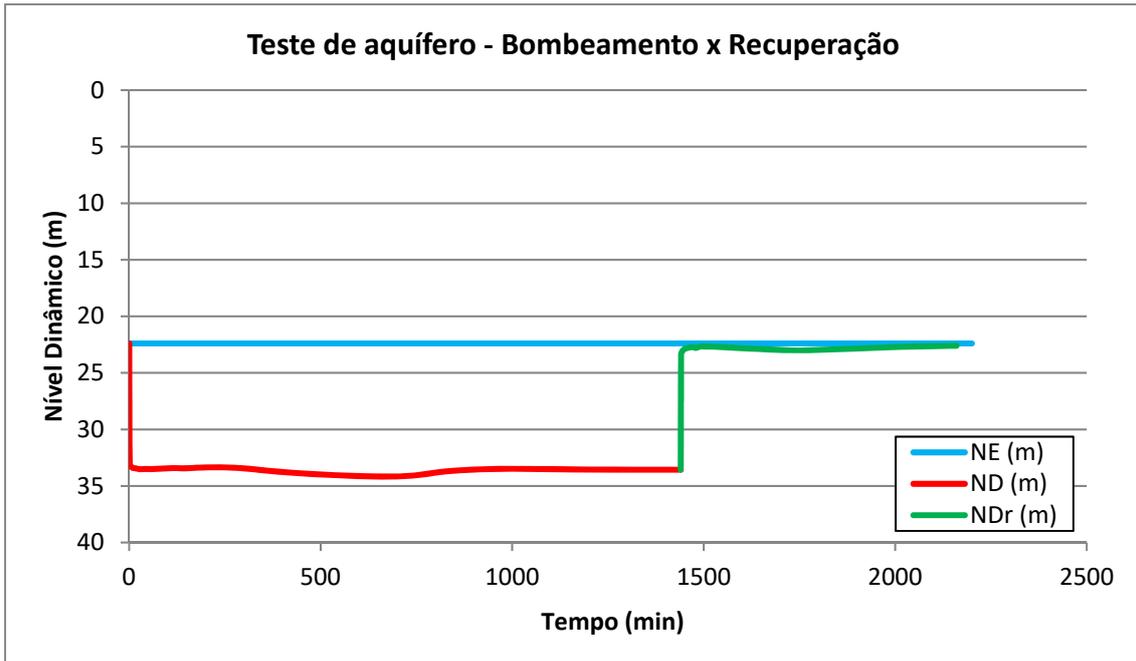
Curva de Rebaixamento do Poço 3 CERPA – Belém PA



Curva de Recuperação do Poço 3 CERPA – Belém PA



Evolução do nível dinâmico do poço 3 CERPA nas duas fases



Parâmetros hidráulicos T, K, S no poço 3 CERPA – Belém PA

Etapas	T			K		S
	m ² /s	m ² /min	m ² /h	m/s	m/h	
Bombeamento	7,96E-03	4,78E-01	2,87E+01	2,83E-05	1,02E-01	4,20E-04
Recuperação	2,41E-02	1,45E+00	8,69E+01	8,58E-05	3,09E-01	
Recuperação 2	1,88E-02	1,13E+00	6,75E+01	6,66E-05	2,40E-01	
Média	1,70E-02	1,02E+00	6,10E+01	6,02E-05	2,17E-01	4,20E-04

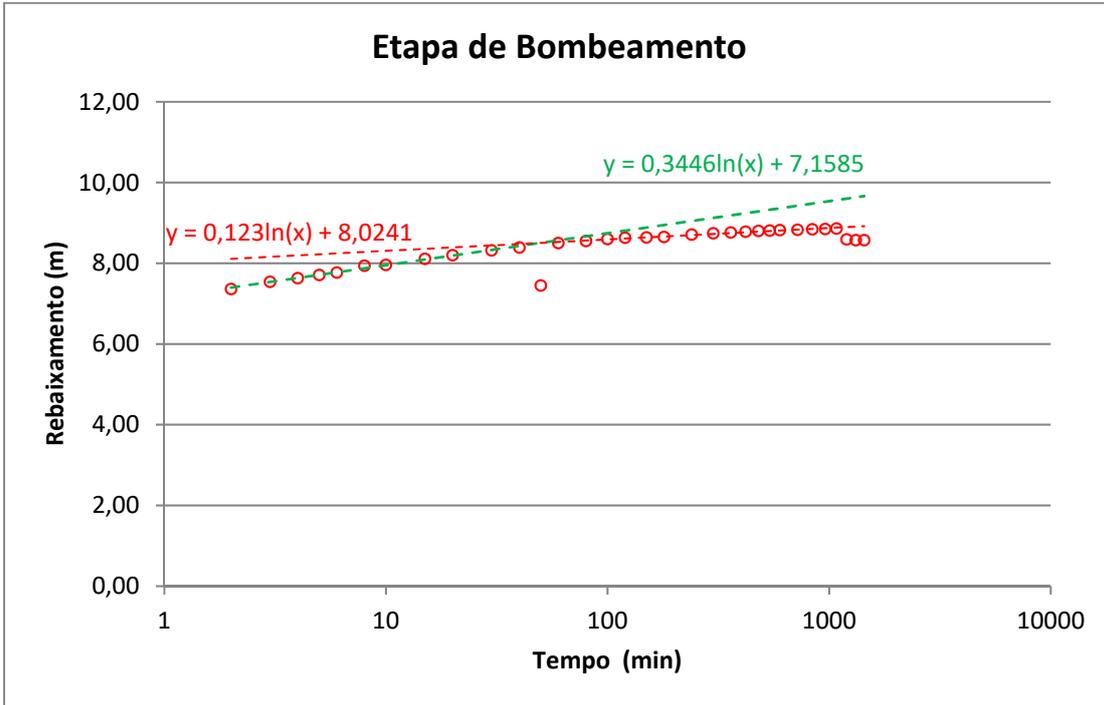
Nota: A avaliação aproximada do coeficiente S de armazenamento do aquífero no próprio poço bombeado é feita a 1 m de distância do mesmo, supondo que o seu raio é infinitamente pequeno (ou seja, supondo que o armazenamento no poço é desprezível).

4.1.13d – Poço COSANPA Cidade Nova 2

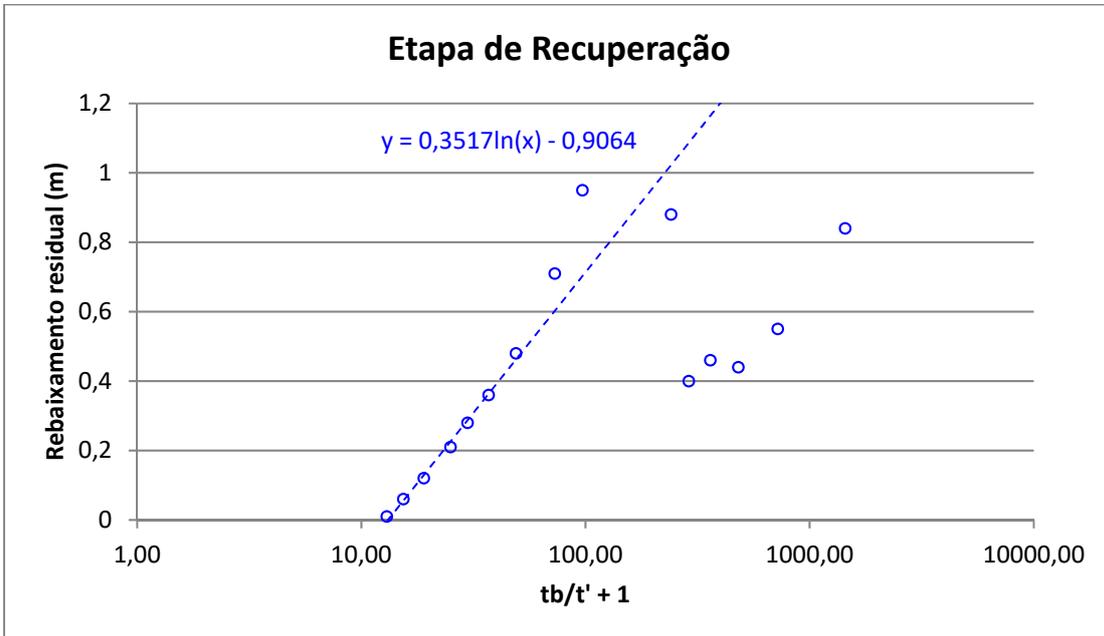
ENSAIO DE BOMBEAMENTO - Poço bombeado									
REFERÊNCIA DO POÇO: ID24 - Poço 14			PROF.: 270,00 m			EQUIPAMENTO: B.Submersa			
MUNICÍPIO: BELÉM			N.E.: 36,13 m			AQUÍFERO: Pirabas			
ESTADO: PARÁ			N.D.: 44,70 m			EMPRESA: COSTA Consultoria			
LOCAL: CIDADE NOVA 2			Crivo: m			DATA INÍCIO: 8/8/2012-11:00h			
PROPRIETÁRIO: COSANPA			Raio do poço: 0,1 m			DATA TÉRMINO: 9/8 - 13:00 h			
GPS:	Long. W	48° 24' 32,7"	Lat. S	01° 22' 09,7"	ALTITUDE:	21 m			
REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO				
HORA	t (min)	N.D. (m)	s (m)	Q (m ³ /h)	Q/s (m ³ /h/m)	t'	N.D. (m)	s (m)	tb/t' + 1
11:01	1					1	36.97	0.84	1441.00
11:02	2	43.49	7.360	195.00	26.49	2	36.68	0.55	721.00
11:03	3	43.67	7.540			3	36.57	0.44	481.00
11:04	4	43.76	7.630			4	36.59	0.46	361.00
11:05	5	43.84	7.710			5	36.53	0.40	289.00
11:06	6	43.9	7.770	190.00	24.45	6	37.01	0.88	241.00
11:08	8	44.07	7.940			8	37.35	1.22	181.00
11:10	10	44.09	7.960			10	37.53	1.40	145.00
11:15	15	44.24	8.110	185.00	22.81	15	37.08	0.95	97.00
11:20	20	44.33	8.200			20	36.84	0.71	73.00
11:30	30	44.45	8.320			30	36.61	0.48	49.00
11:40	40	44.52	8.390			40	36.49	0.36	37.00
11:50	50	43.58	7.450			50	36.41	0.28	29.80
12:00	60	44.63	8.500			60	36.34	0.21	25.00
12:20	80	44.68	8.550	185.00	21.64	80	36.25	0.12	19.00
12:40	100	44.73	8.600			100	36.19	0.06	15.40
13:00	120	44.76	8.630			120	36.14	0.01	13.00
13:30	150	44.77	8.640			150			
14:00	180	44.78	8.650			180			
15:00	240	44.84	8.710	185.00	21.24	240			
16:00	300	44.87	8.740			300			
17:00	360	44.89	8.760			360			
18:00	420	44.91	8.780			420			
19:00	480	44.93	8.800			480			
20:00	540	44.94	8.810			540			
21:00	600	44.95	8.820	185.00	20.98	600			
23:00	720	44.96	8.830			720			
1:00	840	44.97	8.840						
3:00	960	44.98	8.850						
5:00	1080	44.99	8.860						
7:00	1200	44.72	8.590						
9:00	1320	44.70	8.570						
11:00	1440	44.70	8.570	185.00	21.59				

Gráficos e Parâmetros Hidráulicoís

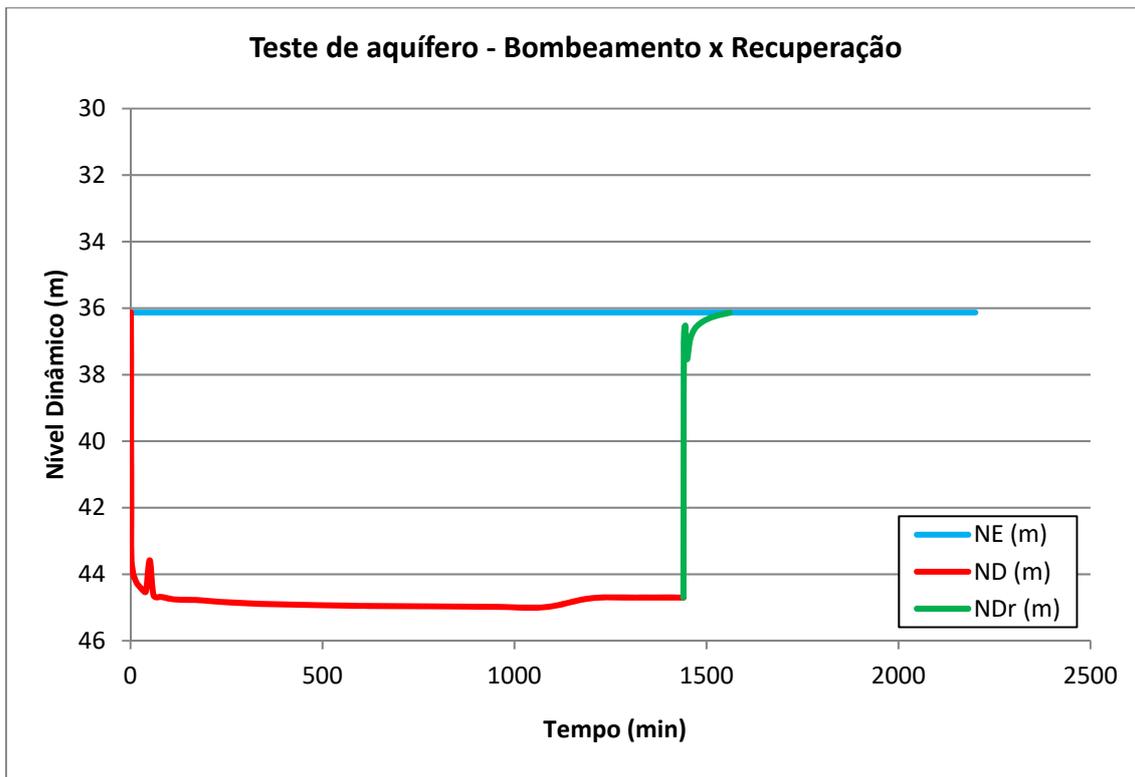
Curva de Rebaixamento do Poço COSANPA Cidade Nova 2 – Belém PA



Curva de Recuperação do Poço COSANPA Cidade Nova 2 – Belém PA



Evolução do nível dinâmico do poço COSANPA Cidade Nova 2 nas duas fases



Parâmetros hidráulicos T, K, S no poço COSANPA Cidade Nova 2 – Belém PA

Etapas	T			K		S
	m ² /s	m ² /min	m ² /h	m/s	m/h	
Bombeamento 1	1,19E-02	7,11E-01	4,27E+01	4,49E-05	1,62E-01	2,61E-02
Recuperação 1	1,16E-02	6,97E-01	4,18E+01	4,40E-05	1,58E-01	
Média Geral	1,17E-02	7,04E-01	4,22E+01	4,45E-05	1,60E-01	

Nota: A avaliação aproximada do coeficiente S de armazenamento do aquífero no próprio poço bombeado é feita a 1 m de distância do mesmo, supondo que o seu raio é infinitamente pequeno (ou seja, supondo que o armazenamento no poço é desprezível).

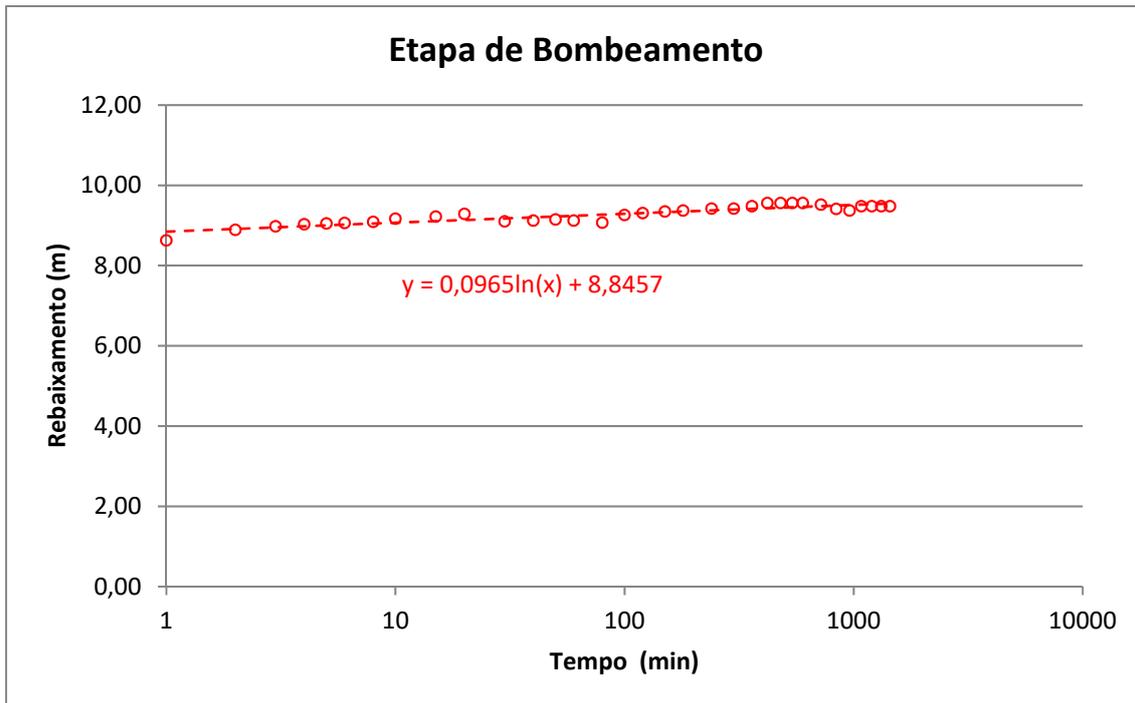
4.1.14 – Aquífero Tucunaré em Macapá

4.1.14a - Poço CAESA 1

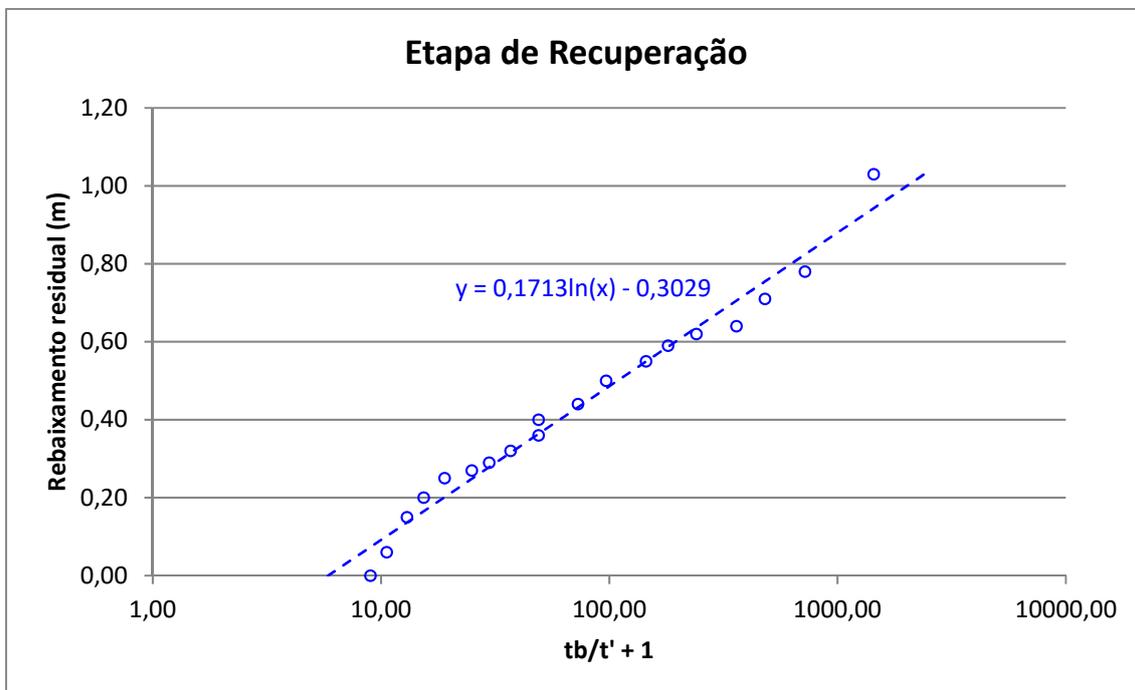
ENSAIO DE BOMBEAMENTO - Poço bombeado									
REFERÊNCIA DO POÇO: ID299 - CAESA 1		PROF.: 160,00 m		EQUIPAMENTO: B.Submersa					
MUNICÍPIO: MACAPÁ		N.E.: 11,44 m		AQUÍFERO: Barreiras					
ESTADO: AMAPÁ		N.D.: 20,92 m		EMPRESA: COSTA Consultoria					
LOCAL: SEDE DA CAESA		Crivo: 40,00 m		DATA INÍCIO: 24/7/2012-17:00h					
PROPRIETÁRIO: CAESA		Raio do poço: 0,1 m		DATA TÉRMINO: 25/07- 20:00h					
GPS:	Long. W	51°03'15,8"	Lat. S	0°01'58,2"	Altitude	10 m			
REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO				
HORA	t (min)	N.D. (m)	s (m)	Q (m ³ /h)	Q/s (m ³ /h/m)	t'	N.D. (m)	s (m)	tb/t' + 1
17:01	1	20.07	8.63	85.00	9.85	1	12.47	1.03	1441.00
17:02	2	20.33	8.89			2	12.22	0.78	721.00
17:03	3	20.42	8.98			3	12.15	0.71	481.00
17:04	4	20.47	9.03			4	12.08	0.64	361.00
17:05	5	20.49	9.05	80.00	8.84	5	12.06	0.62	241.00
17:06	6	20.50	9.06			6	12.03	0.59	181.00
17:08	8	20.53	9.09			8	11.99	0.55	145.00
17:10	10	20.61	9.17			10	11.94	0.50	97.00
17:15	15	20.66	9.22			15	11.88	0.44	73.00
17:20	20	20.73	9.29	75.00	8.07	20	11.84	0.40	49.00
17:30	30	20.54	9.10			30	11.80	0.36	49.00
17:40	40	20.56	9.12			40	11.76	0.32	37.00
17:50	50	20.59	9.15			50	11.73	0.29	29.80
18:00	60	20.56	9.12			60	11.71	0.27	25.00
18:20	80	20.51	9.07	75.00	8.27	80	11.69	0.25	19.00
18:40	100	20.70	9.26			100	11.64	0.20	15.40
19:00	120	20.75	9.31			120	11.59	0.15	13.00
19:30	150	20.79	9.35			150	11.50	0.06	10.60
20:00	180	20.81	9.37			180	11.44	0.00	9.00
21:00	240	20.86	9.42	75.00	7.96	240			
22:00	300	20.86	9.42			300			
23:00	360	20.92	9.48			360			
0:00	420	21.00	9.56			420			
1:00	480	21.00	9.56	75.00	7.85	480			
2:00	540	21.00	9.56			540			
3:00	600	21.00	9.56			600			
5:00	720	20.96	9.52			720			
7:00	840	20.85	9.41						
9:00	960	20.81	9.37	75.00	8.00				
11:00	1080	20.92	9.48						
13:00	1200	20.92	9.48						
15:00	1320	20.92	9.48						
17:00	1440	20.92	9.48	75.00	7.91				

Gráficos e Parâmetros Hidráulicos

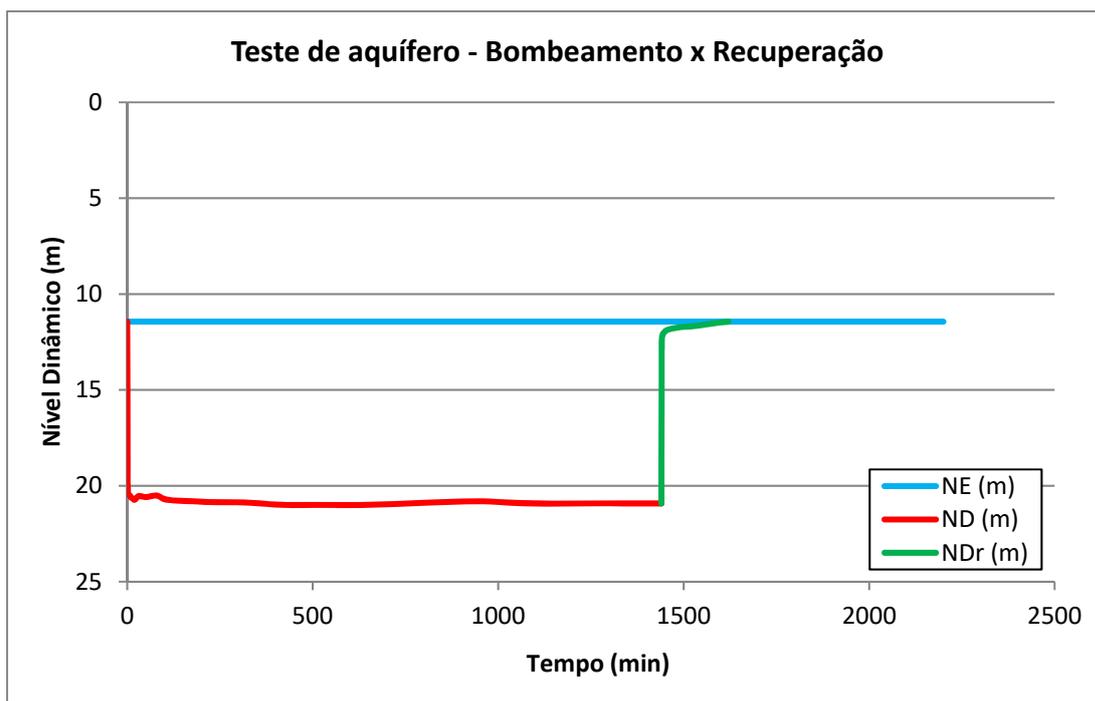
Curva de Rebaixamento do Poço CAESA 1 – Macapá



Curva de Recuperação do Poço CAESA 1 – Macapá



Evolução do nível dinâmico do poço CAESA 1 nas duas fases



Parâmetros hidráulicos T, K, S no poço CAESA-1 - Macapá - AP

Etapas	T			K		S
	m ² /s	m ² /min	m ² /h	m/s	m/h	
Bombeamento	1,72E-02	1,03E+00	6,18E+01	9,10E-05	3,28E-01	2,17E-02
Recuperação	9,67E-03	5,80E-01	3,48E+01	5,13E-05	1,85E-01	
Média	1,34E-02	8,05E-01	4,83E+01	7,11E-05	2,56E-01	

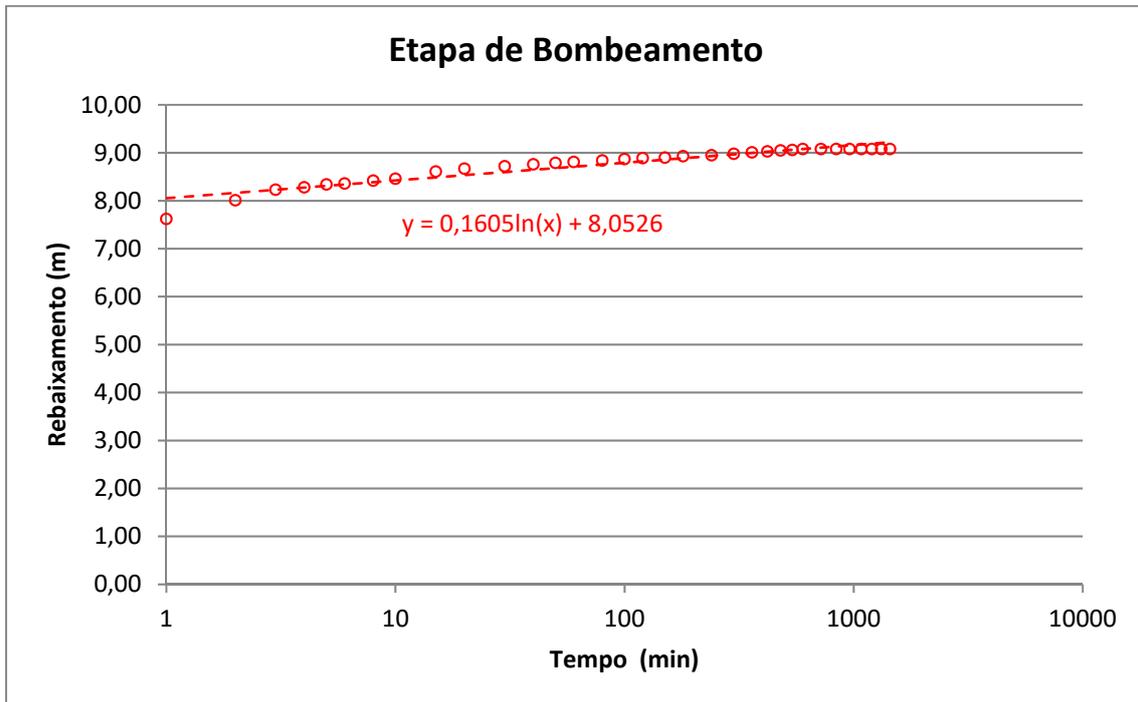
Nota: A avaliação aproximada do coeficiente S de armazenamento do aquífero no próprio poço bombeado é feita a 1 m de distância do mesmo, supondo que o seu raio é infinitamente pequeno (ou seja, supondo que o armazenamento no poço é desprezível).

4.1.14b - Poço CAESA 2

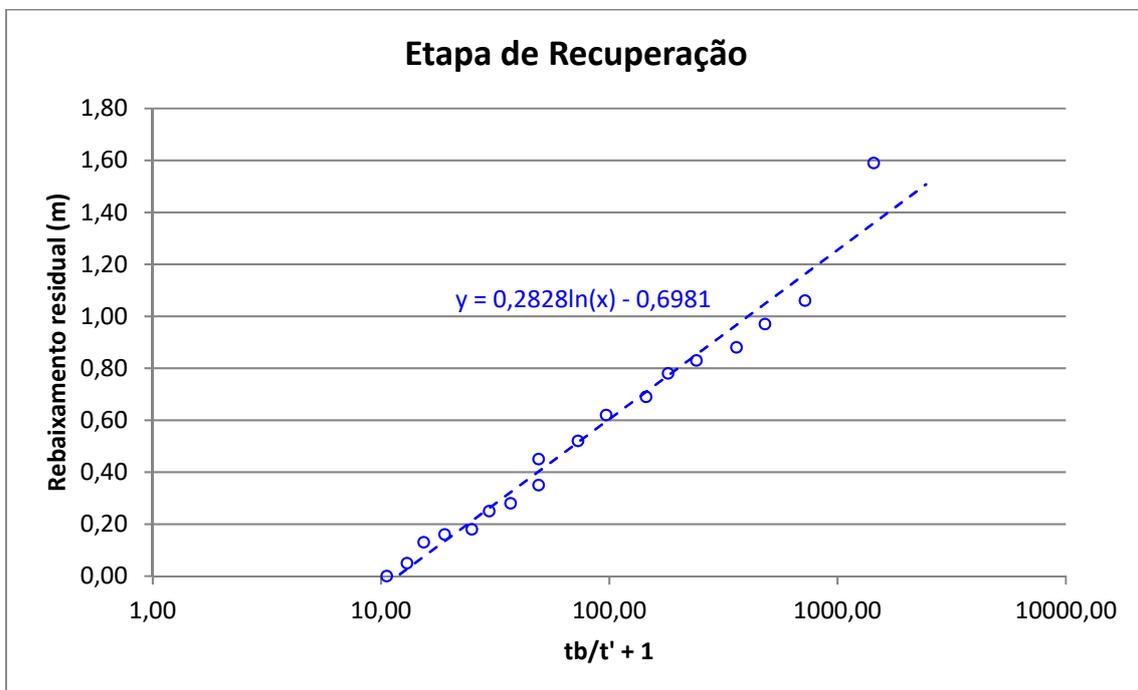
ENSAIO DE BOMBEAMENTO - Poço bombeado									
REFERÊNCIA DO POÇO: ID300 -CAESA 2			PROF.: 158,00 m			EQUIPAMENTO: B.Submersa			
MUNICÍPIO: MACAPÁ			N.E.: 13,26 m			AQUÍFERO: Barreiras			
ESTADO: AMAPÁ			N.D.: 22,34 m			EMPRESA: COSTA Consultoria			
LOCAL: CONGÓS			Crivo: 42,00 m			DATA INÍCIO: 3/8/2012-17:00h			
PROPRIETÁRIO: CAESA			Raio do poço: 0,1 m			DATA TÉRMINO: 4/8/- 24:00 h			
GPS:	Longitude	51°04'36,15	Latitude	0°02'4,2"	ALTITUDE:	13 m			
REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO				
HORA	t (min)	N.D. (m)	s (m)	Q (m ³ /h)	Q/s (m ³ /h/m)	t' (min)	N.D. (m)	s (m)	tb/t' + 1
14:01	1	20.88	7.62	255.00	33.46	1	14.85	1.59	1441.00
14:02	2	21.27	8.01			2	14.32	1.06	721.00
14:03	3	21.49	8.23			3	14.23	0.97	481.00
14:04	4	21.54	8.28			4	14.14	0.88	361.00
14:05	5	21.60	8.34	250.00	29.98	5	14.09	0.83	241.00
14:06	6	21.62	8.36			6	14.04	0.78	181.00
14:08	8	21.68	8.42			8	13.95	0.69	145.00
14:10	10	21.72	8.46			10	13.88	0.62	97.00
14:15	15	21.87	8.61			15	13.78	0.52	73.00
14:20	20	21.93	8.67			20	13.71	0.45	49.00
14:30	30	21.98	8.72	245.00	28.10	30	13.61	0.35	49.00
14:40	40	22.02	8.76			40	13.54	0.28	37.00
14:50	50	22.05	8.79			50	13.51	0.25	29.80
15:00	60	22.07	8.81			60	13.44	0.18	25.00
15:20	80	22.10	8.84			80	13.42	0.16	19.00
15:40	100	22.13	8.87	240.00	27.06	100	13.39	0.13	15.40
16:00	120	22.15	8.89			120	13.31	0.05	13.00
16:30	150	22.16	8.90			150	13.26	0.00	10.60
17:00	180	22.19	8.93			180			
18:00	240	22.21	8.95			240			
19:00	300	22.24	8.98	240.00	26.73	300			
20:00	360	22.27	9.01			360			
21:00	420	22.29	9.03			420			
22:00	480	22.31	9.05			480			
23:00	540	22.32	9.06			540			
0:00	600	22.34	9.08	240.00	26.43	600			
2:00	720	22.34	9.08			720			
4:00	840	22.34	9.08						
6:00	960	22.34	9.08						
8:00	1080	22.34	9.08						
10:00	1200	22.34	9.08						
12:00	1320	22.34	9.08						
14:00	1440	22.34	9.08	240.00	26.43				

Gráficos e Parâmetros Hidráulicos

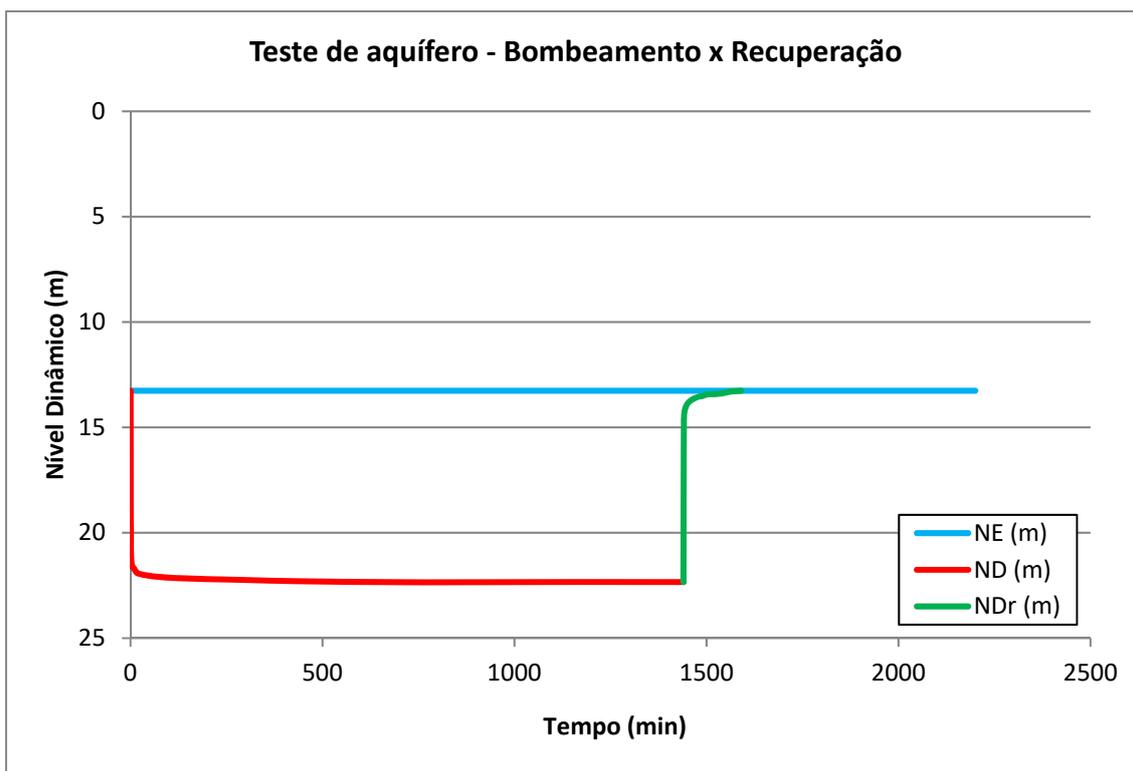
Curva de Rebaixamento do Poço CAESA 2 – Macapá-AP



Curva de Recuperação do Poço CAESA 2 – Macapá - AP



Evolução do nível dinâmico do poço CAESA 2 nas duas fases



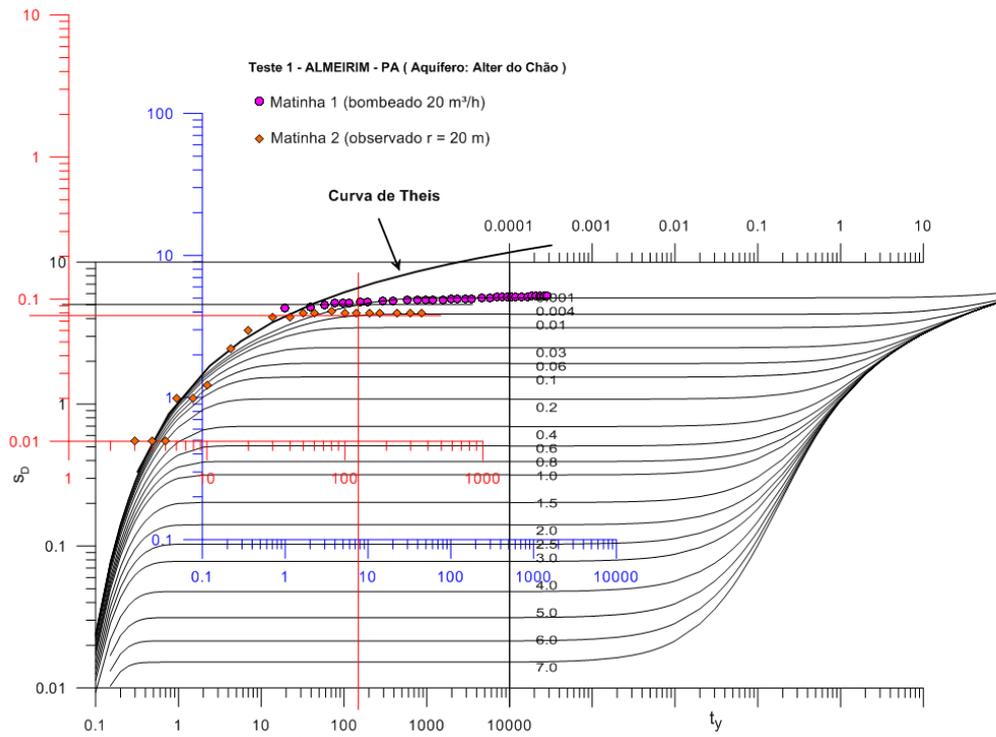
Parâmetros hidráulicos T, K, S no poço CAESA-2 - Macapá - AP

Etapas	T			K		S
	m ² /s	m ² /min	m ² /h	m/s	m/h	
Bombeamento	3,30E-02	1,98E+00	1,19E+02	1,77E-04	6,36E-01	4,22E-02
Recuperação	1,87E-02	1,12E+00	6,74E+01	1,00E-04	3,61E-01	
Média	2,59E-02	1,55E+00	9,31E+01	1,39E-04	4,99E-01	

Nota: A avaliação aproximada do coeficiente S de armazenamento do aquífero no próprio poço bombeado é feita a 1 m de distância do mesmo, supondo que o seu raio é infinitamente pequeno (ou seja, supondo que o armazenamento no poço é desprezível).

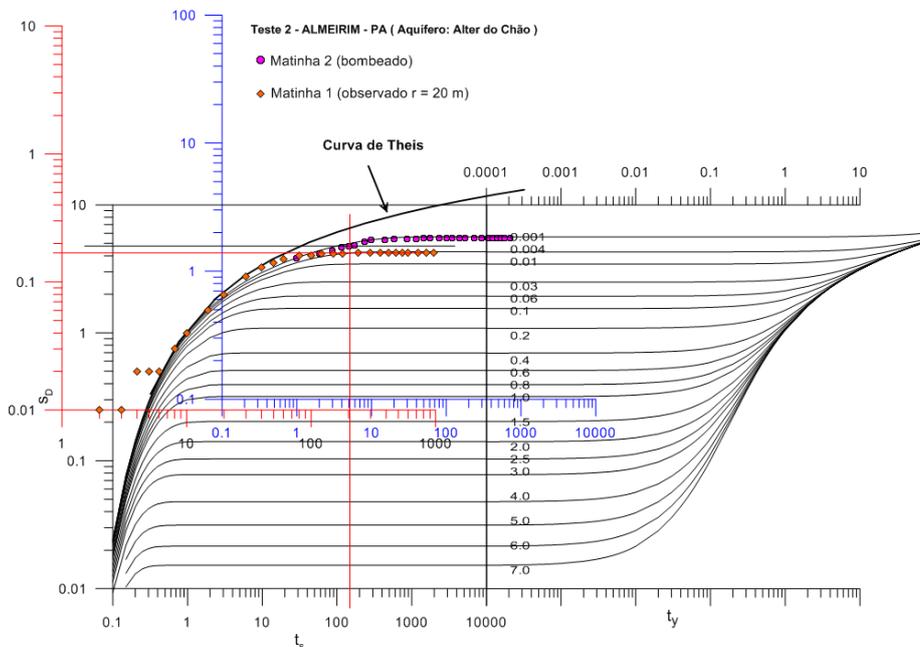
4.2 – Gráficos de ajuste das curvas de campo às curvas padrão para o cálculo dos parâmetros hidráulicos dos 30 testes realizados no âmbito do Projeto ANA-PHA, pelo método de Neuman (1975).

TESTE 1 – Matinha 1 – Almeirim - PA



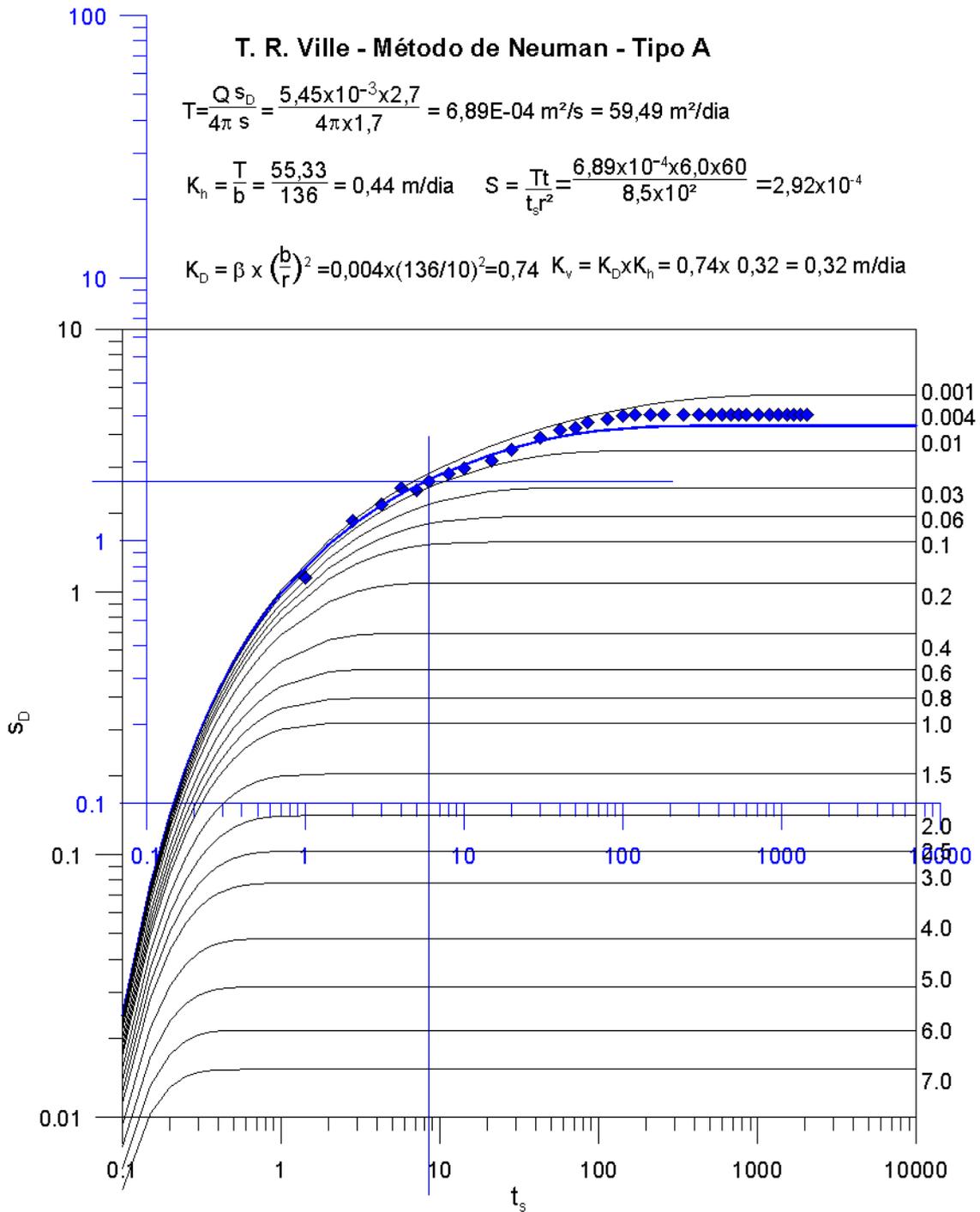
Anexo 4.2.1a – Ajuste da curva tipo A de Neuman (1975) do teste 1, no poço Matinha 1 (bombeado) e do poço Matinha 2, observado a 20 m de distância em Almeirim - PA.

TESTE 2 – Matinha 2 –Almeirim – PA



Anexo 4.2.2a – Ajuste da curva tipo A de Neuman (1975) do teste 2, no poço Matinha 2 (bombeado) e do poço Matinha 1, observado a 20 m de distância em Almeirim - PA.

TESTE 3 – T.R. Ville – Cidade Piloto Santarém – PA



Anexo 4.2.3a – Ajuste da curva tipo A de Neuman (1975) do teste 3, no poço bombeado ST082, em Santarém – PA.

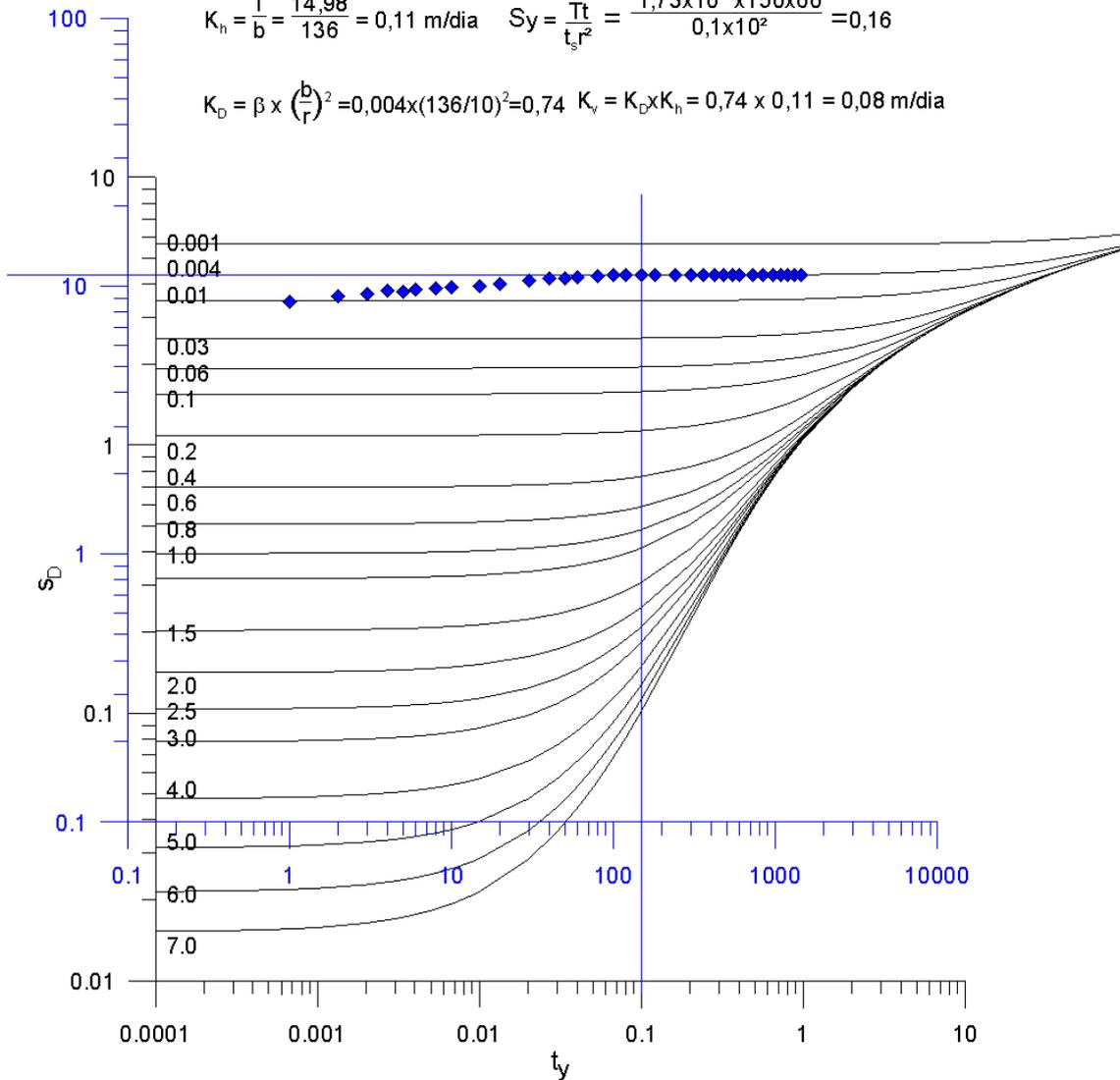
TESTE 3 – T.R. Ville – Cidade Piloto Santarém – PA (continuação)

T. R. Ville - Método de Neuman - Tipo B

$$T = \frac{Q s_D}{4\pi s} = \frac{5,45 \times 10^{-3} \times 4,2}{4\pi \times 10,5} = 1,73 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s} = 14,98 \text{ m}^2/\text{dia}$$

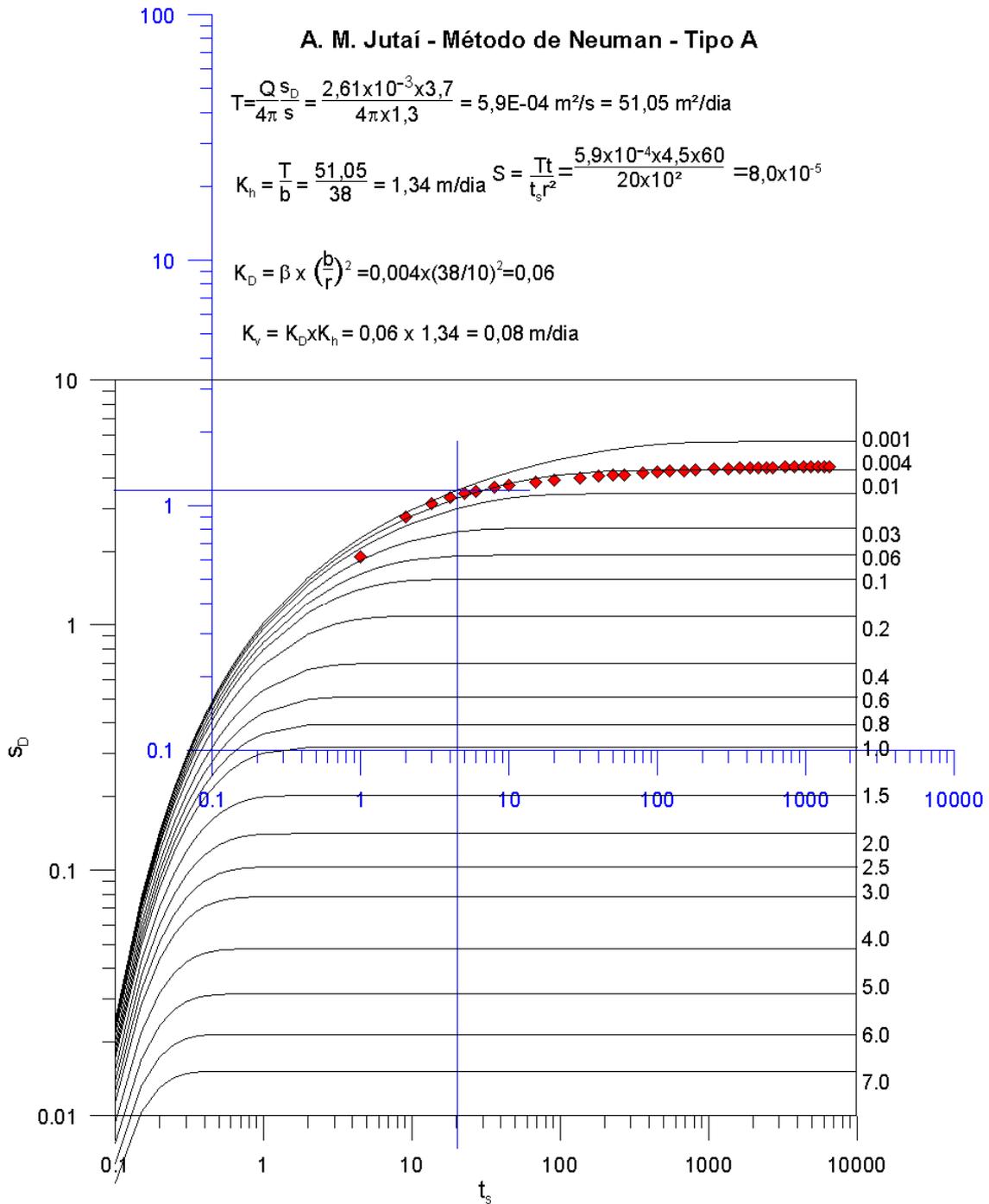
$$K_h = \frac{T}{b} = \frac{14,98}{136} = 0,11 \text{ m/dia} \quad S_y = \frac{Tt}{t_s r^2} = \frac{1,73 \times 10^{-4} \times 150 \times 60}{0,1 \times 10^2} = 0,16$$

$$K_D = \beta \times \left(\frac{b}{r}\right)^2 = 0,004 \times (136/10)^2 = 0,74 \quad K_v = K_D \times K_h = 0,74 \times 0,11 = 0,08 \text{ m/dia}$$



Anexo 4.2.3b – Ajuste da curva tipo B de Neuman (1975) do teste 3, no poço bombeado ST082, em Santarém – PA.

TESTE 4 – A.M. Jutáí – Cidade Piloto Santarém - PA



Anexo 4.2.4a – Ajuste da curva tipo A de Neuman (1975) do teste 4, no poço bombeado ST047, em Santarém – PA.

TESTE 4 – A.M. Jutai – Cidade Piloto Santarém – PA (continuação)

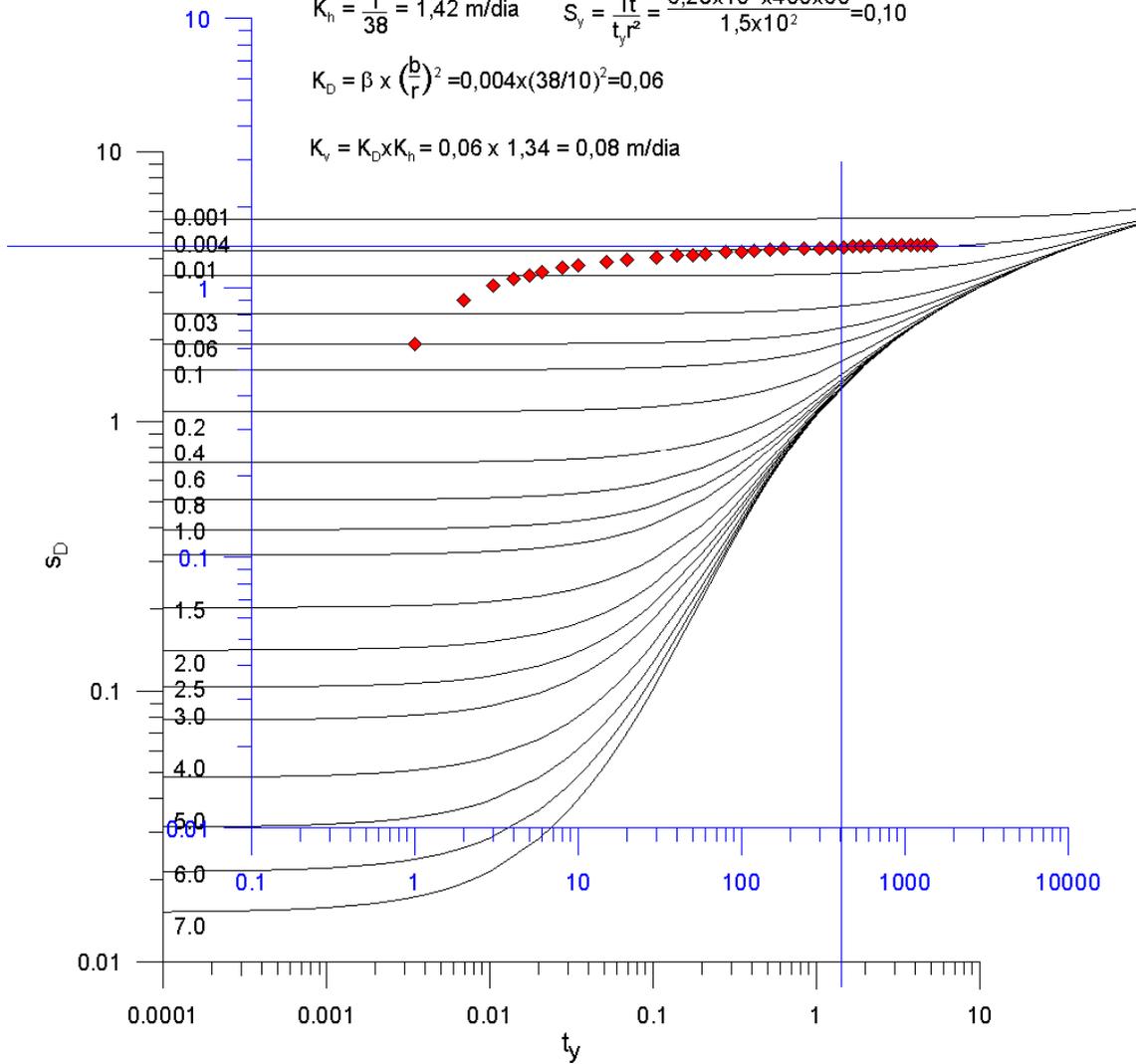
A.M. Jutai - Método de Neuman - Tipo B

$$T = \frac{Q S_D}{4\pi s} = \frac{2,61 \times 10^{-3} \times 4,5}{4\pi \times 1,5} = 6,231 \text{E-}04 \text{ m}^2/\text{s} = 53,84 \text{ m}^2/\text{dia}$$

$$K_h = \frac{T}{38} = 1,42 \text{ m/dia} \quad S_y = \frac{Tt}{t_y r^2} = \frac{6,23 \times 10^{-4} \times 400 \times 60}{1,5 \times 10^2} = 0,10$$

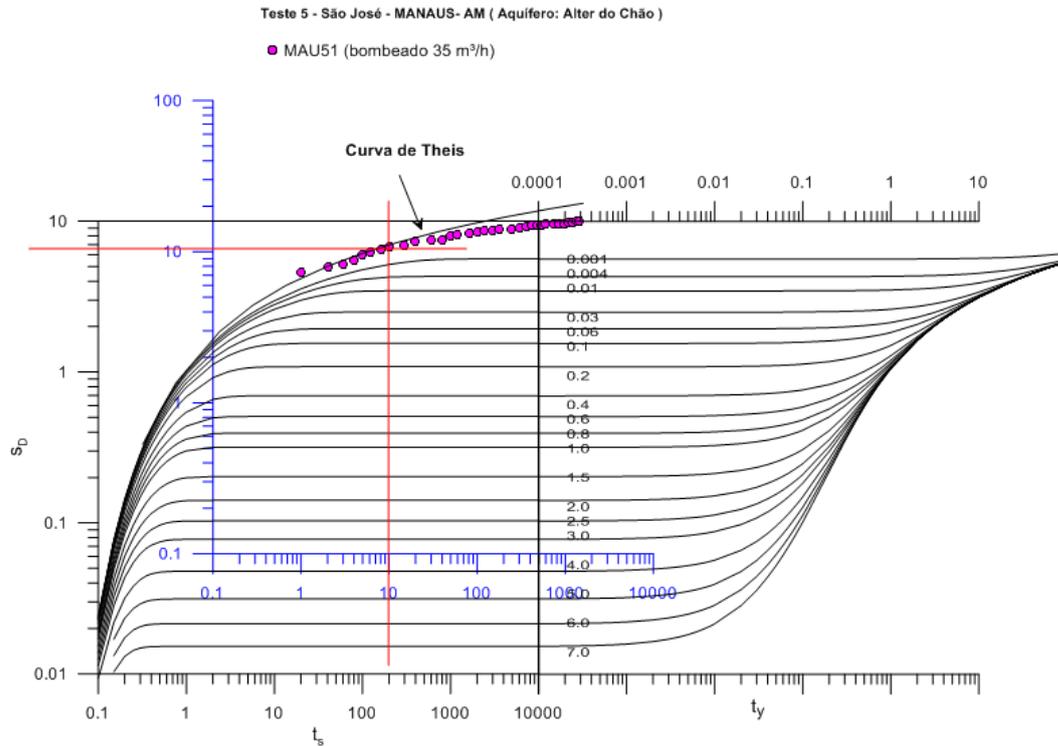
$$K_D = \beta \times \left(\frac{b}{r}\right)^2 = 0,004 \times (38/10)^2 = 0,06$$

$$K_v = K_D \times K_h = 0,06 \times 1,34 = 0,08 \text{ m/dia}$$



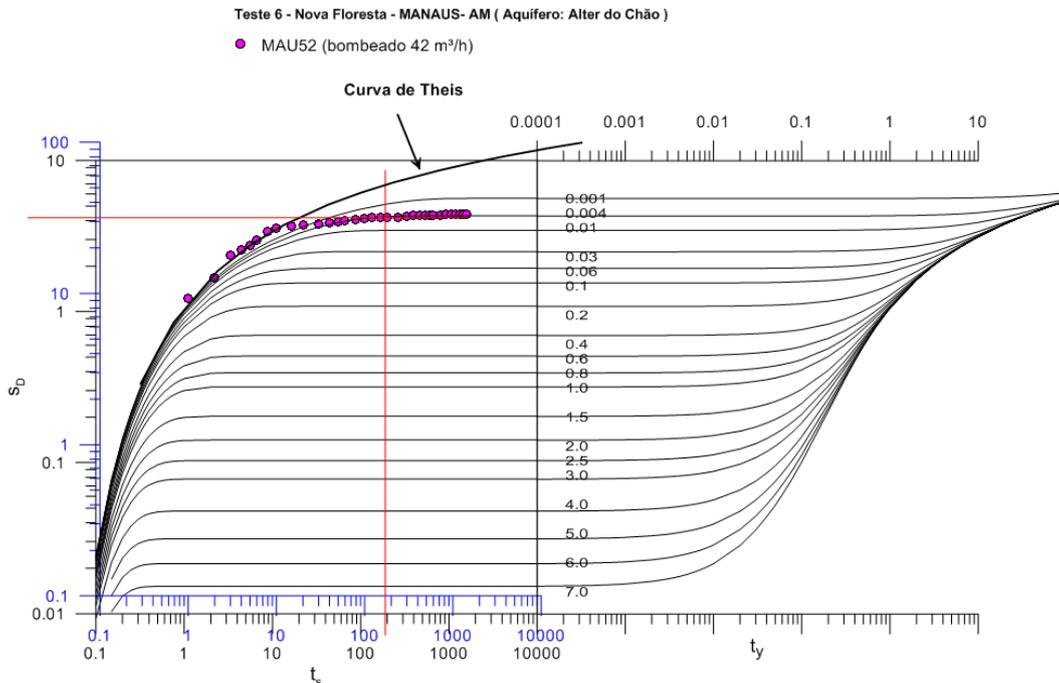
Anexo 4.2.4b – Ajuste da curva tipo B de Neuman (1975) do teste 4, no poço bombeado ST047, em Santarém – PA.

TESTE 5 – São José – Manaus - AM



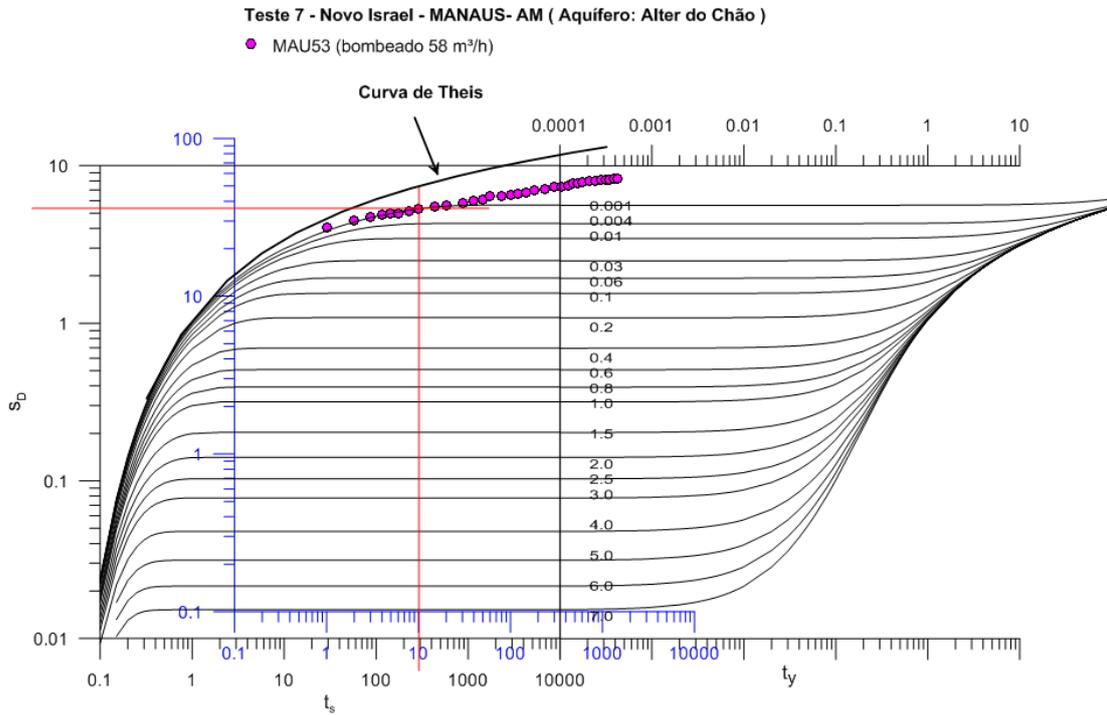
Anexo 4.2.5a – Ajuste da curva tipo A de Neuman (1975) do teste 5, no poço MAU51 São José, Manaus - AM.

TESTE 6 – Nova Floresta – Manaus - AM



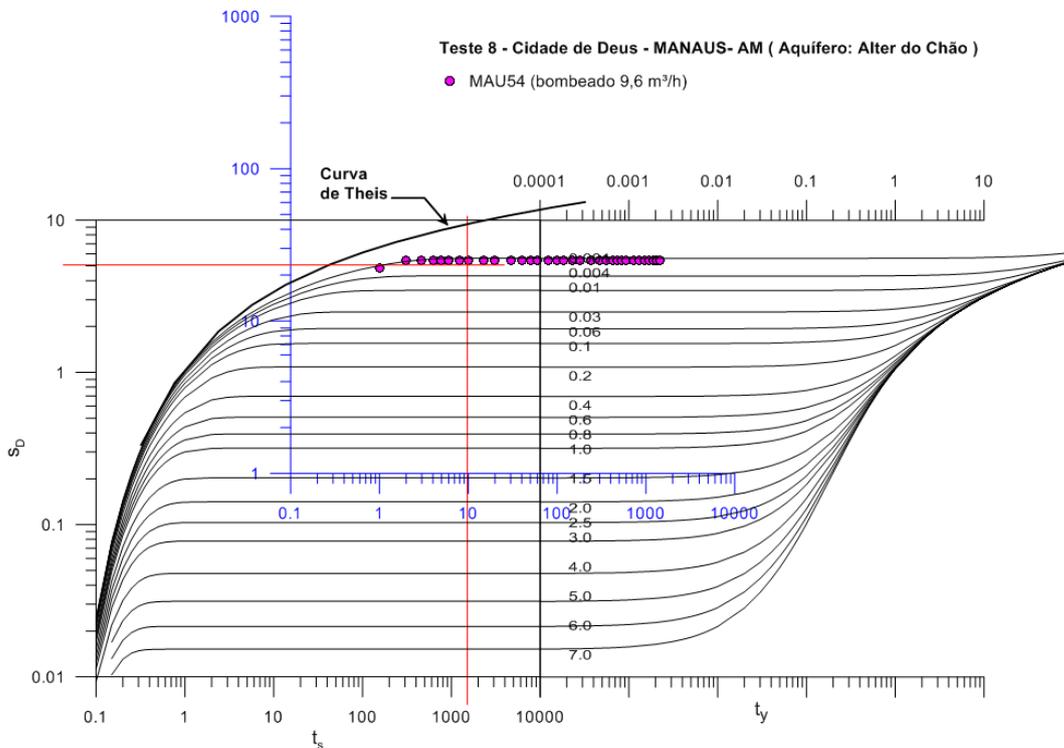
Anexo 4.2.6a – Ajuste da curva tipo A de Neuman (1975) do teste 6, no poço MAU52 Nova Floresta, Manaus - AM.

TESTE 7 – Novo Israel – Manaus - AM



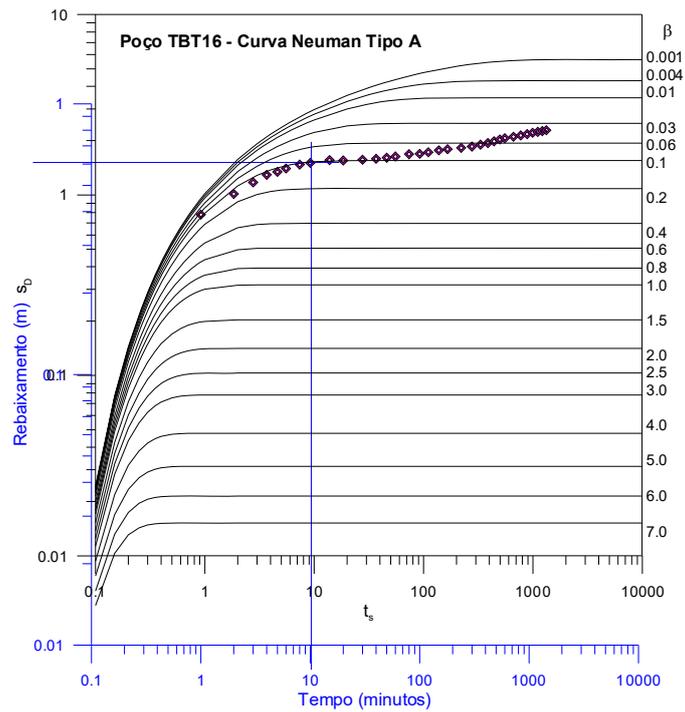
Anexo 4.2.7a – Ajuste da curva tipo A de Neuman (1975) do teste 7, no poço MAU53 Novo Israel, Manaus - AM.

TESTE 8 – Cidade de Deus – Manaus - AM

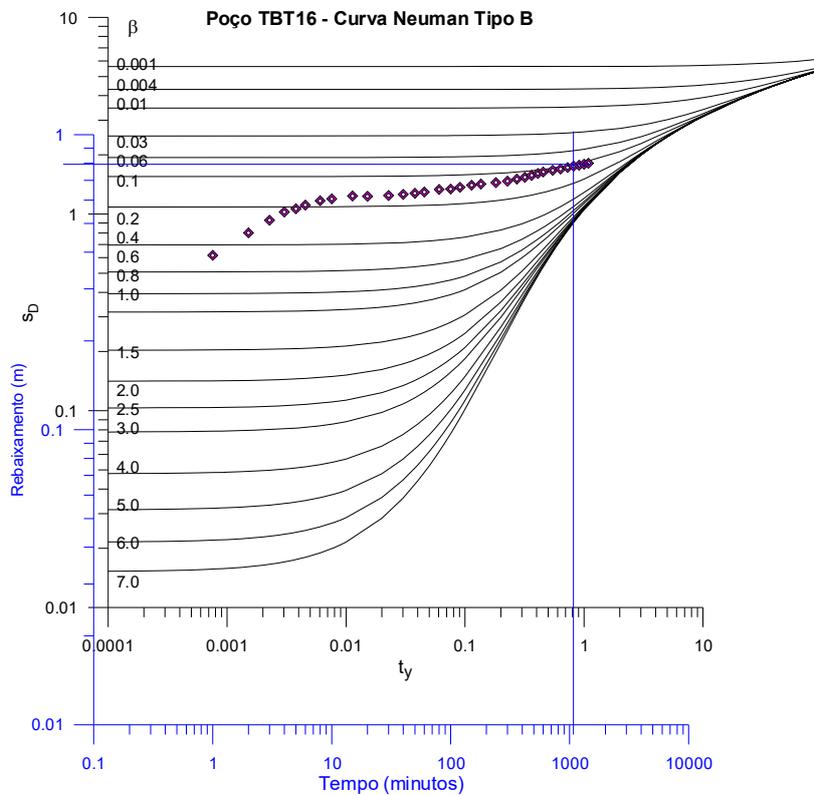


Anexo 4.2.8a – Ajuste da curva tipo A de Neuman (1975) do teste 8, no poço MAU54 Cidade de Deus, Manaus - AM.

TESTE 9 – TBT16 Portobras – Cidade Piloto Tabatinga - AM

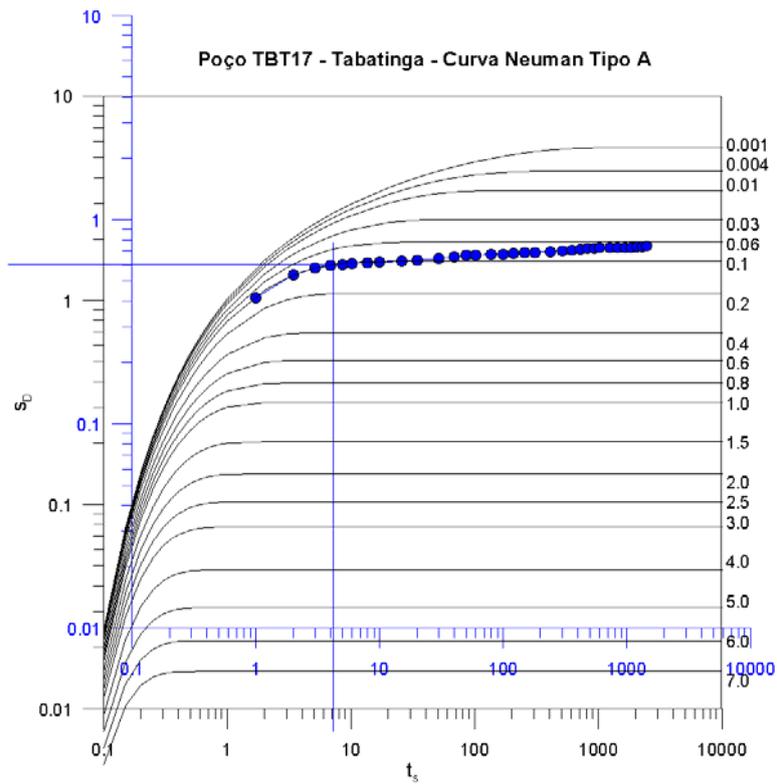


Anexo 4.2.9a – Ajuste da curva tipo A de Neuman (1975) do teste 9, no poço TBT16 Portobras, Tabatinga - AM.

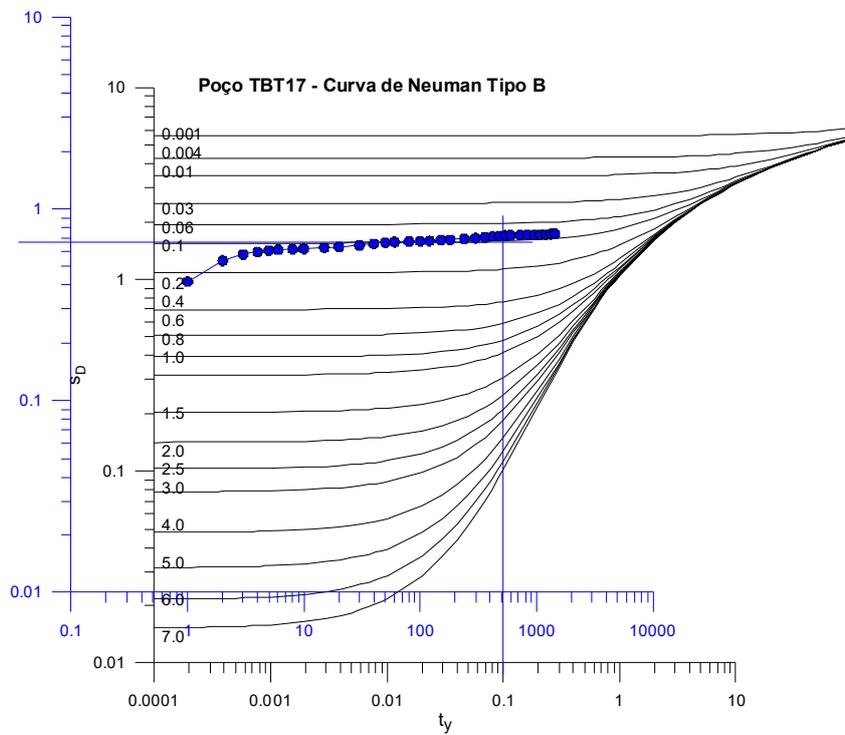


Anexo 4.2.9b – Ajuste da curva tipo B de Neuman (1975) do teste 9, no poço TBT16 Portobras, Tabatinga - AM.

TESTE 10 – TBT17 Brilhante – Cidade Piloto Tabatinga - AM

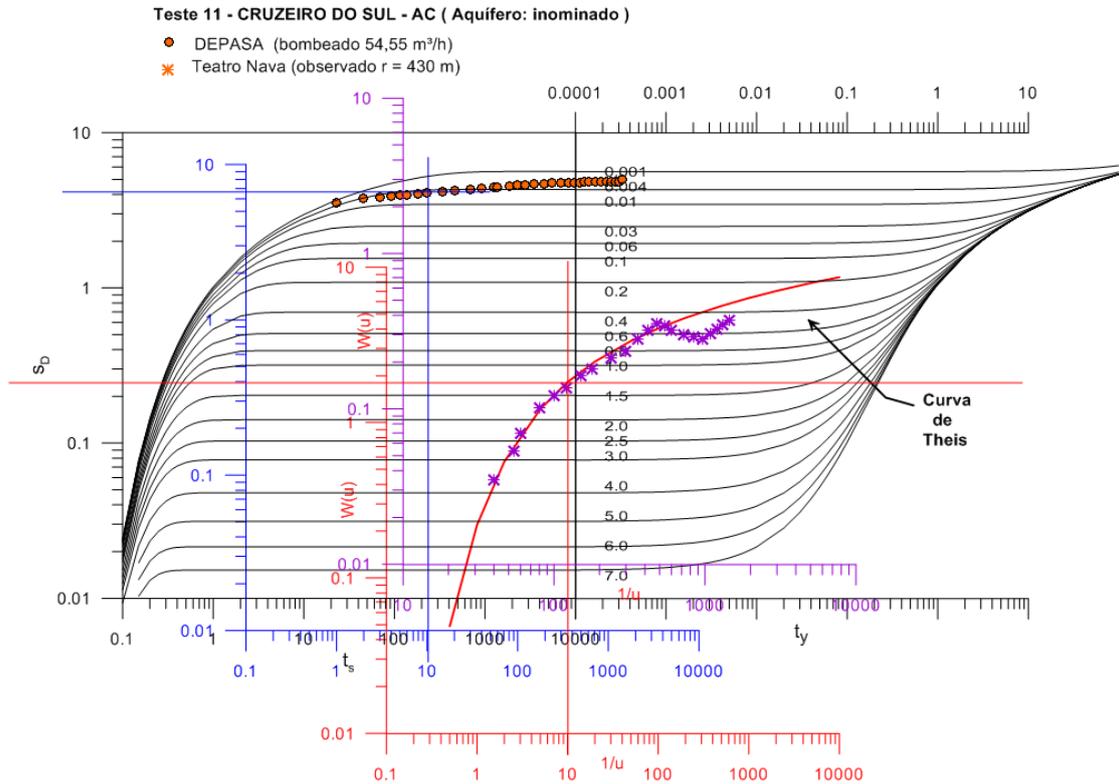


Anexo 4.2.10a – Ajuste da curva tipo A de Neuman (1975) do teste 10, no poço Brilhante, Tabatinga - AM.

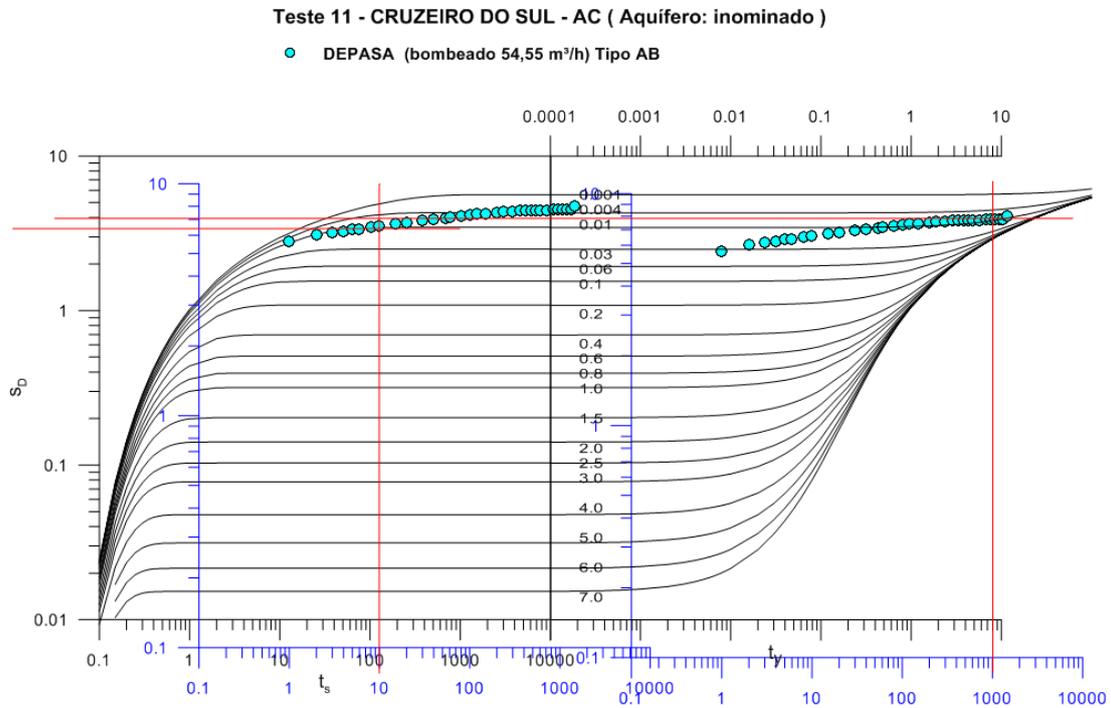


Anexo 4.2.10b – Ajuste da curva tipo B de Neuman (1975) do teste 10, no poço Brilhante, Tabatinga - AM.

TESTE 11 – DEPASA – Cruzeiro do Sul - AC



Anexo 4.2.11a – Ajuste da curva tipo A de Neuman (1975) do teste 11, no poço DEPASA em Cruzeiro do Sul – AC.

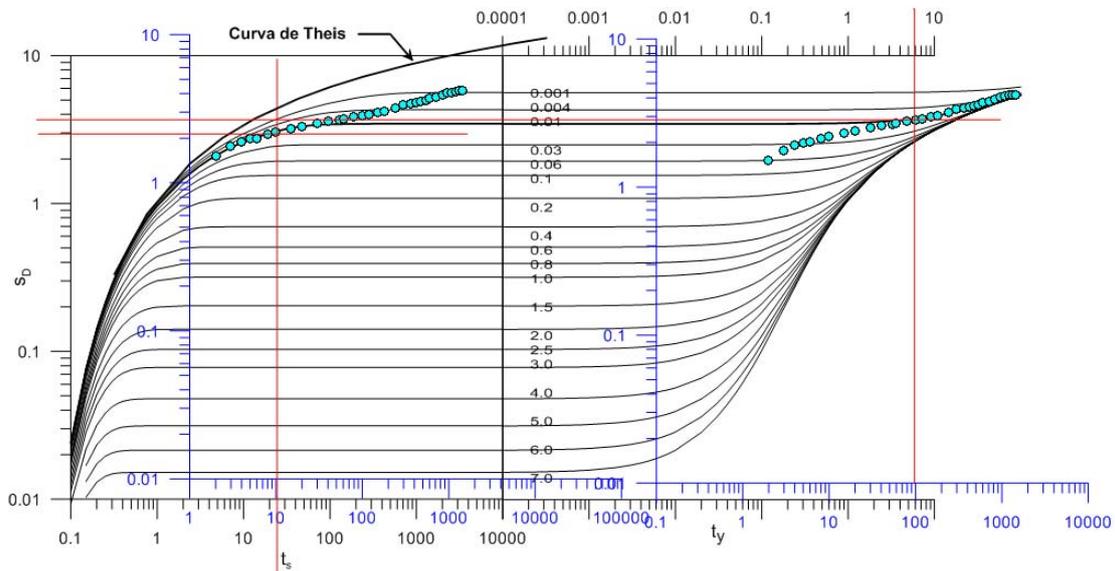


Anexo 4.2.11b – Ajuste das curvas tipo A e B de Neuman (1975) do teste 11, no poço DEPASA em Cruzeiro do Sul – AC.

TESTE 12 – DEPASA 2 – Cruzeiro do Sul - AC

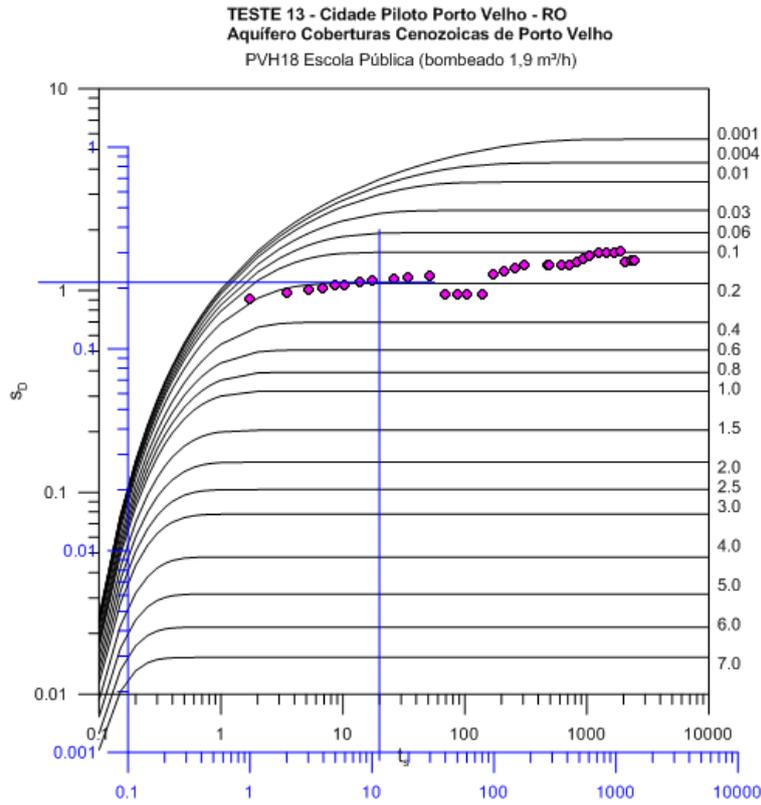
Teste 12 - CRUZEIRO DO SUL - AC (Aquifero: inominado)

● DEPASA 2 (bombeado 35 m³/h) Tipo AB

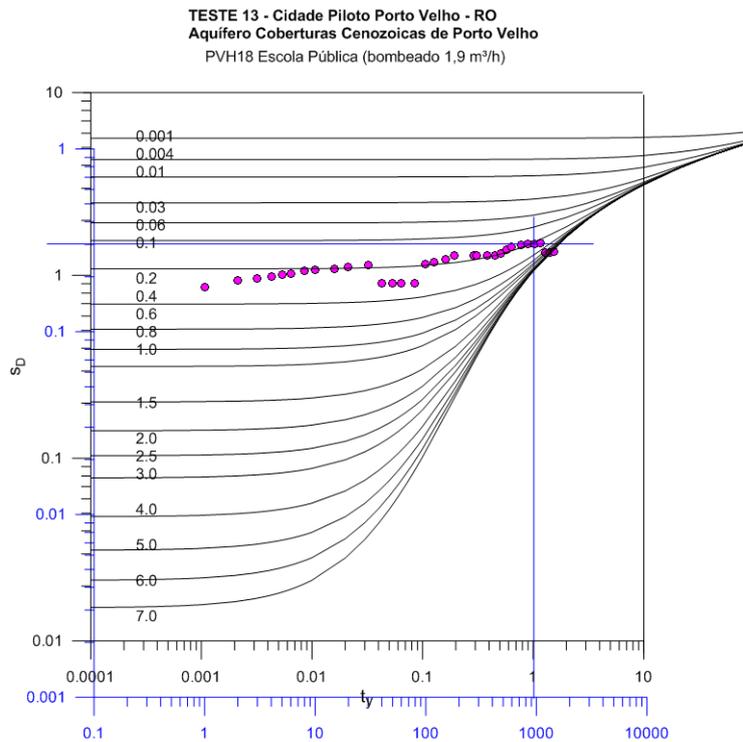


Anexo 4.2.12 – Ajuste da curva tipo A de Neuman do teste 12, no poço DEPASA 2 em Cruzeiro do Sul – AC.

TESTE 13 – Escola Pública - Cidade Piloto Porto Velho - RO

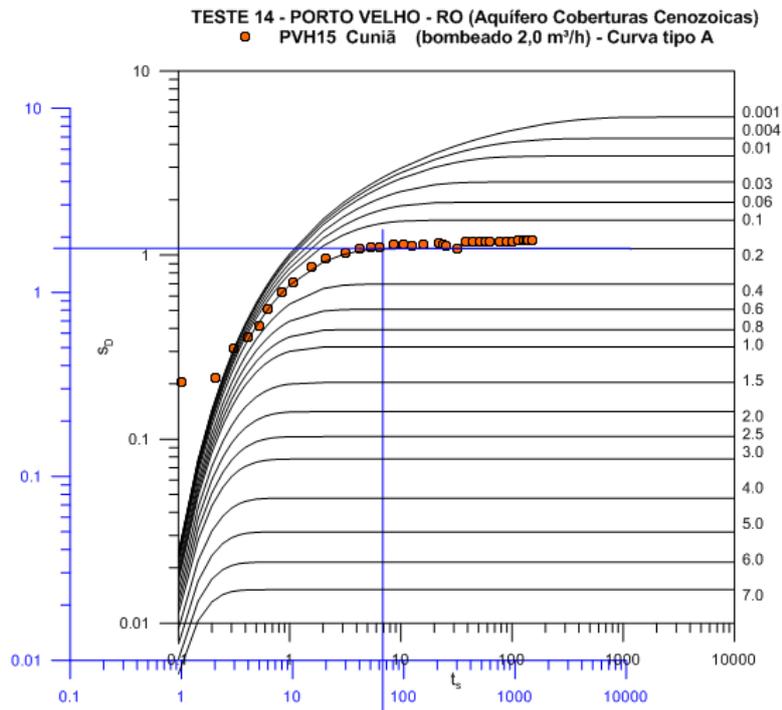


Anexo 4.2.13a – Ajuste da curva tipo A de Neuman (1975) do teste 13, do poço PVH18 em Escola Pública, Porto Velho - RO.

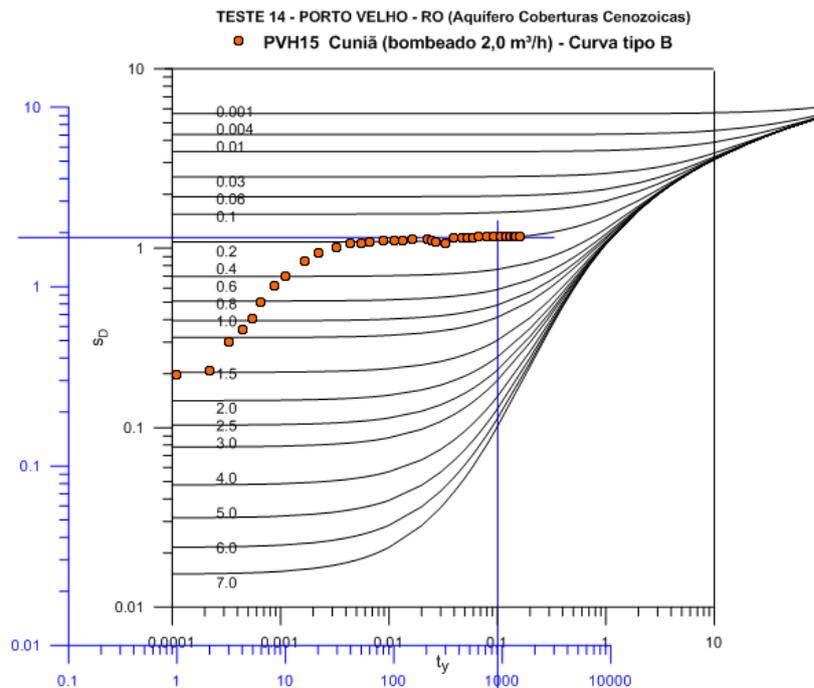


Anexo 4.2.13b – Ajuste da curva tipo B de Neuman (1975) do teste 13, no poço PVH18 em Escola Pública, Porto Velho – RO.

TESTE 14 – Bairro Cuniã – Cidade Piloto Porto Velho - RO

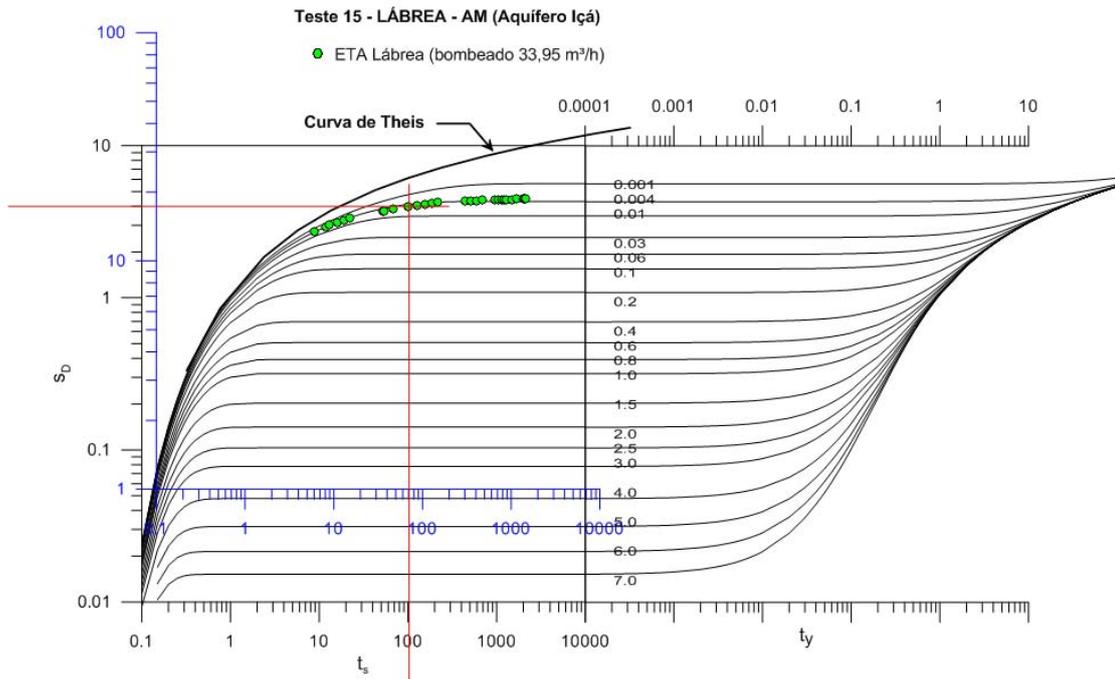


Anexo 4.2.14a – Ajuste da curva tipo A de Neuman (1975) do teste 14, no poço PVH40 Cuniã, Porto Velho - RO.



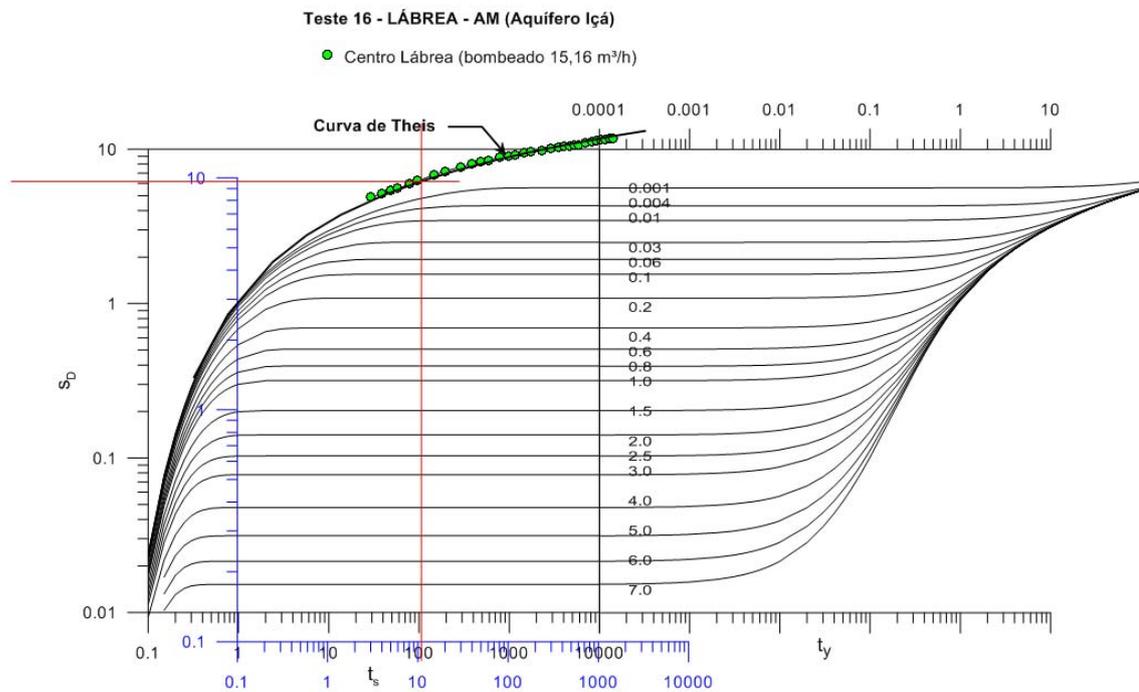
Anexo 4.2.14b – Ajuste da curva tipo B de Neuman (1975) do teste 14, no poço PVH40 Cuniã, Porto Velho - RO.

TESTE 15 – ETA - Lábrea - AM



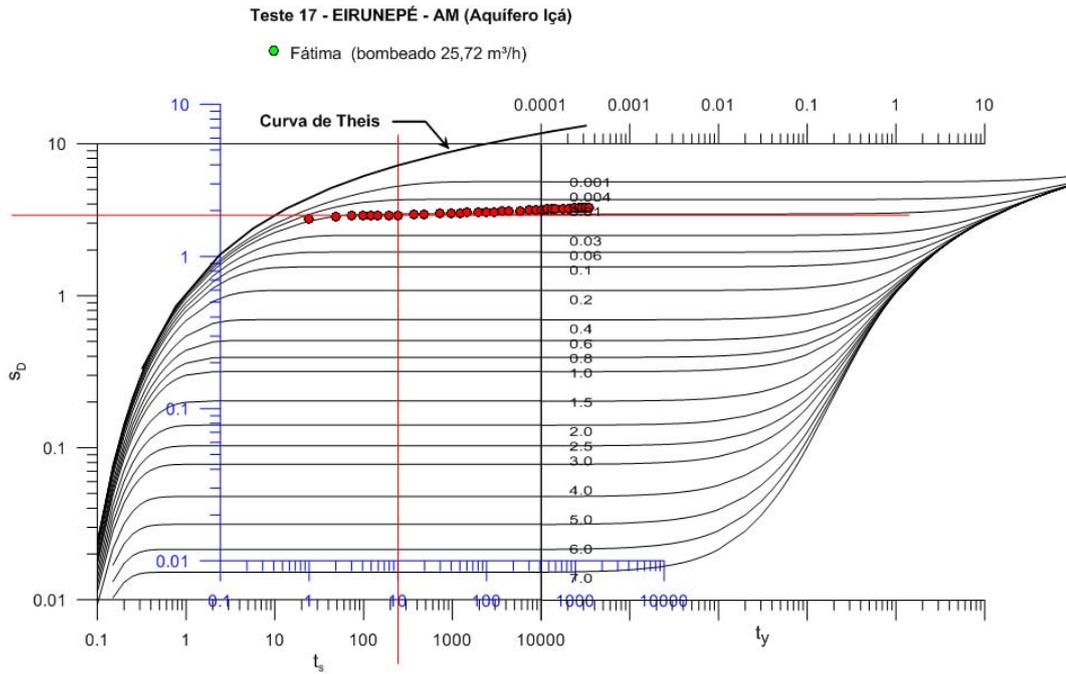
Anexo 4.2.15 – Ajuste da curva tipo A de Neuman (1975) do teste 15, no poço PT11 ETA, Lábrea – AM.

TESTE 16 – Centro - Lábrea - AM

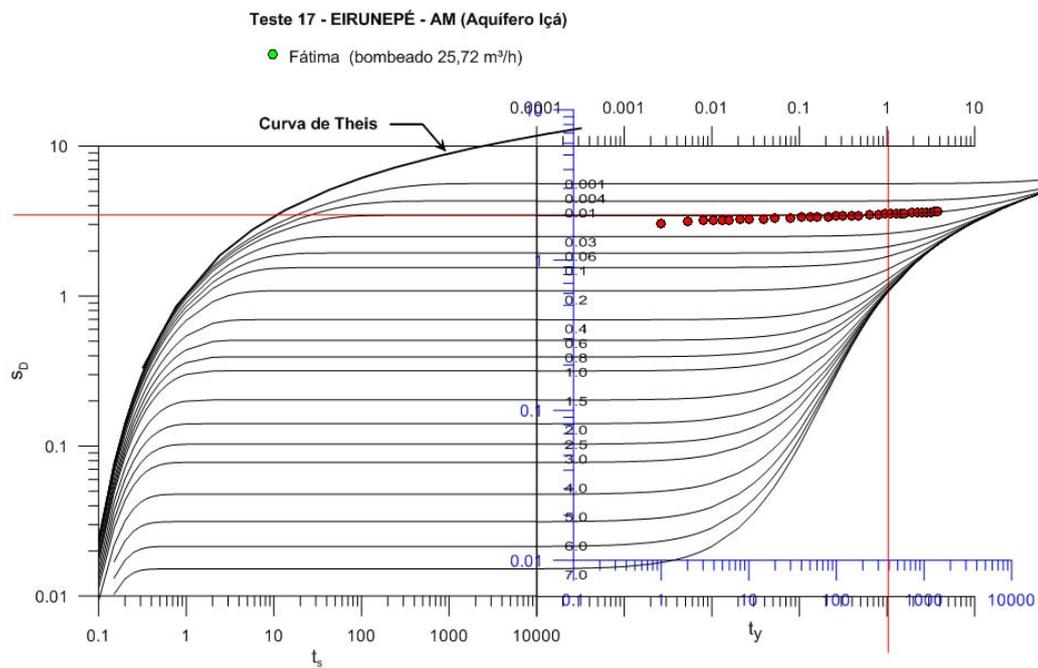


Anexo 4.2.16 – Ajuste da curva tipo Theis do teste 16, no poço PT01 no Centro de Lábrea – AM.

TESTE 17 – Fátima – Eirunepé – AM

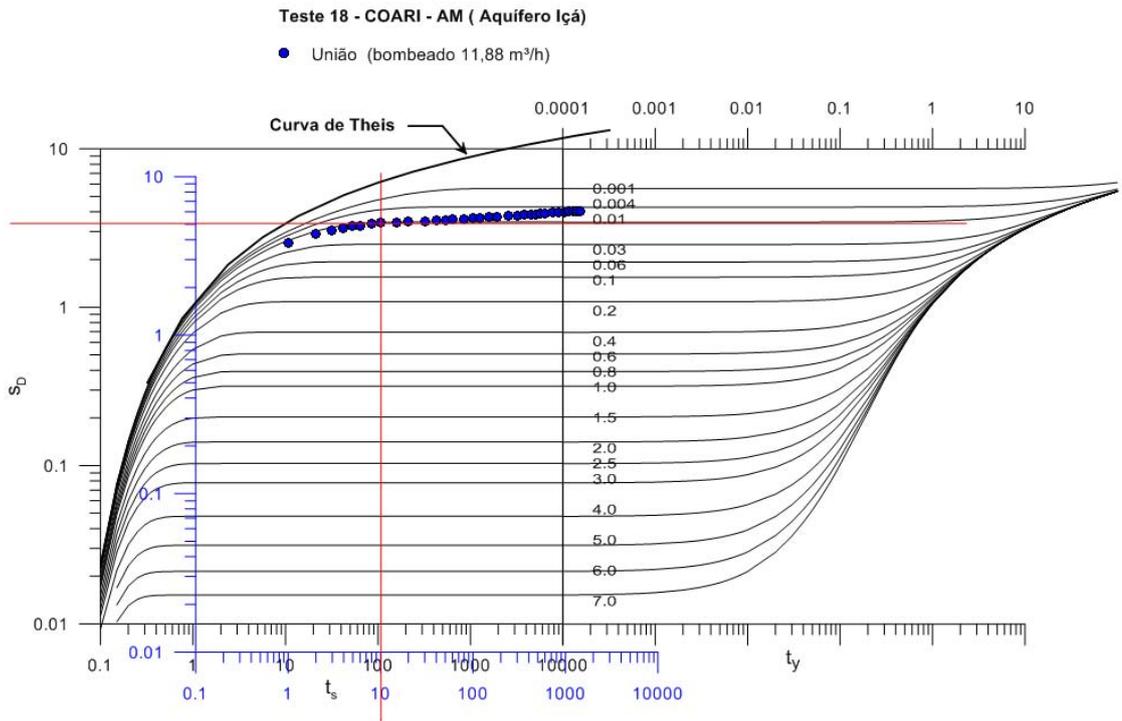


Anexo 4.2.17a – Ajuste da curva tipo A de Neuman (1975) do teste 17, no poço EIR06, bairro Fátima, Eirunepé – AM.

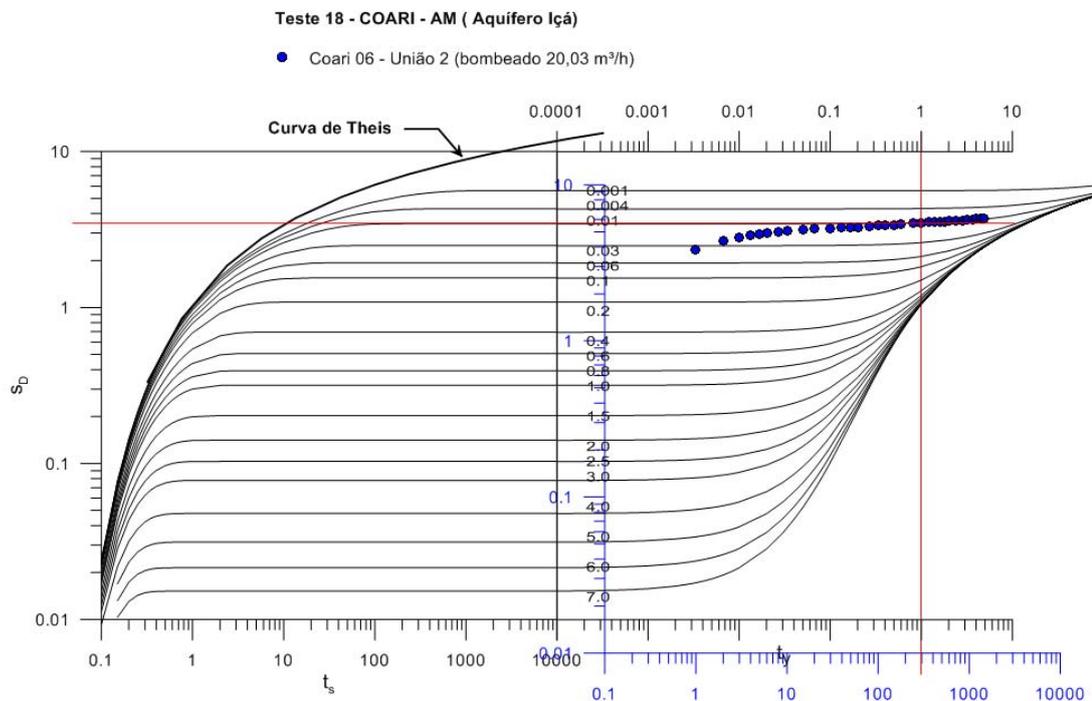


Anexo 4.2.17b – Ajuste da curva tipo B de Neuman (1975) do teste 17, no poço EIR06, bairro Fátima, Eirunepé – AM.

TESTE 18 – União - Coari - AM

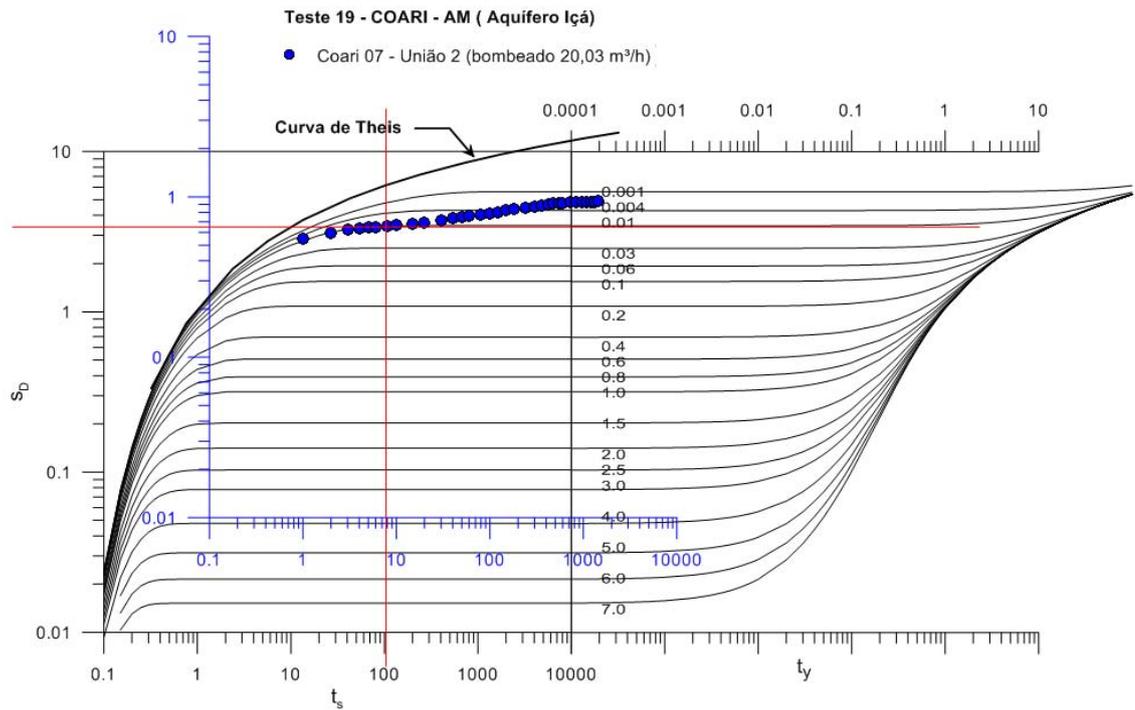


Anexo 4.2.18a – Ajuste da curva tipo A de Neuman (1975) do teste 18, no poço Coari 06, bairro União, Coari –AM.

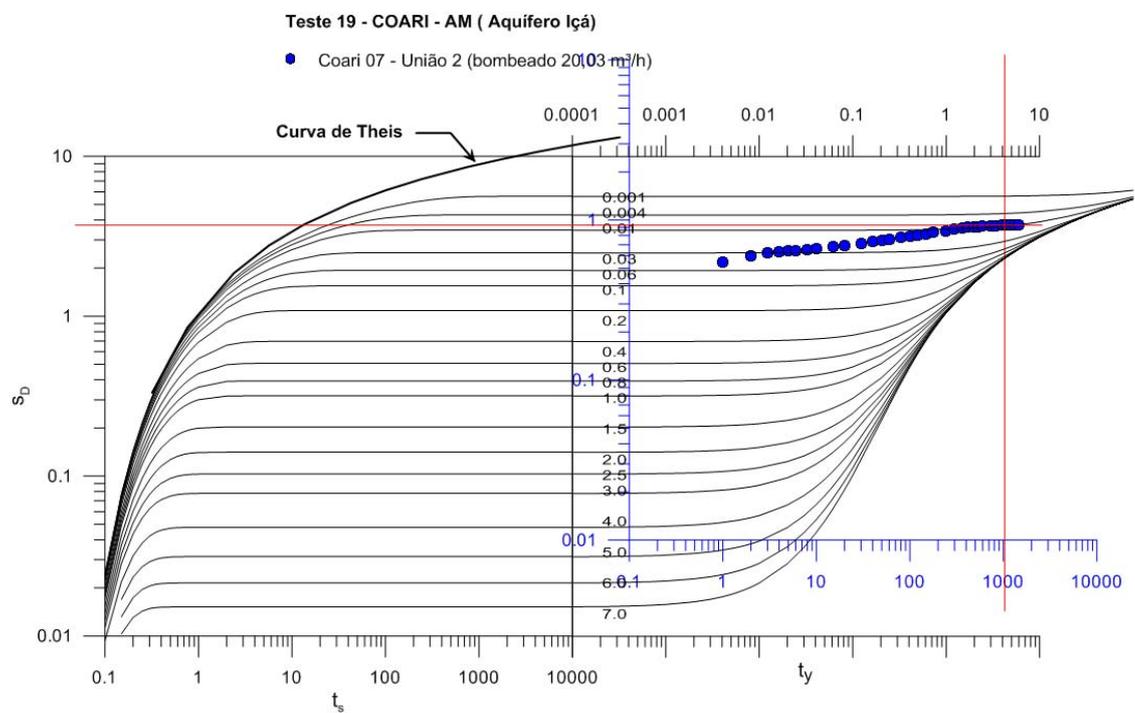


Anexo 4.2.18b – Ajuste da curva tipo B de Neuman (1975) do teste 18, no poço Coari 06, bairro União, Coari –AM.

TESTE 19 – União 2 – Coari - AM

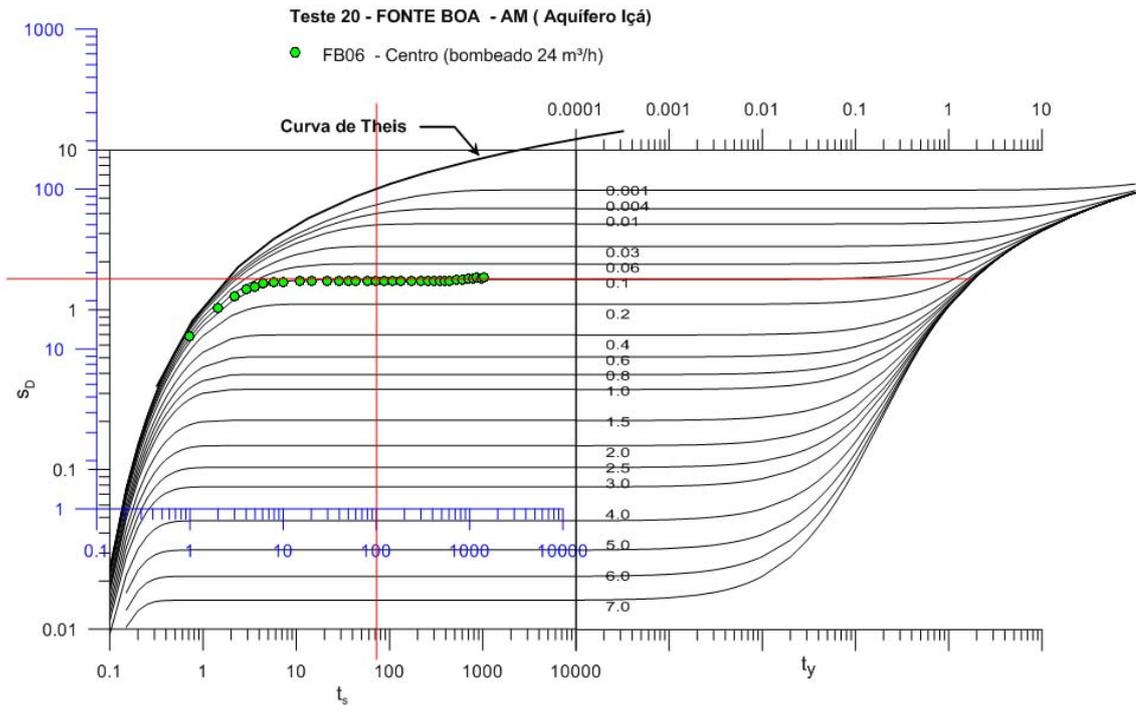


Anexo 4.2.19a – Ajuste da curva tipo A de Neuman (1975) do teste 19, no poço Coari 07, bairro União 2, Coari –AM.

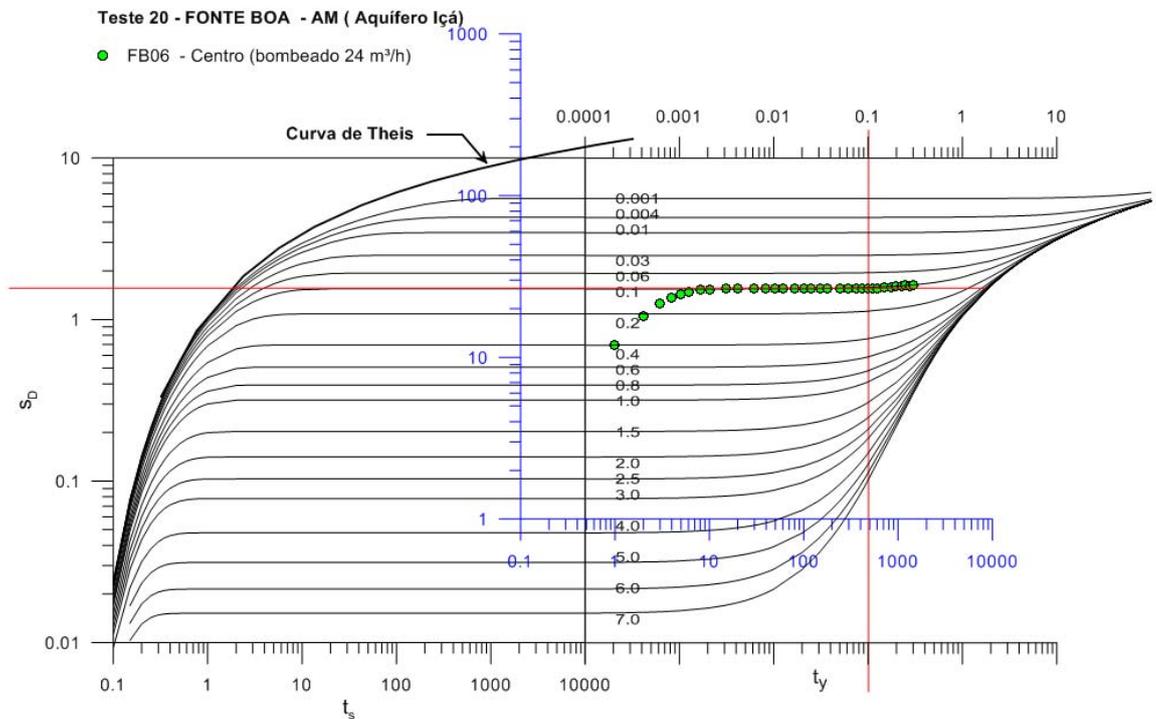


Anexo 4.2.19b – Ajuste da curva tipo B de Neuman (1975) do teste 19, no poço Coari 07, bairro União 2, Coari –AM.

TESTE 20 – FB06 Centro – Fonte Boa - AM

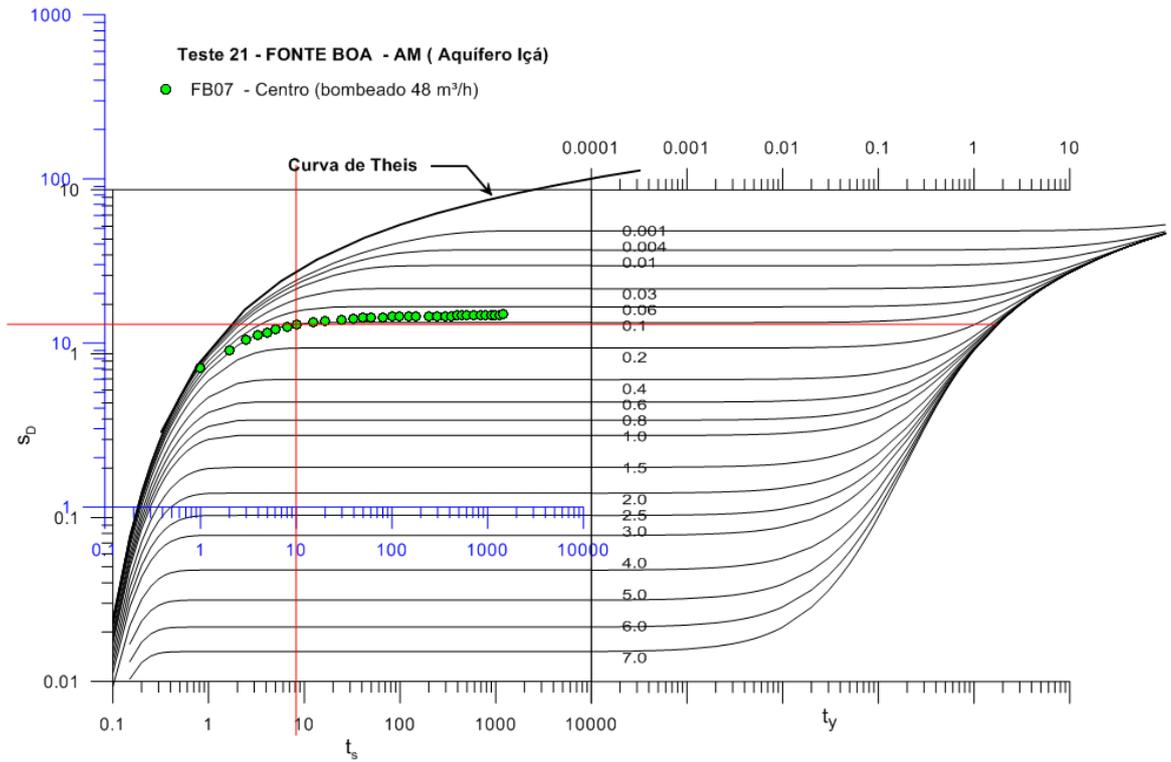


Anexo 4.2.20a – Ajuste da curva tipo A de Neuman (1975) do teste 20, no poço FB06, Centro, Fonte Boa –AM.

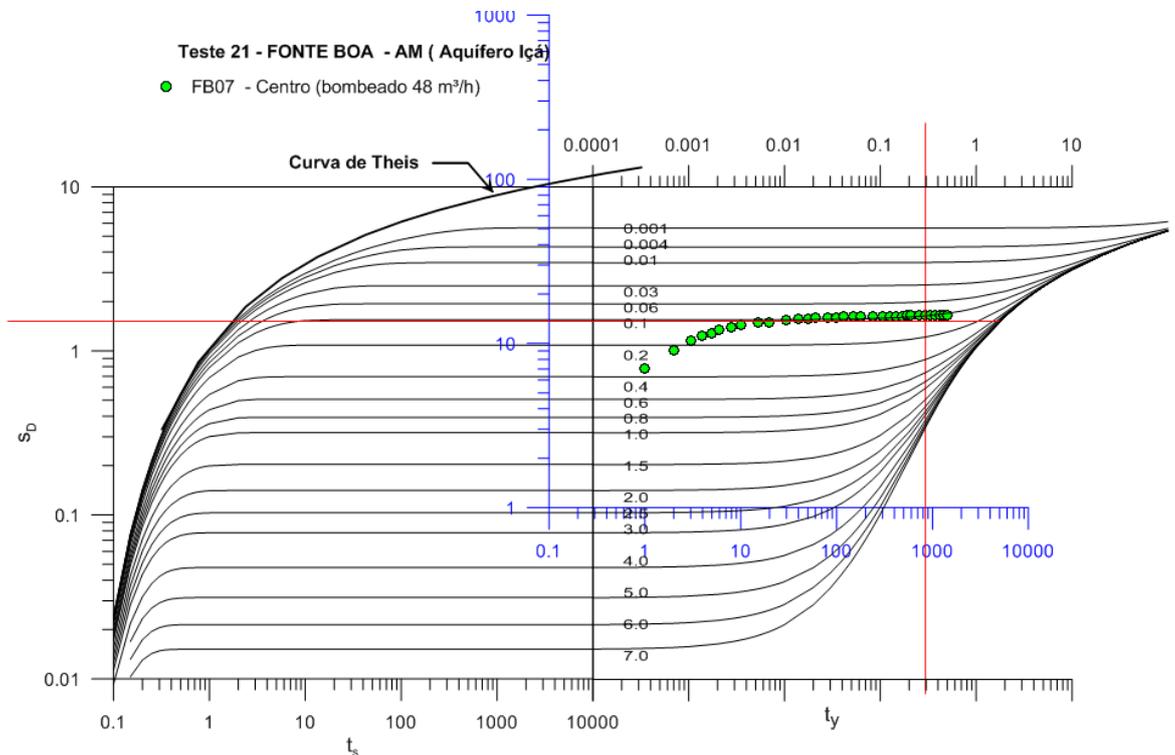


Anexo 4.2.20b – Ajuste da curva tipo B de Neuman (1975) do teste 20, no poço FB06, Centro, Fonte Boa –AM.

TESTE 21 – FB07 Centro – Fonte Boa - AM

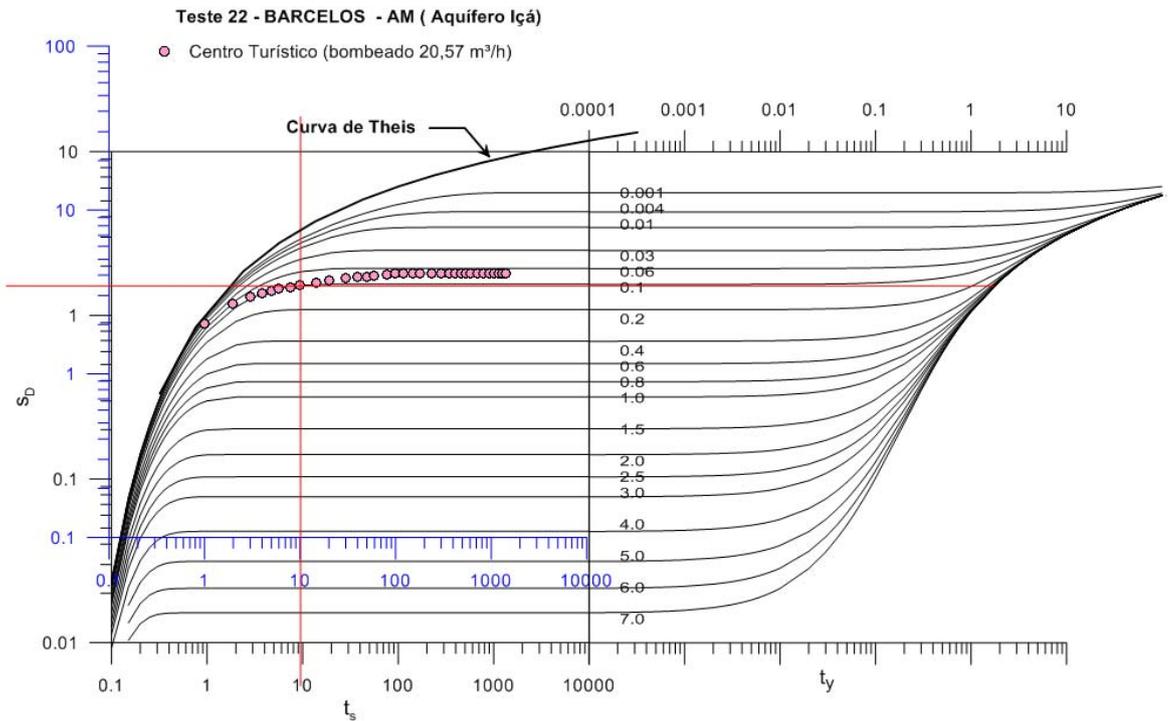


Anexo 4.2.21a – Ajuste da curva tipo A de Neuman (1975) do teste 21, no poço FB07, Centro, Fonte Boa –AM.

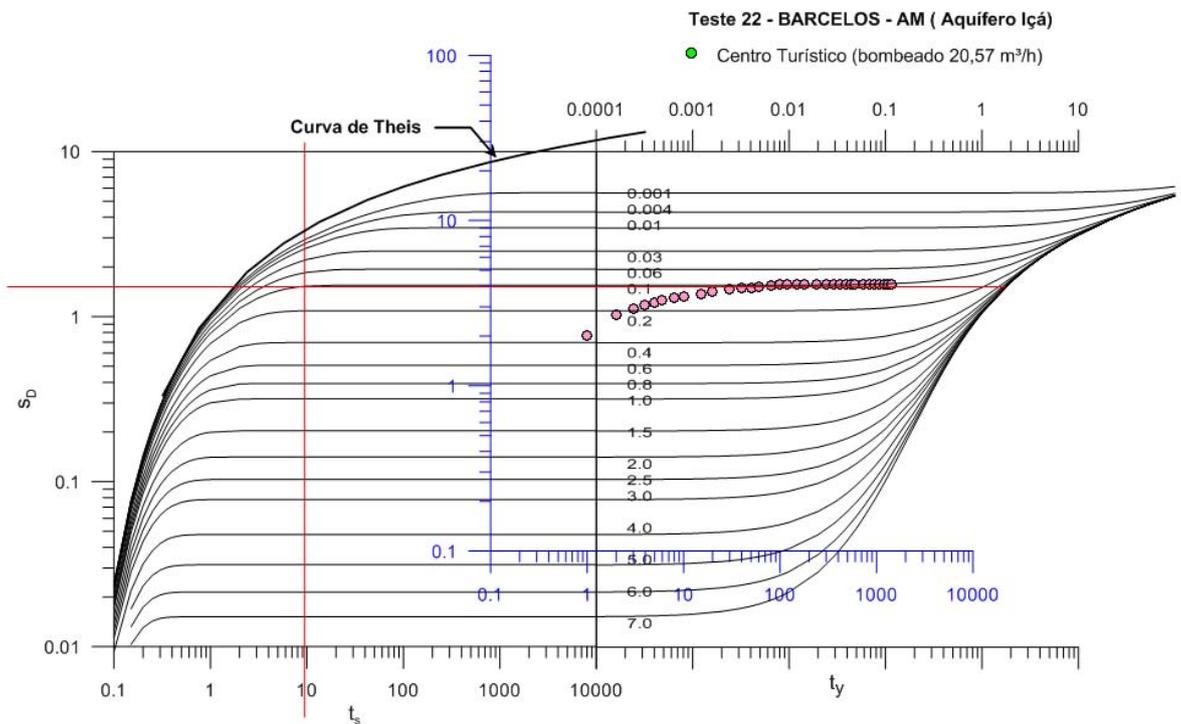


Anexo 4.2.21b – Ajuste da curva tipo B de Neuman (1975) do teste 21, no poço FB07, Centro, Fonte Boa –AM.

TESTE 22 – Infraero – Barcelos - AM

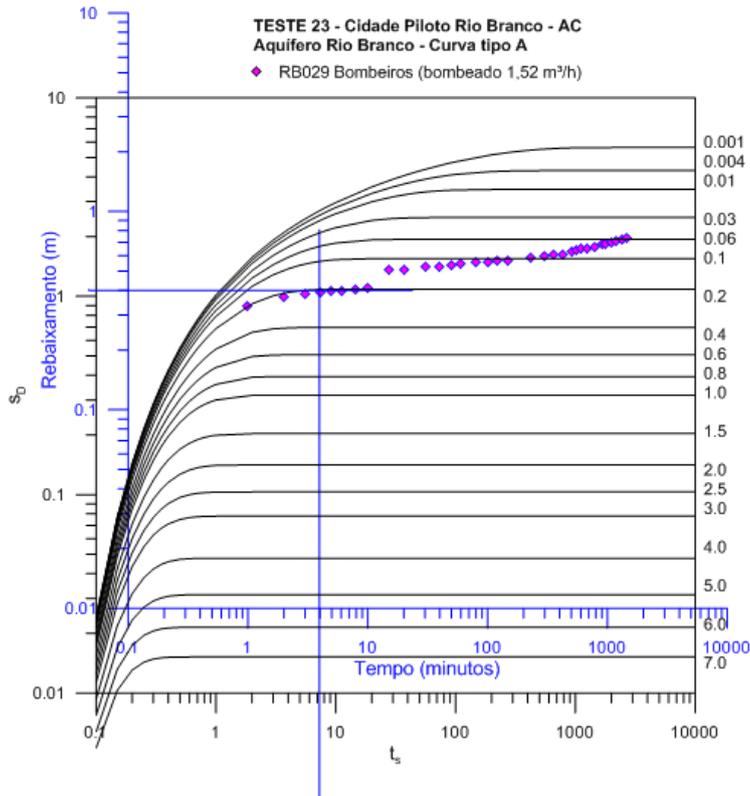


Anexo 4.2.22a – Ajuste da curva tipo A de Neuman (1975) do teste 22, no poço Centro Turístico, Barcelos –AM.

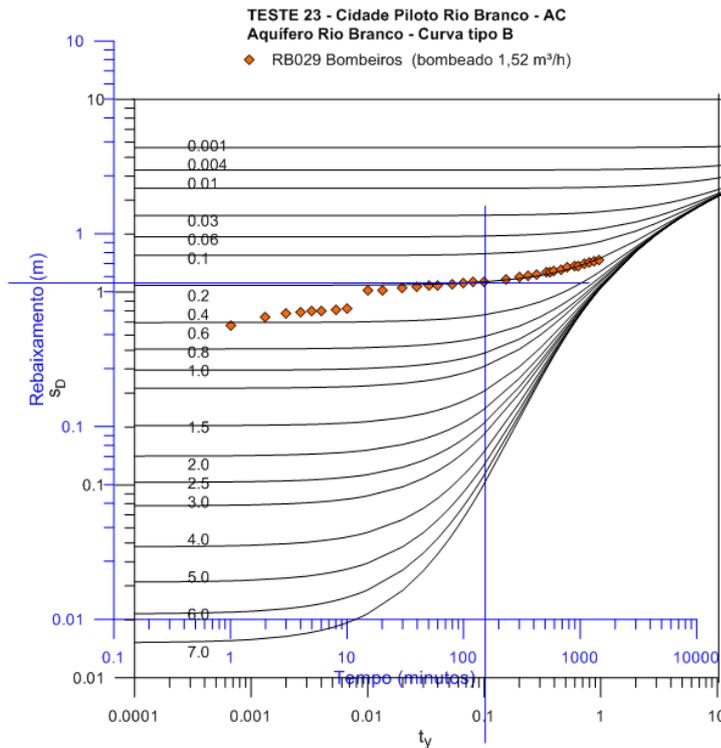


Anexo 4.2.22b – Ajuste da curva tipo B de Neuman (1975) do teste 22, no poço Centro Turístico, Barcelos –AM.

TESTE 23 – Quartel de Bombeiros Cidade Piloto– Rio Branco – AC

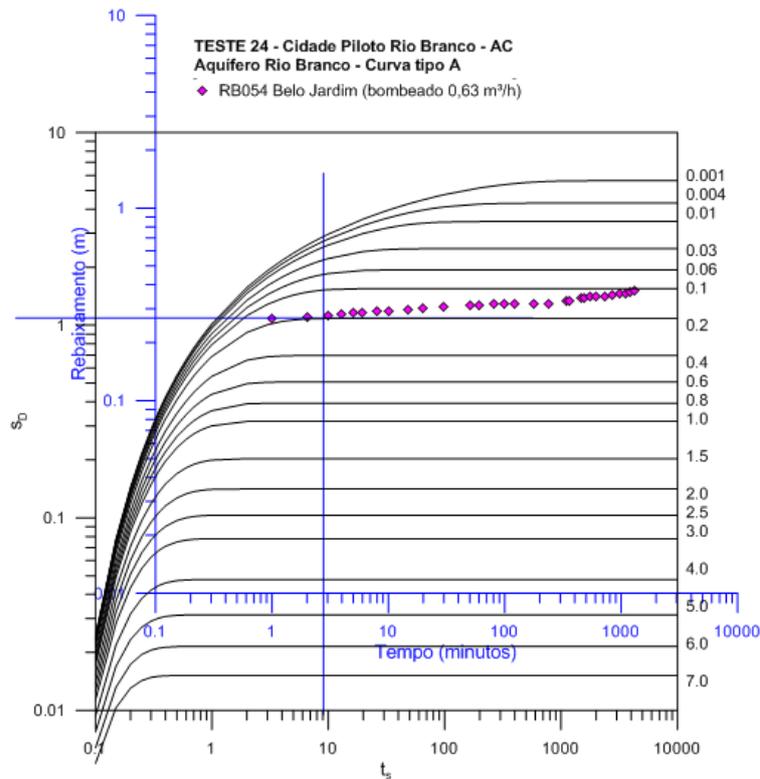


Anexo 4.2.23a – Ajuste da curva tipo A de Neuman (1975) do teste 23, no poço RB029, Bombeiros, Rio Branco – AC.

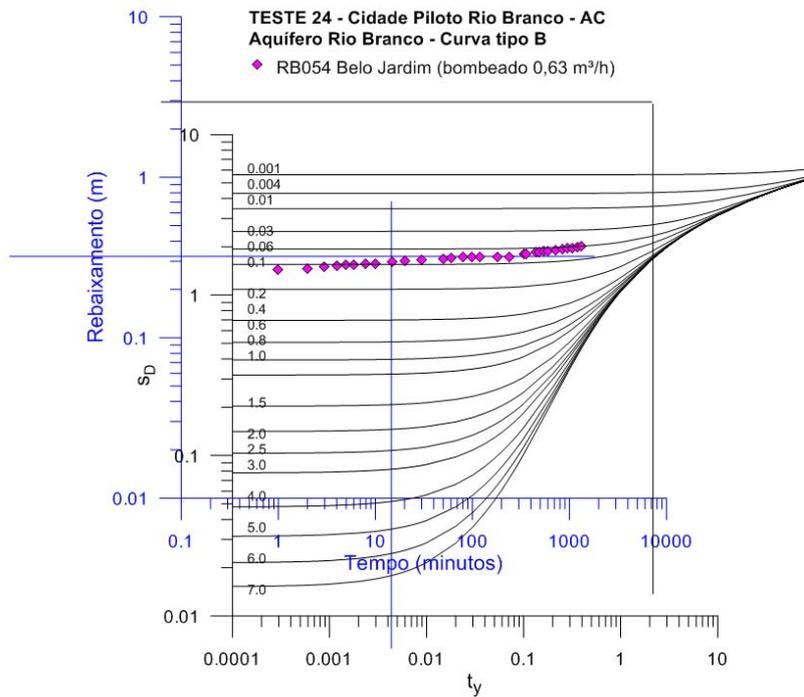


Anexo 4.2.23b – Ajuste da curva tipo B de Neuman (1975) do teste 23, no poço RB029, Bombeiros, Rio Branco – AC.

TESTE 24 – Belo Jardim – Cidade Piloto Rio Branco - AC

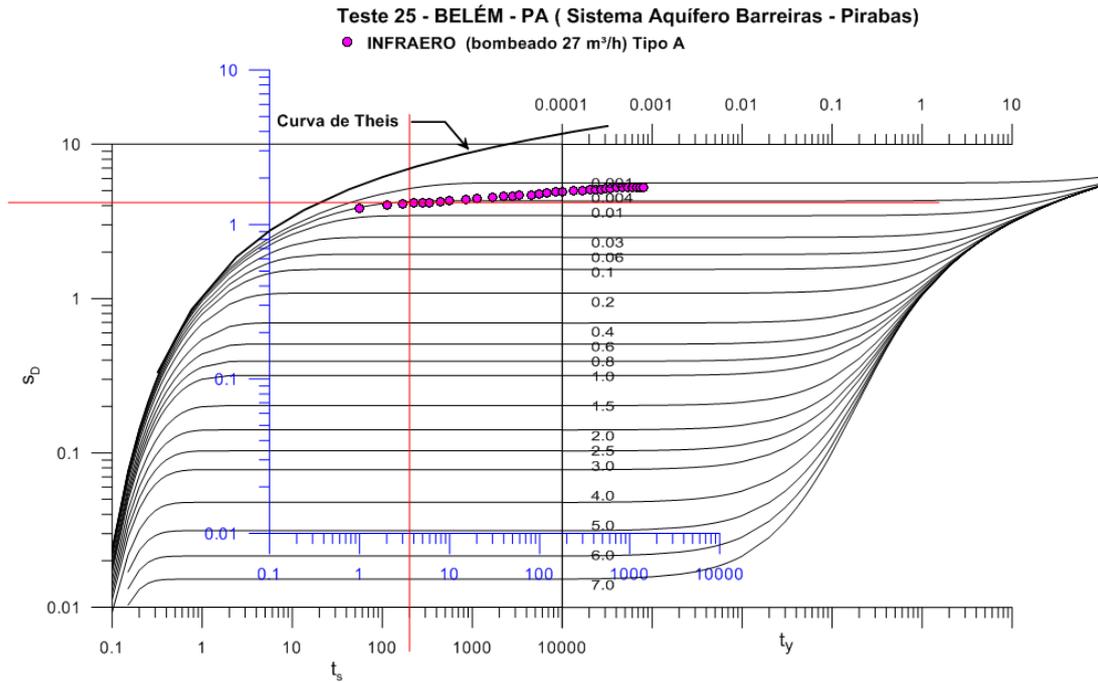


Anexo 4.2.24a – Ajuste da curva tipo A de Neuman (1975) do teste 24, no poço RB054, Belo Jardim, Rio Branco - AC.

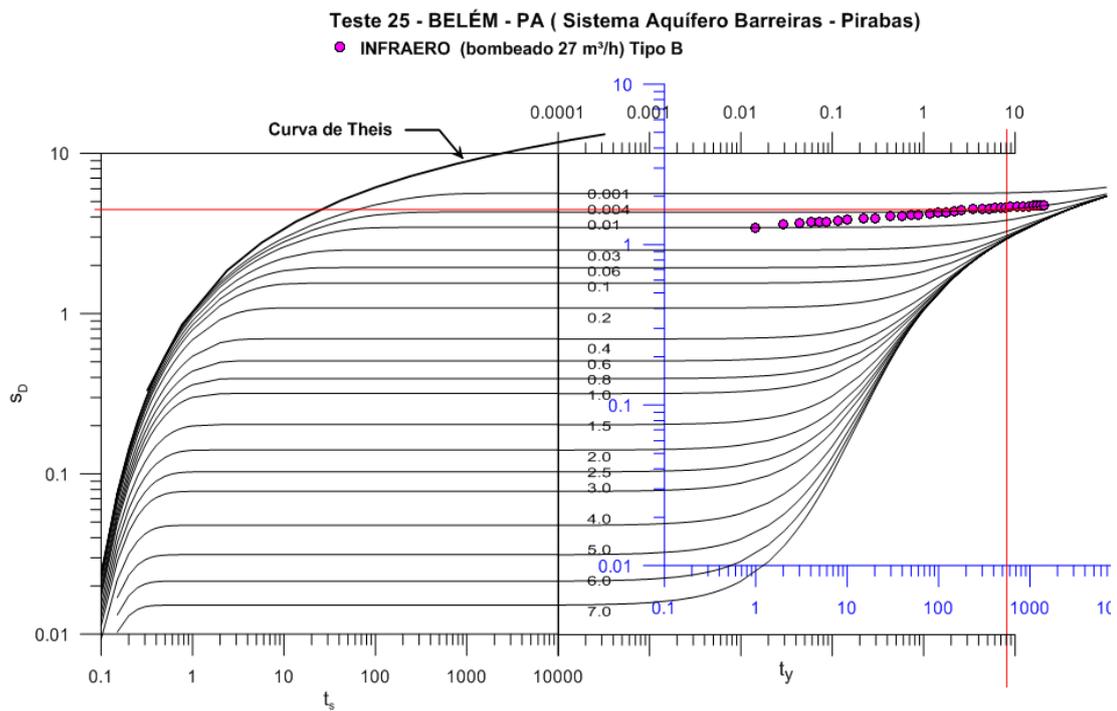


Anexo 4.2.24b – Ajuste da curva tipo B de Neuman (1975) do teste 24, no poço RB054, Belo Jardim, Rio Branco - AC.

TESTE 25 – Infraero – Belém - PA

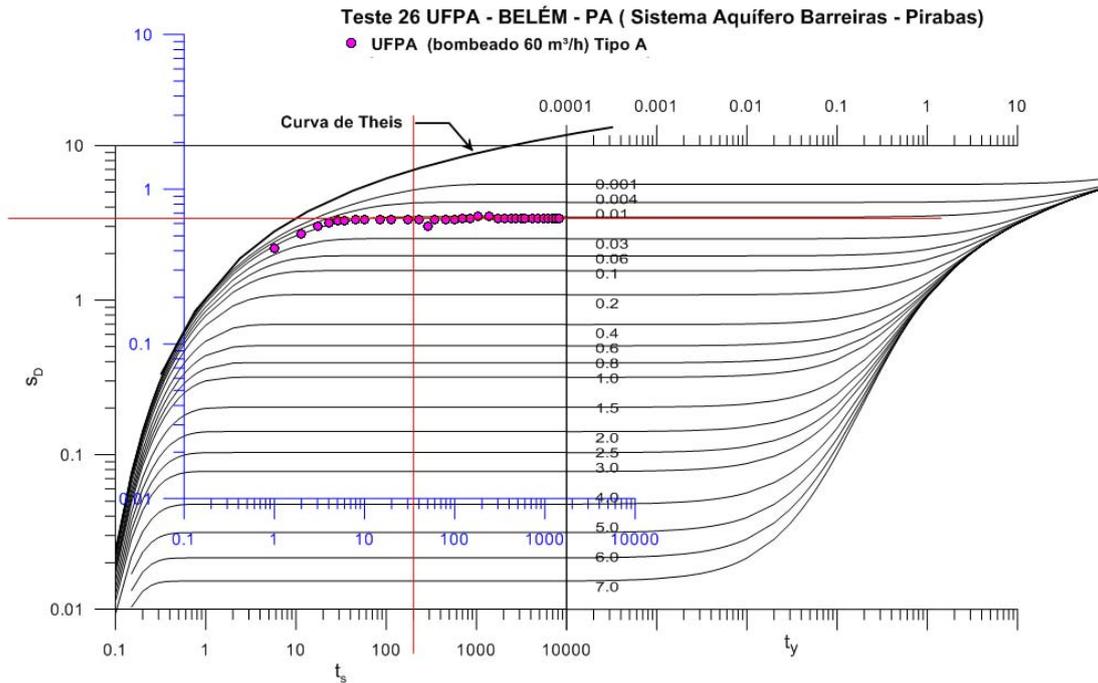


Anexo 4.2.25a – Ajuste da curva tipo A de Neuman (1975) do teste 25, no poço INFRAERO Belém – PA.



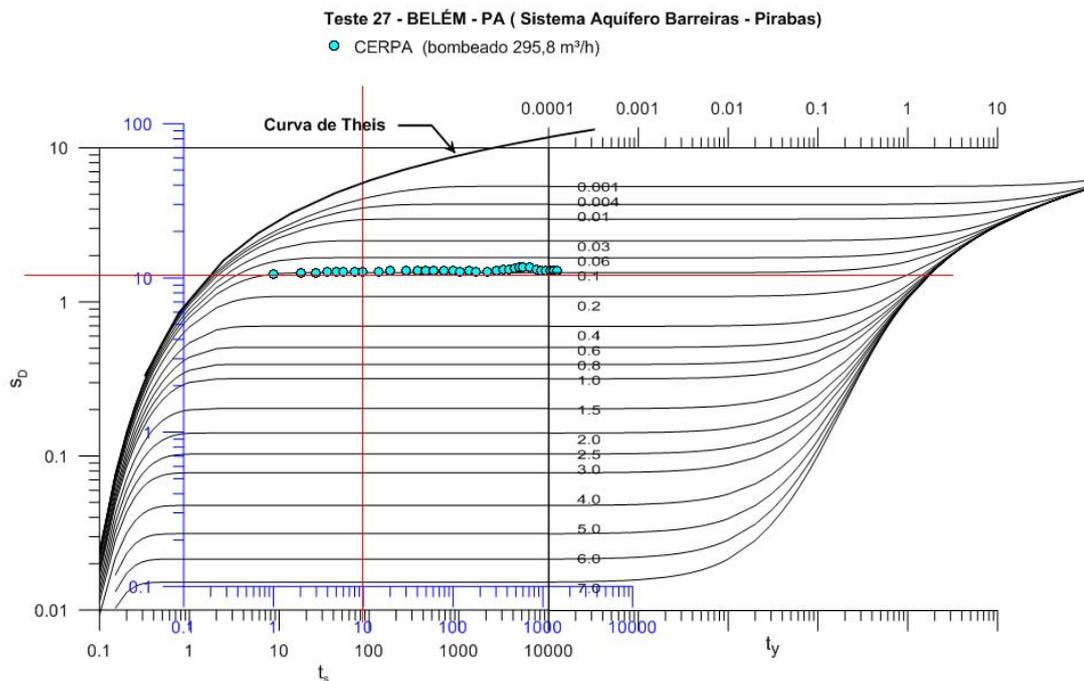
Anexo 4.2.25b – Ajuste da curva tipo B de Neuman (1975) do teste 25, no poço INFRAERO Belém – PA.

TESTE 26 – UFPA – Belém - PA



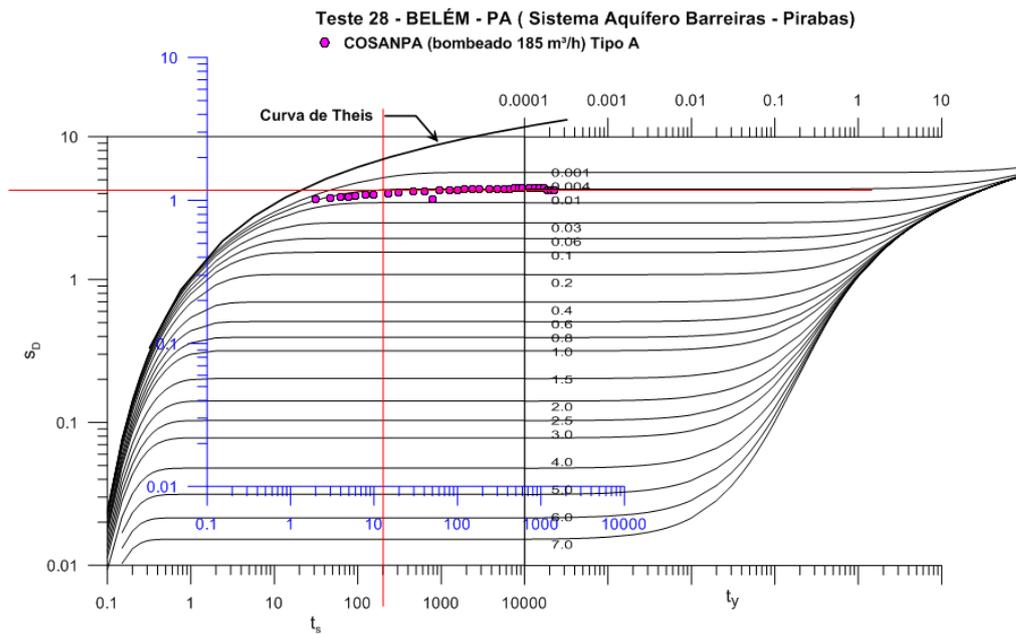
Anexo 4.2.26a – Ajuste da curva tipo A de Neuman (1975) do teste 26, no poço UFPA, Belém – PA.

TESTE 27 – CERPA – Belém - PA



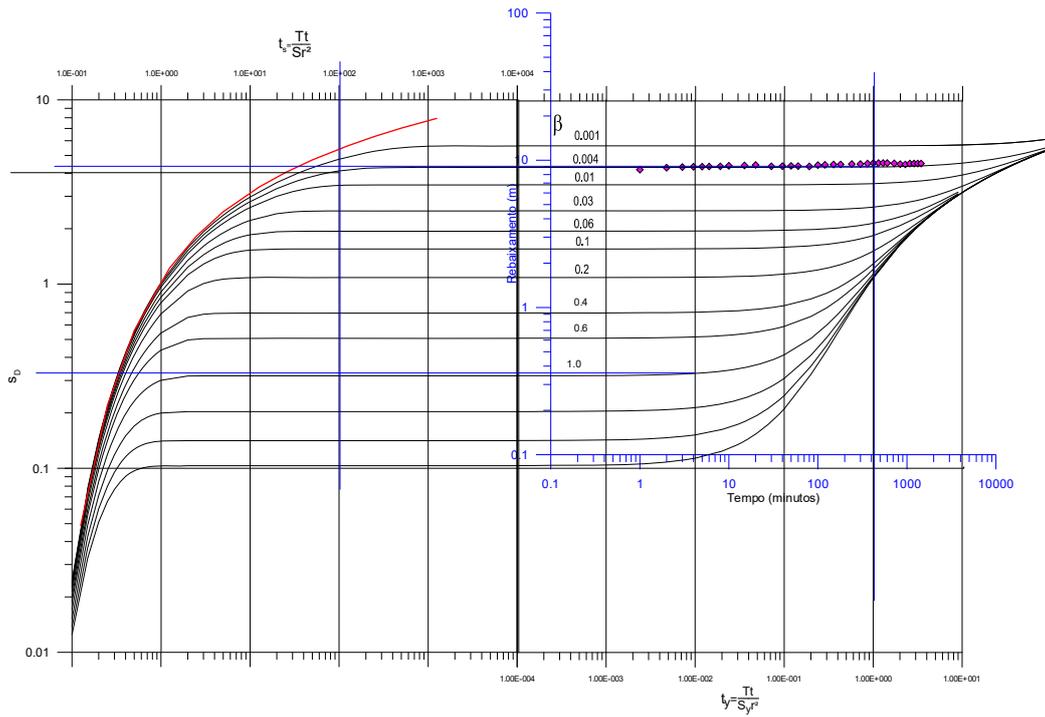
Anexo 4.2.27a – Ajuste da curva tipo A de Neuman (1975) do teste 27, no poço CERPA, Belém – PA.

TESTE 28 – COSANPA – Belém - PA



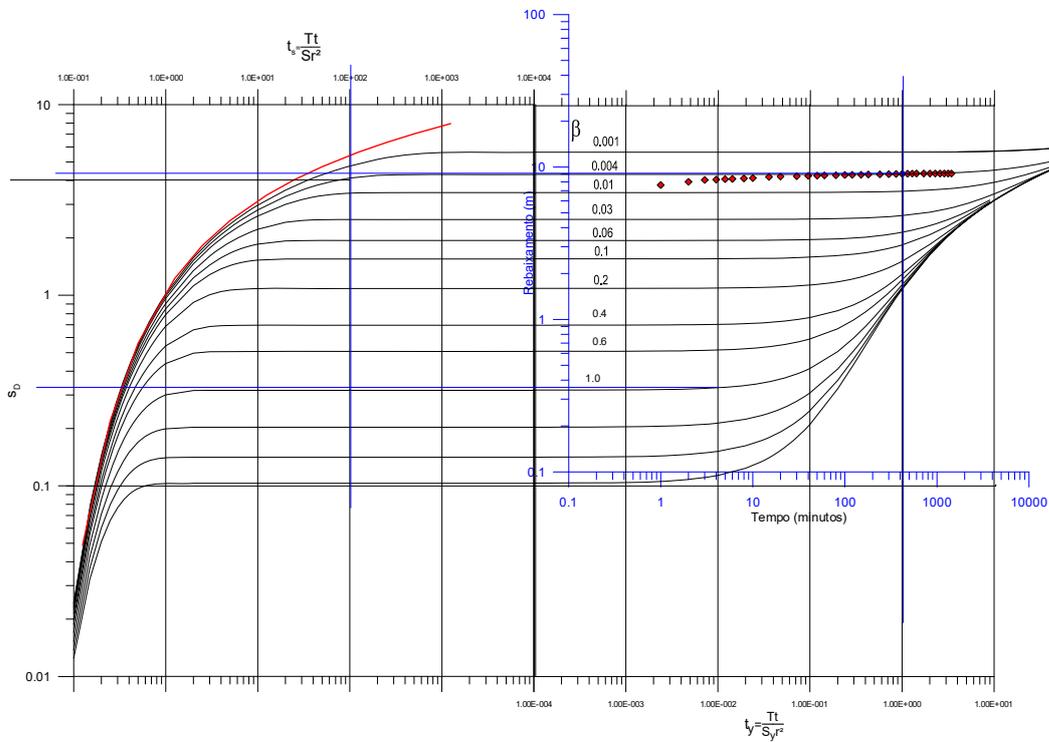
Anexo 4.2.28a – Ajuste da curva tipo A de Neuman (1975) do teste 28, no poço COSANPA, Belém – PA.

TESTE 29 – CAESA 1 - Macapá – AP



Anexo 4.2.29b – Ajuste da curva tipo B de Neuman (1975) do teste 29, do poço CAESA 1, Macapá – AP.

TESTE 30 – Congós – Macapá - AP



Anexo 4.2.30b – Ajuste da curva tipo B de Neuman (1975) do teste 30, no poço CAESA 2, Congós, Macapá – AP.

4.3 – Variações de nível de água registradas no período chuvoso e na estiagem de 2012 na rede de monitoramento quantitativo nas 18 cidades do Projeto PHA no Brasil

Anexo 4.3 – Variações de nível de água registradas entre as duas campanhas de medição realizadas no período chuvoso e na estiagem de 2012 na rede de monitoramento quantitativo nas 18 cidades do Projeto PHA no Brasil.

Poço	Long_Dec	Lat_dec	Cota Terreno (m)	Prof. NE1 (m)	Cota NE1 (m)	Prof. NE2 (m)	Cota NE	Diferença de NE nas duas campanhas
ALM01	-52,57879	-1,522436	7	1,1	5,9	4,96	2,04	3,86
ALM02	-52,57155	-1,520947	7	1,15	5,85	3,5	3,5	2,35
ALM03	-52,58489	-1,528025	8	1,13	6,87	1,8	6,2	0,67
ALM04	-52,58369	-1,530892	9	1,22	7,78	0,63	8,37	-0,59
ALM05	-52,57139	-1,528081	18	1,05	16,95	4,75	13,25	3,7
BAR01	-51,80361	-0,967222	29	5,15	23,85	6,55	15,45	1,4
BAR02	-62,92333	-0,979722	35	7	28	12,52	22,48	5,52
BAR03	-62,92639	-0,975556	36	18,2	17,8	12,32	23,68	-5,88
BAR04	-61,97972	-1,394167	34	22	12	14,36	19,64	-7,64
BAR05	-62,93	-0,968611	29	3,5	25,5	4,58	14,42	1,08
BEL001	-48,45194	-1,347778	20	5,15	14,85	7,6	20	2,45
BEL002	-48,44806	-1,419444	17	18,2	-1,2	20,8	17	2,6
BEL003	-48,48278	-1,333333	16	7	9	10,3	16	3,3
BEL004	-48,47833	-1,365556	14	3,5	10,5	5,2	14	1,7
BEL005	-48,4825	-1,333056	7	22	-15	22,51	7	0,51
BEL006	-48,46417	-1,406944	6	17	-11	18,12	6	1,12
BEL007	-48,425	-1,399444	22	27,5	-5,5	30,6	22	3,1
BEL008	-48,41611	-1,345	14	11,25	2,75	16,6	14	5,35
BEL009	-48,3425	-1,369722	14	5,57	8,43	8,2	14	2,63
BEL010	-48,40889	-1,368889	23	3,448	19,552	5,1	23	1,652
BEL011	-48,44361	-1,329167	13	19	-6	18,08	13	-0,92
BEL012	-48,47694	-1,298333	16	17,5	-1,5	19,86	16	2,36
BEL013	-48,46167	-1,139167	12	23,89	-11,89	25,3	12	1,41
BEL014	-48,44278	-1,124444	10	4,7	5,3	6,9	10	2,2
BEL015	-48,445	-1,1225	8	12,2	-4,2	18	8	5,8
BEL020	-48,47111	-1,158611	9	11,25	-2,25	16,6	9	5,35
BEL021	-48,41944	-1,398611	25	3,4	21,6	5	9	1,6
BEL022	-48,41361	-1,102778	9	4,3	4,7	6,3	25	2
BEL023	-48,40472	-1,098889	11	2,23	8,77	3,3	11	1,07
BEL024	-48,46556	-1,2625	14	5,52	8,48	8,1	14	2,58
BEL025	-48,45694	-1,153333	85	1	84	1,5	85	0,5
BEL026	-48,4425	-1,375833	13	15	-2	17,1	13	2,1
BEL027	-48,48028	-1,419444	21	0,73	20,27	1,8	21	1,07
BEL028	-48,48583	-1,465556	20	19,2	0,8	23,3	20	4,1
CRI01	-63,14556	-4,101389	38	10,51	27,49	13,28	24,72	2,77
CRI02	-63,14306	-4,111111	56	8,6	47,4	11,52	44,48	2,92
CRI03	-63,13028	-4,083889	63	11,8	51,2	14,92	48,08	3,12
CRI04	-63,13639	-4,105278	52	16,2	35,8	19,26	32,74	3,06
CRI05	-63,11889	-4,1225	50	0,5	49,5	2,42	47,58	1,92

Anexo 4.3 – Variações de nível de água registradas entre as duas campanhas de medição realizadas no período chuvoso e na estiagem de 2012 na rede de monitoramento quantitativo nas 18 cidades do Projeto PHA no Brasil (continuação).

Poço	Long_Dec	Lat_dec	Cota Terreno (m)	Prof. NE1 (m)	Cota NE1 (m)	Prof. NE2 (m)	Cota NE	Diferença de NE nas duas campanhas
CZS01	-72,68472	-7,6175	131	33	98	35,5	85,445	2,5
CZS02	-72,65972	-7,620278	134	30	104	33,725	90,275	3,725
CZS03	-72,70472	-7,585278	144	36,93	107,07	37,075	112,925	0,145
CZS04	-72,68111	-7,590556	142	44,54	97,46	47,05	104,945	2,51
CZS05	-72,70306	-7,6125	144	34,54	109,46	33,65	90,35	-0,89
EIR01	-69,86056	-6,669722	120	7,229	112,771	9,93	120	2,701
EIR02	-69,86917	-6,650833	122	0,65	121,35	0,9	122	0,25
EIR03	-69,88722	-6,651389	123	4,562	118,438	6,27	123	1,708
EIR04	-69,85361	-6,665	119	2,263	116,737	3,11	119	0,847
EIR05	-69,86722	-6,663333	125	2,389	122,611	3,28	125	0,891
FBA01	-66,07556	-2,511667	57	9,8	47,171	13,51	57	3,71
FBA02	-66,09194	-2,5125	57	13,9	43,049	15,18	57	1,28
FBA03	-66,09694	-2,513056	57	10,7	46,214	14,8	57	4,1
FBA04	-66,10167	-2,514722	57	13,9	43,075	15,1	57	1,2
FBA05	-66,10917	-2,513056	57	11,316	45,684	15,5	57	4,184
HUW01	-63,02778	-7,498611	55	10,2	44,8	14	55	3,8
HUW02	-63,04083	-7,503889	46	8,7	37,3	11,96	46	3,26
HUW03	-63,02833	-7,514167	54	13,4	40,6	16,48	54	3,08
HUW04	-63,03694	-7,523333	51	7,6	43,4	9,34	51	1,74
HUW05	-63,07806	-7,551111	55	8,5	46,5	10,45	55	1,95
ITB001	-56,00639	-4,243889	32	7	25	8,61	32	1,61
ITB002	-56,01083	-4,278056	10	1,51	8,49	1,85	10	0,34
ITB003	-55,99722	-4,257222	30	9,12	20,88	11,2	30	2,08
ITB004	-55,99083	-4,272222	17	8,58	8,42	10,5	17	1,92
ITB005	-56,04194	-4,291111	14	3,31	10,69	4,1	14	0,79
LBR01	-64,78639	-7,249444	155	4,77	150,23	5,8	155	1,03
LBR02	-64,78361	-7,258056	135	5,07	129,93	6,23	135	1,16
LBR03	-64,77944	-7,268055	162	6,5	155,5	7,9	162	1,4
LBR04	-64,80194	-7,268611	146	2,8	143,2	3,4	146	0,6
LBR05	-64,80167	-7,2625	150	16,7	133,3	20,54	150	3,84
MAU01	-59,88972	-3,082778	12	48,75	-36,75	52,32	-53,32	3,57
MAU09	-60,03639	-3,080833	33	15,3	17,7	54,38	33	39,08
MAU10	-59,95556	-3,021944	94	27,39	41,45	32,25	66,61	4,86
MAU13	-59,98444	-3,052222	53	82,35	-29,35	29,85	53	-52,5
MAU15	-60,09167	-3,018889	15	53	15	62,36	-47,36	9,36
MAU16	-60,05056	-3,018056	65	14,43	65	16,98	65	2,55
MAU17	-60,16083	-2,936111	97	27,24	97	32,05	97	4,81

Anexo 4.3 – Variações de nível de água registradas entre as duas campanhas de medição realizadas no período chuvoso e na estiagem de 2012 na rede de monitoramento quantitativo nas 18 cidades do Projeto PHA no Brasil (continuação).

Poço	Long_Dec	Lat_dec	Cota Terreno (m)	Prof. NE1 (m)	Cota NE1 (m)	Prof. NE2 (m)	Cota NE	Diferença de NE nas duas campanhas
MAU18	-60,09389	-2,980278	37	20,63	37	24,28	37	3,65
MAU19	-60,07667	-2,9925	44	27,24	44	32,05	11,95	4,81
MAU20	-60,19917	-2,914167	35	25,3	35	29,85	5,15	4,55
MAU22	-60,04417	-2,721111	41	14,43	41	16,98	24,02	2,55
MAU23	-60,04778	-2,699722	85	46,22	85	54,38	30,62	8,16
MAU26	-60,03833	-2,755	38	48,66	38	57,25	-19,25	8,59
MAU28	-60,15278	-2,782222	91	29,85	91	35,12	55,88	5,27
MAU30	-60,03333	-2,563056	111	26,25	84,75	28,12	60,88	1,87
MPA01	-51,05086	0,02924	17	10	7	13,35	3,65	3,35
MPA02	-51,04031	0,09625	22	8	14	11,82	10,18	3,82
MPA03	-51,08619	0,09234	32	7,25	24,75	11,6	20,4	4,35
MPA04	-51,06278	0,07301	29	6,7	22,3	11,6	17,41	4,9
MPA05	-51,05423	0,04719	22	4,78	17,22	8,22	13,78	3,44
MPA06	-51,05417	0,05474	17	4,15	12,85	6,85	10,15	2,7
MPA07	-51,0632	0,01259	14	3,28	10,72	5,34	8,66	2,06
MPA08	-51,08983	0,00479	15	6,4	8,6	8,57	6,43	2,17
MPA09	-51,07251	0,00676	11	4,24	6,76	8,69	2,32	4,45
MPA10	-51,07595	0,04174	20	3,9	16,1	6,65	13,35	2,75
MPA11	-51,07476	0,02881	21	5,75	15,25	7,92	13,08	2,17
MPA12	-51,07129	0,01978	20	5,74	14,26	8	12	2,26
MPA13	-51,04393	0,0785	29	2,45	26,55	6,45	22,56	4
MPA14	-51,13405	0,07761	27	7,1	19,9	10,94	16,07	3,84
MPA15	-51,0591	0,03831	24	3,45	20,55	6,35	17,66	2,9
MPA16	-51,08315	0,03763	23	8,1	14,9	10,88	12,12	2,78
MPA17	-51,09296	0,0367	49	7,9	41,1	11,32	37,68	3,42
MPA18	-51,11937	0,04544	22	8,42	13,58	12,98	9,02	4,56
MPA19	-51,13292	0,04208	17	4,67	12,33	8,92	8,09	4,25
MPA20	-51,06978	0,04961	17	8,5	8,5	12,33	4,67	3,83
MPA21	-51,06638	0,09102	21	8,38	12,62	10,6	10,41	2,22
MPA22	-51,08471	0,10385	29	5,5	23,5	7,85	21,15	2,35
MPA23	-51,04678	0,10195	35	4,2	30,8	6,98	28,02	2,78
MPA24	-51,09184	0,07188	17	9,62	7,38	12,5	4,5	2,88
MPA25	-51,08153	0,07733	24	6,48	17,52	9,52	14,48	3,04
MPA26	-51,05427	0,114	16	5,6	10,4	8,95	7,05	3,35
MPA27	-51,11726	0,091	18	4,8	13,2	8,85	9,16	4,05
MPA28	-51,0992	0,08889	17	4,67	12,33	8,75	8,25	4,08
MPA29	-51,04881	0,08514	15	4,93	10,07	9,27	5,74	4,34
MPA30	-51,06429	0,10395	28	3,6	24,4	5,75	22,25	2,15

Anexo 4.3 – Variações de nível de água registradas entre as duas campanhas de medição realizadas no período chuvoso e na estiagem de 2012 na rede de monitoramento quantitativo nas 18 cidades do Projeto PHA no Brasil (continuação).

Poço	Long_Dec	Lat_dec	Cota Terreno (m)	Prof. NE1 (m)	Cota NE1 (m)	Prof. NE2 (m)	Cota NE	Diferença de NE nas duas campanhas
PIN31	-56,78222	-2,657778	8	3,87	4,13	6,02	8	2,15
PIN32	-56,78306	-2,674444	18	4,43	13,57	7,3	18	2,87
PIN33	-56,74917	-2,653333	15	6,93	8,07	11,4	15	4,47
PIN34	-56,72778	-2,6725	13	4,46	8,54	7,4	13	2,94
PIN35	-56,72722	-2,639444	13	13,05	13	15,5	13	2,45
PVH03	-63,88961	-8,73165	88	10,7	77,3	15,5	72,6	4,8
PVH04	-63,88959	-8,74077	88	10,9	77,1	14,2	73,8	3,3
PVH05	-63,86357	-8,74097	85	4,9	80,1	6,9	78,1	2
PVH06	-63,91027	-8,75233	91	15,5	75,5	17,4	73,6	1,9
PVH08	-63,89278	-8,75239	85	8,1	76,9	9,6	75,4	1,5
PVH09	-63,89059	-8,7702	87	9,1	78	13,8	73,2	4,7
PVH10	-63,90404	-8,7707	64	12,4	51,6	16,3	47,7	3,9
PVH11	-63,89976	-8,77307	70	11,1	58,9	12	58	0,9
PVH12	-63,88952	-8,77805	68	1,8	66,2	3,5	64,5	1,7
PVH13	-63,8044	-8,74886	86	4,6	81,4	7,8	78,2	3,2
PVH14	-63,8276	-8,75498	85	3,3	81,7	5,8	76,2	2,5
PVH15	-63,85861	-8,7556	84	1,3	82,7	3	81	1,7
PVH16	-63,87407	-8,77012	89	8,6	80,4	9,2	79,8	0,6
PVH18	-63,87653	-8,78181	86	10,3	75,7	11,9	74,1	1,6
PVH20	-63,84885	-8,77597	86	1,7	84,3	4,8	81,2	3,1
PVH21	-63,86667	-8,78806	85	3,3	81,7	7,7	77,3	4,4
PVH22	-63,88658	-8,79043	86	5,8	80,2	6,7	79,3	0,9
PVH24	-63,89489	-8,8027	91	8	83	11,8	74,2	3,8
PVH30	-63,8075	-8,81139	84	8,2	75,8	10,4	73,6	2,2
RBR01	-67,78553	-10,01052	146	1,54	144,46	3,43	142,57	1,89
RBR02	-67,78826	-10,00295	142	4,22	137,78	5,75	136,25	1,53
RBR03	-67,79435	-10,00889	149	2,04	146,96	2,04	146,96	0
RBR04	-67,80796	-9,972968	143	1,4	141,6	2,76	140,24	1,36
RBR05	-67,80974	-9,989333	142	2,12	139,88	3,35	138,65	1,23
RBR06	-67,81844	-9,981705	148	2,42	145,58	4,89	143,11	2,47
RBR07	-67,79998	-10,06825	137	2,92	134,38	3,51	133,79	0,59
RBR08	-67,77995	-10,00633	135	1,88	132,62	3,24	131,26	1,36
RBR09	-67,77408	-10,00331	136	1	134,8	3	132,8	2
RBR10	-67,8296	-9,982124	142	4,27	137,73	4,24	137,76	-0,03
RBR11	-67,82574	-9,992935	133	1,86	131,14	2,79	130,21	0,93
RBR12	-67,81294	-10,01801	150	3	147	5,1	144,9	2,1
RBR13	-67,81842	-10,00353	134	1,44	132,56	2,47	131,53	1,03

Anexo 4.3 – Variações de nível de água registradas entre as duas campanhas de medição realizadas no período chuvoso e na estiagem de 2012 na rede de monitoramento quantitativo nas 18 cidades do Projeto PHA no Brasil (continuação).

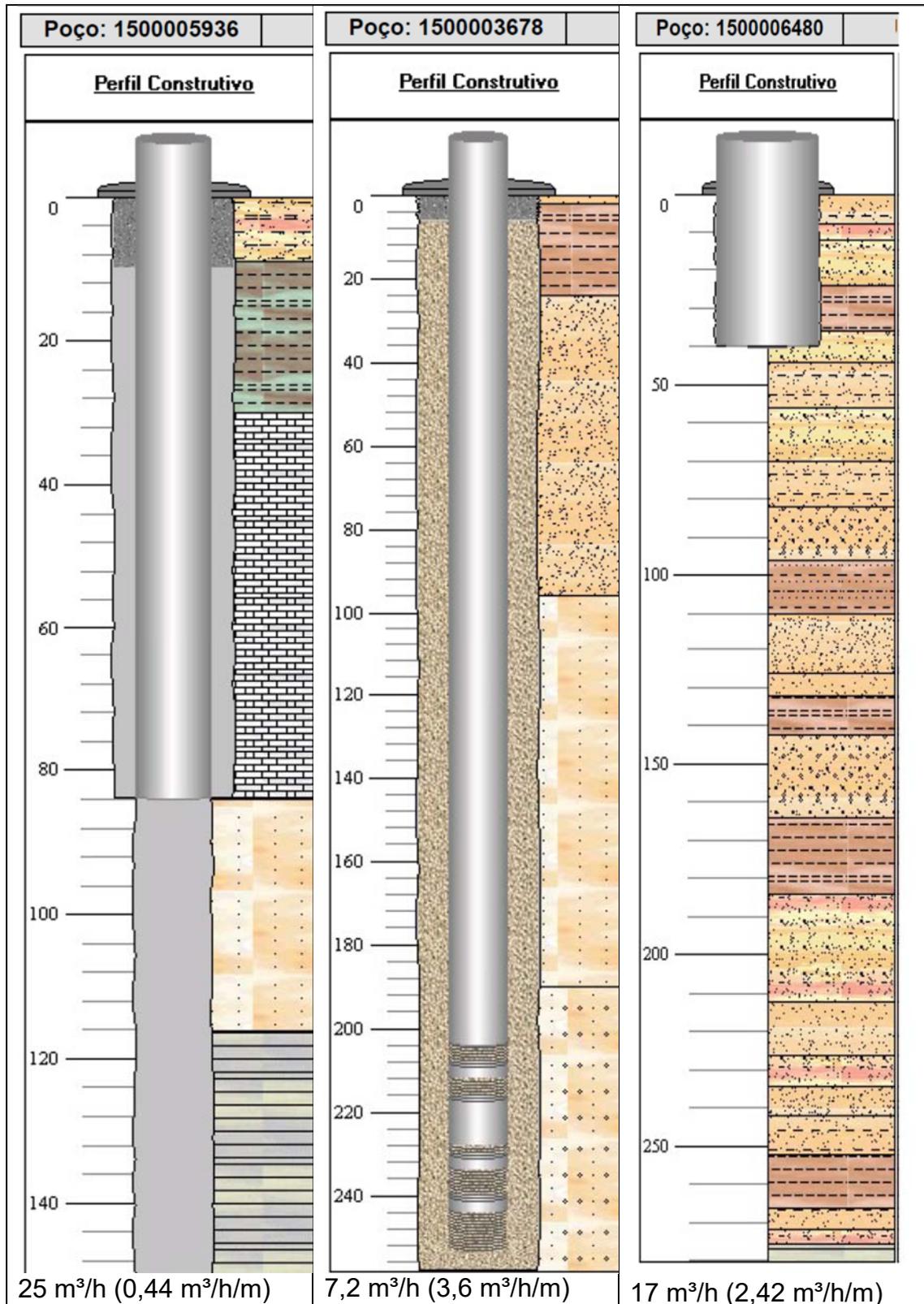
Poço	Long_Dec	Lat_dec	Cota Terreno (m)	Prof. NE1 (m)	Cota NE1 (m)	Prof. NE2 (m)	Cota NE	Diferença de NE nas duas campanhas
RBR14	-67,8017	-10,0279	145	2	143	3,63	141,37	1,63
RBR15	-67,82628	-10,00043	143	3,55	139,45	6,76	136,24	3,21
RBR16	-67,81821	-9,992257	137	0,87	136,53	1,65	135,75	0,78
RBR17	-67,78219	-10,02247	136	6,1	130,1	7,07	129,13	0,97
RBR18	-67,77481	-10,0169	135	3,74	131,56	5,18	130,12	1,44
RBR19	-67,80566	-10,01072	137	3,9	133,1	5,01	131,99	1,11
RBR20	-67,84132	-9,972833	142	2,26	139,74	5,89	136,11	3,63
RBR21	-67,79473	-9,98851	135	2,86	132,14	3,86	131,14	1
RBR22	-67,79606	-9,996726	137	4,25	132,75	5,69	131,31	1,44
RBR23	-67,77073	-10,00947	142	2	140	3,98	138,02	1,98
RBR24	-67,80077	-9,980249	140	3,49	136,51	2,9	137,1	-0,59
RBR25	-67,80615	-9,996979	145	1	144	1,31	143,69	0,31
RBR26	-67,83573	-9,996098	144	2,79	141,21	5,44	138,56	2,65
RBR27	-67,79403	-10,04888	137	1,69	135,11	1,45	135,35	-0,24
RBR28	-67,78648	-9,965901	133	2,11	130,69	3,65	129,15	1,54
RBR29	-67,79477	-9,980472	143	5,25	137,75	7,51	135,49	2,26
RBR30	-67,83208	-10,03978	137	2,7	134,3	5,69	131,31	2,99
STM01	-54,70222	-2,426389	29,6	7,11	12,49	9,25	10,35	2,14
STM02	-54,7075	-2,465556	36	12,63	26,37	12,85	23,15	0,22
STM04	-54,70278	-2,460833	30	6,22	29,38	8,91	24,09	2,69
STM05	-54,70583	-2,452222	59,6	25,49	54,11	28,18	51,42	2,69
STM06	-54,69306	-2,469444	38	4,55	33,45	7,25	30,75	2,7
STM07	-54,71806	-2,424722	33,4	14,4	-1	16,47	-3,07	2,07
STM10	-54,69639	-2,479444	47,9	8,44	44,46	10,49	43,41	2,05
STM12	-54,71417	-2,468056	49,8	15,39	34,41	16,42	33,38	1,03
STM13	-54,76028	-2,458611	53,7	27,53	36,17	32,03	33,67	4,5
STM14	-54,68444	-2,476389	42,5	3,4	32,5	5,97	28,53	2,57
STM15	-54,72889	-2,483333	56,7	20,84	35,86	24,98	31,72	4,14
STM17	-54,74278	-2,430278	13,7	2,54	11,16	3,88	9,82	1,34
STM19	-54,72194	-2,455556	36,1	17,23	-1,13	19,09	-2,99	1,86
STM20	-54,725	-2,466111	37,5	11,39	26,11	12,97	24,53	1,58
STM21	-54,75333	-2,466111	62	26,4	55,6	29,15	52,85	2,75
STM22	-54,73083	-2,4575	23,7	1,31	22,39	4,81	18,89	3,5
STM23	-54,75333	-2,436667	16,4	3,98	9,42	5,14	7,26	1,16
STM24	-54,7475	-2,448611	61,9	16,89	15,01	18,25	13,65	1,36
STM25	-54,70528	-2,435556	38,4	16	22,4	18,43	19,97	2,43
STM26	-54,71111	-2,45173	63,8	28	35,8	29,55	34,25	1,55

Anexo 4.3 – Variações de nível de água registradas entre as duas campanhas de medição realizadas no período chuvoso e na estiagem de 2012 na rede de monitoramento quantitativo nas 18 cidades do Projeto PHA no Brasil (continuação).

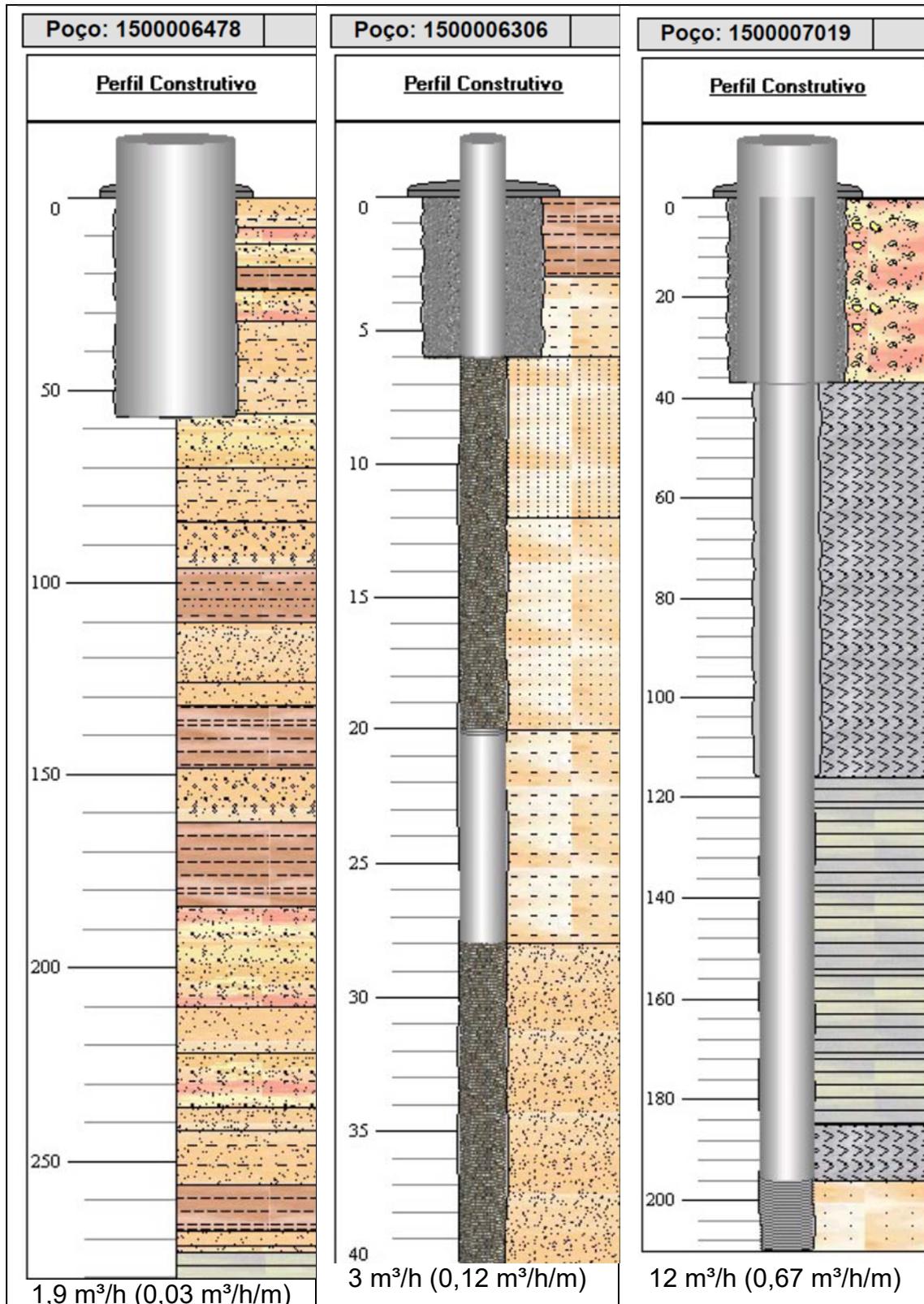
Poço	Long_Dec	Lat_dec	Cota Terreno (m)	Prof. NE1 (m)	Cota NE1 (m)	Prof. NE2 (m)	Cota NE	Diferença de NE nas duas campanhas
STM27	-54,71278	-2,431389	63,9	22	61,9	24,58	59,32	2,58
STM28	-54,70889	-2,425	30,8	13	-2,2	15,04	-5,24	2,04
STM30	-54,75333	-2,438611	21,7	6,98	17,72	8,07	16,63	1,09
TBT01	-69,93109	-4,220125	79	3,35	75,65	3,7	75,3	0,35
TBT02	-69,92754	-4,221903	81	4,34	76,66	5,2	75,8	0,86
TBT03	-69,92445	-4,229875	81	1,69	79,31	3,97	77,03	2,28
TBT04	-69,94083	-4,240278	78	6,87	71,13	9,68	68,32	2,81
TBT05	-69,93584	-4,236111	80	5,48	74,52	5,96	74,04	0,48
TBT06	-69,94305	-4,234722	78	9,9	71,1	8,21	65,79	-1,69
TBT07	-69,94055	-4,230000	79	4,49	74,51	8,04	70,96	3,55
TBT08	-69,92795	-4,237706	79	3,77	75,23	3,89	75,11	0,12
TBT09	-69,92834	-4,226786	79	3,57	75,43	3,65	75,35	0,08
TBT10	-69,92805	-4,234167	79	3,26	75,74	3,72	75,28	0,46
TBT11	-69,93756	-4,222850	78	6,23	71,77	7,63	70,37	1,4
TBT12	-69,93694	-4,226944	80	4,87	75,13	5,85	74,15	0,98
TBT13	-69,94354	-4,255481	79	5,94	73,06	7,46	71,54	1,52
TBT14	-69,93861	-4,246111	80	3,26	76,74	6,28	73,72	3,02
TBT15	-69,93732	-4,232928	80	6,78	73,22	7,78	72,22	1
TFF01	-64,72028	-3,348611	52	27,8	24,194	28,87	24,13	1,07
TFF02	-64,72556	-3,3575	48	25,602	22,398	27,15	31,85	1,548
TFF03	-64,70795	-3,353972	46	9,144	36,856	9,3	23,4	0,156
TFF04	-64,71928	-3,360561	55	24,142	30,858	25,09	18,91	0,948
TFF05	-64,70639	-3,345	31	5,386	25,614	7,35	10,65	1,964
Média								2,408

4.4 – Perfis de Poços Perfurados em Formações Paleozoicas Aflorantes

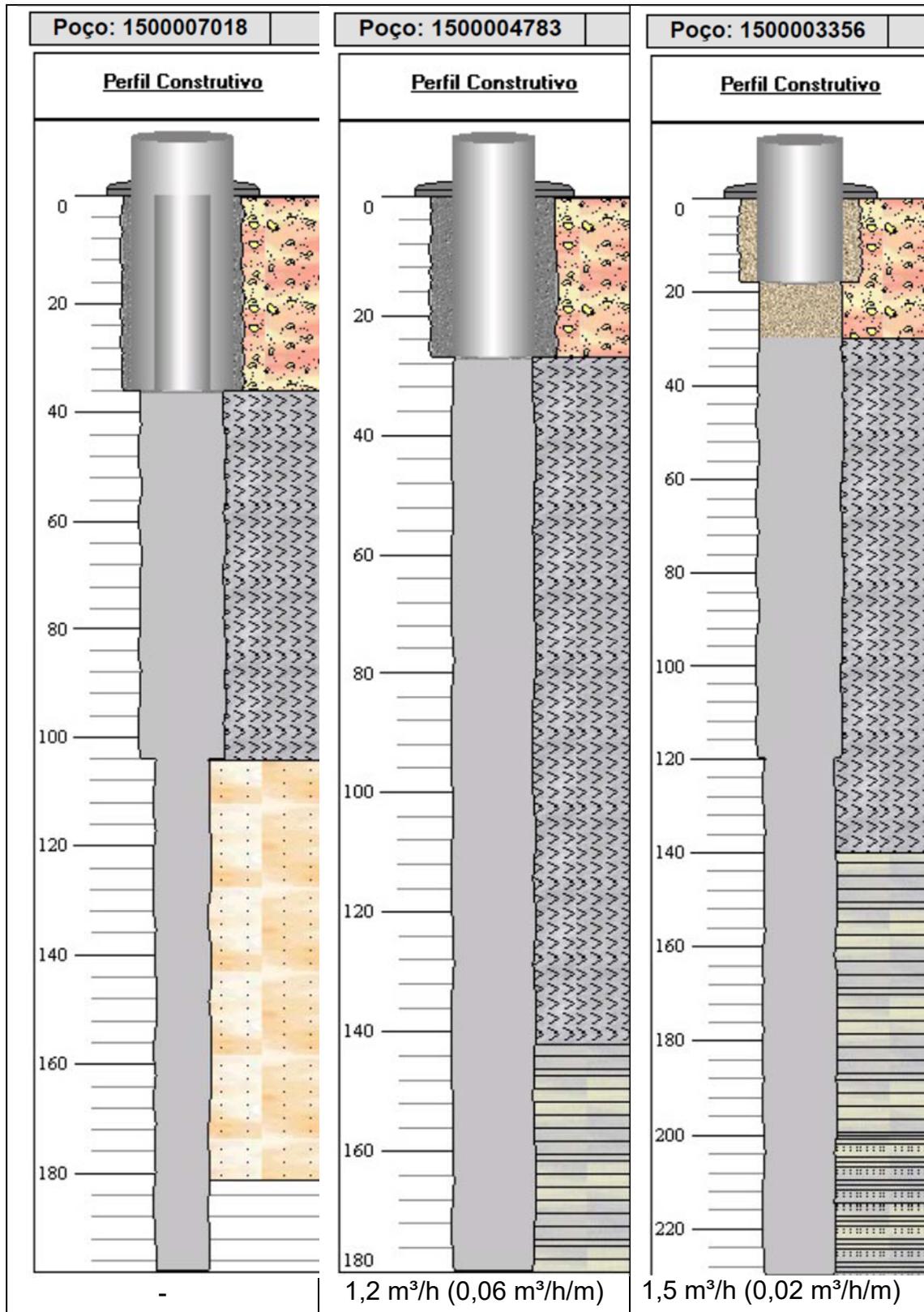
Anexo 4.4.1 – Poços com indicação de vazão (vazão específica), penetrantes em calcário e arenitos do aquífero Base Nova Olinda (PA5936, PA3678 e PA6480).



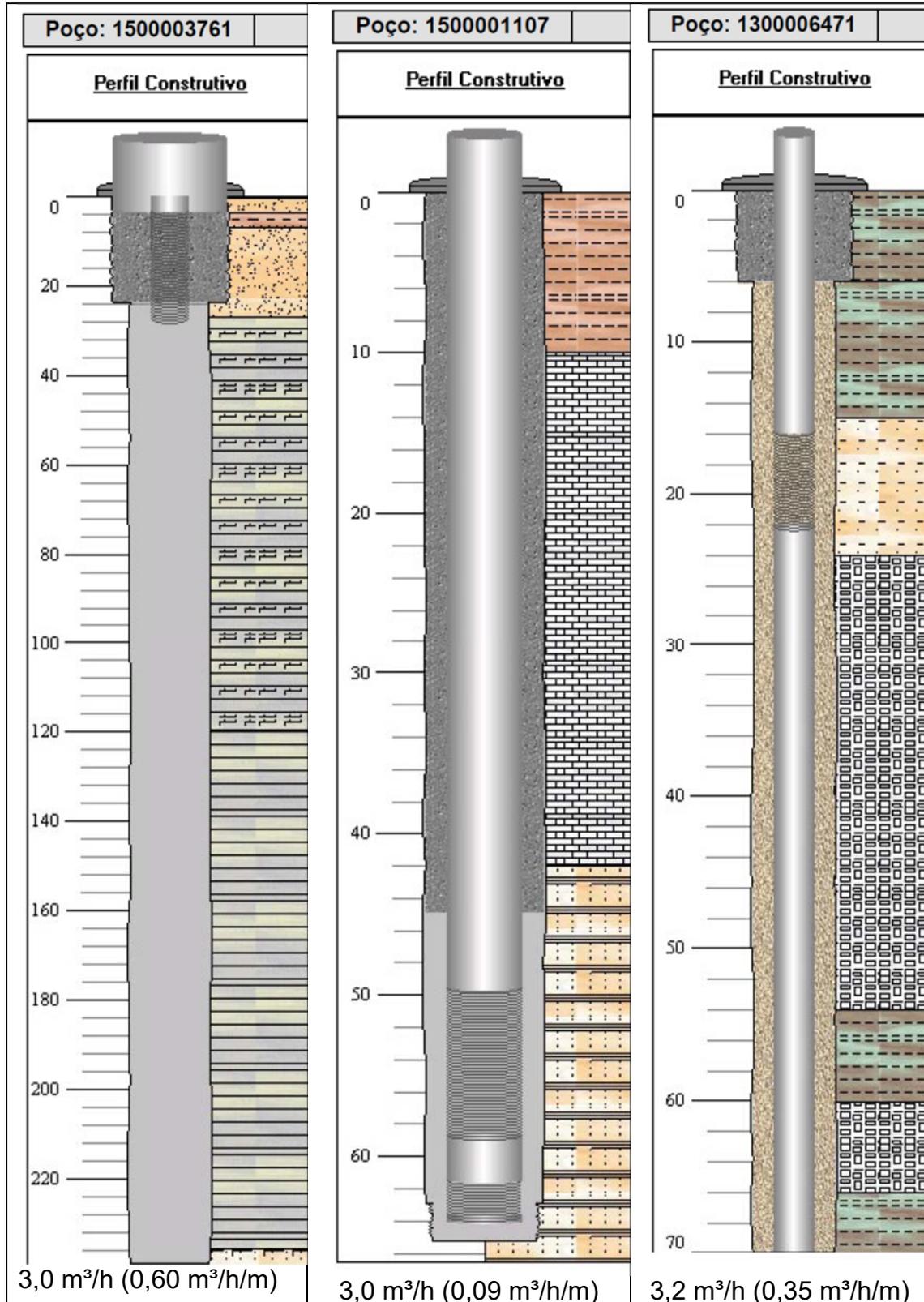
Anexo 4.4.2 – Poços com indicação de vazão (vazão específica), penetrantes em arenitos do aquífero Base Nova Olinda (PA6478, PA6306), e em folhelhos e diabásio do aquífero Curuá (PA7019).



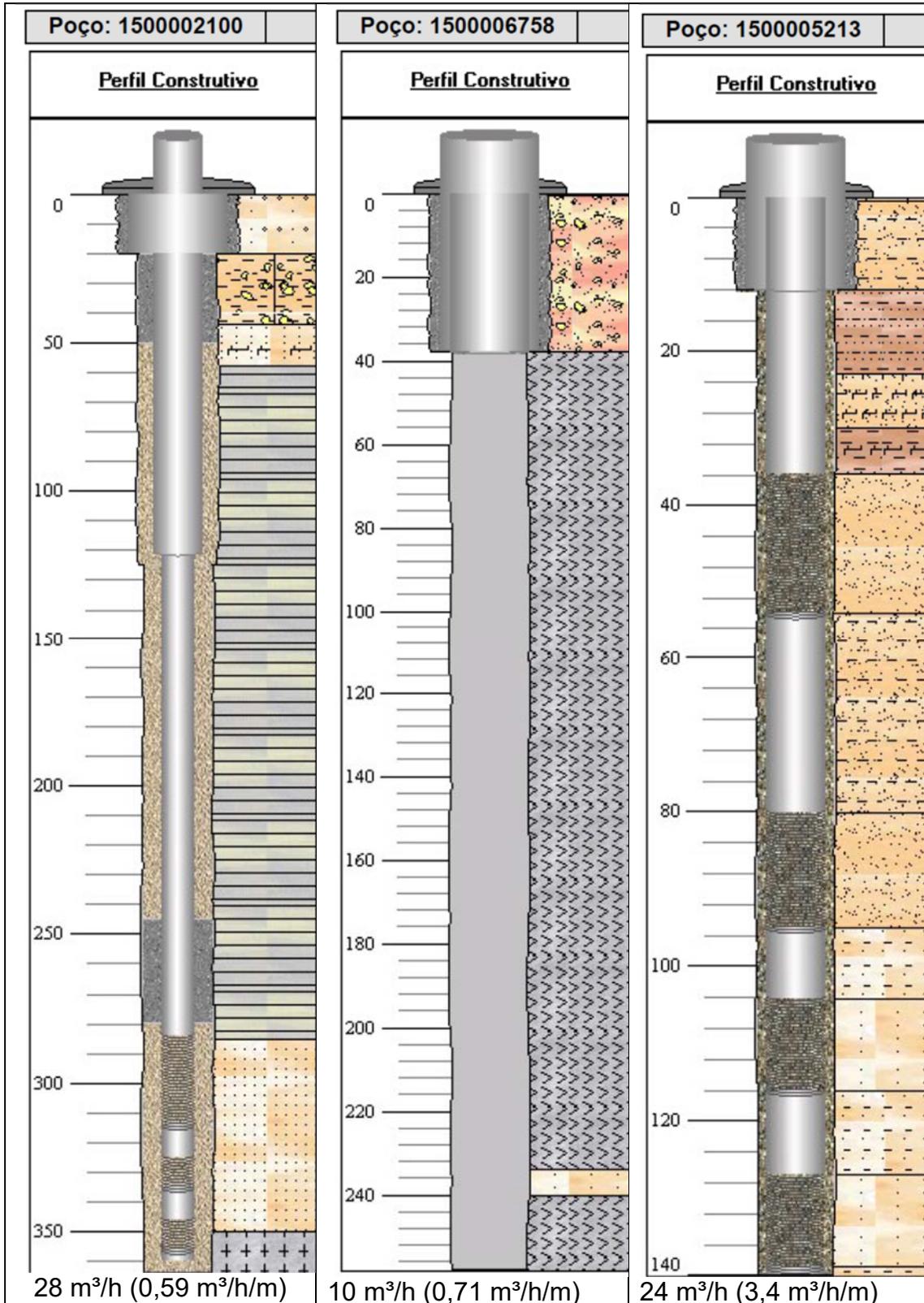
Anexo 4.4.3 – Poços com indicação de vazão (vazão específica), penetrantes no aquífero Curuá (PA7018) e no aquífero Itaituba (PA4783 e PA3356), com predominância de folhelhos e diabásio.



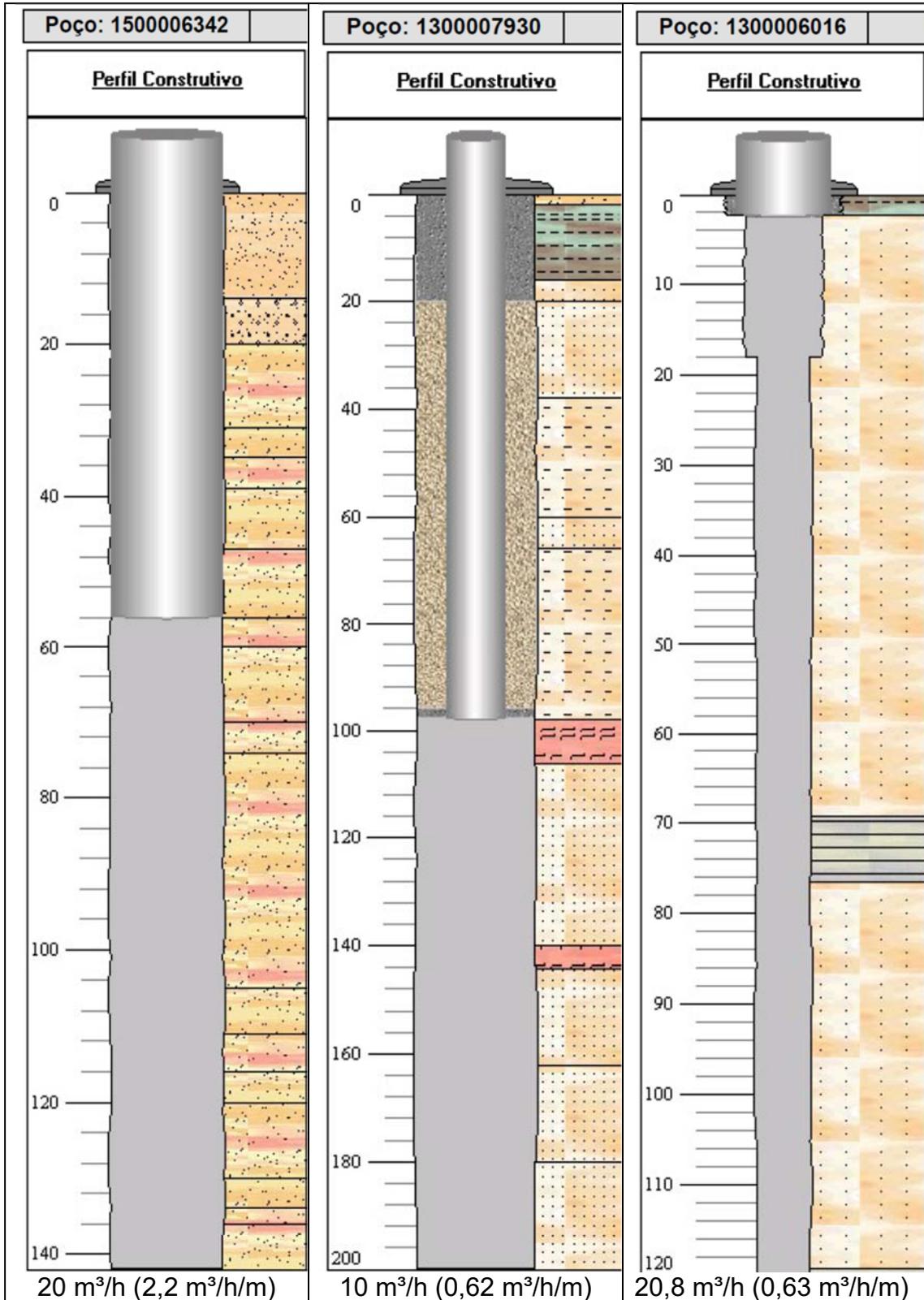
Anexo 4.4.4 – Poços com indicação de vazão (vazão específica), penetrantes no aquífero Itaituba, com predominância de calcários, calcarenitos e folhelhos (PA3761, PA1107 e PA6471).



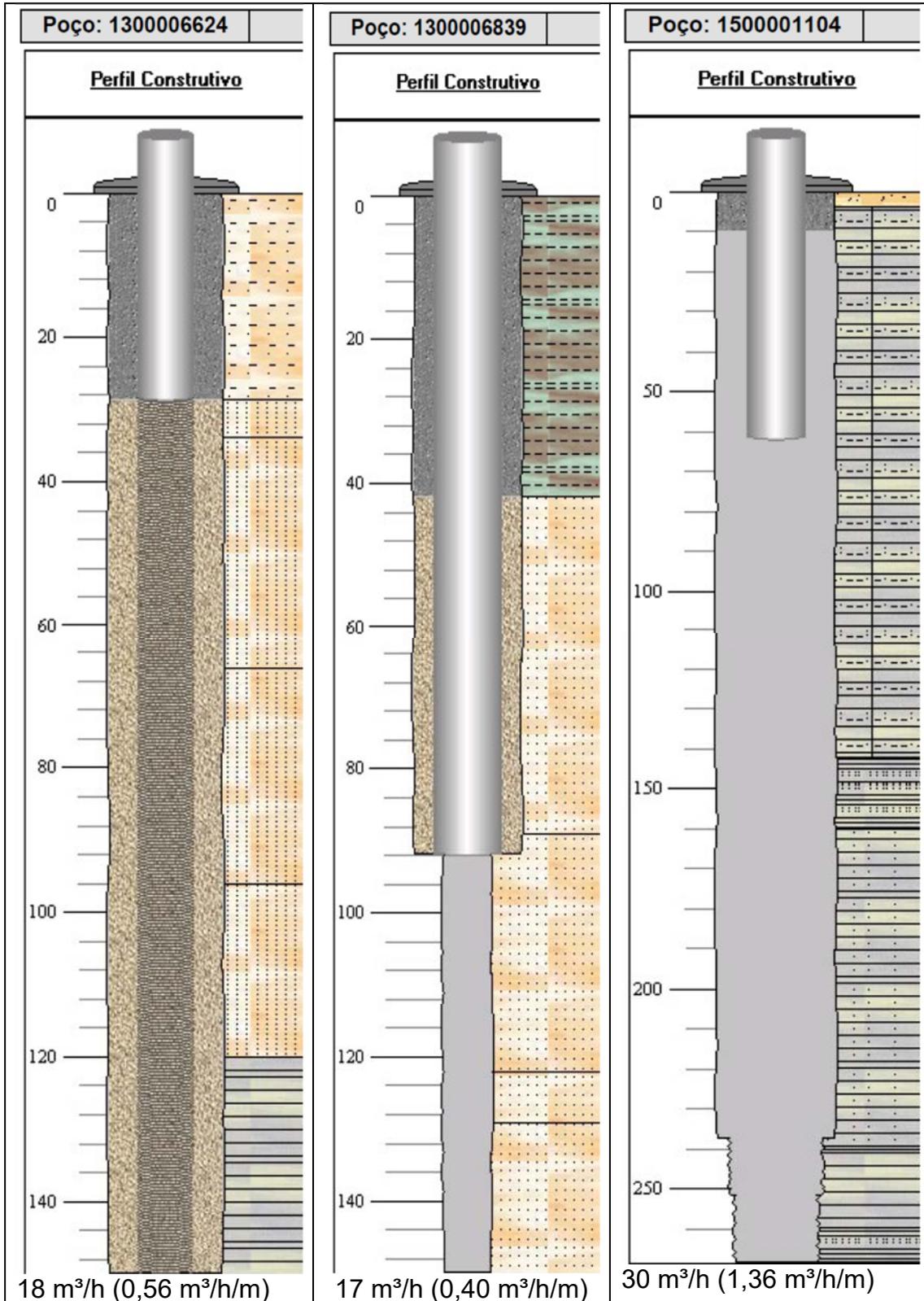
Anexo 4.4.5 – Poços com indicação de vazão (vazão específica), penetrantes no aquitardo Itaituba, com predominância de folhelhos (PA2100 e PA6758) e no aquífero Monte Alegre, com predominância de arenitos (PA5213).



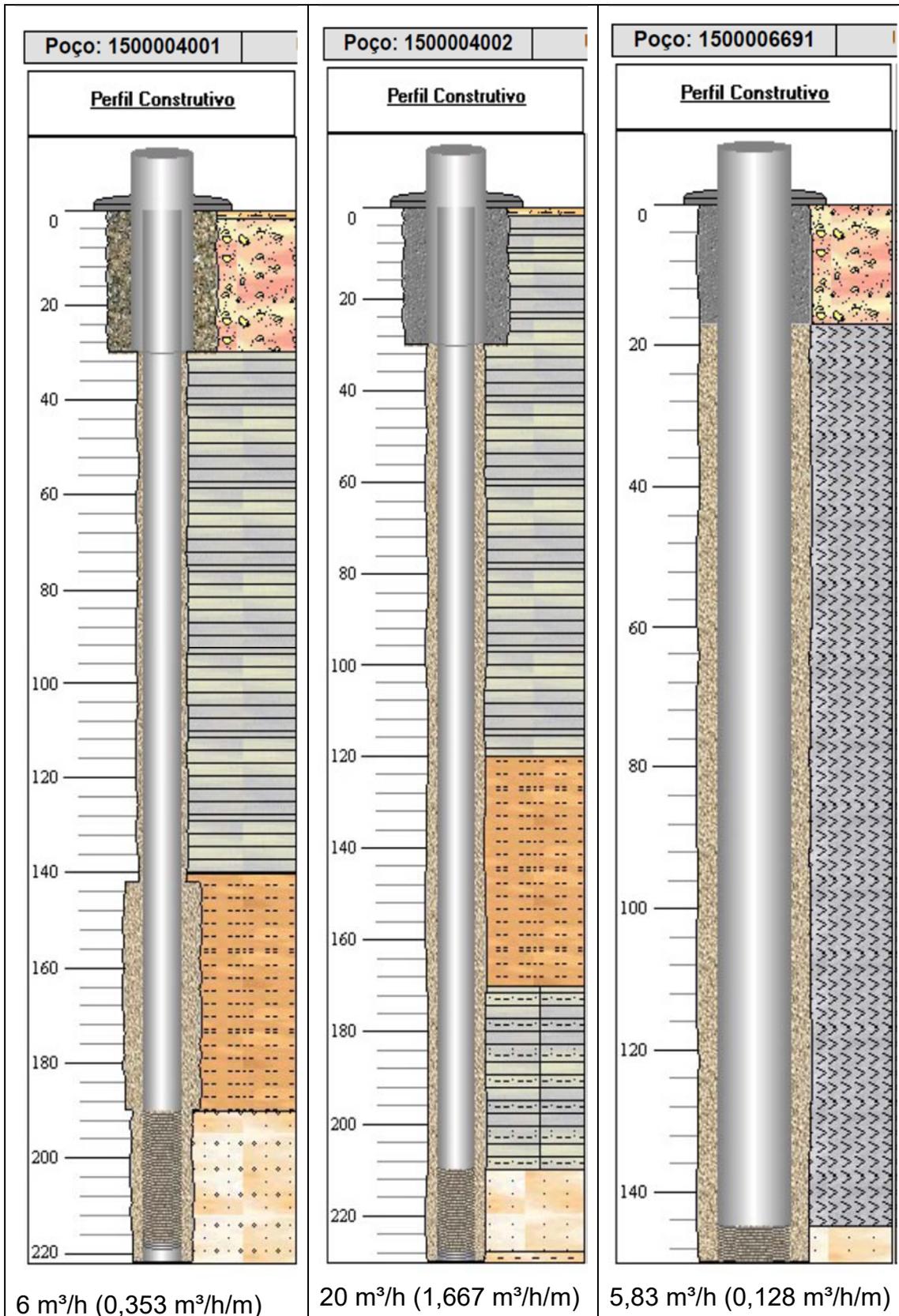
Anexo 4.4.6 – Poços com indicação de vazão (vazão específica), penetrantes no aquífero Monte Alegre, com predominância de arenitos (PA6342 e AM7930) e no aquífero (Nhamundá ?) do Grupo Trombetas (AM7930).



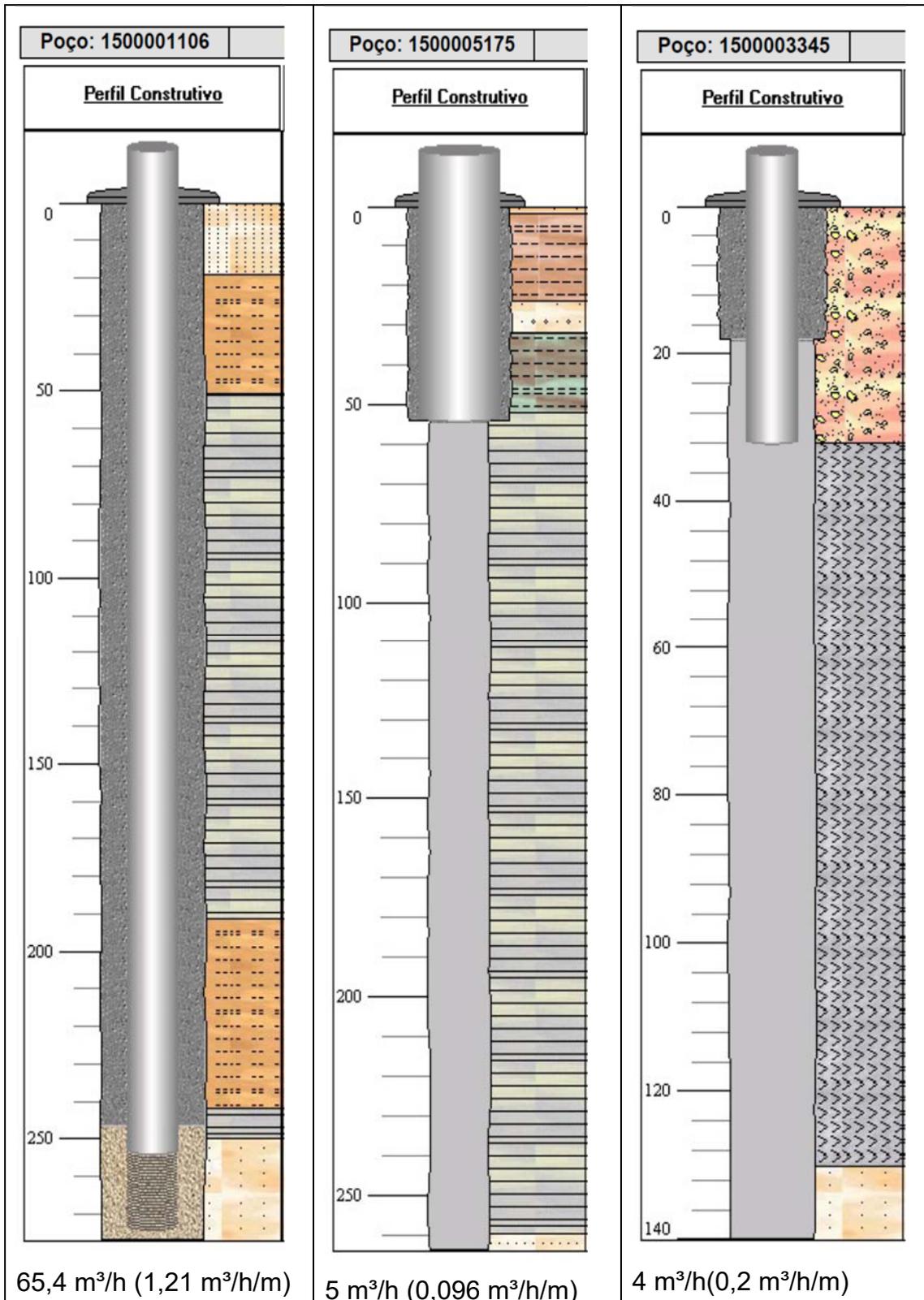
Anexo 4.4.7 – Poços com indicação de vazão (vazão específica), penetrantes em aquífero (Nhamundá ?) do Grupo Trombetas com predominância de arenitos (AM6624, AM6839) e no aquíferos Urupadi, com predominância de folhelhos.



Anexo 4.4.8 – Poços com indicação de vazão (vazão específica), penetrantes no aquífero Urupadi (PA4001, PA4002 e PA6691), com predominância de folhelhos, siltitos e diabásio.



Anexo 4.4.9 – Poços com indicação de vazão (vazão específica), penetrantes no aquífero Urupadi (PA1106, PA5175, PA3345), com predominância de folhelhos, siltitos e diabásio.



4.5 – Espessuras e percentuais de areia do Pacote Aquífero Alter do Chão-Jazida da Fazendinha

Anexo 4.5 – Espessuras e porcentagens de areia no aquífero Alter do Chão.

Poço	Long_Dec	Lat_Dec	Topo (m)	Formação	Espessura (m)	Arenito	%arenito
1-CS-3-AM	-62,09	-3,79333	-34	Alter do Chão	295	215	72,9
2-PUST-1-AM	-62,01389	-4,48333	-12	Alter do Chão	303	178	58,7
2-SLST-1-AM	-61,42833	-3,08583	25	Alter do Chão	221	134	60,6
2-BIST-1-AM	-61,37944	-3,89889	3	Alter do Chão	366	220	60,1
1-RL-1-AM	-61,26168	-4,50638	44	Alter do Chão	350	127	36,3
2-IOST-1-AM	-60,89111	-3,66	-21	Alter do Chão	246	169	68,7
2-IPST-1-AM	-60,66833	-4,815	42	Alter do Chão	312	176	56,4
1-MU-2-AM	-60,64111	-3,29028	43	Alter do Chão	246	140	56,9
1-RCM-1-AM	-60,62456	-3,89706	5	Alter do Chão	345	216	62,6
2-LMST-1-AM	-60,58333	-3,51833	21	Alter do Chão	286	168	58,7
2-NOST-1-AM	-60,55	-3,11861	26	Alter do Chão	199	113	56,8
2-TNST-1-AM	-60,53889	-4,16806	36	Alter do Chão	429	252	58,7
1-LC-2-AM	-60,38018	-3,68823	28	Alter do Chão	341	216	63,3
2-AAST-1-AM	-60,30806	-4,92083	16	Alter do Chão	252	316	125,4
2-SAST-1-AM	-60,18611	-3,35556	22	Alter do Chão	236	124	52,5
2-MNST-1-AM	-60,01247	-2,94861	86	Alter do Chão	229	145	63,3
2-AIST-1-AM	-59,95386	-5,43681	46	Alter do Chão	190	59	31,1
2-AIST-2-AM	-59,95	-5,08417	34	Alter do Chão	296	123	41,6
2-ICST-1-AM	-59,90611	-4,67278	36	Alter do Chão	405	173	42,7
1-ATZ-1-AM	-59,87671	-4,14639	-306	Alter do chão	107	51	47,7
1-AM-15-AM	-59,87091	-3,21567	25	Alter do Chão	224	140	62,5
1-MD-1-AM	-59,86111	-4,02556	33	Alter do Chão	485	253	52,2
1-MI-2-AM	-59,77917	-3,57833	33	Alter do Chão	341	217	63,6
1-RU-2-AM	-59,59308	-4,74984	37	Alter do Chão	123	89	72,4
2-PCST-1-AM	-59,53581	-3,19858	20	Alter do Chão	335	246	73,4
2-RUST-1-AM	-59,42631	-4,60061	42	Alter do Chão	382	257	67,3
1-RPP-1-AM	-59,39567	-3,79603	26	Alter do Chão	457	248	54,3
1-PE-3-AM	-59,3829	-3,02615	74	Alter do Chão	331	270	81,6
1-UA-1-AM	-58,88056	-3,93778	40	Alter do Chão	521	327	62,8
1-UR-1-AM	-58,86306	-3,09806	23	Alter do Chão	309	208	67,3
1-TR-1-AM	-58,72833	-3,3275	19	Alter do Chão	365	346	94,8
1-AX-1-AM	-58,71266	-4,27369	30	Alter do Chão	475	315	66,3
2-UMST-1-AM	-58,71039	-2,34623	19	Alter do Chão	154	115	74,7
2-UA-4-AM	-58,5793	-3,84706	24	Alter do Chão	522	314	60,2
2-JUST-1-AM	-58,39167	-1,88611	18	Alter do Chão	96	87	90,6
1-LSA-1-AM	-58,35839	-2,80984	90	Alter do Chão	389	271	69,7
1-AR-1A-AM	-58,20611	-3,6025	-20	Alter do chão	369	126	34,1
1-RX-2-AM	-58,19515	-4,59633	54	Alter do Chão	147	89	60,5
1-RX-4-AM	-58,12985	-4,36328	47	Alter do Chão	211	122	57,8
1-ITP-1-AM	-58,04898	-2,71525	24	Alter do Chão	304	230	75,7
1-BRSA-98-AM	-58,00548	-2,48484	27	Alter do Chão	302	240	79,5
1-BRSA-9-AM	-57,9827	-4,23809	37	Alter do Chão	208	148	71,2
1-AQ-1-AM	-57,85172	-3,85285	26	Alter do Chão	429	260	60,6

Anexo 4.5 – Espessuras e porcentagens de areia no aquífero Alter do Chão (continuação).

Poço	Long_Dec	Lat_Dec	Topo (m)	Formação	Espessura (m)	Arenito	%arenito
1-MS-6-AM	-57,58194	-4,21833	22	Alter do Chão	123	62	50,4
2-MSST-2-AM	-57,55238	-4,4309	37	Alter do Chão	53	42	79,2
2-NAST-1-PA	-57,36666	-1,71666	14	Alter do Chão	219	89	40,6
1-AD-1A-AM	-57,08778	-3,30167	50	Alter do Chão	389	170	43,7
2-LFST-1-AM	-56,97139	-1,95556	11	Alter do Chão	246	197	80,1
1-JUT-1-PA	-56,63436	-3,31474	48	Alter do Chão	326	205	62,9
1-FA-1-AM	-56,52778	-2,24722	17	Alter do Chão	350	148	42,3
1-PFJ-3-AM	-56,41445	-2,20639	-19	Alter do Chão	389	316	81,2
2-MMST-1-PA	-56,305	-3,30861	70	Alter do Chão	216	129	59,7
2-AP-1A-PA	-55,97275	-2,36375	32	Alter do Chão	520	433	83,3
2-AP-1-PA	-55,97275	-2,36375	32	Alter do Chão	518	453	87,5
2-OAST-1-PA	-55,88	-1,73888	26	Alter do Chão	196	89	45,4
2-PR-1-PA	-55,84611	-2,03805	32	Alter do Chão	460	335	72,8
1-BL-1-PA	-55,80083	-3,96083	134	Alter do Chão	51	31	60,8
1-FC-1-PA	-55,7237	-1,55212	85	Alter do Chão	22	10	45,5
2-IMST-1-PA	-55,24231	-2,05533	-74	Alter do Chão	123	97	78,9
2-BUST-1-PA	-55,22917	-3,39583	79	Alter do Chão	190	136	71,6
1-TA-1-PA	-55,18194	-3,2675	25	Alter do Chão	64	63	98,4
1-AC-1-PA	-54,975	-2,52083	13	Alter do Chão	541	474	87,6
1-SP-1-PA	-54,94926	-3,35606	178	Alter do Chão	445	368	82,7
1-TR-1-PA	-54,90525	-3,00969	117	Alter do Chão	502	461	91,8
1-BR-1A-PA	-54,90115	-2,64781	159	Alter do Chão	598	518	86,6
1-AB-1-PA	-54,83318	-3,57988	89	Alter do Chão	117	87	74,4
2-IGST-1-PA	-54,82861	-2,1075	-43	Alter do Chão	696	485	69,7
1-MA-1-PA	-54,33084	-2,11	15	Alter do Chão	613	391	63,8
1-TU-1-PA	-54,05492	-3,15115	176	Alter do Chão	460	381	82,8
2-MAST-2-PA	-54,03083	-1,88638	15	Alter do Chão	414	319	77,1
2-RPST-1-PA	-53,05833	-1,12528	5	Alter do Chão	927	569	61,4
2-JCST-1-PA	-52,94111	-2,73861	11	Alter do Chão	386	188	48,7
2-ALST-1-PA	-52,61806	-1,53278	3	Alter do Chão	1244	1130	90,8
2-JIST-1-PA	-52,37167	-1,23333	0	Alter do Chão	1098	769	70,0
1-PQ-1-PA	-52,35268	-1,89357	22	Alter do Chão	846	757	89,5
1-CD-1-PA	-52,30024	-1,34899	2	Alter de Chão	1026	768	74,9
1-IU-1-PA	-51,97434	-1,55667	6	Alter do Chão	960	470	49,0
2-XUST-1-PA	-51,93333	-2,65	11	Alter do Chão	194	166	85,6
2-LIST-1R-AP	-51,62417	-0,65111	-64	Alter do Chão	176	155	88,1
1-GU-2-PA	-51,42579	-1,34854	0	Alter do Chão	1161	919	79,2
2-ITST-1R-PA	-51,23333	-0,4	-58	Alter do Chão	284	116	40,8
2-IBST-1A-PA	-51,21666	-0,94999	-68	Alter do Chão	465	298	64,1
2-IAST-1-PA	-51,21166	-0,59333	-49	Alter do Chão	327	160	48,9
2-BCST-1-PA	-51,14111	-1,77889	4	Alter do Chão	616	479	77,8
2-PLST-1-PA	-50,88333	-1,96667	-10	Alter do Chão	627	494	78,8
Média					380	261	

4.6 – Cotas de Topo, de Base e Espessuras do SAAB

Anexo 4.6 – Cotas de Topo, de Base e Espessuras do SAAB.

Ponto	X	Y	Topo SAAB (m)	Base SAAB (m)	Espessura (m)
C001	-54,8332	-3,5800	80	-34	114
C002	-54,9750	-2,5208	1	-524	525
C003	-57,0878	-3,3017	21	-372	393
C004	-50,1722	-0,1411	16	-984	1000
C005	-59,8709	-3,2157	36	-194	230
C006	-49,8211	-0,9386	14	-986	1000
C007	-65,2467	-5,0593	94	-590	684
C008	-57,8517	-3,8529	32	-403	435
C009	-58,2061	-3,6025	19	-401	420
C010	-59,8767	-4,1464	40	-400	440
C011	-58,7127	-4,2737	51	-449	500
C012	-55,8008	-3,9608	216	175	41
C013	-54,9012	-2,6478	165	-434	599
C014	-57,9827	-4,2381	54	-176	230
C015	-65,8866	-4,8260	101	-309	410
C016	-58,0055	-2,4848	40	-265	305
C017	-64,4562	-4,7786	73	-537	610
C018	-64,1930	-5,0204	44	-461	505
C019	-73,1949	-6,8034	179	79	100
C020	-50,3714	-1,4128	30	-970	1000
C021	-52,3002	-1,3490	3	-997	1000
C022	-66,7982	-4,9368	79	-171	250
C023	-55,9331	-1,2883	10	10	-
C024	-64,8847	-4,3843	83	-597	680
C025	-49,6208	-0,4042	11	-989	1000
C026	-62,0900	-3,7933	47	-323	370
C027	-65,1367	-4,6663	86	-424	510
C028	-67,6338	-5,2419	132	-158	290
C029	-68,0097	-5,5084	113	-137	250
C030	-66,5292	-3,7595	68	-482	550
C031	-65,0717	-3,2471	81	-403	484
C032	-65,2993	-3,8279	69	-551	620
C033	-60,6246	-3,8971	44	-321	365
C034	-63,9625	-4,5332	73	-527	600
C035	-66,1092	-4,1503	68	-612	680
C036	-61,2617	-4,5064	50	-300	350

Anexo 4.6 – Cotas de Topo, de Base e Espessuras do SAAB (continuação).

Ponto	X	Y	Topo SAAB (m)	Base SAAB (m)	Espessura (m)
C037	-73,2192	-8,0424	261	261	-
C038	-65,6922	-3,0449	80	-280	360
C039	-59,3957	-3,7960	42	-418	460
C040	-73,0921	-7,1112	225	125	100
C041	-66,9104	-4,1459	106	-544	650
C042	-59,5931	-4,7498	48	-82	130
C043	-58,1952	-4,5963	69	-81	150
C044	-58,1299	-4,3633	58	-157	215
C045	-73,1680	-7,5270	229	229	-
C046	-54,9493	-3,3561	200	-500	700
C047	-48,9115	-2,4748	33	-967	1000
C048	-65,6820	-4,9270	78	-352	430
C049	-55,1819	-3,2675	11	-659	670
C050	-62,8350	-4,9242	26	-374	400
C051	-67,7699	-4,5340	112	-523	635
C052	-58,7283	-3,3275	21	-294	315
C053	-54,9053	-3,0097	142	-858	1000
C054	-54,0549	-3,1512	197	-268	465
C055	-58,8806	-3,9378	37	-488	525
C056	-58,7783	-3,7561	40	-535	575
C057	-57,1039	-4,3119	55	55	-
C058	-58,8631	-3,0981	18	-312	330
C059	-60,3081	-4,9208	32	-238	270
C060	-59,9539	-5,4368	42	-41	83
C061	-59,9500	-5,0842	34	-246	280
C062	-52,6181	-1,5328	1	-999	1000
C063	-55,9728	-2,3638	64	-461	525
C064	-51,1411	-1,7789	2	-613	615
C065	-49,7467	-2,7303	49	-591	640
C066	-61,3794	-3,8989	12	-378	390
C067	-69,9486	-4,3958	78	-422	500
C068	-55,2292	-3,3958	1	-362	363
C069	-72,6463	-7,7265	182	82	100
C070	-48,9208	-0,2125	15	-985	1000
C071	-63,2067	-4,0833	36	-474	510
C072	-54,9750	-1,7583	8	-57	65

Anexo 4.6 – Cotas de Topo, de Base e Espessuras do SAAB (continuação).

Ponto	X	Y	Topo SAAB (m)	Base SAAB (m)	Espessura (m)
C073	-46,5800	-1,3000	72	-928	1000
C074	-69,8022	-6,6936	117	17	100
C075	-66,0808	-3,5175	50	-450	500
C076	-66,0264	-3,2911	58	-287	345
C077	-70,6458	-6,8125	146	146	-
C078	-51,2117	-0,5933	17	-363	380
C079	-51,2167	-0,9500	23	-577	600
C080	-59,9061	-4,6728	12	-353	365
C081	-54,8286	-2,1075	1	-649	650
C082	-50,2033	-0,3800	15	-985	1000
C083	-55,2423	-2,0553	5	-200	205
C084	-72,3061	-7,2331	183	-7	190
C085	-60,8911	-3,6600	28	-282	310
C086	-60,6683	-4,8150	13	-312	325
C087	-51,2333	-0,4000	0	-345	345
C088	-67,4875	-5,5408	82	-218	300
C089	-52,9411	-2,7386	149	-123	272
C090	-50,4222	-1,9556	21	-979	1000
C091	-52,3717	-1,2333	37	-963	1000
C092	-67,9222	-4,2889	70	-330	400
C093	-58,3917	-1,8861	26	-52	78
C094	-62,4090	-6,3766	38	-202	240
C095	-63,7078	-5,6975	32	-368	400
C096	-63,2065	-3,2472	49	-307	356
C097	-56,9714	-1,9556	8	-467	475
C098	-51,6242	-0,6511	0	-590	590
C099	-60,5833	-3,5183	11	-289	300
C100	-54,0308	-1,8864	17	-383	400
C101	-56,3050	-3,3086	88	-192	280
C102	-60,0125	-2,9486	75	-155	230
C103	-57,5524	-4,4309	41	-13	54
C104	-57,3667	-1,7167	26	-194	220
C105	-60,5500	-3,1186	25	-165	190
C106	-55,8800	-1,7389	27	-173	200
C107	-59,5358	-3,1986	2	-298	300
C108	-59,5628	-2,8714	20	-172	192

Anexo 4.6 – Cotas de Topo, de Base e Espessuras do SAAB (continuação).

Ponto	X	Y	Topo SAAB (m)	Base SAAB (m)	Espessura (m)
C109	-50,8833	-1,9667	29	-616	645
C110	-66,1500	-2,3900	37	-163	200
C111	-55,8461	-2,0381	2	-438	440
C112	-62,0139	-4,4833	29	-336	365
C113	-48,5570	-2,2278	26	-98	124
C114	-70,6392	-4,4382	127	-373	500
C115	-70,9819	-9,2975	227	227	-
C116	-72,1971	-4,7636	100	0	100
C117	-53,0583	-1,1253	6	-924	930
C118	-59,4263	-4,6006	35	-350	385
C119	-60,1861	-3,3556	18	-222	240
C120	-61,4283	-3,0858	28	-197	225
C121	-50,3114	-0,1011	1	-999	1000
C122	-67,9600	-3,1108	88	-12	100
C123	-65,9458	-3,0069	51	-271	322
C124	-64,6833	-3,3556	47	-433	480
C125	-60,5389	-4,1681	47	-383	430
C126	-66,5065	-4,3566	62	-23	85
C127	-58,5793	-3,8471	24,6	-500,4	525
C128	-58,7104	-2,3462	20	-135	155
C129	-51,9333	-2,6500	12	-183	195
C130	-65,0439	-4,8338	64,4	-599,6	664
C131	-66,3199	-4,8141	106	-194	300
C132	-65,3008	-4,8606	87	-583	670
C133	-56,5278	-2,2472	14	-256	270
C134	-55,7237	-1,5521	78	78	-
C135	-55,4495	-3,7686	2	2	-
C136	-51,4258	-1,3485	23	-977	1000
C137	-67,0058	-4,8521	90	-160	250
C138	-64,4482	-4,4567	60	-540	600
C139	-55,5757	-1,6356	95	95	-
C140	-49,7931	-0,1106	7	-993	1000
C141	-65,5036	-5,1294	101	-399	500
C142	-65,7477	-5,3476	96	-404	500
C143	-67,1445	-5,4026	111	-189	300
C144	-67,3559	-4,9476	99	-201	300

Anexo 4.6 – Cotas de Topo, de Base e Espessuras do SAAB (continuação).

Ponto	X	Y	Topo SAAB (m)	Base SAAB (m)	Espessura (m)
C145	-58,0490	-2,7153	33	-277	310
C146	-51,9743	-1,5567	4	-996	1000
C147	-70,0221	-5,5986	150	-100	250
C148	-50,7056	-1,0103	24	-821	845
C149	-73,1066	-6,2519	188	88	100
C150	-69,2063	-5,6899	129	29	100
C151	-68,9920	-5,2448	131	31	100
C152	-56,6344	-3,3147	50	-282	332
C153	-60,3802	-3,6882	41	-303	344
C154	-67,2293	-5,2185	87	-193	280
C155	-49,4389	-1,9267	23	-587	610
C156	-58,3584	-2,8098	99	-301	400
C157	-54,3308	-2,1100	20	-410	430
C158	-59,8611	-4,0256	27	-463	490
C159	-59,7792	-3,5783	54	-291	345
C160	-57,5819	-4,2183	5	-119	124
C161	-49,3526	-1,3029	3	-997	1000
C162	-60,6411	-3,2903	32	-218	250
C163	-66,5935	-5,1547	116	-134	250
C164	-66,1660	-4,6700	99	-251	350
C165	-65,5924	-4,6920	70	-360	430
C166	-55,7900	-4,1217	26	26	-
C167	-59,3829	-3,0262	79	-259	338
C168	-56,4145	-2,2064	12	-368	380
C169	-49,9406	-1,4043	25	-975	1000
C170	-52,3527	-1,8936	56	-744	800
C171	-64,8394	-4,6321	73	-517	590
1A	-48,1469	-3,2023	198	18	180
1B	-48,4175	-2,9768	117	-73	190
1C	-49,2645	-2,1767	129	-721	850
1D	-51,7052	-0,5978	26,8	-523,2	550
1E	-51,9558	-0,3293	69	-421	490
1F	-52,0360	-0,2433	81	-369	450
1G	-52,1913	0,0002	120	120	-
2A	-54,6330	-4,2064	216	216	-
2B	-54,6816	-4,0013	93	93	-

Anexo 4.6 – Cotas de Topo, de Base e Espessuras do SAAB (continuação).

Ponto	X	Y	Topo SAAB (m)	Base SAAB (m)	Espessura (m)
2C	-54,7813	-3,7414	220	220	-
2D	-56,0966	-0,6792	255	255	-
3A	-57,8350	-5,4704	198	198	-
3B	-57,9353	-5,1489	117	117	-
3C	-57,9804	-5,0001	129	129	-
3D	-60,8120	-2,2215	69	69	-
3E	-60,8771	-1,7812	81	81	-
3F	-61,0475	-1,3570	120	120	-
4A	-58,7101	-5,7830	127	127	-
4B	-58,8793	-5,6076	92	92	-
4C	-59,3625	-5,2980	58	-2	60
4D	-63,9103	-2,7339	59	-311	370
4E	-64,7753	-2,0147	69	-281	350
4F	-65,5438	-1,2713	78	-132	210
4G	-66,2731	-0,5403	71	71	-
4H	-66,7183	-0,1849	86	86	-
5A	-61,1838	-7,1418	77	77	-
5B	-61,4154	-7,0296	59	59	-
5C	-66,8320	-1,3277	86	86	-
5D	-66,9232	-1,1698	93	93	-
6A	-71,4064	-10,5053	311	311	-
6B	-71,2198	-10,0002	338	338	-
7C	-73,0770	-5,5992	152	52	100
Média					441

4.7 – Resultados da calibração do modelo numérico em 256 pontos com estimativa de parâmetros pelo método PEST Zonal

Anexo 4.7 – Cargas observadas e cargas calculadas fornecidas pelo modelo numérico calibrado pelo método PEST Zonal, erro absoluto e erro relativo.

Ponto	X	Y	Carga Observada (m)	Carga Calculada (m)	Resíduo	Erro absoluto	Erro relativo
h1	-63,9000	-8,6667	60,75	60,68	0,0665	-0,0665	-0,0011
h2	-47,3626	-0,7722	0,50	0,03	0,4722	-0,4722	-16,9901
h3	-50,8905	-0,6703	1,60	1,67	-0,0720	0,0720	0,0431
h4	-57,6317	-3,3207	11,00	11,62	-0,6222	0,6222	0,0535
h5	-53,1133	-1,8123	5,00	5,20	-0,2013	0,2013	0,0387
h6	-54,2757	-2,3629	9,00	7,20	1,7989	-1,7989	-0,2498
h7	-50,2176	1,2874	0,60	0,04	0,5551	-0,5551	-12,3779
h8	-64,1970	-0,3187	38,00	36,22	1,7787	-1,7787	-0,0491
h9	-60,1896	-4,1370	17,00	15,98	1,0233	-1,0233	-0,0640
h10	-56,1031	-2,6362	10,00	9,73	0,2731	-0,2731	-0,0281
h11	-62,4328	-3,7903	29,00	29,71	-0,7082	0,7082	0,0238
h12	-65,0077	-3,7698	52,00	51,18	0,8165	-0,8165	-0,0160
h13	-53,1600	-3,1320	6,00	6,00	0,0015	-0,0015	-0,0003
h14	-55,8770	-3,9980	9,00	9,81	-0,8106	0,8106	0,0826
h15	-58,7000	-4,8940	13,00	12,83	0,1653	-0,1653	-0,0129
h16	-63,1800	-6,9690	50,00	51,91	-1,9139	1,9139	0,0369
h17	-72,2500	-8,5230	200,00	199,93	0,0724	-0,0724	-0,0004
h18	-70,2614	-10,4799	134,00	133,79	0,2079	-0,2079	-0,0016
h19	-70,0103	-4,3617	70,00	72,42	-2,4219	2,4219	0,0334
h20	-71,9970	-4,8950	122,00	122,66	-0,6601	0,6601	0,0054
h21	-69,2313	-1,2560	86,00	86,68	-0,6842	0,6842	0,0079
h22	-66,6484	-1,6250	63,00	62,18	0,8200	-0,8200	-0,0132
h23	-65,7110	-2,5180	56,00	55,05	0,9546	-0,9546	-0,0173
h24	-67,8360	-10,1700	118,00	117,76	0,2365	-0,2365	-0,0020
h25	-69,0879	-5,9811	100,00	99,10	0,8958	-0,8958	-0,0090
h26	-67,3147	-4,5052	73,00	72,96	0,0391	-0,0391	-0,0005
h27	-59,8210	-2,1030	15,00	14,52	0,4787	-0,4787	-0,0330
h28	-57,9741	-1,6511	11,00	11,62	-0,6219	0,6219	0,0535
h29	-62,4823	-2,7594	28,00	26,54	1,4554	-1,4554	-0,0548
h30	-61,6470	-1,1610	24,00	21,35	2,6496	-2,6496	-0,1241
h31	-72,1090	-5,9190	143,00	142,58	0,4162	-0,4162	-0,0029
h32	-72,1290	-6,7560	159,00	159,26	-0,2636	0,2636	0,0017
h33	-72,2070	-7,4370	176,00	175,29	0,7056	-0,7056	-0,0040
h34	-72,8880	-7,1260	181,00	181,54	-0,5370	0,5370	0,0030
h35	-70,9410	-4,5360	96,00	95,84	0,1561	-0,1561	-0,0016
h36	-70,9990	-5,1590	109,50	109,05	0,4507	-0,4507	-0,0041

Anexo 4.7 – Cargas observadas e cargas calculadas fornecidas pelo modelo numérico calibrado pelo método PEST Zonal, erro absoluto e erro relativo (continuação).

Ponto	X	Y	Carga Observada (m)	Carga Calculada (m)	Resíduo	Erro absoluto	Erro relativo
h37	-70,9800	-5,8020	121,00	120,90	0,1009	-0,1009	-0,0008
h38	-71,0190	-6,4830	134,00	133,53	0,4656	-0,4656	-0,0035
h39	-71,0190	-7,2230	146,00	145,31	0,6947	-0,6947	-0,0048
h40	-71,0190	-7,7690	153,00	152,82	0,1759	-0,1759	-0,0012
h41	-71,0970	-8,3920	161,00	161,61	-0,6119	0,6119	0,0038
h42	-71,0770	-8,9950	166,00	165,53	0,4698	-0,4698	-0,0028
h43	-71,6220	-9,5990	182,00	182,19	-0,1871	0,1871	0,0010
h44	-71,9150	-9,0540	191,00	190,99	0,0062	-0,0062	0,0000
h45	-70,1230	-5,0030	91,00	90,54	0,4609	-0,46091	-0,0051
h46	-70,1230	-5,6260	105,00	104,48	0,5195	-0,5195	-0,0050
h47	-70,1420	-6,1520	114,00	113,95	0,0464	-0,0464	-0,0004
h48	-70,1030	-6,7360	122,00	122,11	-0,1108	0,1108	0,0009
h49	-70,1230	-7,2620	130,00	129,15	0,8498	-0,8498	-0,0066
h50	-70,1030	-7,7100	133,50	133,65	-0,1524	0,1524	0,0011
h51	-70,1030	-8,4110	139,50	139,09	0,4126	-0,4126	-0,0030
h52	-70,0450	-8,8790	139,50	139,63	-0,1310	0,131	0,0009
h53	-69,9280	-9,5020	136,20	136,46	-0,2563	0,2563	0,0019
h54	-70,1420	-10,0080	135,50	135,47	0,0306	-0,0306	-0,0002
h55	-69,4220	-10,4170	129,00	129,15	-0,1474	0,1474	0,0011
h56	-68,7400	-10,2810	124,20	124,27	-0,0711	0,0711	0,0006
h57	-68,7400	-9,5800	123,00	123,00	0,0038	-0,0038	0,0000
h58	-68,8180	-8,8980	121,50	121,60	-0,0982	0,0982	0,0008
h59	-68,9550	-7,7690	116,10	116,37	-0,2719	0,2719	0,0023
h60	-68,8960	-6,7750	106,00	106,29	-0,2872	0,2872	0,0027
h61	-69,1880	-5,2760	90,00	90,11	-0,1136	0,1136	0,0013
h62	-69,3050	-4,4970	79,50	78,92	0,5772	-0,57722	-0,0073
h63	-69,3630	-3,6790	75,60	75,74	-0,1389	0,13885	0,0018
h64	-69,3250	-2,4520	78,00	79,01	-1,0128	1,01284	0,0128
h65	-68,3310	-2,4910	75,00	74,27	0,7316	-0,73158	-0,0099
h66	-68,3120	-1,0890	84,00	85,24	-1,2419	1,2419	0,0146
h67	-66,7930	-2,7440	64,00	64,20	-0,1963	0,19625	0,0031
h68	-66,1110	-4,6330	64,00	64,07	-0,0667	0,06668	0,0010
h69	-65,8000	-6,0160	69,30	69,05	0,2457	-0,24567	-0,0036
h70	-65,6630	-7,7690	75,00	74,87	0,1278	-0,12778	-0,0017
h71	-67,2020	-6,3270	86,00	84,57	1,4330	-1,43295	-0,0169
h72	-68,0980	-5,0810	82,00	81,96	0,0387	-0,03874	-0,0005

Anexo 4.7 – Cargas observadas e cargas calculadas fornecidas pelo modelo numérico calibrado pelo método PEST Zonal, erro absoluto e erro relativo (continuação).

Ponto	X	Y	Carga Observada (m)	Carga Calculada (m)	Resíduo	Erro absoluto	Erro relativo
h73	-65,1180	-5,2950	58,50	59,16	-0,6649	0,6649	0,0112
h74	-64,2030	-7,2620	60,00	60,02	-0,0224	0,0224	0,0004
h75	-67,3580	-8,6060	104,50	104,77	-0,2717	0,2717	0,0026
h76	-67,8250	-7,3790	99,70	99,57	0,1343	-0,1343	-0,0013
h77	-62,1000	-5,7430	37,90	37,57	0,3256	-0,3256	-0,0087
h78	-63,3460	-5,5680	46,00	45,86	0,1352	-0,1352	-0,0029
h79	-63,8720	-4,6720	45,50	45,15	0,3450	-0,3450	-0,0076
h80	-63,6380	-2,4520	36,00	36,58	-0,5834	0,5834	0,0159
h81	-62,7810	-1,3620	30,00	28,21	1,7890	-1,7890	-0,0634
h82	-62,5805	0,0692	32,00	29,29	2,7063	-2,7063	-0,0924
h83	-61,6130	-2,3550	17,60	18,38	-0,7794	0,7794	0,0424
h84	-61,1260	-3,8540	20,20	20,68	-0,4813	0,4813	0,0233
h85	-61,1070	-4,4770	23,00	23,05	-0,0465	0,0465	0,0020
h86	-60,4060	-5,5100	22,50	22,70	-0,2050	0,2050	0,0090
h87	-62,6060	-6,4830	45,80	45,68	0,1223	-0,1223	-0,0027
h89	-62,8400	-8,0020	54,70	54,59	0,1065	-0,1065	-0,0020
h90	-64,7090	-8,1770	65,70	65,45	0,2513	-0,2513	-0,0038
h91	-65,9170	-6,9120	75,00	74,82	0,1785	-0,1785	-0,0024
h92	-66,5980	-5,7040	74,40	74,62	-0,2166	0,2166	0,0029
h93	-68,1560	-3,7370	73,50	74,26	-0,7649	0,7649	0,0103
h94	-66,9490	-3,5430	65,50	65,85	-0,3503	0,3503	0,0053
h95	-67,9220	-1,6730	77,00	76,54	0,4638	-0,4638	-0,0061
h96	-67,6300	-9,2870	112,00	112,19	-0,1867	0,1867	0,0017
h98	-59,1010	-2,5500	12,80	13,38	-0,5788	0,5788	0,0433
h99	-59,3150	-3,4260	13,20	13,57	-0,3702	0,3702	0,0273
h100	-58,8280	-4,1460	12,60	12,91	-0,3097	0,3097	0,0240
h101	-59,2760	-4,7890	13,30	13,18	0,1168	-0,1168	-0,0089
h102	-56,9980	-3,5040	10,50	10,95	-0,4468	0,4468	0,0408
h103	-57,3090	-1,7710	10,45	10,96	-0,5138	0,5138	0,0469
h104	-58,1080	-2,2380	11,30	11,97	-0,6684	0,6684	0,0558
h105	-56,3160	-1,5170	9,40	9,88	-0,4756	0,4756	0,0482
h106	-55,6340	-2,8810	8,70	9,18	-0,4841	0,4841	0,0527
h107	-56,1990	-3,2900	9,45	9,97	-0,5242	0,5242	0,0526
h108	-57,9130	-4,3800	11,60	12,10	-0,5049	0,5049	0,0417
h109	-58,0100	-3,4260	11,60	12,06	-0,4593	0,4593	0,0381
h110	-54,4270	-3,3870	7,50	7,74	-0,2436	0,2436	0,0315

Anexo 4.7 – Cargas observadas e cargas calculadas fornecidas pelo modelo numérico calibrado pelo método PEST Zonal, erro absoluto e erro relativo (continuação).

Ponto	X	Y	Carga Observada (m)	Carga Calculada (m)	Resíduo	Erro absoluto	Erro relativo
h111	-54,7000	-2,7830	7,60	7,93	-0,3276	0,3276	0,0413
h112	-53,9990	-2,9780	6,60	7,05	-0,4508	0,4508	0,0639
h113	-52,7520	-2,6270	4,70	5,11	-0,4053	0,4053	0,0794
h114	-53,3950	-2,3550	5,70	5,90	-0,2032	0,2032	0,0344
h115	-54,7000	-1,6730	7,20	7,70	-0,4951	0,4951	0,0643
h116	-55,4980	-1,3230	8,60	8,99	-0,3862	0,3862	0,0430
h117	-53,6870	-1,2060	5,50	5,61	-0,1124	0,1124	0,0200
h118	-53,1030	-0,8160	4,40	4,59	-0,1938	0,1938	0,0422
h119	-52,1880	-0,5050	3,00	3,30	-0,2999	0,2999	0,0909
h120	-52,1290	-0,9530	3,10	3,40	-0,3047	0,3047	0,0895
h121	-52,9280	-1,4010	4,50	4,71	-0,2115	0,2115	0,0449
h122	-52,6160	-2,1410	4,40	4,66	-0,2603	0,2603	0,0559
h123	-51,2720	-2,9390	3,00	2,97	0,0266	-0,0266	-0,0090
h124	-51,7590	-2,3550	3,50	3,52	-0,0240	0,0240	0,0068
h125	-51,5640	-1,6930	2,90	3,04	-0,1388	0,1388	0,0457
h126	-50,8240	-2,1020	2,40	2,34	0,0550	-0,0550	-0,0235
h127	-49,6560	-1,2840	1,10	1,04	0,0568	-0,0568	-0,0544
h128	-49,1300	-2,4130	1,40	1,21	0,1889	-0,1889	-0,1560
h129	-48,2340	-2,0820	0,50	0,74	-0,2414	0,2414	0,3256
h130	-47,4750	-1,4590	0,09	0,27	-0,1812	0,1812	0,6681
h131	-49,1690	-0,8160	0,70	0,48	0,2158	-0,2158	-0,4457
h132	-49,9870	-0,5830	1,00	0,81	0,1906	-0,1906	-0,2356
h133	-50,4350	0,0790	0,95	0,65	0,3031	-0,3031	-0,4686
h134	-50,9220	0,5080	0,90	0,71	0,1907	-0,1907	-0,2688
h135	-50,7270	1,2870	0,20	0,17	0,0285	-0,0285	-0,1659
h136	-72,6740	-5,6460	146,50	146,72	-0,2157	0,2157	0,0015
h137	-67,9340	-8,0400	106,00	106,14	-0,1361	0,1361	0,0013
h138	-67,8970	-6,5360	93,50	93,16	0,3392	-0,3392	-0,0036
h139	-68,1410	-5,6890	88,00	87,71	0,2896	-0,2896	-0,0033
h140	-60,2240	-2,6620	14,30	15,29	-0,9860	0,9860	0,0645
h141	-61,2770	-2,5870	17,00	17,63	-0,6305	0,6305	0,0358
h142	-57,4600	-2,7930	10,80	11,33	-0,5336	0,5336	0,0471
h143	-55,4100	-3,6580	8,80	9,08	-0,2825	0,2825	0,0311
h144	-49,0920	-3,0940	1,50	1,34	0,1625	-0,1625	-0,1215
h145	-48,0950	-1,4390	0,20	0,42	-0,2185	0,2185	0,5221
h146	-50,1830	-1,1760	1,10	1,36	-0,2646	0,2646	0,1939

Anexo 4.7 – Cargas observadas e cargas calculadas fornecidas pelo modelo numérico calibrado pelo método PEST Zonal, erro absoluto e erro relativo (continuação).

Ponto	X	Y	Carga Observada (m)	Carga Calculada (m)	Resíduo	Erro absoluto	Erro relativo
h147	-51,1610	-0,0670	1,40	1,40	0,0011	-0,0011	-0,0008
h148	-48,6410	-2,5490	1,15	1,05	0,0999	-0,0999	-0,0951
h149	-48,6410	-1,8530	1,10	0,80	0,3029	-0,3029	-0,3799
h150	-48,7540	-0,5740	0,04	0,18	-0,1444	0,1444	0,7830
h151	-46,7600	-1,1200	0,03	0,03	0,0015	-0,0015	-0,0524
h152	-47,8130	-1,0820	0,08	0,19	-0,1099	0,1099	0,5787
h153	-68,5740	-3,1690	73,40	74,86	-1,4635	1,4635	0,0195
h154	-69,2880	-2,9810	76,50	76,99	-0,4947	0,4947	0,0064
h155	-67,5580	-2,9060	70,00	69,73	0,2674	-0,2674	-0,0038
h156	-65,9790	-0,7810	52,00	52,61	-0,6090	0,6090	0,0116
h157	-63,3080	0,2150	33,00	31,62	1,3788	-1,3788	-0,0436
h158	-59,1340	-5,2760	13,20	13,09	0,1069	-0,1069	-0,0082
h159	-53,8870	-3,5080	6,60	7,14	-0,5397	0,5397	0,0756
h160	-55,7860	-3,3390	9,00	9,48	-0,4839	0,4839	0,0510
h161	-56,9340	-3,1510	10,30	10,80	-0,5005	0,5005	0,0463
h162	-57,0840	-4,2600	10,80	11,23	-0,4303	0,4303	0,0383
h163	-59,2089	-2,0412	12,90	13,51	-0,6077	0,6077	0,0450
h164	-50,4460	-2,8690	2,00	2,07	-0,0737	0,0737	0,0355
h165	-50,4650	-0,3490	0,12	1,02	-0,9037	0,9037	0,8828
h166	-49,5430	-0,5740	0,50	0,49	0,0138	-0,0138	-0,0283
h167	-65,1510	-0,7810	46,50	47,06	-0,5586	0,5586	0,0119
h168	-63,9100	-1,1390	36,00	36,68	-0,6791	0,6791	0,0185
h169	-64,8690	-1,7220	45,50	45,93	-0,4338	0,4338	0,0094
h170	-66,0160	-1,6840	56,00	56,22	-0,2222	0,2222	0,0040
h171	-68,1600	-0,4430	94,00	93,21	0,7943	-0,7943	-0,0085
h172	-68,7240	-0,4430	94,00	94,57	-0,5737	0,5737	0,0061
h173	-68,4420	0,4220	110,00	110,14	-0,1354	0,1354	0,0012
h174	-68,7050	1,0050	120,00	119,79	0,2079	-0,2079	-0,0017
h175	-68,4040	-4,3350	77,50	77,69	-0,1928	0,1928	0,0025
h176	-51,2360	-2,3230	2,60	2,85	-0,2504	0,2504	0,0879
h177	-49,0730	-1,2890	0,60	0,72	-0,1225	0,1225	0,1696
h178	-52,4390	-2,8500	4,40	4,74	-0,3355	0,3355	0,0709
h179	-57,3470	-1,3640	10,40	10,93	-0,5291	0,5291	0,0484
h180	-68,6300	-1,5150	80,50	82,24	-1,7386	1,7386	0,0211
h181	-61,8420	-0,1610	29,00	27,28	1,7190	-1,7190	-0,0630
h182	-63,8540	0,2150	35,00	33,05	1,9488	-1,9488	-0,0590

Anexo 4.7 – Cargas observadas e cargas calculadas fornecidas pelo modelo numérico calibrado pelo método PEST Zonal, erro absoluto e erro relativo (continuação).

Ponto	X	Y	Carga Observada (m)	Carga Calculada (m)	Resíduo	Erro absoluto	Erro relativo
h183	-63,8540	0,2150	31,7	31,4	0,3	-0,3	-0,0110
h184	-63,4960	-0,6870	35,00	33,26	1,7365	-1,7365	-0,0522
h185	-63,0640	-2,3040	30,00	31,15	-1,1466	1,1466	0,0368
h186	-61,8980	-4,8240	30,00	30,15	-0,1477	0,1477	0,0049
h187	-61,3530	-5,5010	30,10	30,35	-0,2494	0,2494	0,0082
h188	-64,6810	-6,2530	60,00	60,07	-0,0732	0,0732	0,0012
h189	-65,3960	-6,9680	69,80	69,60	0,1989	-0,1989	-0,0029
h190	-67,3510	-4,0530	70,50	70,93	-0,4279	0,4279	0,0060
h191	-67,9530	-2,4550	72,00	72,39	-0,3889	0,3889	0,0054
h192	-67,3510	-1,7220	69,50	70,94	-1,4439	1,4439	0,0204
h193	-68,7620	-1,9660	77,00	78,99	-1,9852	1,9852	0,0251
h194	-58,6070	-1,8910	12,00	12,48	-0,4799	0,4799	0,0385
h195	-58,4000	-2,8500	11,90	12,45	-0,5514	0,5514	0,0443
h196	-58,2120	-4,7110	12,00	12,45	-0,4458	0,4458	0,0358
h197	-56,3690	-4,0530	10,00	10,38	-0,3795	0,3795	0,0366
h198	-56,5950	-3,1130	10,00	10,40	-0,4018	0,4018	0,0386
h199	-56,6890	-2,2860	9,90	10,37	-0,4658	0,4658	0,0449
h200	-56,7270	-1,6840	9,80	10,33	-0,5349	0,5349	0,0518
h201	-56,7830	-1,0450	9,90	10,36	-0,4643	0,4643	0,0448
h202	-53,9810	-1,4960	6,10	6,31	-0,2080	0,2080	0,0330
h203	-53,7560	-1,9850	6,00	6,24	-0,2442	0,2442	0,0391
h204	-53,4920	-2,7750	6,05	6,26	-0,2119	0,2119	0,0338
h205	-54,7900	-3,7520	7,95	8,27	-0,3169	0,3169	0,0383
h206	-54,8840	-3,1690	7,90	8,27	-0,3675	0,3675	0,0445
h207	-55,0720	-2,0600	8,00	8,31	-0,3141	0,3141	0,0378
h209	-52,7590	-0,7810	4,00	4,13	-0,1341	0,1341	0,0324
h210	-52,5330	-1,4020	4,05	4,17	-0,1246	0,1246	0,0299
h211	-52,2700	-1,9850	3,90	4,10	-0,1955	0,1955	0,0477
h212	-52,1380	-2,8870	4,00	4,21	-0,2131	0,2131	0,0506
h213	-50,5590	-2,2480	2,10	2,12	-0,0246	0,0246	0,0116
h214	-50,7840	-1,5330	2,00	2,09	-0,0906	0,0906	0,0433
h215	-51,2550	-0,7250	2,00	2,10	-0,1015	0,1015	0,0483
h216	-72,0520	-5,2190	130,00	128,99	1,0054	-1,0054	-0,0078
h217	-71,6570	-5,6710	130,00	130,29	-0,2886	0,2886	0,0022
h218	-71,3000	-6,0280	130,00	130,52	-0,5244	0,5244	0,0040
h219	-71,6760	-6,2160	140,00	140,60	-0,5988	0,5988	0,0043
h220	-71,3000	-6,5540	140,00	139,84	0,1620	-0,1620	-0,0012
h221	-71,3570	-7,0810	150,00	149,93	0,0683	-0,0683	-0,0005
h222	-71,7700	-6,6300	150,00	150,01	-0,0146	0,0146	0,0001
h223	-72,4100	-6,0470	150,00	150,03	-0,0312	0,0312	0,0002

Anexo 4.7 – Cargas observadas e cargas calculadas fornecidas pelo modelo numérico calibrado pelo método PEST Zonal, erro absoluto e erro relativo (continuação).

Ponto	X	Y	Carga Observada (m)	Carga Calculada (m)	Resíduo	Erro absoluto	Erro relativo
h224	-71,4510	-7,5320	159,00	159,33	-0,3283	0,3283	0,0036
h225	-71,6570	-7,9270	171,00	170,78	0,2247	-0,2247	-0,3451
h226	-69,5280	-8,7600	130,00	130,57	-0,5654	0,5654	-0,0724
h227	-69,4300	-9,5380	130,00	130,12	-0,1167	0,1167	-0,0722
h228	-68,3800	-6,6790	99,80	99,52	0,2849	-0,2849	0,0036
h229	-67,4460	-5,4540	80,00	80,21	-0,2120	0,2120	-0,7411
h230	-67,0180	-5,9980	80,40	80,42	-0,0246	0,0246	0,0097
h231	-66,5130	-6,6590	80,00	79,82	0,1802	-0,1802	0,0066
h232	-67,1940	-7,0100	89,80	89,63	0,1728	-0,1728	0,0055
h233	-66,3180	-5,3560	70,00	70,00	-0,0040	0,0040	0,0127
h234	-66,7850	-4,7730	70,00	70,47	-0,4712	0,4712	0,0197
h235	-68,3410	-4,7140	80,00	80,16	-0,1623	0,1623	0,0109
h236	-65,1320	-3,0030	50,50	50,69	-0,1943	0,1943	0,0158
h237	-64,4700	-4,6560	50,20	50,28	-0,0801	0,0801	0,0196
h238	-63,6530	-5,8430	50,00	49,74	0,2583	-0,2583	0,0058
h239	-63,2840	-4,6750	40,00	40,20	-0,1974	0,1974	0,0199
h240	-62,7390	-5,4540	40,10	40,53	-0,4260	0,4260	0,0182
h241	-63,7120	-3,6640	40,00	39,91	0,0880	-0,0880	0,0054
h242	-64,2370	-2,3220	41,00	41,52	-0,5222	0,5222	0,0023
h243	-63,1870	-1,1160	34,00	31,45	2,5459	-2,5459	-0,0176
h244	-60,6000	-4,7140	20,00	20,45	-0,4545	0,4545	-0,0299
h245	-63,3030	-6,3870	50,00	49,91	0,0894	-0,0894	0,0070
h246	-68,5750	-9,2850	120,50	120,48	0,0163	-0,0163	0,0040
h247	-68,3020	-9,9470	120,20	120,33	-0,1293	0,1293	0,0052
h248	-67,4070	-8,0020	100,00	100,05	-0,0455	0,0455	0,0064
h249	-66,9210	-8,5850	100,20	100,53	-0,3317	0,3317	0,0090
h250	-70,5970	-5,0840	100,00	100,04	-0,0390	0,0390	0,0056
h251	-73,2770	-7,8570	210,00	210,17	-0,1731	0,1731	0,0009
h252	-72,8030	-8,0710	210,00	208,89	1,1104	-1,1104	-0,0050
h253	-72,5270	-8,4080	210,00	209,14	0,8576	-0,8576	-0,0037
h254	-72,3440	-9,0190	210,00	209,50	0,4978	-0,4978	-0,0018
h255	-72,9630	-8,4690	230,00	229,90	0,0973	-0,0973	-0,0003
h256	-73,4300	-7,1460	190,00	190,02	-0,0185	0,0185	0,0002
h257	-72,8330	-6,1980	160,00	159,64	0,3591	-0,3591	-0,0020
h258	-70,6090	-6,7340	130,00	130,37	-0,3657	0,3657	0,0059
h259	-69,2250	-8,3240	124,00	124,02	-0,0233	0,0233	0,0041
h260	-70,5020	-7,9910	144,00	144,00	-0,0007	0,0007	0,0026
Média						-0,05	-0,1