

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

JOSÉ WELLINGTON STANFORD DANTAS

**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA
E CRITÉRIOS PARA CONSTRUÇÃO DE POÇOS NA
BACIA SEDIMENTAR PARAÍBA**

**Recife – PE
2012**

JOSÉ WELLINGTON STANFORD DANTAS

**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA
E CRITÉRIOS PARA CONSTRUÇÃO DE POÇOS NA
BACIA SEDIMENTAR PARAÍBA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências, do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como preenchimento parcial dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências, área de concentração Hidrogeologia.

Orientador: Prof. Dr. Almany Costa Santos

Recife – PE
2012

Catalogação na fonte
Bibliotecária: Rosineide Mesquita Gonçalves Luz / CRB4-1361 (BCTG)

D192c Dantas, José Wellington Stanford.
Caracterização hidrogeológica e critérios para construção de poços na
Bacia Sedimentar Paraíba / José Wellington Stanford Dantas – Recife:
O Autor, 2012.
193f., il., figs., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Almany Costa Santos.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Geociências, 2012.
Inclui Referências.

1. Geociências. 2. Hidrogeologia. 3. Aquífero Beberibe.
4. Bacia Sedimentar Paraíba. I. Santos, Almany Costa (Orientador).
- II. Título.

**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E
CRITÉRIOS PARA CONSTRUÇÃO DE POÇOS
NA BACIA SEDIMENTAR PARAÍBA**

José Wellington Stanford Dantas

APROVADO

Almany Costa Santos
31 de maio de 2012

João Manoel Filho
31 de maio de 2012

Waldir Duarte Costa
31 de maio de 2012

*A todos
da minha família,
presentes e ausentes,
cujo exemplo me guiou a vida.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sua presença que, nos momentos críticos, nos levanta, resultando em aprendizado de vida e fraternidade.

A meus pais, por estarem ao nosso lado, ao lado da verdade, procurando mostrar a efemeridade da vida e a alegria das coisas mais simples; do senhor meu pai guardo, com saudades, a presença, e da senhora minha mãe, o exemplo que nos deu.

Aos meus irmãos e irmãs, pela amizade, pelo apoio e pela companhia.

À minha esposa, Maria Ângela, cuja firmeza, amor e dedicação espelharam as nossas vidas.

Aos nossos amados filhos Rodrigo, Danielle e Bruna, pela sua presença em nossas vidas.

À minha nora Marianna e ao meu genro Jean, pelo carinho de filhos somados à nossa família.

À pequenina Marina, pela doçura e pela alegria que nos proporcionou como primeira neta.

À Universidade Federal de Pernambuco, por me proporcionar a oportunidade do aprendizado de conhecimentos que me enriqueceram a vida acadêmica, profissional e pessoal, em especial ao professor Gorki Mariano e à professora Ignez de Pinho Guimarães, pela receptividade e pela coordenação da pós-graduação.

Ao professor Almany Costa Santos, pelo acolhimento como orientador, pelos ensinamentos, pela paciência e pela orientação no decorrer dos trabalhos.

Aos professores João Adauto de Souza Neto, Lúcia Maria Mafra Valença, Alcina Magnólia Franca Barreto, Valderez Pinto Ferreira, pelos valiosos ensinamentos e esclarecimentos da Geologia.

Ao professor José Geilson Alves Demétrio, pelas aulas, por sua paciência e orientação, pelos esclarecimentos e pelo acompanhamento em trabalhos no campo da dinâmica das águas subterrâneas.

Ao professor Edilton Feitosa, baluarte da Hidrogeologia, pelos inestimáveis ensinamentos, por sua simplicidade e por sua generosa disposição de transmitir conhecimentos.

Aos meus colegas, Mário Valença, Felipe Bem, Filipe Saboya, Tiago Miranda, pelo companheirismo e pela cumplicidade durante o curso.

Ao professor Dr. Wilson Guerreiro Pinheiro, por sua amizade, pelos profícuos diálogos e pela meticulosa revisão ortográfica.

Agradeço a todos os que, de alguma forma, estiveram presentes no desenvolvimento deste trabalho.

A potencialidade de um aquífero no que tange à sua reserva explotável e sua vazão de segurança está relacionada aos seus parâmetros hidrogeológicos.

Luiz Antônio de Oliveira e
José Elói G. Campos (2004, p. 213).

RESUMO

Este trabalho tem o objetivo de contribuir com informações que possam colaborar com o processo de controle, proteção e utilização racional das águas subterrâneas dos Aquíferos Beberibe, Barreiras e Aluvionar do Rio Mumbaba, dentro dos limites da Região Metropolitana de João Pessoa. A pesquisa consistiu na realização de testes de bombeamento em diversos poços para a determinação de parâmetros hidrodinâmicos desses aquíferos e avaliação das possíveis interferências ocasionadas pela falta de planejamento da locação dos poços. A metodologia utilizada consistiu de testes de produção para verificar a eficiência dos poços e de testes de aquífero para determinar a sua capacidade produtiva. Na caracterização hidrodinâmica dos poços e aquíferos, recorreu-se a ensaios de vazão (teste de aquífero e de vazão), bem como a pesquisa bibliográfica e inventário de poços tubulares. Os resultados obtidos demonstram aspectos relevantes quanto à hidrodinâmica e à geometria dos Aquíferos estudados, agregando conhecimentos para melhor orientar a perfuração e a elaboração de projetos de poços tubulares e contribuindo para o planejamento, o gerenciamento, a conservação e a proteção das águas subterrâneas desses aquíferos e de outros da Região. Outro resultado importante observado foi que o histórico dos níveis estáticos de todos os poços estudados se manteve constante, demonstrando a eficiência da recarga, apesar dos fatores antrópicos adversos.

Aquífero Beberibe; Águas Subterrâneas; Testes de Aquífero; Testes de Produção; Aquíferos Barreiras.

ABSTRACT

This work aims to provide information that could assist the process of control, protection and rational utilization of groundwater Beberibe, Barreiras and Alluvial aquifers Mumbaba River, within the boundaries of the Metropolitan Region of João Pessoa, Brazil. The survey consisted of pumping tests in several wells in order to determine the hydrodynamic parameters of these aquifers and assess the possible interferences caused by lack of planning the location of wells. The methodology consisted of production tests to verify the efficiency of wells, and aquifer tests to determine their productive capacity. In the hydrodynamic characterization of wells and aquifers, flow tests (tests of aquifer and flow), bibliographic search and inventory of tubular wells were made. The results obtained demonstrate relevant aspects regarding the hydrodynamics and the geometry of the aquifers studied, adding knowledge to better orient the drilling and the drafting of tubular wells, and contributing to the planning, management, conservation and protection of groundwater aquifers and others in the region. Another important result observed was that the static levels history of all wells studied remained constant, demonstrating the efficiency of recharge, despite adverse man-made factors.

Aquifer Beberibe; Groundwater; Tests Aquifer; Test de production; Aquifer Barreiras

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Imagem de satélite de parte da Região Metropolitana de João Pessoa, em 2004	29
Figura 1.2 (a) Mesorregiões geográficas da Paraíba (RODRIGUEZ, 2000, p. 13); (b) Mesorregião da Mata Paraibana, onde se situa a Região Metropolitana de João Pessoa, em destaque.....	30
Figura 2.1 Limites das Bacias Paraíba e Potiguar. (FEITOSA, 2002)	38
Figura 2.2 Mapa de localização da Bacia Paraíba, com suas Sub-Bacias Olinda, Alhandra, Miriri e Canguaretama. (MABESOONE; ALHEIROS, 1993).....	39
Figura 2.3 Bacia Paraíba, subdividida nas sub-bacias Olinda, Alhandra e Miriri, e suas vizinhas Bacias Potiguar, Pernambuco e Alagoas. (BARBOSA, 2004)	40
Figura 2.4 Divisão da faixa costeira entre o Alto de Maragogi e o Alto de Touros. (BARBOSA; LIMA FILHO, 2006).....	41
Figura 2.5 Desenho esquemático que mostra o resultado da subsidência pela atividade tectônica que provocou a diferença estrutural entre a Bacia Paraíba, ao norte do Lineamento Pernambuco, e a Bacia Pernambuco, ao sul. (BARBOSA; LIMA FILHO, 2005; LIMA FILHO et. al., 2005 apud BARBOSA, 2007)	43
Figura 2.6 Perfil Geológico ao longo da linha de costa, segundo Barbosa e Lima Filho (2005), que mostra os limites extremos da Bacia Paraíba e suas respectivas Sub-Bacias Olinda, Alhandra e Miriri, destacando a diferença de profundidade estrutural entre a Bacia Paraíba e a Bacia Pernambuco	46
Figura 2.7 Seção geológica ao longo da linha de costa, elaborada por Barbosa (2007) a partir de perfis de poços entre o Lineamento Pernambuco e a Falha de Mamanguape. (BARBOSA, 2007)	47
Figura 2.8 Mapa do embasamento, obtido através de mapas de poços, na faixa entre Recife e Natal. (BARBOSA; LIMA FILHO, 2005).....	48
Figura 2.9 Quadro estratigráfico esquemático das Bacias Paraíba e Pernambuco, com as unidades estratigráficas distribuídas na área continental emersa das respectivas Bacias separadas pela Zona de Cisalhamento de Pernambuco. (MABESOONE; ALHEIROS, 1988; FEIJÓ, 1994; LIMA FILHO, 1996, 1998)	50
Figura 2.10 Coluna estratigráfica para a Sub-Bacia Olinda, proposta por Barbosa (2004).....	52

Figura 2.11 Corte em área continental da Bacia Paraíba, descrita pela CPRM (1999), em área da Região Metropolitana do Recife, em que se percebe a rampa em sentido oeste para leste	54
Figura 3.1 Classificação climática de Köppen para o Estado da Paraíba.....	57
Figura 3.2 Bacias hidrográficas do Litoral Sul.....	65
Figura 3.3 Bacia hidrográfica do rio Paraíba.....	66
Figura 3.4 Mapa de drenagem da Bacia hidrográfica do Rio Miriri	67
Figura 3.5 Bacias Hidrográficas do Estado da Paraíba	68
Figura 3.6 Mapa da Paraíba destacando a sobreposição da Bacia Sedimentar dentro das bacias hidrográficas da Paraíba	70
Figura 3.7 Poço 2IST-1-PE (Itamaracá-PE), furo de sondagem estratigráfico da Bacia Sedimentar da Paraíba Coordenadas UTM 9143148 N / 298443 E. Altitude da boca do furo 10m, Fonte Petrobrás.....	78
Figura 3.8 Quadro estratigráfico esquemático das Bacias Paraíba e Pernambuco, com as unidades estratigráficas distribuídas na área continental emersa das respectivas Bacias separadas pela Zona de Cisalhamento de Pernambuco. (MABESOONE; ALHEIROS, 1988; FEIJÓ, 1994; LIMA FILHO, 1996, 1998).....	79
Figura 3.9 Divisão da faixa costeira entre o Alto de Maragogi e o Alto de Touros. (BARBOSA; LIMA FILHO, 2006).....	80
Figura 3.10 Classificação iônica da água subterrânea do Aquífero Beberibe (cloretada sódica), Itamaracá (bicarbonatada) e misturas dos aquiferos (mistas) (COSTA; COSTA FILHO, 2002).....	85
Figura 3.11 Corte geológico da BSP, demonstrando a conformação da rampa homoclinal. (Fonte: Mapa Geológico da RMR-CPRM, 1999).....	89
Figura 3.12 Condições de espessura das camadas na Sub-Bacia Alhandra, trabalho de geofísica realizado por Feitosa (2004), representando a linha AB da Fig. 3.13, tomando como referência o poço Garapu (CAGEPA).....	90
Figura 3.13 Desenho esquemático mostrando mapa da condição de contorno do embasamento	90
Figura 3.14 Mapa de resistividade mostrando as condições de contorno do embasamento na Sub-Bacia Alhandra. (FEITOSA, 2004).....	91
Figura 4.1 Sensores de medição de nível da água, que, funcionam de acordo com a variação da pressão do rebaixamento do nível da água no poço.....	93

Figura 4.2 Medidor de nível elétrico, que funciona pelo disparo de aviso sonoro e luminoso ao entrar em contato com a água no interior do poço.....	93
Figura 4.3 Localização geográfica do poço P-3, da COTEMINAS, às margens dos rios Gramame e Mumbaba.....	94
Figura 4.4 Visualização esquemática da posição dos poços.....	95
Figura 4.5 Escoadouro de orifício circular. [Adaptado de Driscoll (1986).].....	96
Figura 4.6 Gráfico para a obtenção da constante K. [Adaptado de Driscoll (1986).].....	98
Figura 4.7 Vista aérea da condição de união dos Rios Gramame e Mumbaba na área dos poços	99
Figura 4.8 Descarga do bombeamento do poço P3 no rio.....	100
Figura 4.9 Detalhe do poço de produção P3, com os profissionais responsáveis pela execução e monitoramento do teste, a saber, da esquerda para a direita, Jorge Lima, funcionário da CONSTRUPOÇOS, Eli Costa, funcionário da COTEMINAS, Felipe Bem e Wellington Dantas, mestrandos de hidrogeologia da UFPE.....	101
Figura 4.10 Fotografia do local mostrando que, durante o teste, a área se manteve seca.....	102
Figura 4.11 Medição da distância da calha do rio Mumbaba para a área de proteção dos poços, coberta por densa vegetação.....	102
Figura 4.12 Monitoramento noturno para observação da altura piezométrica da coluna de água e da vazão.....	103
Figura 4.13 Nivelamento do escoadouro de orifício circular.....	103
Figura 4.14 Transcrição do perfil litológico e construtivo do poço de observação P1.....	105
Figura 4.15 Transcrição do perfil litológico e construtivo do poço de observação P4.....	106
Figura 4.16 Transcrição do perfil litológico e construtivo do poço de produção P3.....	107
Figura 4.17 Visualização esquemática da posição geográfica dos poços.....	108
Figura 4.18 Gráfico da curva de campo rebaixamento x tempo, do poço de observação P1, sobreposta à curva padrão, com ponto de superposição.....	111
Figura 4.19 Gráfico da curva de campo rebaixamento x tempo, do poço de observação P4, sobreposta à curva padrão, com ponto de superposição.....	112
Figura 4.20 Gráfico da distância dos poços x rebaixamento, para a determinação da transmissividade em regime permanente utilizando o método de Thiem.....	115

Figura 4.21 Gráfico da curva de campo P1 da Aluvião do Rio Mumbaba, sobrepostas às curvas teóricas.....	116
Figura 4.22 Gráfico da curva de campo P4 da Aluvião do Rio Mumbaba, sobrepostas as curvas teóricas de Walton.....	119
Figura 4.23 Localização geográfica da Água Mineral Itacoatiara.....	123
Figura 4.24 Mapa Geológico do Município de Santa Rita.....	124
Figura 4.25 Perfil litológico e construtivo do Poço PII, PININCHUS DE MUMBABA.....	126
Figura 4.26 Perfil litológico e construtivo do Poço PIII JUVENTUDE	127
Figura 4.27 Equipe que participou do teste: Mário Valença (doutorando, UFPE), Valdervan Ferreira de Sousa (encarregado geral da Itacoatiara), Cláudio Lima (DNPM-PB), Alípio Agra (DNPM-PE), José Wellington (mestrando, UFPE), Fernando Carrilho (Engenheiro de Minas – Itacoatiara), Tiago Miranda (mestrando, UFPE), Antônio José (funcionário da Itacoatiara).....	128
Figura 4.28 Escoamento da água do poço Pininchos de Mumbaba para o córrego. A foto também mostra o tambor de fibra para recepção imediata da água, e que não oferece nenhuma resistência ao deslocamento primário do bombeamento, e a tubulação de 100mm para o transporte.....	128
Figura 4.29 Marcação da altura piezométrica na mangueira calibrada pela trena afixada à régua de madeira.....	129
Figura 4.30 Mapa geológico com a localização dos poços da Itacoatiara. A surgência marca o córrego que recebeu a água bombeada por PII.....	130
Figura 4.31 Gráfico da sobreposição da curva de campo sobre a curva padrão de Theis, para determinação dos parâmetros hidrodinâmicos T, K e S no poço Juventude.....	134
Figura 4.32 Gráfico da 2 ^a etapa do tempo x rebaixamento do poço P2 resultante do bombeamento do poço P III – juventude.....	139
Figura 4.33 Superposição da curva no 1. ^o trecho e definição da relação r/D.....	140
Figura 4.34 Mesmo gráfico da Fig. 4.32 sem as famílias de curvas de Pricket para melhor visualização do ponto de superposição.....	140
Figura 4.35 Gráfico da superposição da curva de campo na curva de Pricket (r/D) = 0,6.....	142

Figura 4.36 Gráficos dos rebaixamentos das 04 etapas do bombeamento poço PII.....	148
Figura 4.37 Gráfico do rebaixamento específico x vazão do poço P2 – PININCHUS DE MUMBABA	149
Figura 4.38 Relação dos níveis da água determinantes da eficiência do poço.....	150
Figura 4.39 Transmissividade do poço P2 – Pininchus de Mumbaba, método de Cooper-Jacob, com a curva do próprio poço bombeado.....	151
Figura 4.40 Gráficos dos rebaixamentos das 04 etapas do bombeamento poço PIII.....	153
Figura 4.41 Gráfico da vazão x rebaixamento específico com os valores B e C da equação Característica do poço PIII – JUVENTUDE.....	154
Figura 4.42 Gráfico de s x t 1 ^a etapa poço PIII – JUVENTUDE, determinação da Transmissividade método de Cooper-Jacob.....	155
Figura 4.43 Localização dos poços do Cabo Branco Residence Privê. (Fonte: Google Earth).....	156
Figura 4.44 Gráfico da evolução do rebaixamento da curva de campo bi-log do poço PIII do Cabo Branco Residence Privê.....	160
Figura 4.45 Gráfico da evolução do tempo x rebaixamento do poço de observação 01. A disposição dos pontos no gráfico representa a ocorrência de um poço funcionando, ligando e desligando o controle automático do quadro de comando automático e/ou por causa de chuva (respingo), em razão da exposição dos filtros e consequente captação de água do Aquífero Barreiras.....	162
Figura 4.46 Perfil litológico e construtivo do Cabo Branco Residence Privê – POÇO CDRM. Todos os dados colocados nesta figura foram descritos fielmente como no original.....	163
Figura 4.47 Perfil litológico e construtivo do POÇO 02 do Cabo Branco Residence Privê (perfurado pela HIDRA).....	164
Figura 4.48 Perfil litológico e construtivo do POÇO 03 do Cabo Branco Residence Privê (construído pela CONSTRUPOÇOS).....	165
Figura 4.49 Localização do poço CD1 = Cabo Branco Residence Privê (CBRP) e demais poços da área: CD2 = Condomínio Residencial; CD3 = Condomínio Residencial; CD4 = Condomínio Residencial Bougainville (CRB); CD5 = Condomínio Residencial Villas do Farol (CRVF); CD6 = Condomínio Residencial Alpha Village (CRAV); P1 = Poço tubular CBRP - 160 m; P2 = Poço tubular CBRP - 160 m; P3 = Poço tubular CBRP - 200 m; P4 = Poço tubular; P5 = Poço tubular; P6 = Poço tubular	

CRB – 53 m; P7 = Poço tubular CRB – 160 m; P8 = Poço tubular CRAV – 57 m; P9 = Poço tubular CRAV – 160 m; P10 = Poço tubular CRAV – 52 m; P11 = Poço tubular CRAV – 160 m.....	166
Figura 4.50 Gráfico tempo x rebaixamento, determinação da Transmissividade, Cabo Branco Residence Privê – Método de Cooper-Jacob.....	167
Figura 4.51 Gráfico da curva de campo tempo x rebaixamento (4320mi) - Etapa contínua, determinação do T – método de Cooper-Jacob.....	171
Figura 4.52 Perfil litológico e construtivo do poço THERMO 1.....	172
Figura 4.53 Superposição dos gráficos da evolução dos rebaixamentos no poço de produção com três etapas, poço THERMO 1.....	176
Figura 4.54 Gráfico do rebaixamento específico x vazão – Etapa contínua	177
Figura 4.55 Relação dos níveis da água determinantes da eficiência do poço.....	178

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 Características geográficas e econômicas da Região Metropolitana de João Pessoa	32
Tabela 3.1 Balanço hidroclimático do município de João Pessoa no período 1961-1990	58
Tabela 3.2 Média das temperaturas mínimas mensais e anual – Estação climatológica de João Pessoa (em °C). Fonte: UACA-CTRN-UFCG (2008).....	59
Tabela 3.3 Média das temperaturas médias mensais e anual – Estação climatológica de João Pessoa (em °C). Fonte: UACA-CTRN-UFCG (2008).....	59
Tabela 3.4 Médias das temperaturas máximas mensais e anual – Estação climatológica de João Pessoa (em °C). Fonte: UACA-CTRN-UFCG (2008).....	60
Tabela 3.5 Estações pluviométricas da Região Metropolitana de João Pessoa.....	60
Tabela 3.6 Índices pluviométricos (em mm) de 1994 até 2010. O mês de novembro de 1995, cujo índice pluviométrico não foi apresentado, não foi considerado para a média. Fonte: UFCG/CCT/DCA.....	61
Tabela 3.7 Precipitação mensal no Estado da Paraíba no período 1911-1990. Código da Estação DFAARA: 3940225; latitude: 07°05'00"; longitude: 34°50'00"; altitude: 5m. Fonte: UFCG/CCT/DCA	62
Tabela 3.8 Valores médios da umidade relativa do ar (%), em diferentes horários do dia, da região Litorânea da RMJP no período 1911-1980. Fonte: UFCG/CCT/DCA	63
Tabela 3.9 Quantidade de horas diárias de insolação para o município de João Pessoa – Paraíba	64
Tabela 3.10 Profundidade do topo calcário e do Beberibe próximo à linha da costa nos bairros do Bessa, Manaíra e Cabo Branco (João Pessoa) e na cidade de Cabedelo.....	86
Tabela 3.11 Espessura das formações geológicas com base na descrição litológica do poço de Marés. (CAGEPA, 1999).....	87
Tabela 3.12 Descrição litológica do poço da Estação Elevatória de Água Tratada de MARÉS –CAGEPA – FONTE HIDROTEC – 1999	87
Tabela 4.1 Evolução do nível dinâmico (ND), em metros, dos poços P3 (bombeado), P1 e P4 (observados); s_w = rebaixamento, em metros.....	109

Tabela 4.2 Dados de rebaixamento e distâncias dos poços P1 e P4 em relação ao poço de produção P3.....	114
Tabela 4.3 Parâmetros hidrodinâmicos e média dos valores obtidos para a Aluvião do rio Mumbaba.....	121
Tabela 4.4 Valores de resíduo seco e condutividade elétrica das águas do Aquífero Barreiras. (COSTA, 2006)	123
Tabela 4.5 Evolução do rebaixamento das quatro etapas do teste de produção do poço PII.....	131
Tabela 4.6 Evolução do rebaixamento do poço de observação PIII – Juventude.....	132
Tabela 4.7 Rebaixamento do nível da água no poço PII em função do bombeamento no poço PIII.....	137
Tabela 4.8 Comparação dos parâmetros hidrodinâmicos encontrados pelos métodos de Theis e de Boulton-Pricket – Itacoatiara	144
Tabela 4.9 Vazão e rebaixamento específico do teste de produção com três etapas POÇO PII – PININCHUS DE MUMBABA.....	148
Tabela 4.10 Evolução do rebaixamento das quatros etapas do Poço PIII – JUVENTUDE.	152
Tabela 4.11 Vazão e rebaixamento específico do teste de produção com três etapas. POÇO PIII – JUVENTUDE.....	153
Tabela 4.12 Evolução do rebaixamento POÇO 03 durante o teste de bombeamento (CBRP).....	161
Tabela 4.13 Evolução do rebaixamento do POÇO 01 durante o teste de bombeamento....	162
Tabela 4.14 Métodos de interpretação de testes de aquífero em função do tipo de aquífero e do regime de bombeamento. (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2000, p. 261.....	170
Tabela 4.15 Teste de produção do poço THERMO 1, etapa contínua 4320 min.....	173
Tabela 4.16 Vazão e rebaixamento específico do teste de produção com três Etapas.....	177
Tabela 4.17 Rebaixamento x tempo – teste escalonado poço THERMO 1. (CORNER, 2002).....	180
Tabela 5.1 Média dos parâmetros hidrodinâmicos obtidos.....	183

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AESA	Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
AL	Estado de Alagoas
ARM	Armazenamento de água no solo
As'	Clima quente e úmido com chuva de outono-inverno com período de estiagem de 5 a 6 meses.
Asi	Clima tropical úmido, com verão seco, praticamente sem variação de temperatura média mensal ao longo do ano.
Aw'i	Clima tropical úmido, com estação seca no outono, praticamente sem variação de temperatura mensal ao longo do ano.
Awi	Clima tropical úmido, com estação seca no inverno.
Awig	Clima tropical úmido, com estação seca no inverno, e que apresenta mês com maior temperatura média antes do solstício de verão.
BA	Estado da Bahia
BSh	Clima semiárido quente.
BSP	Bacia Sedimentar Paraíba
BSw'h'	Clima seco, com estação seca no outono e temperatura média mensal superior a 18°C.
BSwh'	Clima seco, com a estação seca no inverno.
Bswh'g	Clima seco, com a estação seca no inverno, e ocorrência do mês mais quente antes do solstício de verão.
Bww'h'	Clima seco de tipo desértico, com a estação seca no outono e temperatura média mensal superior a 18°C.
Bwwh'	Clima seco de tipo desértico, com estação seca no inverno.
CAGEPA	Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
CBRP	Cabo Branco Residence Privê
CCT	Centro de Ciências e Tecnologia
CD1, CD2, ... , CD6	Condomínios residenciais
CD-ROM	<i>Compact Disc – Read Only Memory</i>
CIBPU	Comissão Interestadual da Bacia Paraná-Uruguai
Cond.	Condutividade
CONESP	Companhia Nordestina de Sondagens e Perfurações

Coniac.	Coniaciano
Coord.	Coordenação
COTEMINAS	Companhia de Tecidos Norte de Minas S.A.
CPRH	Agência Estadual de Meio Ambiente [Criada em 1976 com a denominação de Companhia Pernambucana de Controle da Poluição Ambiental e de Administração de Recursos Hídricos, que deu origem à sigla.]
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CRAV	Condomínio Residencial Alpha Village
CRB	Condomínio Residencial Bougainville
CRVF	Condomínio Residencial Villas do Farol
CTRN	Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
d	Diâmetro do orifício menor do escoadouro de orifício circular
D	Diâmetro do tubo do escoadouro, orifício maior
DCA	Departamento de Ciências Atmosféricas
DEF	Deficiência Hídrica
DFAARA	Delegacia Federal de Agricultura, Abastecimento e Reforma Agrária
DGM	Divisão de Geologia e Minerologia
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
E	Este; Leste
ed.	Edição
EMATER	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural
Esc.	Escoadouro
et al.	Abreviação da locução latina <i>et alii</i> [= e outros]
ETP	Evapotranspiração Potencial
ETR	Evapotranspiração Real
EXC	Excedente Hídrico
FADE/UFPE	Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da Universidade Federal de Pernambuco
f.	folha(s)
F.	Formação

Fig.	Figura
Fm.	Formação
FM.	Formação
F. M. Farinha	Formação Maria Farinha
Form.	Formação
hab.	habitante(s)
HP	Altitude da estação climatológica
HZ	Altitude da cuba do barômetro acima do nível do mar.[numa estação climatológica]
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Ibid.	Abreviação do advérbio latino <i>Ibidem</i> [= no mesmo lugar; na mesma obra]
Id.	Abreviação do pronome latino <i>Idem</i> [= a mesma coisa; o mesmo (autor)]
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IDH-M	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
i.e.	Abreviação da conjunção explicativa latina <i>id est</i> [= isto é]
IFPB	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba
il.	ilustrações
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
Inf.	Inferior
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
ISBN	Abreviação do inglês <i>International Standard Book Number</i> [= Número Padrão Internacional de Livro]
ISSN	Abreviação do inglês <i>International Standard Serial Number</i> [= Número Internacional Normalizado para Publicações Seriadas]
LABHID-UFPE	Laboratório de Hidrogeologia da Universidade Federal de Pernambuco
Lat.	Latitude
Long.	Longitude
mang. piez.	mangueira piezométrica
Máx.	Máximo(a)
Mod.	Modelo

n.	número; nascido
N	Norte
n.^o	número
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i> [= Administração Nacional da Aeronáutica e do Espaço]
NE	Nordeste
NW	Abreviação do inglês <i>Northwest</i> [= Noroeste]
NY	<i>New York</i>
Orif.	Orifício
p.	página(s)
P	Precipitação pluviométrica
P/	Para
PB	Estado da Paraíba
PE	Estado de Pernambuco
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
Per.	Período [geológico]
PETROBRAS	Petróleo Brasileiro S.A.
pH	Potencial Hidrogeniônico
PIB	Produto Interno Bruto
Pleist.	Pleistoceno
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
ppm	partes por milhão
Prof.	Profundidade
PS	Ponto de superposição
P1, P2, ... , P10, P11	Poços tubulares
PT1	Poço THERMO 1
R	<i>Run-off</i> [= escoamento ou deflúvio]
Reb.	Rebaixamento
RMJP	Região Metropolitana de João Pessoa
RMR	Região Metropolitana do Recife
RN	Estado do Rio Grande do Norte
S	Sul

S.A.	Sociedade Anônima
Sant.	Santoniano
SC	Estado de Santa Catarina
SCC	Sistema de Classificações Climáticas
SE	Sudeste
SEV	Sondagem Elétrica Vertical
SGN	Serviço Geológico do Nordeste Ltda.
SUDENE	Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
s.l.	Abreviação da locução latina <i>sine loco</i> [= sem local (de publicação)]
Sup.	Superior
SUREG/RE	Superintendência Regional de Recife [CPRM]
Tab.	Tabela
Turon.	Turoniano
UACA	Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas [do CTRN-UFCG]
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UPEM	Unidade Pedoestratigráfica Engenho Novo
v.	veja; volume
V.	Veja
vol.	volume
W	<i>West</i> [= Oeste]
Z. C.	Zona de Cisalhamento
ZCPA	Zona de Cisalhamento Patos
ZCPE	Zona de Cisalhamento Pernambuco

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área do orifício do escoadouro
b	Espessura do aquífero
B	Coeficiente de perdas de carga laminares totais (no aquífero)
C	Carbono; constante do escoadouro; coeficiente de perdas de carga turbulentas axiais e na entrada dos filtros
Ca	Cálcio
cm	centímetro
h	hora; altura da coluna de água na mangueira do escoadouro
H_o	Espessura saturada
K	Condutividade hidráulica
km	quilômetro
km²	quilômetro quadrado
m	metro
m³	metro cúbico
mm	milímetro
NE (m)	Nível estático
ND (m)	Nível dinâmico
O	Oxigênio
°C	Grau Celsius
D₅₀	Tamanho dos grãos do pré-filtro
Q	Vazão bombeada
r	Distância do poço de bombeamento ao ponto de rebaixamento
Re	Número de Reynolds
r_{pIII→pII}	Distância entre os poços PIII e PII
S	Armazenamento

s_c	Rebaixamento corrigido
S_{efet}	Armazenamento efetivo
s_t	Rebaixamento total (no interior do poço)
s_w	Rebaixamento
t	Tempo relacionado ao rebaixamento do poço de observação
T	Temperatura média mensal em °C; transmissividade hidráulica
TG	Tangente
v	Velocidade do fluido
$W(u)$	Função de poço para aquífero confinado não drenante
"	Polegada
Δs_i	Variação do rebaixamento
η_e	Porosidade específica
μ	Viscosidade do fluido
ρ	Densidade
\emptyset_{maior}	Diâmetro do orifício maior do escoadouro
\emptyset_{menor}	Diâmetro do orifício menor do escoadouro

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	28
1.1 Apresentação e Justificativas.....	28
1.2 Localização da Área de Pesquisa.....	29
1.3 Objetivos.....	31
1.4 Metodologia.....	33
CAPÍTULO 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	35
2.1 Considerações Gerais	35
2.2 A Bacia Paraíba	35
2.2.1 Feições estruturais da Bacia Paraíba	42
2.2.2 Litoestratigrafia	49
CAPÍTULO 3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA PESQUISADA	55
3.1 Aspectos Climatológicos	55
3.1.1 Temperatura.....	59
3.1.2 Índices pluviométricos.....	60
3.1.3 Umidade relativa do ar	62
3.1.4 Insolação.....	64
3.2 Hidrologia.....	64
3.3 Geomorfologia.....	71
3.3.1 Setor ocidental subúmido e semiárido.....	71
3.3.2 Setor oriental úmido e subúmido.....	72
3.4 Contexto Geológico.....	75
3.4.1 Embasamento	75
3.4.2 Bacia Pernambuco-Paraíba.....	76
3.5 Hidrogeologia	80
3.5.1 Aquífero das Coberturas.....	81
3.5.2 Aquífero Barreiras	81
3.5.3 Aquíferos Gramame e Maria Farinha.....	83
3.5.4 Aquífero Beberibe	84
3.5.5 Caracterização da zona vadosa do sistema aquífero Beberibe	88

CAPÍTULO 4 ANÁLISE DOS TESTES DE BOMBEAMENTO DA ÁREA ESTUDADA	92
4.1 Considerações Gerais	92
4.2 Metodologia dos Testes de Bombeamento	92
4.2.1 Teste de aquífero.....	92
4.2.2 Teste de bombeamento.....	93
4.3 Teste de Aquífero - Aluvião do Rio Mumbaba.....	94
4.3.1 Metodologia do teste	95
4.3.2 Condições para desenvolvimento do teste.....	98
4.3.3 Dados técnicos do teste.....	100
4.3.4 Dados do Poço de Observação P1.....	104
4.3.5 Dados do Poço de Observação P4.....	104
4.3.6 Dados do Poço de Produção P3.....	104
4.3.7 Planilhas e informações dos testes de Produção e Aquífero.....	108
4.3.8 Teste de aquífero da aluvião do rio Mumbaba – Método de Theis.....	110
4.3.8.1 Análise dos dados dos poços de observação P1 e P4.....	110
4.3.8.2 Determinação dos parâmetros hidrodinâmicos dos poços P1 e P4 – Método de Theis.....	111
4.3.9 Teste de aquífero da aluvião do Rio Mumbaba – Método de Thiem.....	113
4.3.9.1 Determinação dos parâmetros hidrodinâmicos dos poços de observação P1 e P4 pelo método de Thiem.....	114
4.3.10 Teste de aquífero da Aluvião do Rio Mumbaba – Método de Walton.....	115
4.3.10.1 Calculo dos parâmetros hidrodinâmicos do poço P1 Aluvião do Rio Mumbaba – Método de Walton.....	117
4.3.10.2 Calculo dos parâmetros hidrodinâmicos do poço P4 Aluvião do Rio Mumbaba – Método de Walton.....	120
4.4 Testes de Bombeamento do Aquífero Barreiras – Água Mineral Itacoatiar.....	122
4.4.1LocalizaçãodEmpreendimento.....	122
4.4.2 Caracterização do trabalho.....	125
4.4.3 Dados do Poço de Produção P2 - Pininchos de Mumbaba.....	126
4.4.4 Dados do poço de produção PIII – Juventude.....	127
4.4.5 Planilhas e informações dos testes de produção e aquífero.....	130

4.4.6 Condições para determinação dos parâmetros hidrodinâmicos do Poço Juventude PIII.....	133
4.4.7 Obtenção dos parâmetros hidrodinâmicos do poço PIII.....	134
4.4.7.1 Método de Theis e correção de Dupuit-Jacob.....;	134
4.4.8 Obtenção dos parâmetros hidrodinâmicos do poço P2.....	135
4.4.8.1 Método de Boulton-Pricket – Condições necessárias para a sua Aplicação.....	137
4.4.8.2 Cálculo dos parâmetros do poço de observação P2 pelo método de Boulton-Pricket.....	139
4.4.8.3 Análise dos parâmetros hidrodinâmicos dos poços PII e PIII.....	143
4.4.9 Fator de Drenagem e Índice de Retardo de Boulton.....	144
4.4.10 Equação característica e Eficiência do poço PII – Pininchus de Mumbaba.....	145
4.4.10.1 Determinação da equação característica do poço PII – Pininchus de Mumbaba.....	146
4.4.10.2 Eficiência do poço PII – Pininchus de Mumbaba.....	150
4.4.11 Equação característica e Eficiência do poço PIII – Juventude.....	152
4.4.11.1 Determinação da equação característica do poço PIII – Juventude.....	153
4.4.11.2 Eficiência do poço PIII – Juventude.....	155
4.5 Ponta do Seixas – Perfuração de Poço, Espessura do Calcário e Transmissividade.....	156
4.5.1 Análise dos dados coletados na observação do POÇO 01 e do POÇO 02.....	158
4.5.2 Calculo da Transmissividade do poço P3 – Cabo Branco Residence Privê	167
4.6 Poço THERMO 1.....	168
4.6.1 Determinação dos parâmetros hidrodinâmicos do PT1 pelo Método de Cooper-Jacob.....	169
4.6.2 Equação Característica do Poço THERMO 1.....;	175
4.6.2.1 Cálculo do ajuste do rebaixamento, utilizando a extrapolação do rebaixamento para 240 minutos de bombeamento.....	176
4.6.2.2 Determinação da equação característica do Poço.....	177
4.6.3 Eficiência do poço THERMO 1.....	178
CAPÍTULO 5 CONCLUSÕES, PERSPECTIVAS E RECOMENDAÇÕES.....	181
REFERÊNCIAS.....	186

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação e Justificativas

A água é fator primário para a sobrevivência e o desenvolvimento do ser humano, e está presente em todas as fases do crescimento, do desenvolvimento e da transformação animal, vegetal ou mineral. Ela pode ser observada em todo o ciclo hidrológico como fator primordial nas interações da atmosfera, assim como na determinação dos tipos climáticos, na superfície, pelo seu controle na distribuição e na densidade da biomassa vegetal, animal e humana.

Durante o ciclo hidrológico, a água superficial sofre interações com a atmosfera, deslocando-se, provocando escassez local onde havia abundância, levando à população condições mínimas de sobrevivência e contaminações por sua exposição natural aos fatores atmosféricos e antrópicos. As águas de subsuperfície estão menos vulneráveis a esses deslocamentos e contaminações, e se requerem determinadas atividades de pesquisa para seu controle e proteção. A exploração das águas subterrâneas de forma descontrolada pode levar a condições indesejadas de preservação dos aquíferos. O aumento da contribuição no processo produtivo das grandes empresas agrícolas de cana-de-açúcar, fruticultura, aviária do setor agropecuário, juntamente com as grandes indústrias, principalmente as que requisitam água em abundância, como é o caso do setor têxtil, vem progredindo gradativamente. É um processo natural com o aumento da população e maior demanda por parte das empresas privadas, visando ao seu desenvolvimento e ao aumento do processo de industrialização com o objetivo de ganhos capitais. As águas subterrâneas têm, em sua utilização no processo produtivo, o valor mais econômico agregado aos custos de produção, já que as empresas concessionárias de água dos mais diversos estados do Brasil possuem um valor agregado elevado para seu fornecimento, em alguns casos inviabilizando a planta industrial.

Em algumas regiões, são consideradas como único recurso disponível, na maioria das vezes devido à escassez de águas superficiais ou até mesmo à sua total indisponibilidade. Atualmente, já é raro qualquer sistema de abastecimento público de água de médias e grandes cidades que não conte com o manancial subterrâneo, ao menos de forma complementar.

Este trabalho tem o objetivo de contribuir com informações que possam colaborar com o processo de controle, proteção e utilização racional das águas subterrâneas dos Aquíferos, na área de maior exploração da Bacia Sedimentar Paraíba, situada dentro dos limites da região metropolitana considerada como sendo a Grande João Pessoa.

1.2 Localização da Área de Pesquisa

A área de pesquisa localiza-se na Região Metropolitana de João Pessoa (RMJP) (v. fig. 1.1), com destaque para o distrito industrial, onde se registram níveis elevados de exploração das águas de subsuperfície, com uma densidade demográfica em constante crescimento e com necessidades elevadas de consumo de água.

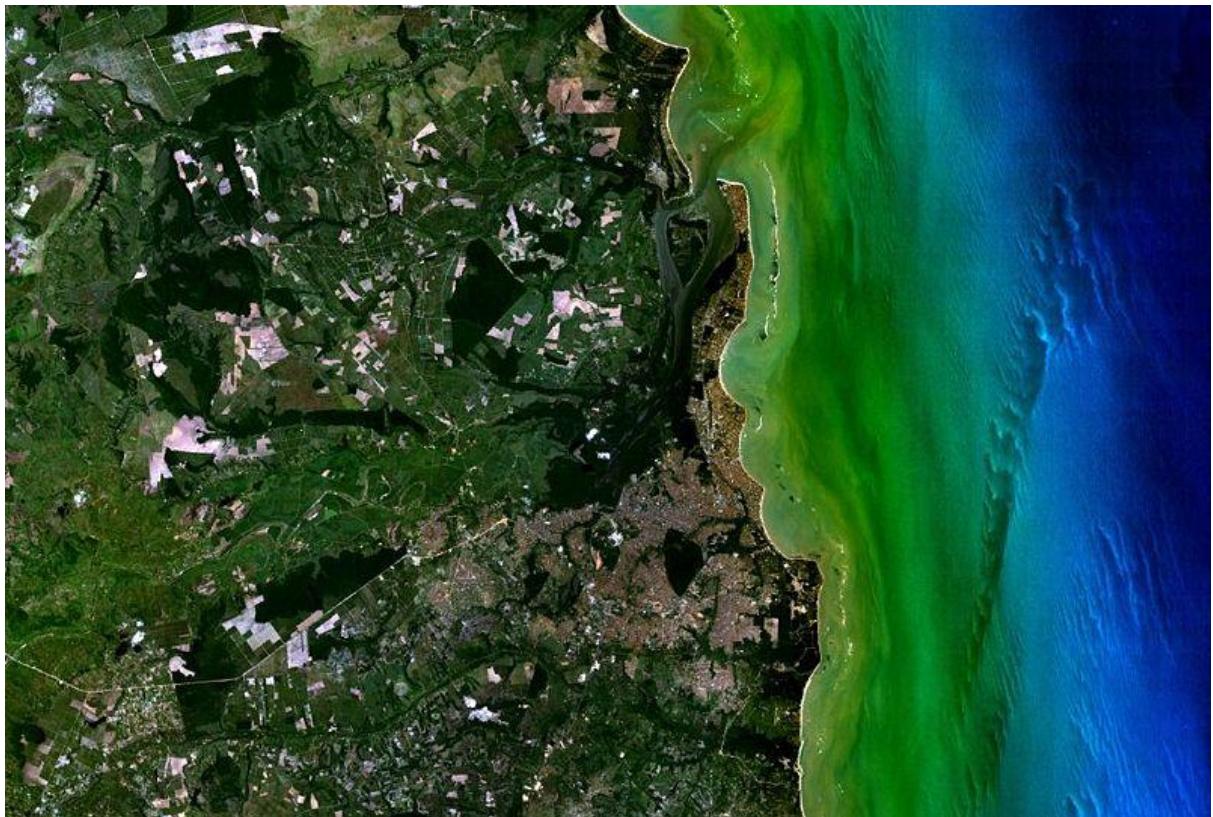


Figura 1.1 Imagem de satélite de parte da Região Metropolitana de João Pessoa, em 2004.
Fonte: NASA.

A RMJP envolve uma série de 12 (doze) municípios que, de acordo com a Lei Complementar Estadual da Paraíba n.º 59, de 30 de dezembro de 2003, alterada pela Lei Complementar Estadual da Paraíba n.º 90, de 23 de setembro de 2009, mantêm um relacionamento estreito com a capital do Estado. Todos eles estão inseridos na Bacia Sedimentar Paraíba, e recorrem à exploração de água através de poços, alguns dos quais situados em locais próximos à borda da Bacia, em pontos considerados de recarga. Dos

mananciais subterrâneos, o mais requisitado é o Beberibe. Com área estimada de 2.741.900 km² e uma população de 1.171.640 habitantes, a RMJP é composta pelos municípios de Alhandra, Bayeux, Caaporã, Cabedelo, Conde, Cruz do Espírito Santo, João Pessoa, Lucena, Mamanguape, Pitimbu, Rio Tinto e Santa Rita. (v. fig. 1.2).

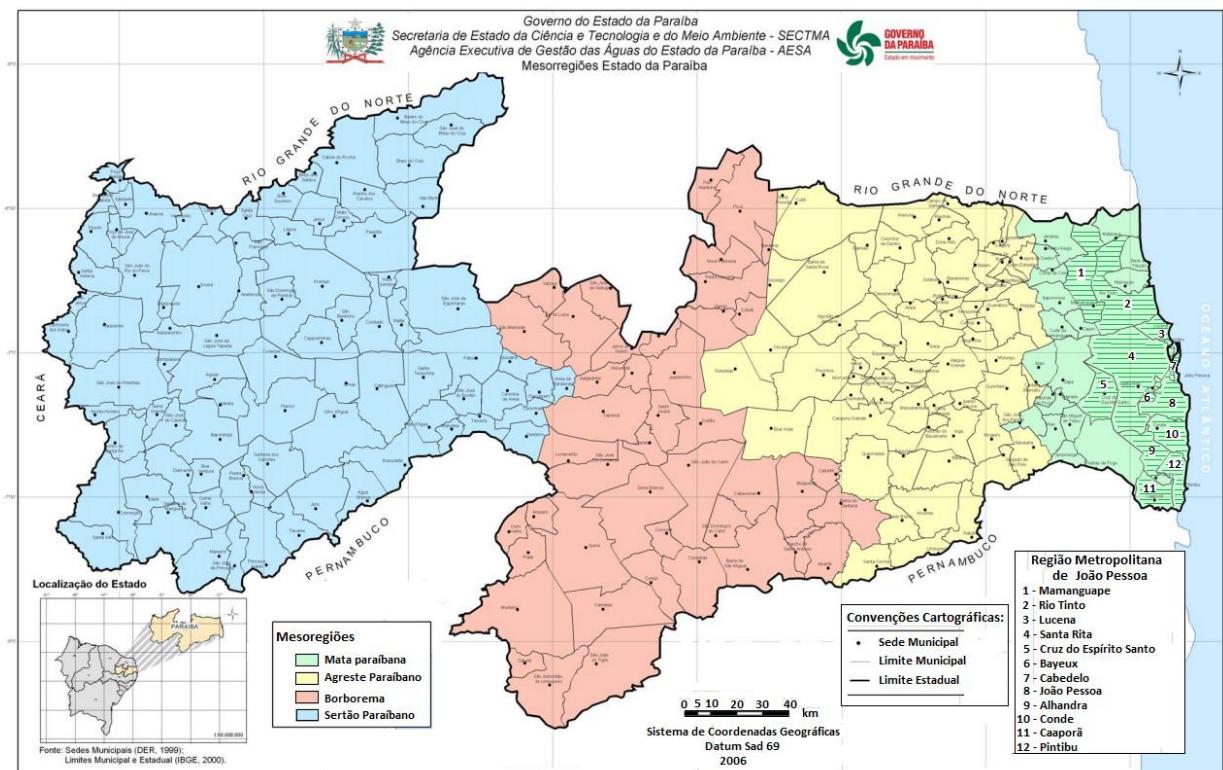


Figura 1.2 (a) Mesorregiões geográficas da Paraíba (RODRIGUEZ, 2000, p. 13); (b) Mesorregião da Mata Paraibana, onde está situada, em destaque, a Região Metropolitana de João Pessoa.

A RMJP é a mais importante região produtiva do Estado, devido à capacidade do seu parque industrial, cujo processo produtivo requer uma quantidade razoável de água. Observa-se que o restante do Estado, com exceção da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe, é formado basicamente por rochas graníticas, metamórficas, pré-cambrianas, com baixo potencial de reservas subterrâneas, geralmente com alta condutividade ocasionada pelo excesso de sais, sendo, portanto, prejudiciais ao consumo humano e até mesmo ao consumo industrial.

As áreas de acesso à RMJP são compostas pelas rodovias asfaltadas federais BR 101 e BR 230, e pelas rodovias estaduais asfaltadas PB 004, PB 008, PB 016, PB 018, PB 019, PB 025, PB 027, PB 030, PB 032, PB 033, PB 041, PB 042, PB 044, e alguns trechos da PB 048, contando ainda com algumas rodovias não pavimentadas, porém de importante acesso a

algumas aldeias indígenas, assentamentos do INCRA com atividades contínuas e crescentes na região, todos consumidores das águas de subsuperfície.

Dados do IBGE demonstram as condições e a capacidade produtiva da Região, e seu potencial socioeconômico (v. Tab. 1.1).

1.3 Objetivos

- Levantamento bibliográfico sobre temas referentes à Bacia Sedimentar Paraíba, procurando sintetizar seu histórico desde a formação das aberturas do embasamento que originou o processo de formação da compartimentação do arcabouço estrutural até as características das formações quaternárias que podem hoje ser observadas decorrentes do seu processo evolutivo.
- Colher dados específicos das formações aquíferas da Bacia Sedimentar Paraíba, para agregar conhecimentos que sirvam de direcionamento nos trabalhos de perfuração de poços nessa Região, no sentido de cooperar com a exploração e com a preservação adequada das águas subterrâneas.
- Avaliação de parâmetros hidrodinâmicos de transmissividade, condutividade hidráulica e armazenamento, T, K, S, entre outras informações pertinentes as formações aquíferas que são fundamentais para direcionar técnicos e projetos de plantas voltadas para o setor produtivo ou para o consumo humano.

Tabela 1.1 Características geográficas e econômicas da Região Metropolitana de João Pessoa. (IBGE, 2010), (PNUD, 2000).

MUNICÍPIO	ÁREA (km ²)	POPULAÇÃO (2010)	DENSIDADE DEMOGRÁFICA (hab./km ²)	IDH-M (2000)	PIB 2008 R\$	PIB per capita 2008 R\$
Alhandra	182,656	18.001	98,58	0,605	191.515.000	10.639,13
Bayeux	31,784	99.758	3.118,76	0,689	535.375.000	5.366,74
Caaporã	150,168	20.363	135,6	0,617	286.346.000	14.062,07
Cabedelo	31,265	57.926	1.815,57	0,757	2.184.284.000	37.708,18
Conde	172,949	21.418	123,74	0,613	236.732.000	11.052,95
Cruz do Espírito Santo	195,596	16.257	83,12	0,547	58.757.000	3.614,26
João Pessoa	210,551	723.514	3.421,30	0,783	7.661.219.000	10.588,90
Lucena	89,202	11.730	131,88	0,604	59.775.000	5.095,91
Mamanguape	348,745	11.730	124,23	0,581	223.963.000	19.093,18
Pitimbu	136,045	17.032	124,78	0,594	82.794.000	4.861,09
Rio Tinto	466,397	22.799	49,42	0,603	121.719.000	5.338,79
Santa Rita	726,565	120.333	165,52	0,659	979.386.000	8.138,96
TOTAL	2.741,923	1.140.861	416,08	0,638	12.621.865.000	11.296,68

- Definir a importância da zona vadosa no funcionamento hídrico, bem como avaliar os diferentes impactos dos usos na superfície do terreno;
- Determinar a espessura dos aquíferos e identificar a presença de barreiras hidráulicas;
- Sugerir procedimentos e diretrizes necessárias para aperfeiçoar o sistema de planejamento e gestão integrada dos recursos hídricos na região pesquisada;
- Aprofundar os conhecimentos dos aquíferos, em termos de definição de modelos conceituais, distribuição, disponibilidades hídricas e sustentabilidade de sua exploração.

1.4 Metodologia

A metodologia utilizada foi direcionada para o processo quantitativo e qualitativo das águas subterrâneas. Dentro da área pesquisada, foram inventariados alguns poços, visando objetivamente à identificação das feições litológicas e do comportamento hidrodinâmico dos aquíferos mediante o bombeamento, utilizando como instrumento auxiliar de controle da vazão o escoadouro de orifício circular. Dos poços observados para captação do aquífero Beberibe, tanto na área mais próxima à linha de costa, onde o aquífero se comporta como não drenante, quanto em locais ausentes da camada calcária responsável pelo confinamento. Nos poços perfurados pela Construpoços Ltda no aquífero Beberibe foi isolado dos aquíferos superiores com a aplicação de pasta de cimento na proporção de um saco de cimento para 25 a 30 litros de água, sendo utilizada a quantidade de, no mínimo, vinte sacos por poço. Com esse procedimento, pode-se concluir que toda a água retirada tem efeito de rebaixamento restrito a superfície potenciométrica do aquífero observado.

Além desses poços, foram realizados dois testes de aquíferos em baterias de poços distintas: o primeiro teste foi feito em poços que captam água de um sistema aquífero aluvionar; um segundo teste foi realizado numa área industrial envazadora de água mineral do sistema aquífero Barreiras. Os poços da formação aquífera aluvionar foram perfurados e construídos pela extinta Companhia Nordestina de Sondagens e Perfurações (CONESP)¹, empresa pernambucana de idoneidade comprovada, com atividades na área de pesquisa e perfuração de poços tubulares, alguns poços presentes estão inativos devido ao desgaste causado pelo tempo de exposição do material do revestimento. Todos eles foram construídos

¹ A CONESP era uma conceituada empresa de perfuração de poços, de caráter público. Subsidiária da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), sua área de atuação se estendia por todo o Nordeste do Brasil.

utilizando tubos de ferro ou PVC Geomecânico que, com o passar do tempo, sofreram relativo desgaste natural e rompimento devido ao tombamento das bombas submersas utilizadas, impedindo a sua exploração, porém são bastante úteis como poços de observação. Para o Aquífero Barreiras foram utilizados dois poços servindo de poço de produção e poço de observação invertendo a sequencia para comparação dos dados obtidos mediante a aplicação de metodologias de interpretação diferentes para observação didática e comparação dos resultados. Foram também realizados testes de produção para observar o nível de eficiência dos poços estudados

A interpretação utilizada para obter os resultados referentes à observação do bombeamento foi baseada no rebaixamento dos níveis hidrodinâmicos dos poços ao longo do tempo e sua relação com a curva padrão.

A técnica de ensaio de bombeamento para obtenção da eficiência dos poços teve como metodologia a observação da vazão por meio de medidas sequenciais e o rebaixamento do nível da água no interior do próprio poço bombeado, num determinado tempo.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Considerações Gerais

A Bacia Paraíba, dentro dos limites do Estado da Paraíba, vem sendo objeto de trabalhos destinados a informações técnicas sobre sua origem e comportamento nos diversos campos da Geologia. Alguns trabalhos realizados indicam uma mudança quanto aos interesses científicos e econômicos.

Suas vizinhas Bacias Potiguar e Pernambuco, situadas nos Estados do Rio Grande do Norte e de Pernambuco, são objeto contínuo de pesquisa, talvez pelo fato de esses estados possuírem em suas Universidades cursos de Geologia que destinem seus trabalhos de interesse científico às condições locais, agregado ao fator socioeconômico da exploração de petróleo e de fruticultura no Estado do Rio Grande do Norte.

Espera-se, ao final deste trabalho, poder contribuir para a ampliação do conhecimento da Hidrogeologia da Bacia Paraíba com a divulgação de dados técnicos que permitam acrescentar informações relevantes para a exploração e a proteção dos seus aquíferos.

2.2 A Bacia Paraíba

A origem das Bacias Sedimentares Marginais do Brasil, em consequência do processo de abertura do Oceano Atlântico, teve seu início no período Jurocretáceo (SZATMARI et al., 1987). Formadas a partir dos processos de rifteamento entre a África e a América do Sul, as duas grandes placas que levam o mesmo nome dos dois grandes continentes teriam iniciado a separação ao sul (BEURLEN, 1961b apud BARBOSA, 2004, p. 37), sendo a região de João Pessoa e a cidade do Recife a ligação final entre os dois continentes (RAND; MABESOONE, 1982), mantendo a separação entre o Mar de Tétis/Atlântico Equatorial e o Atlântico Sul. (MABESOONE; ALHEIROS, 1993).

A época da ocorrência tem sido discutida por vários autores. A conclusão da separação tem como base dados estratigráficos e fósseis, preservados desde o Cretáceo. A percepção e a conclusão da época em que ocorreu a ligação do Atlântico Norte com o Atlântico Setentrional e o Atlântico Sul são polêmicas e bastante discutidas. Dias Brito (1987) constatou a presença de organismos característicos do Mar de Tétis (foraminíferos

planctônicos), enquanto que Barbosa (2004) observou que a população de espécies amonoides, características do Atlântico Norte, já habitavam o Atlântico Sul desde o Cretáceo Inferior (idade Aptiana) na Bacia Sergipe-Alagoas, indicando comunicação entre o Mar de Tétis e o Oceano Atlântico setentrional e sul desde o Aptiano. Os argumentos desses e outros autores se baseiam na população de foraminíferos planctônicos e de amonoides, entre outras espécies fossilizadas, que habitavam, à época, o mar de Tétis, e os organismos diferenciados do Atlântico Sul. Premoli Silva e Boersma (1977) indicam a Idade Cenomaniana – Cretáceo Superior –, enquanto que Scheibnerová (1981) indica essa ligação entre as águas dos oceanos após o Cenomaniano.

Comparativamente, a Bacia Pernambuco atinge profundidades superiores a 2.900 metros, o que foi comprovado pela PETROBRAS, em um poço perfurado na praia do Cupe, e por trabalhos de pesquisa de levantamento gravimétrico executados pela CPRM (OLIVEIRA, 1993), identificando compartimentos estruturais no Rife do Cabo: Baixo de Candeias e Baixo do Cupe/Suape, com desnível em torno de 3.000m, separados pelo Alto Cabo/Gaibu.

Essas características estruturais, que diferenciam a Bacia Paraíba do restante das outras Bacias Marginais da costa atlântica brasileira, não estão bem esclarecidas. Talvez elas se devam ao fato de o trecho compreendido entre Recife e João Pessoa ter sido a última ligação entre a costa brasileira e o continente africano, resistindo ao processo de rifteamento ocorrido no Cretáceo. Na margem leste brasileira, a região ocupada por essa bacia foi provavelmente aquela onde o desenvolvimento do rifte ocorreu por último. Imediatamente ao sul do Lineamento Pernambuco, na Sub-Bacia do Cabo, o estabelecimento do rifte ocorreu no Neoaptiano, com o desenvolvimento do *graben* de Cupe. Ao norte desse lineamento, na Bacia Paraíba, a ruptura só viria a acontecer, efetivamente, no Turoniano. O retardo do rifteamento deveu-se, sobretudo, à resistência imposta pelas rochas da Província Borborema, de elevada espessura crustal, cujas direções estruturais eram transversais à direção de propagação da ruptura principal. A discrepância temporal e a evolução estrutural e sedimentar distintas nas bacias situadas ao sul e ao norte do referido lineamento mostram que, ao contrário da interpretação até há pouco vigente, essas bacias devem ser consideradas distintas, de modo que a Sub-Bacia do Cabo, doravante chamada de Bacia Pernambuco neste trabalho, tem laços muito mais efetivos, do ponto de vista tectônico e sedimentar, com a Bacia de Sergipe-Alagoas do que com a antiga bacia denominada Pernambuco-Paraíba, que doravante será chamada tão somente de Bacia Paraíba.

Assim, a Bacia Paraíba, como considerada no presente trabalho, ocupa a faixa costeira entre o Lineamento Pernambuco e a Falha de Mamanguape, ao norte da cidade de João Pessoa. Em trabalho realizado através da observação de 230 sondagens elétricas verticais (SEVs) e 18 perfurações profundas, Feitosa, Feitosa e Lira (2002) concluiu uma visualização das grandes linhas do arcabouço estrutural da Bacia Costeira PB/RN, onde os calcários cretácicos da Formação Jandaíra, detidos pela estrutura de *overlap* denominada Alto do Mamanguape, foram recobertas pelos sedimentos clásticos carbonatados da Formação Itamaracá, característicos da Bacia Paraíba. A região compreendida entre o *Graben* de Natal e o Alto de Mamanguape preservaria a relação entre as duas Bacias, tendo como limite sul da Bacia Potiguar e como limite norte da Bacia Paraíba o alto estrutural denominado Alto de Mamanguape.

Ao sul da Bacia Paraíba, o Lineamento Pernambuco funciona concomitantemente como eixo limitante e divisor, que a separa da Bacia de Pernambuco. Características estratigráficas e estruturais das rochas sedimentares e vulcânicas que ocorrem ao sul de Recife, a partir do Lineamento Pernambuco até o Alto de Maragogi, definiram essa área como uma bacia particular denominada Bacia Pernambuco. (LIMA FILHO, 1998a).

As duas bacias citadas são limitadas, a oeste, pelo sistema de falhas de borda, que as separa do embasamento formado por rochas metamórficas da Província Borborema (v. fig. 2.1).

A estratigrafia e a evolução estrutural das duas bacias são bastante distintas: a Bacia Paraíba é constituída na base por uma sequência de clásticos grosseiros continentais da Formação Beberibe, passando lateralmente aos clásticos finos e carbonáticos da Formação Itamaracá. Essa sequência é sobreposta por calcilutitos e margas maastrichtianos da Formação Gramame, seguidos por calcários e margas da Formação Maria Farinha, do Paleoceno.

A Bacia Pernambuco, que ocorre na parte sul da área, e a parte norte da Bacia de Alagoas apresentam características que indicam um desenvolvimento semelhante, sendo separadas pelo Alto de Maragogi, que se comporta como zona de transferência na evolução do rifte, dificultando a propagação de falhas de direção NE e compensando as diferentes taxas de extensão entre os compartimentos interbaciais.

A Bacia Pernambuco apresenta espessuras sedimentares superiores a 3.000m, já comentado anteriormente, segundo informações obtidas no poço perfurado na praia do Cupe – PE. Nessa região ocorre a Formação Cabo, composta por arcósios e conglomerados associados a vulcânicas alcalinas da Formação Ipojuca, de idade neoalbiana. Na porção

superior, ocorrem calcários dolomitizados albianos da Formação Estiva. Esses carbonatos foram subsequentemente recobertos por leques siliciclásticos costeiros, do Turoniano ao Campaniano (Formação Algodoais).

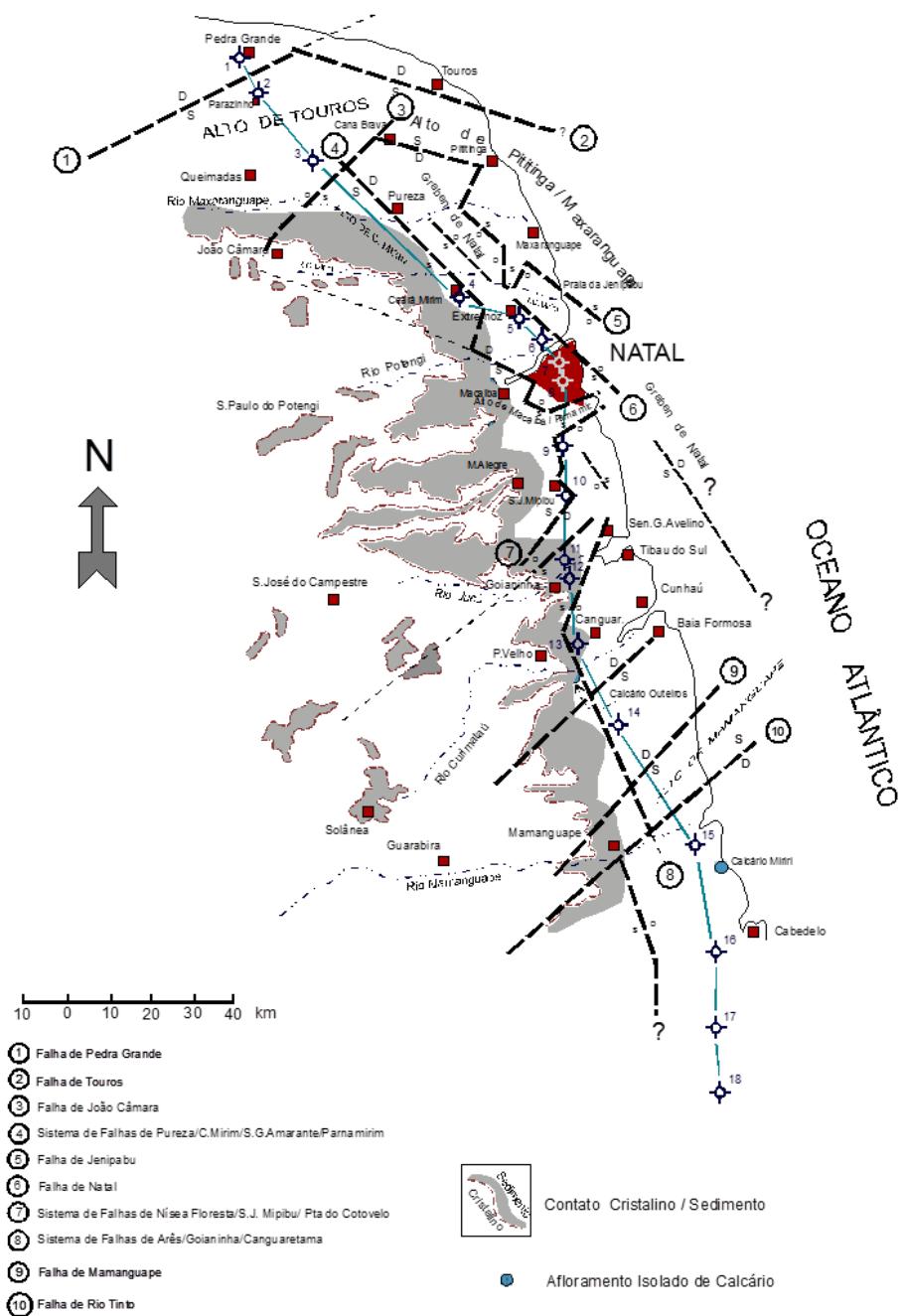


Figura 2.1 Limites das Bacias Paraíba e Potiguar. (FEITOSA; FEITOSA; LIRA, 2002).

Em ambas as bacias, ocorrem coberturas detriticas neocenozoicas diversas, ora da Formação Barreiras, ora de sedimentos marinhos, ora de sedimentos fluviais e mangues, agrupados genericamente sob o nome de Formação Boa Viagem.

Mabesoone e Alheiros (1988) propuseram a subdivisão da Bacia marginal leste Atlântica, ao sul do Alto de Maragogi, em Pernambuco, e o Alto de Touros, no Rio Grande do Norte, como uma Bacia única denominada Bacia Pernambuco-Paraíba (v. Fig. 2.2).

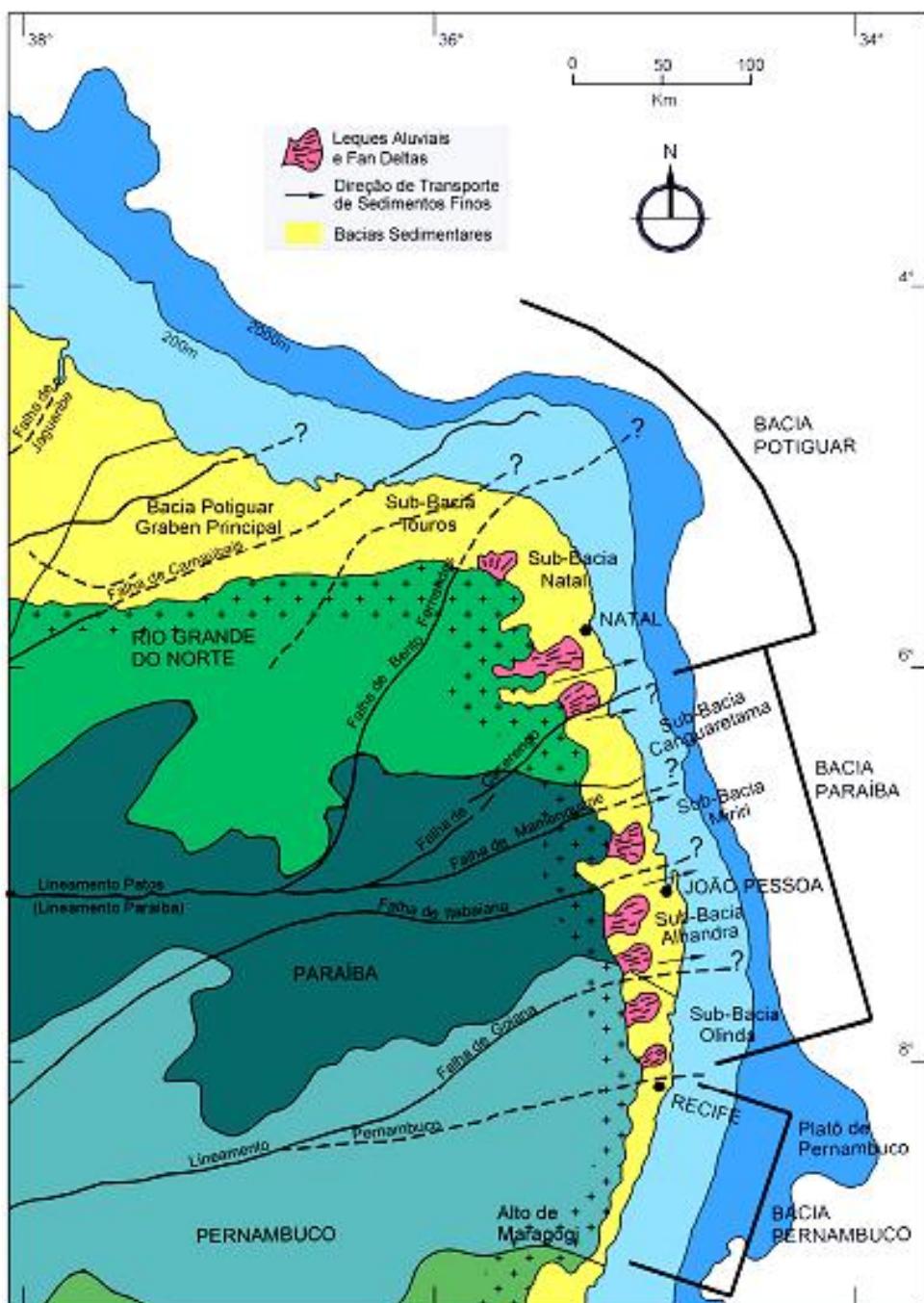


Figura 2.2 Mapa de localização das Bacias Paraíba e Pernambuco, segundo Mabesoone e Alheiros (1993 apud BARBOSA, 2004).

Devido às discordâncias estruturais e faciológicas já apresentadas, Barbosa (2004, 2007) classifica distintamente a Bacia Paraíba e a Bacia Pernambuco, estando a Bacia Paraíba subdividida nas Sub-Bacias 1 (Olinda), 2 (Alhandra), 3 (Miriri) (v. figuras 2.3 e 2.4):

1 – Sub-Bacia Olinda – entre o Lineamento Pernambuco ou Zona de Cisalhamento Pernambuco (ZCPE) e a Falha de Goiana;

2 – Sub-Bacia Alhandra – entre a Falha de Goiana e a Falha de Itabaiana;

3 – Sub-Bacia Miriri – entre a Falha de Itabaiana e o alto estrutural de Mamanguape, situado na falha que leva o mesmo nome;

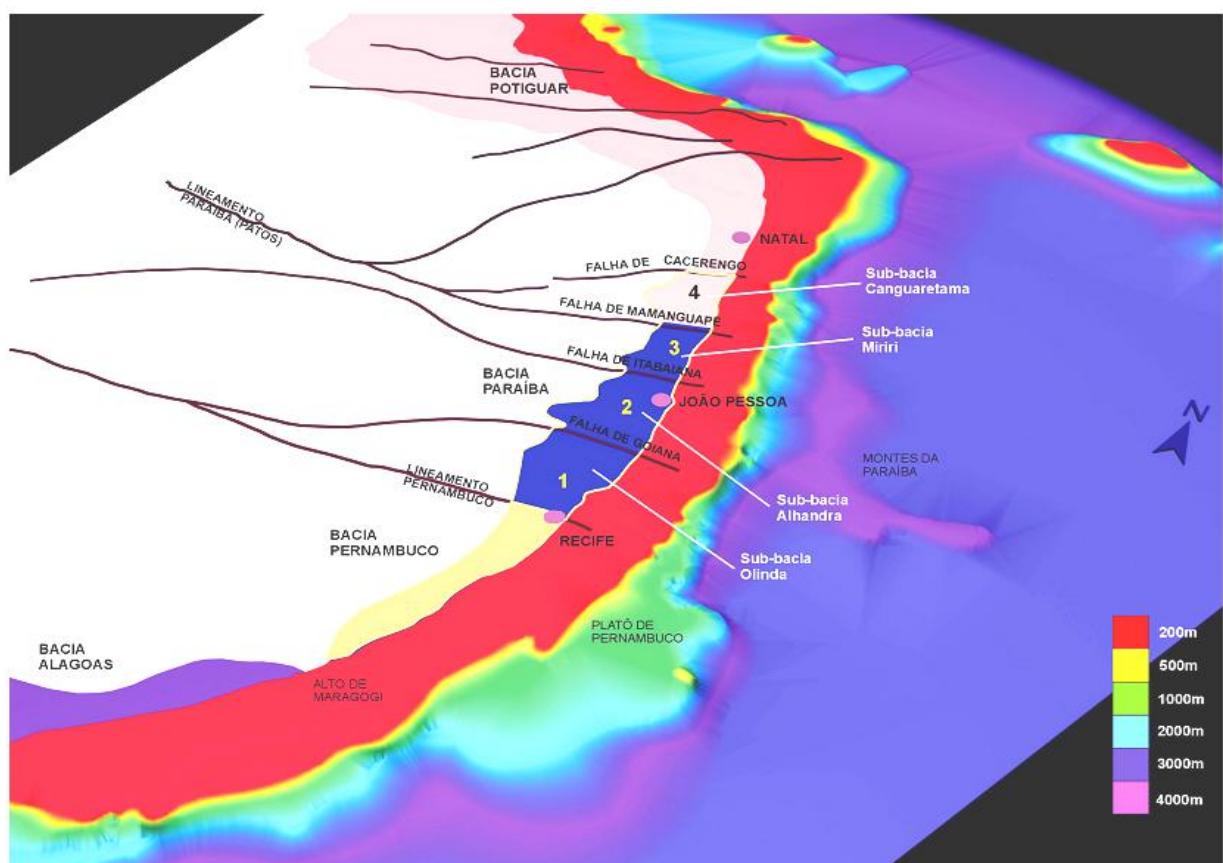


Figura 2.3 Bacia Paraíba, subdividida nas sub-bacias de Olinda, Alhandra e Miriri, e suas vizinhas Bacias Potiguar, Pernambuco e Alagoas. (BARBOSA, 2004).

Mabesoone e Alheiros (1991), Feitosa, Feitosa e Lira (2002) e Barbosa (2004) observaram que a Sub-Bacia Canguaretama continha feições estruturais e características litológicas de transição entre ambas as bacias cretáceas Potiguar e Paraíba do que propriamente uma sub-bacia com as características da Bacia Paraíba, tornando-se mais uma faixa de comunicação do que uma característica própria exclusiva de uma das bacias. A proposta de composição da Bacia Paraíba que mais se aproxima das características da sua

compartimentação estrutural e faciológica, segundo Barbosa (2004, p. 31), teria como limite sul o Lineamento Pernambuco, tendo como sua vizinha a Bacia Pernambuco, outrora denominada Sub-Bacia Cabo, pertencente à extinta denominação Bacia Pernambuco-Paraíba, e ao sul, a Falha de Mamanguape, dividindo-se finalmente em três sub-bacias, como expostas na figura 2.4:

- Sub-Bacia Olinda – entre o Lineamento Pernambuco e a Falha de Goiana;
- Sub-Bacia Alhandra – entre a Falha de Goiana e a Falha de Itabaiana;
- Sub-Bacia Miriri – Entre a Falha de Itabaiana e a Falha de Mamanguape.



Figura 2.4 Divisão da faixa costeira entre o Alto de Maragogi e o Alto de Touros. (BARBOSA; LIMA FILHO, 2006).

Brito Neves, Feitosa e Bezerra (2005) dão novas características de fácies litológicas ocasionadas pelo soerguimento da estrutura do arcabouço, e que tendem a explicar alterações do comportamento dos parâmetros hidrodinâmicos das águas subterrâneas:

[...] a porção mais ocidental da Sub-bacia de Alhandra apresentava um comportamento regional amplo de alto estrutural (incluindo “altos” e “baixos” estruturais de segunda ordem), e mais ainda, que a cobertura do Grupo Barreiras neste domínio havia sido exumada, decorrência de sua posição neste contexto de soerguimento regional amplo e tardio. Alternativamente, o Grupo Barreiras poderia ter sido depositado apenas nas faixas mais orientais e mais rebaixadas, tendo como áreas fontes as porções elevadas dos depósitos cretáceos. (BRITO NEVES; FEITOSA; BEZERRA, 2005).

Algumas estruturas geológicas reativadas mais recentemente (barreiras) são praticamente inexistentes localmente, dando lugar a outras formações mais antigas com aportes hidrogeológicos mais eficientes do ponto de vista de captação e exploração de águas subterrâneas. Brito Neves, Feitosa e Bezerra (2005) chamam a atenção “para alguns equívocos de cartografia básica” observados na literatura pertinente, ressaltando que:

Estes enganos foram inicialmente induzidos pelo fator morfologia, jogando todas as áreas planas no contexto dos tabuleiros costeiros no âmbito do Grupo Barreiras, onde muitas vezes este grupo não está presente. Em segundo lugar, os autores anteriores foram compelidos pelo fator natureza dos solos/unidades mais superficiais, posto que há as denominadas “Areias Brancas” (designação litoestratigráfica preexistente, de idade/conotação assumida como Pós-Barreiras) de várias derivações e idades, inclusive derivadas de rochas graníticas que cortam o embasamento. (BRITO NEVES; FEITOSA; BEZERRA, 2005).

Conclui-se daí que tais variações estruturais do arcabouço podem ocasionar interferências no comportamento hidrogeológico dessa região, já que tais soerguimentos podem orientar as modificações do comportamento das águas subterrâneas, identificando-os como fronteiras, dando conotações diferenciadas aos parâmetros T, K e S, os quais poderiam ser identificados através de testes de bombeamentos com tempo prolongado. Brito Neves, Feitosa e Bezerra (2005) enfatizam que a Bacia Paraíba deva ser mais que uma simples homoclinal com sentido a leste, merecedora de mais pesquisas com definições mais adequadas da estrutura do arcabouço que comporta as estruturas sedimentares de sua Bacia.

2.2.1 Feições estruturais da Bacia Paraíba

A Bacia Sedimentar Paraíba (BSP) é uma bacia marginal atlântica cuja evolução ocorreu no Cretáceo Superior com o início da separação das placas tectônicas e a abertura do Oceano Atlântico, considerada o último ponto de união das placas africana e americana do sul. (RAND; MABESOONE, 1982). A tectônica que promoveu a separação e o prolongado período de ligação entre as placas ocasionou uma rampa extensa de ligação entre elas, originando uma estrutura homoclinal com suave mergulho para leste, onde as maiores espessuras sedimentares se situam nas cotas próximas à linha de costa. Lima Filho et al. (2005) propuseram uma sequência evolutiva no processo de desenvolvimento estrutural para a Bacia Paraíba e para a Bacia Pernambuco das atividades tectônicas cretáceas com evolução até o Terciário. O desenvolvimento dos processos de rifteamento inicia-se desde o Cretáceo Superior, de idade Barremiana, com uma evolução entre as bacias de acordo com as estruturas preexistentes do embasamento. Do lado oeste da Bacia Paraíba, as rochas metamórficas da província Borborema evidenciam estruturas transversais aos movimentos, impondo-se contra

a evolução da abertura da bacia nesse sentido. No desenho esquemático da figura 2.5, o Lineamento Pernambuco e o Lineamento Patos promovem os limites do processo norte e sul da BSP como eixos transversais limitantes. (BARBOSA, 2007). Essas limitações estruturais a oeste, norte e sul, juntamente com a ligação temporal da ponte formada entre os continentes América do Sul e África, foram conclusivos na formação da estrutura de uma homoclinal de mergulho suave com sentido leste que define a compartimentação estrutural da BSP.

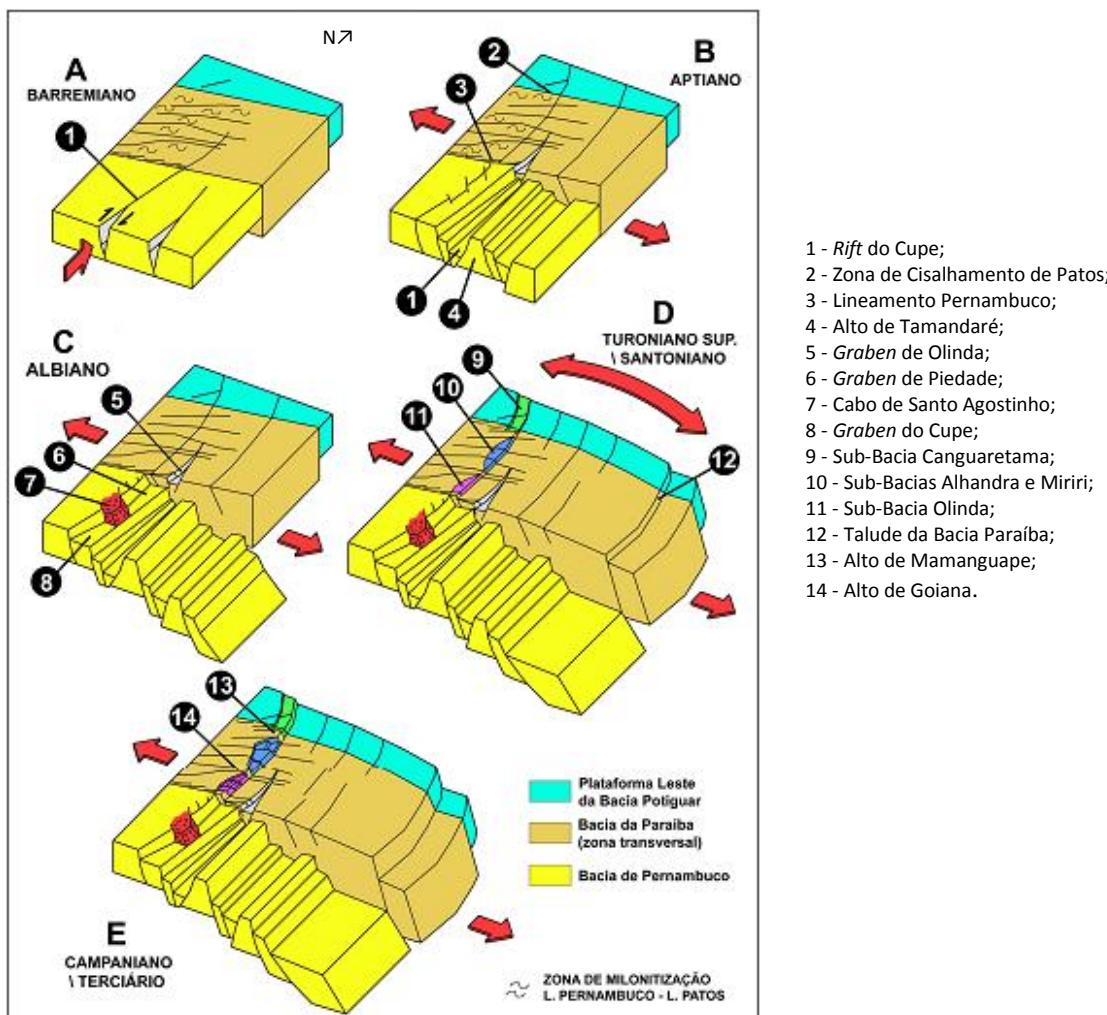


Figura 2.5 Desenho esquemático que mostra o resultado da subsidência pela atividade tectônica que provocou a diferença estrutural entre a Bacia Paraíba, ao norte do Lineamento Pernambuco, e a Bacia Pernambuco, ao sul. (BARBOSA; LIMA FILHO, 2005; LIMA FILHO et. al., 2005 apud BARBOSA, 2007).

O compartimento do arcabouço estrutural que comporta toda a sequência clástica sedimentar é formado por rochas pré-cambrianas e metamórficas da Província Borborema, cujos afloramentos iniciais de borda podem ser testemunhados em áreas de municípios a oeste da Região Metropolitana de João Pessoa. Ocionalmente, verificam-se afloramentos

rochosos próximo aos municípios de Mamanguape, Capim, Pilar, São Miguel de Taipu, Cruz do Espírito Santo, Santa Rita e Pedras de Fogo, exclusivamente a oeste da área pesquisada.

Todo o processo de empilhamento sedimentar da Bacia Paraíba Cretácea se iniciou em fase continental de idade Coniaciana-Santoniana (BEURLEN, 1967a, 1967b), originando os primeiros depósitos de arenitos siliciclásticos friáveis não carbonáticos que gradam aos arenitos carbonáticos, seguidos pela deposição de calcários margosos da Formação Gramame e da Formação Maria Farinha, agregados a fatores tectônicos pré-rifte e pós-rifte, os quais subdividiram a Bacia Paraíba nas sub-bacias Olinda, Alhandra e Miriri. (BARBOSA et al., 2004, 2007).

A Fig. 2.6 mostra o perfil geológico ao longo da linha de costa, segundo Barbosa e Lima Filho (2005), e a Fig. 2.7 ilustra a seção geológica também ao longo da linha costeira elaborada a partir de observações litológicas de perfis de poços, conforme Barbosa (2007), e a Fig. 2.8. ilustra o mapa do embasamento cristalino segundo Barbosa e Lima filho (2005) destacando os limites da Bacia Paraíba, entre o Lineamento Pernambuco e o Alto de Mamanguape, e suas Sub-Bacias Olinda, Alhandra e Miriri. Todavia, nessas figuras, há um aparente equívoco no traçado do limite norte da Sub-Bacia Miriri, pois ambas indicam a Falha de Miriri, e não a Falha de Mamanguape, ramificação do Lineamento Patos, como o extremo norte da Bacia Paraíba.

A Formação Basal, de origem continental, é formada pelos arenitos de origem fluvial e fluviolacustre, com níveis conglomeráticos, da Formação Beberibe inferior que gradam para os arenitos, calcilutitos e calcareníticos, com forte cimentação calcífera da Formação Itamaracá, que a torna bastante resistente ao processo de perfuração que representa a primeira fase de transgressão marinha. A evolução transgressiva, ao atingir o máximo do processo de avanço marinho com elevada cota emersa do continente, estabeleceu condições para a deposição e o estabelecimento da plataforma carbonática de idade Maastrichtiana, a qual é testemunha das rochas calcárias da Formação Gramame (Id., 2004, 2007). Com a continuidade da fase marinha e da deposição carbonática, com uma maior intensidade fossilífera, ocorrem os calcários rasos da Formação Maria Farinha, pós-Cretáceo do Paleógeno. Sobrepostos a essas unidades litológicas, encontram-se os arenitos, os siltitos e as argilas ferruginosas do Grupo Barreiras e os sedimentos recentes. Brito Neves et al. (2009) demonstram a necessidade de maiores informações para uma melhor definição das estruturas a oeste da Bacia. Revelam ainda a descoberta de uma nova unidade pedoestratigráfica denominada de Unidade Pedoestratigráfica Engenho Novo (UPEM) –, localizada na Sub-

Bacia Alhandra, na parte mais ocidental, próximo à borda da bacia, onde identifica essa estrutura sotoposta à Formação Itamaracá, sem observações da presença do Grupo Barreiras.

A estrutura da Bacia Paraíba foi revisada e descrita recentemente (BARBOSA et al., 2009) como limitada entre o Lineamento Pernambuco e o Alto Estrutural Mamanguape, sendo este último uma continuidade do Lineamento Patos. As importantes subdivisões em sub-bacias (MABESOONE; ALHEIROS, 1988; BARBOSA, 2004) permitem verificar as estruturas de reativações das falhas. As Sub-Bacias Olinda, Alhandra e Miriri apresentam uma série de compartimentações organizadas em estruturas de *Grabens*, *horsts*, plataformas, terraços, monoclinais, representando os resultados das ocorrências originadas pela reativação da mesma tectônica que provavelmente promoveu a separação das placas e a abertura do Atlântico.

Essa cronologia representa um histórico dos técnicos que iniciaram as pesquisas da evolução geológica da crosta, as nomenclaturas e as datações das unidades litológicas. O primeiro mapa geológico foi editado em 1928 por L. J. Morais. A Formação Beberibe recebeu essa nomenclatura por Kegel em 1957, relacionando-a com o rio do mesmo nome no Bairro do Beberibe, na cidade do Recife. Observações foram relacionadas e as datações refeitas por autores como Beurlen, Mabesoone, Tinoco, levando em conta as características dos micro-organismos fósseis, sedimentologia e formação mineralógica. Beurlen (1967a), observando fósseis de micro-organismos do Beberibe, identificaram como sendo das idades Santoniana e Campaniana, enquanto Mabesoone (1966) identificou três diferentes ambientes de sedimentação do Beberibe, i.e., fluvial, lagunar e estuarino.

A Formação Gramame foi primeiramente identificada por Euzébio Paulo de Oliveira (1940) para fazer referências às rochas calcárias do rio Gramame, situado na costa leste do Estado da Paraíba. A geóloga e paleontóloga norte-americana Carlota Joaquina Maury (1874-1938), observando fósseis maastrichtianos do Cretáceo Superior encontrados na fazenda do Congo (PB), à margem direita do Rio Gramame, verificou cefalópodos do gênero *Sphenodiscus*, que ela denominou de *Sphenodiscus parahybensis*, e às camadas de onde procedem esses fósseis, correspondentes, hoje, à Formação Gramame, ela chamou de Zona *Sphenodiscus*. (SANTOS; CUNHA, [s.d.], p. 178). Córdoba et al. (2007 apud SOBRAL; ZUCON; BARRETO, 2010, p. 43) propuseram à Formação Gramame idade do Campaniano-Maastrichtiano.

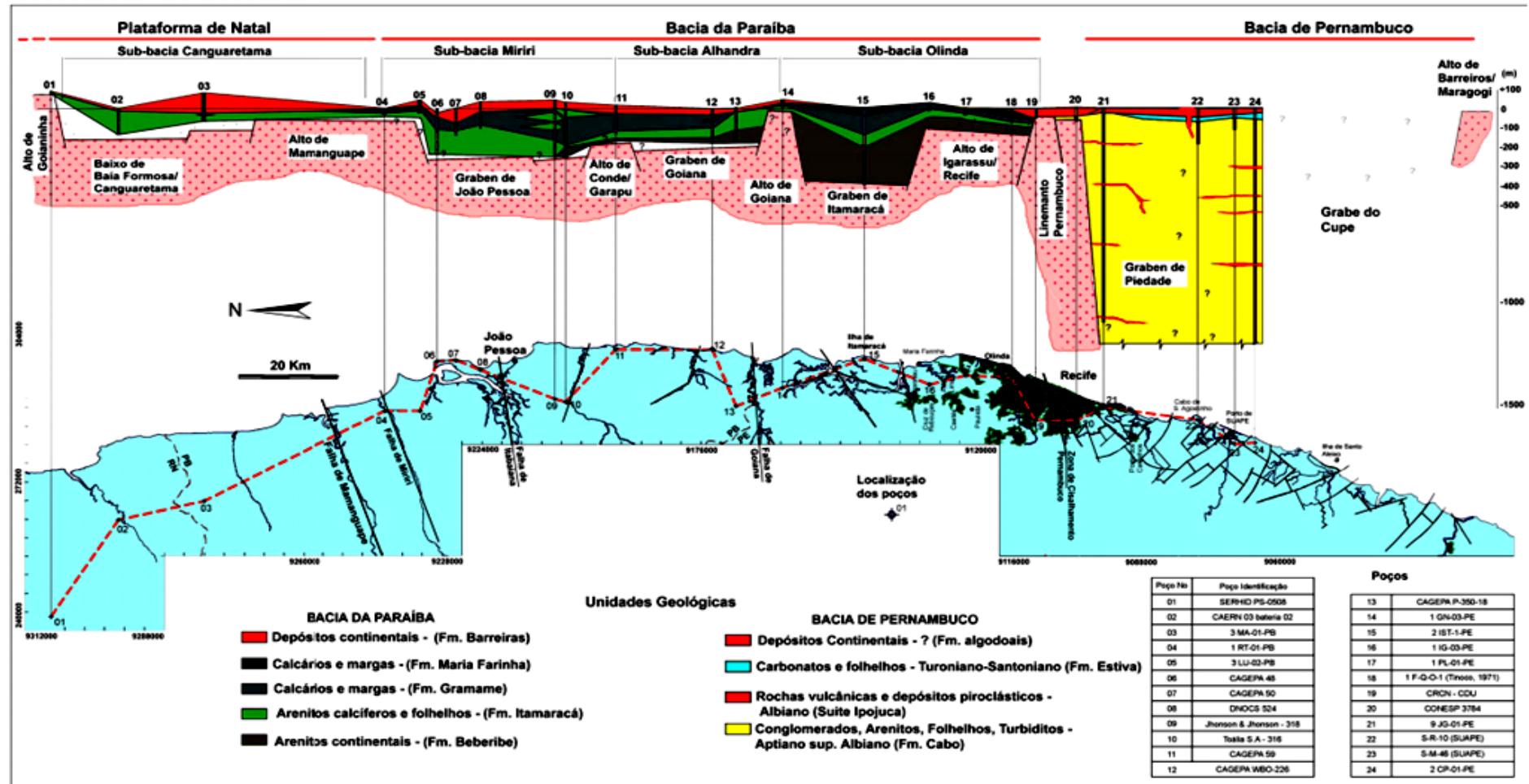


Figura 2.6 Perfil Geológico ao longo da linha de costa, segundo Barbosa e Lima Filho (2005), que mostra os limites extremos da Bacia Paraíba e suas respectivas Sub-Bacias Olinda, Alhandra e Miriri, destacando a diferença de profundidade estrutural entre a Bacia Paraíba e a Bacia Pernambuco.

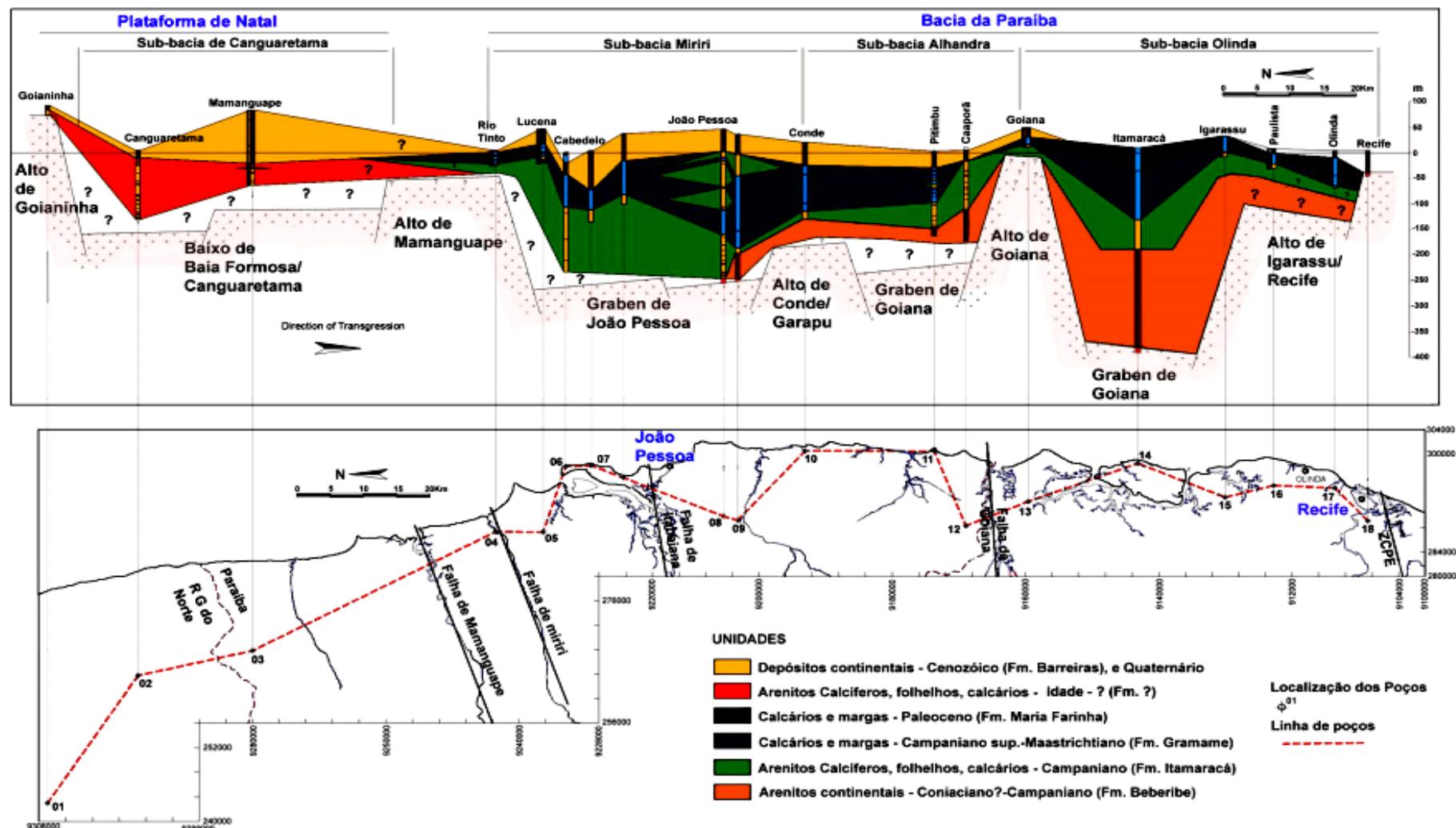


Figura 2.7 Seção geológica ao longo da linha de costa, elaborada por Barbosa (2007) a partir de perfis de poços entre o Lineamento Pernambuco e a Falha de Mamanguape. (BARBOSA, 2007).

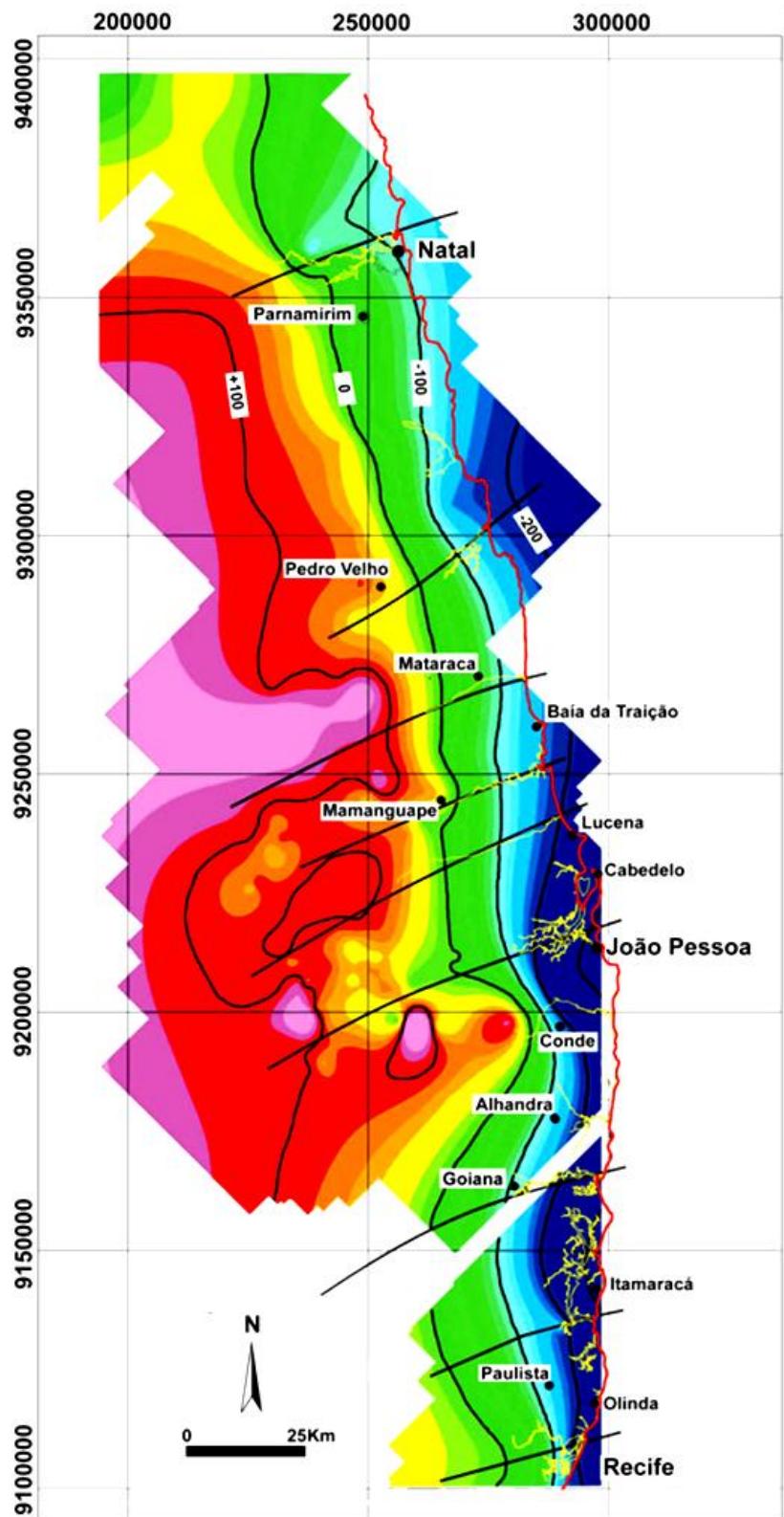


Figura 2.8 Mapa do embasamento, obtido através de mapas de poços, na faixa entre Recife e Natal. (BARBOSA; LIMA FILHO, 2005).

A Formação Maria Farinha foi proposta por Euzébio de Oliveira em referência aos calcários que afloram às margens do rio Maria Farinha no Estado de Pernambuco, cuja datação foi proposta em 1971 pelo paraibano Ivan de Medeiros Tinoco (n. 1927) como sendo do Paleoceno. Recobre essas estruturas a Formação Barreiras. De acordo com Jupiassu (1970), Mabesoone et al. (1972), Salim et al. (1975), Leite et al. (1997), Ghignone (1979), Suguio et al. (1986), Arai et al. (1988) e Arai (1997) (apud VILAS BOAS; SAMPAIO; PEREIRA, 2001, p. 417, tradução nossa), o “Grupo Barreiras é uma depósito sedimentar terrígeno continental, de idade Miocênica a Pleistocênica Inferior, que apresenta grande ocorrência ao longo do litoral brasileiro.”

2.2.2 Litoestratigrafia

As unidades clásticas estratigráficas da Bacia Sedimentar Paraíba, a partir da unidade basal, são distintas, sendo a mais antiga, com idade do Santoniano, da Formação Beberibe Inferior(v. fig. 2.9), composta por arenitos de granulometria variável, cujos grãos variam de subangulosos a subarredondados de origem fluvial, segundo Lima Filho (MABESOONE; ALHEIROS, 1988; ALHEIROS, 1992; FEIJÓ,1994; LIMA FILHO, 1996, 1998), chegando a formar areias conglomeráticas. Em poços profundos, percebe-se, nas amostras de calha, a Trituração ocasionada pela broca nos grãos de quartzo, com forte processo diagenético. A sequência clástica inicialmente teve sua origem na parte continental, sem atividade marinha e, portanto, não calcífera.

O Aquífero Beberibe Inferior, basal, representa um manancial de água subterrânea de boa qualidade, ocupando a faixa leste desde a falha de Mamanguape, ao norte da cidade de João Pessoa, até o Lineamento Pernambuco, ao sul, dentro da capital do Estado de Pernambuco, o município de Recife, considerado extenso e de dimensões regionais. Todo o processo de deposição inicial do Aquífero Beberibe ocorreu em plataforma continental, sendo constituída de quartzo arenitos e arenitos feldspáticos eólicos, bem selecionados, com presença de níveis silicificados e, em menor proporção, níveis conglomeráticos, de origem fluvial a fluviolacustre. Sobre essa unidade, numa segunda fase de transição marinha, devido à ocorrência de um pulso transgressivo que envolveu toda a faixa costeira desde a plataforma de Natal até a Zona de Cisalhamento de Pernambuco (BARBOSA, 2007), a Formação Itamaracá, ou Formação Beberibe Superior, representada por arenitos de dureza elevada, com forte cimentação calcífera resistente aos processos de perfuração (alta resistência à penetração da broca), completa a sequência clástica do pacote basal da bacia.

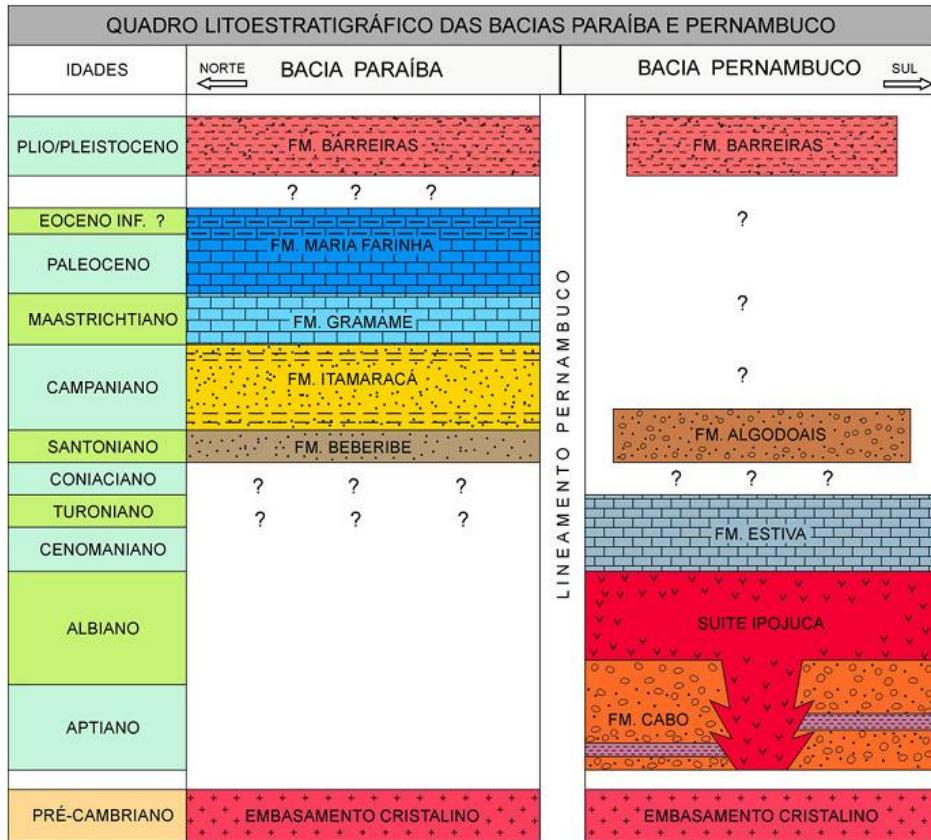


Figura 2.9 Quadro estratigráfico esquemático das Bacias Paraíba e Pernambuco, com as unidades estratigráficas distribuídas na área continental emersa das respectivas Bacias separadas pela Zona de Cisalhamento de Pernambuco. (MABESOONE; ALHEIROS, 1988; FEIJÓ, 1994; LIMA FILHO, 1996, 1998).

A presença do carbonato de cálcio, proporcionando a cimentação calcífera contribui na variação da composição físico-química das águas e na classificação do pacote sedimentar, caracterizando as águas do Aquífero Itamaracá como bicarbonatadas cálcicas, enquanto o Aquífero Beberibe Inferior como cloretadas sódicas.

Com o desenvolvimento da abertura do Atlântico, a separação das placas a invasão do oceano na área continental a atividade do mar rica em carbonatos, acompanhou o depósito de sedimentos clásticos oriundos do continente. Esses depósitos, classificados por Kegel (1958) como de idade Campaniana, sofreram a influência do início das atividades marinhas na porção mais oriental da bacia, formando a sequência sedimentar composta por arenitos com forte cimentação calcífera sobreposta aos primeiros depósitos da porção basal de atividade exclusivamente continental. Assim sendo, a formação Beberibe teve duas fases distintas na recepção dos sedimentos: a primeira, de origem continental, e uma segunda marinha, calcífera, classificadas, como já mencionado, em Formação Beberibe Inferior, basal com cimentação silicificada, e a Formação Beberibe Superior, ou Formação Itamaracá.

O termo Beberibe recebeu essa nomenclatura por Kegel, relacionando-a com o rio do mesmo nome no Bairro do Beberibe na cidade do Recife. Posteriormente, Kegel (1957) classificou os arenitos calcíferos da Formação Beberibe Superior como Formação Itamaracá, devido à ocorrência superficial observada na Ilha de Itamaracá, situada no litoral norte da cidade do Recife, nomenclatura que, em seguida, foi destituída por outros autores, entre os quais Mabesoone e Beurlen, que consideraram o Beberibe Inferior como sendo um complemento arenoso da formação sotoposta calcária, o que, aliás, pela natureza da influência carbonática, poderia levar a uma identificação como sendo a parte basal da Formação Gramame. Posteriormente, esses mesmos autores desconsideraram a proposta, retomando a nomenclatura de Formação Itamaracá aos arenitos calcíferos, desmembrando-os da Formação Gramame. A Formação Beberibe pode ser distinguida em suas porções na classificação de suas águas, enquanto que a porção inferior basal não apresenta dureza com águas mais sódicas. A Formação Beberibe Superior, ou Itamaracá, apresenta elevados teores de dureza em função da presença carbonática, o que, em alguns casos, torna crítica a sua utilização, como, por exemplo, o das caldeiras de elevada temperatura, o que ocasiona a cristalização imediata do carbonato de cálcio (CaCO_3), criando uma crosta carbonática, geralmente esbranquiçada, diminuindo bastante a eficiência do equipamento.

É considerado o melhor aquífero da bacia em função de sua capacidade de exploração, com poços que produzem vazões consideráveis tanto pelas indústrias locais quanto pela concessionária de água do estado, CAGEPA. Afloramentos superficiais são encontrados próximo à borda (BRITO NEVES et al., 2005), que, por vezes, são confundidos como sendo provenientes da Formação Barreiras. As melhores amostragens do material dessa Formação apresentam-se através de amostras de calha de poços perfurados, pois se observa que o material aflorante comumente é confundido com outros minerais superficiais em função do alto grau de intemperização dos minerais devido à sua exposição.

A fase final da deposição da Formação Itamaracá é marcada por uma superfície condensada, fosfatada (v. fig. 2.10), representando o momento de máxima inundação antes do estabelecimento da Formação Gramame, nas Sub-bacias Olinda, Alhandra e Miriri (Barbosa, 2004). Barbosa (2007) cita que esse marco estratigráfico é identificado através de uma elevação dos valores dos perfis de raios gama e podem ser observados em amostras de calhas nas perfurações ao longo da Bacia Paraíba, identificando como sendo característica exclusiva dessas Bacias, não se estendendo à Sub-Bacia Canguaretama. Foram observados por Kegel em 1955, que identificou variações de espessura máxima entre 3 e 4 metros. Sotopostos à

Formação Beberibe, os calcários de idade maastrichtiana da Formação Gramame apresentam as características peculiares da deposição em regime de mar aberto. A condição de a plataforma continental ter sido completamente envolvida pela excessiva atividade marinha desenvolveu uma rampa carbonática. Essas formações calcárias são consideradas aquitardes, já que não apresentam um sistema cárstico-fissural capaz de promover uma condição adequada de fornecimento de águas subterrâneas.

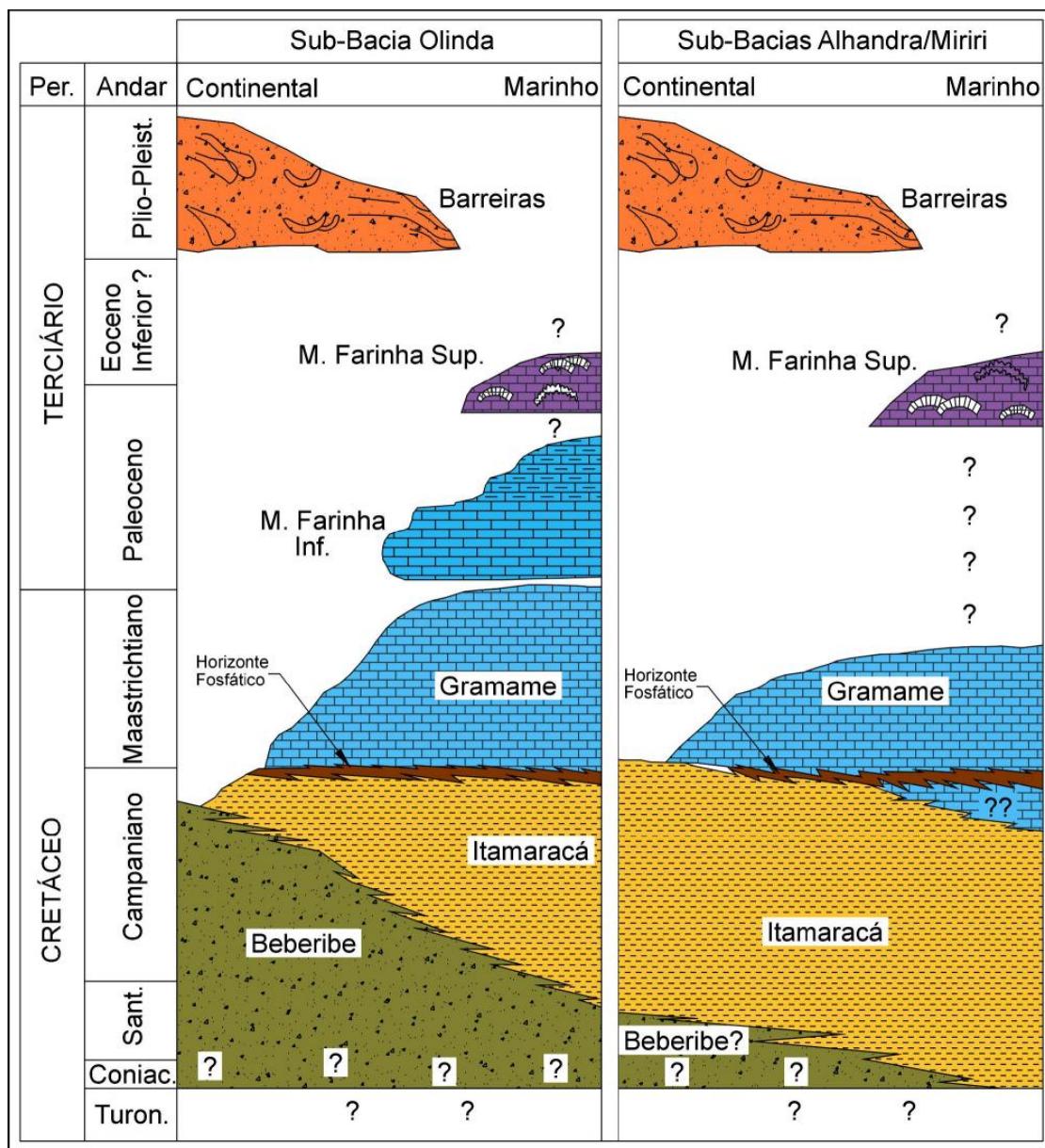


Figura 2.10 Coluna estratigráfica para a Sub-Bacia Olinda, proposta por Barbosa (2004).

A Formação Gramame tem presença mais marcante em relação à Formação Maria Farinha, cuja área de ocorrência restringe mais a Sub-Bacia Olinda, fato que pode ser

explicado em função de a invasão marinha ter-se iniciado pela plataforma de Natal, sendo a Sub-Bacia Olinda a última a ser invadida, visto que os efeitos da regressão das atividades marinhas ocorrida no final do maastrichtiano foram menos atuantes, com atividades marcantes nas outras duas sub-bacias Alhandra e Miriri. Beurlen (1967) descreve a Formação Gramame com fauna abundante e caracterizada pela presença de fósseis típicos de ambiente marinho, gastrópodes, cefalópodes, crustáceos, de águas tranquilas e quentes, condição natural para a ocorrência de depósitos calcários.

Por sobre as formações Cretáceas, o Grupo Barreiras, de idade Pliopleistocênica, aflora extensivamente na faixa leste do litoral da Bacia Paraíba, devendo-se considerar que, na parte oriental da Sub-Bacia Alhandra, inexistem sedimentos da formação Barreiras. (BRITO NEVES et al., 2005). Os sedimentos depositados da Formação Barreiras são exclusivamente continentais, impostos pelas atividades fluviais, formando leques extensivos e progressivos aluvionares. A granulometria é variável desde cascalhos grosseiros a siltes e argilas, de composição feldspática. São formados por diamictitos, característicos de leques aluvionares e correntes de turbidez transportando material por suspensão em correntes de alta densidade. Em amostras de calhas de perfurações de poços, observam-se todas essas estruturas mais recentes, que, de acordo com sua composição granulométrica, definem a energia com que o material foi transportado. É comum observar, nas partes mais superficiais, passagens argilosas seguidas por material mais grosseiro na base da Formação Barreiras, de coloração amarelo-alaranjada. Durante os processos de perfuração na coleta de amostras, observa-se também uma passagem arenoargilosa de coloração bastante avermelhada, por vezes arroxeadas, de uma coloração bastante intensa, característica da presença e oxidação do ferro, formando uma crosta laterítica devido à presença de grande quantidade do hidróxido de ferro, compactada e resistente ao avanço da perfuração. Essa passagem ocorre em praticamente toda a Formação Barreiras, a qual é aqui considerada como uma camada estratégica de proteção ao aquífero. Geralmente, o nível freático está a alguns metros abaixo dessa camada. Segundo Alheiros et al. (1988), essas litologias representam a porção distal de leques aluviais, construídos por fluxos de detritos afogados nos períodos de inundações. A inexistência de fósseis dificulta uma datação precisa da Formação Barreiras. Segundo alguns autores, a época da ocorrência desses depósitos sedimentares é do Paleogeno (Oligoceno) e do Neógeno, chegando até o Pleistoceno. (SALIM et al., 1975; MABESOONE et al., 1972; SUGUIO et al., 1986).

Das formações superficiais, os sedimentos Quaternários formam a última sequência clástica depositada, de idade pleistocênica, dos últimos 1,806 milhão de anos, corresponde aos

sedimentos de praias, depósitos fluviais, fluviolagunares. As aluviões e as formações eluviocoluvionares, litologicamente, são constituídas por sedimentos clásticos grosseiros, representados por areias inconsolidadas esbranquiçadas ou creme, mal selecionadas, de granulometria fina a grosseira, com grãos de quartzo subangulosos, feldspato não decomposto, palhetas de micas e concentrações de minerais pesados. Sotopostos às areias, ocorrem níveis mais heterogêneos e consolidados, de coloração amarelo-avermelhada, contendo intercalações de argila e horizontes conglomeráticos, na base do contato com o embasamento. Todo o conjunto apresenta espessura variando entre 10m e 15m. Apesar de sua pouca espessura, ocorrências de aquíferos com vazões elevadas são observadas; como exemplo, a aluvião do rio Mumbaba às margens da BR 101, em teste de bombeamento do poço 03 da indústria têxtil da COTEMINAS. A vazão de exploração registrada foi de 47,41 m³/h, e um rebaixamento total de 0,813 metros, com água de baixa dureza, representando uma importante fonte de abastecimento industrial.

A sequencia estratigráfica da área continental da Bacia Paraíba, pode ser mais bem visualizada no corte esquemático (v. fig. 2.11), descrita pela CPRM (1999), em área da Região Metropolitana do Recife, em que se percebe a rampa em sentido oeste para leste.

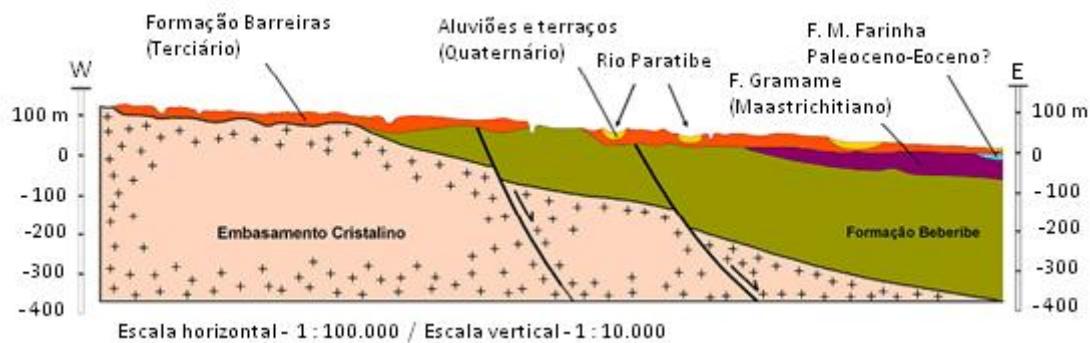


Figura 2.11 Corte em área continental da Bacia Paraíba, descrita pela CPRM (1999), em área da Região Metropolitana do Recife, em que se percebe a rampa em sentido oeste para leste.

CAPÍTULO 3

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA PESQUISADA

3.1 Aspectos Climatológicos

Dos Sistemas de Classificações Climáticas (SCCs), o de Köppen (KÖPPEN; GEIGER, 1928), é considerado um dos mais completos, e tem como base os padrões da vegetação estabelecidos na região. Algumas modificações foram feitas ao longo do tempo para adaptar as condições locais das mais diversas regiões estudadas.

Trewartha (1954) simplificou o sistema de Köppen (CARTER; MATHER, 1966) ao procurar determinar tipos de climas para os Estados Unidos, tornando-o mais adaptável para uso em sistemas informatizados, motivado pela sugestão de Hermann Flohn (1950), na qual os climas deveriam ser definidos de acordo com as massas de ar que atingem determinada região.

No Brasil, Setzer (1966) simplificou o método de Trewartha (1954) para determinar os tipos climáticos que ocorrem no Estado de São Paulo. Mais recentemente, o método de Köppen foi modificado para a Austrália com sucesso, mostrando também que o sistema foi consistente.

As coletas de dados meteorológicos são obtidas através das observações diárias nas estações climatológicas. Na RMJP, a mais antiga está localizada no prédio do Ministério da Agricultura, código de acesso 82798, latitude sul 07°06', longitude oeste 34°52', HP 7,43 metros (altitude da estação) e HZ 6,73 metros (altitude da cuba do barômetro, acima do nível do mar), sendo seus dados coletados e utilizados nas pesquisas relacionadas às condições climáticas e ambientais.

A classificação climática é definida pelas observações ao longo do tempo dos principais elementos que definem o clima, a saber, a precipitação, a temperatura, a umidade, a insolação, a pressão atmosférica e os ventos, entre outros. Segundo a classificação de Köppen, o clima de João Pessoa é do tipo (v. fig. 3.1) quente e úmido com chuva de outono-inverno com um período de estiagem de 05 a 06 meses, e em que o período de maior precipitação se localiza entre os meses de abril e julho, favorecido pelos distúrbios ondulatórios leste, responsáveis pelas ocorrências das chuvas mais representativas sobre todo o setor leste do Estado (AES, 2008, 2009), que representa a área abrangente da localização geográfica da Bacia Sedimentar Paraíba na RMJP. O ano hidrológico da Paraíba inicia-se em primeiro de outubro e termina em 29 de setembro do ano seguinte, determinando, assim, um ciclo

hidrológico completo, permitindo uma comparação significativa dos dados meteorológicos. (DNAEE, 1976). Durante o período compreendido entre os meses de abril e julho, a maior concentração de chuvas ocorre ao longo das regiões que compõem a faixa leste do Estado da Paraíba. Dados da AESA demonstram que a recuperação das unidades hídricas começa a partir do mês de março, representada pelo início das precipitações mais significativas, tendo seu ápice nos meses de junho/julho com intensidades pluviométricas registrando índices anuais em torno de 1800,0 mm na região do litoral. Esse volume de água ocasionado pela precipitação é absorvido pelas bacias hidrográficas dos rios Abiaí, Miriri, Camaratuba, Gramame, Mamanguape, Guaju, Região do Baixo Curso do Rio Paraíba, Bacia do Rio Curimataú e Região do Médio Curso do Rio Paraíba, (AESA, 2008, 2009). Grande parte dessas águas infiltra-se, funcionando como recarga dos aquíferos nos períodos chuvosos, sotopostos 100% sobre a Bacia Sedimentar Paraíba, no trecho das Sub-Bacias Alhandra e Miriri, parte das Sub-Bacias de Olinda e Canguaretama, sendo a principal e mais importante fonte de recarga aquífera. O excesso por escoamento superficial demanda ao Atlântico, formando uma rede significativa de leques aluvionares que auxiliam em sua drenagem e escoamento. A crescente e irregular ocupação habitacional e industrial tem, por sua vez, prejudicado o sistema de infiltração/escoamento natural, levando, por ocasiões, a inundações progressivas, com aceleração do processo erosivo e deslocamento das barreiras de forma descontrolada, o que torna vulneráveis os habitantes que povoam essas áreas, com destaque à população ribeirinha e das encostas.

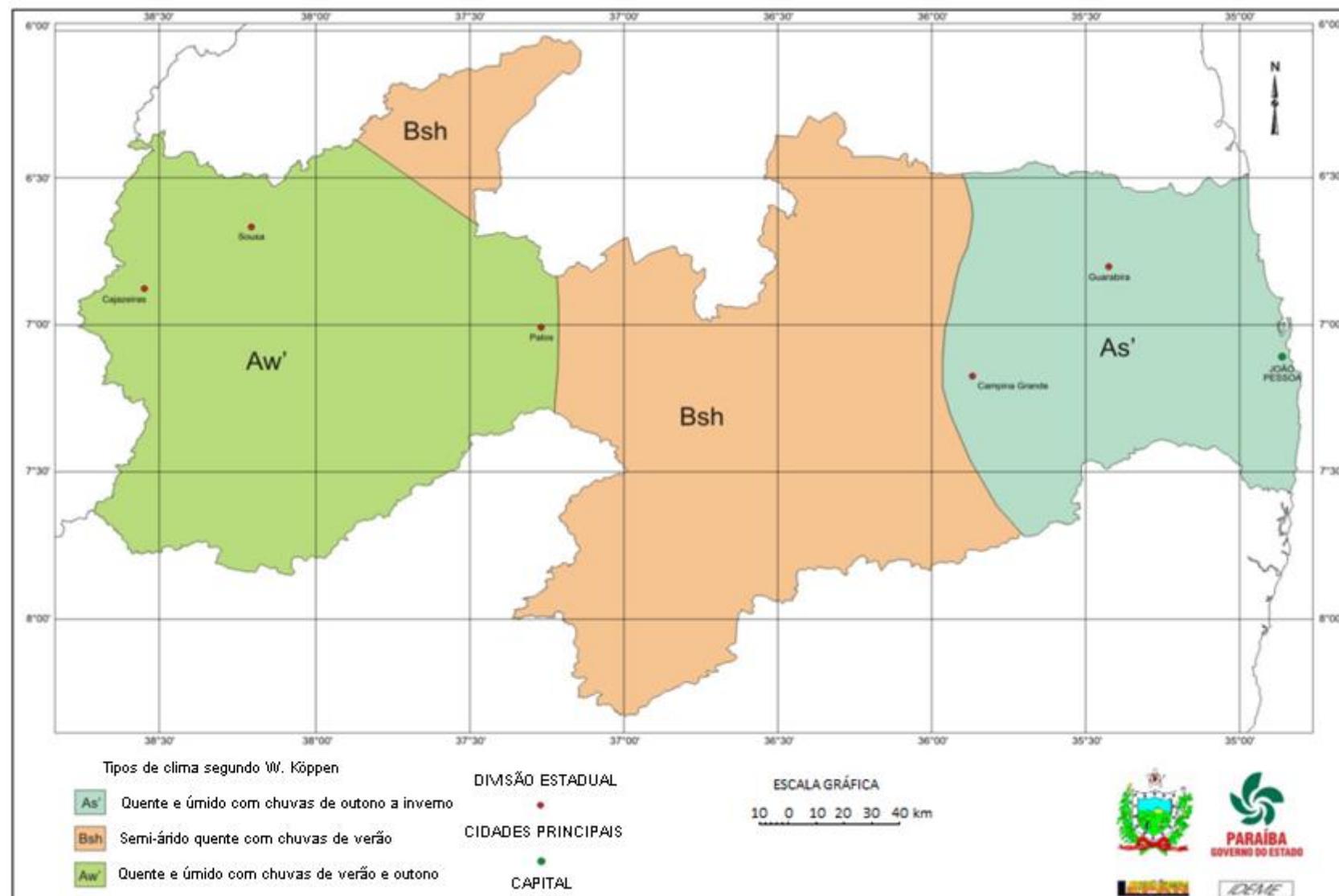


Figura 3.1 Classificação climática de Köppen para o Estado da Paraíba.

Tabela 3.1 Balanço hidroclimático do município de João Pessoa no período 1961-1990.

Município: João Pessoa - PB							
Mês	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	ARM (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Jan.	25,8	81	127	1	82	45	0
Fev.	25,2	137	108	31	108	0	0
Mar.	28,2	238	176	92	176	0	0
Abr.	25,5	313	117	100	117	0	188
Maio	27,0	308	146	100	146	0	162
Jun.	26,2	381	125	100	125	0	256
Jul.	23,7	290	90	100	90	0	200
Ago.	25,4	202	116	100	116	0	86
Set.	27,5	41	152	33	108	44	0
Out.	27,7	57	164	11	79	86	0
Nov.	27,0	45	147	4	52	95	0
Dez.	24,1	37	102	2	39	63	0
TOTAIS	313,3	2.130	1.571	674	1.238	333	892
MÉDIAS	26,1	178	131	56	103	28	74
Fonte: INMET							

3.1.1 Temperatura

De acordo com as tabelas 3.2, 3.3 e 3.4, os meses que atingem valores mais significativos são janeiro e fevereiro para as temperaturas mais elevadas, representando a faixa anual de maior consumo hídrico em todos os setores, principalmente pela taxa de evaporação, exigindo maior reposição de água. Consequentemente, esse é o período de maior estiagem da faixa litorânea, os níveis dos reservatórios estão baixos, atingindo níveis críticos com maior exploração de todos os recursos naturais hídricos por parte da população e setores produtivos, com menor condição de reposição das águas em função da própria ausência das chuvas, normais nessa época do ano. Ainda observando os dados das tabelas, o período de mais baixas temperaturas se concentra nos meses de junho a agosto, ocasionalmente as taxas de recuperação das fontes armazenadoras das águas, barragens, aquíferos, etc., como já foi dito anteriormente, já têm iniciado a sua recuperação hídrica desde meados de março. Consequentemente, em climas característicos tropicais, as menores temperaturas coincidem com o período chuvoso, representando menores consumos de água por parte da população e maiores índices de armazenamento de água. Por vezes, o excesso das águas promove distúrbios accidentais devido ao escoamento em excesso ocasionado por fatores antrópicos.

Tabela 3.2 Média das temperaturas **mínimas** mensais e anual – Estação climatológica de João Pessoa (em °C). Fonte: UACA-CTRN-UFCG (2008).

Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Maio	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Anual
22,0	22,1	22,2	22,1	21,6	20,8	20,3	19,7	20,2	20,7	20,9	21,4	21,2

Tabela 3.3 Média das temperaturas **médias** mensais e anual – Estação climatológica de João Pessoa (em °C). Fonte: UACA-CTRN-UFCG (2008).

Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Maio	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Anual
26,7	26,8	26,7	26,3	25,5	24,6	23,8	23,9	24,8	25,7	26,3	26,5	25,6

Tabela 3.4 Médias das temperaturas **máximas** mensais e anual – Estação climatológica de João Pessoa (em °C). Fonte: UACA-CTRN-UFCG (2008). Fonte: UACA-CTRN-UFCG (2008).

Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Maio	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Anual
31,1	31,2	30,8	30,4	29,8	29,0	28,3	28,5	29,5	30,2	31,0	31,0	30,1

3.1.2 Índices pluviométricos

Os maiores índices da região do litoral ocorrem no mês de junho e julho, coincidentemente os meses de temperaturas mais baixas do ano, fator que contribui essencialmente para a evolução dos níveis pluviométricos. Segundo a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESÁ), na RMJP estão localizadas algumas das unidades de estações pluviométricas em observação. (v. tab. 3.5).

Tabela 3.5 Estações pluviométricas da Região Metropolitana de João Pessoa.

Bacia Hidrográfica	Município/Posto	Código	Latitude	Longitude	Data da Instalação
Rio Paraíba	João Pessoa/DFAARA	3940225	7°05'00"	34°50'00"	julho de 1912
Rio Paraíba	João Pessoa/Mangabeira	3940321	7°09'21"	34°54'32"	março de 1996
Rio Paraíba	João Pessoa/Marés	3940343	7°11'50"	34°48'47"	maio de 1995
Rio Paraíba	Cabedelo/CAGEPA	3930938	6°58'17"	34°49'57"	agosto de 1998
Rio Paraíba	Cabedelo/EMATER	3941133	7°05'16"	34°51'00"	maio de 2001
Rio Paraíba	Bayeux	3940216	7°08'1"	34°56'18"	março de 1996
Rio Paraíba	Santa Rita	3940206	7°08'26"	34°58'58"	outubro de 1910

Das estações pluviométricas localizadas na RMJP, observadas pela Universidade Federal de Campina Grande (PB), a da Delegacia Federal de Agricultura, Abastecimento e Reforma Agrária (DFAARA), por sinal a mais antiga delas, com instalação datada de julho de 1912, foi a que apresentou dados recentes mais completos (v. tab. 3.6).

Tabela 3.6 Índices pluviométricos (em mm) de 1994 até 2010. O mês de novembro de 1995, cujo índice pluviométrico não foi apresentado, não foi considerado para a média. Fonte: UFCG/CCT/DCA.

ESTAÇÃO JOÃO PESSOA DFAARA CÓDIGO 3940225 Lat. 07°05'00" Long. 34°50'00"														
MÊS ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL ANUAL	MÉDIA ANUAL
1994	192,70	55,10	187,80	342,80	653,60	786,90	320,20	105,10	45,20	46,90	17,80	50,30	2804,40	233,70
1995	30,90	43,30	146,80	243,00	316,00	332,60	482,70	24,20	22,00	10,80	—	3,30	1655,60	150,51
1996	103,00	51,80	293,50	444,00	318,00	310,30	217,60	209,90	117,10	80,10	28,80	49,30	4460,00	371,67
1997	21,80	207,40	288,40	306,40	316,50	90,50	182,40	122,10	9,40	7,20	8,70	88,00	3645,80	303,82
1998	106,30	16,80	44,90	37,90	199,80	231,10	263,30	284,70	31,80	27,80	18,50	8,20	3269,10	272,43
1999	16,70	84,00	116,90	46,40	247,10	112,20	132,10	50,80	61,70	63,20	3,00	38,80	972,90	81,08
2000	96,10	149,40	106,50	212,10	330,30	557,70	453,40	167,40	228,80	16,10	45,80	81,40	2445,00	203,75
2001	25,30	7,10	197,00	267,20	47,70	255,50	184,70	62,10	43,40	22,30	16,10	40,00	1168,40	97,37
2002	179,40	142,70	251,00	190,40	256,00	470,80	262,30	138,90	15,40	43,10	35,90	10,80	1996,70	166,39
2003	51,30	252,90	275,00	206,70	212,60	626,20	96,30	106,50	97,20	36,30	15,40	65,50	2041,90	170,16
2004	283,70	182,80	158,80	133,90	312,00	482,20	475,80	162,50	27,90	27,40	5,80	5,10	2257,90	188,16
2005	37,40	58,90	106,60	125,40	545,50	575,30	154,20	215,80	63,60	24,60	3,30	21,20	1931,80	160,98
2006	10,80	17,80	85,30	200,90	156,40	270,50	129,10	105,50	53,10	9,50	42,10	41,60	1122,60	93,55
2007	33,80	166,10	198,10	234,30	239,50	573,70	143,60	273,30	73,00	32,70	34,00	8,20	2010,30	167,53
2008	80,60	7,80	299,30	313,50	335,70	397,40	283,50	318,00	86,70	44,20	5,00	57,70	2229,40	185,78
2009	57,70	260,60	129,80	540,40	521,20	303,90	447,00	122,30	77,10	19,40	45,80	25,20	2550,40	212,53
2010	120,20	76,90	30,90	175,10	105,70	250,50	241,40	189,00	92,40	16,00	5,50	29,70	1333,30	111,11
Total	1447,70	1781,40	2916,60	4020,40	5113,60	6627,30	4469,60	2658,10	1145,80	527,60	331,50	624,30	37895,50	X
Média	85,16	104,79	171,56	236,49	300,80	389,84	262,92	156,36	67,40	31,04	20,72	36,72	2229,15	X

Conforme os dados apresentados, o período com maiores índices pluviométricos para a região litorânea está concentrado nos meses de abril, maio, junho, julho e agosto. Outra fonte como modelo comparativo pode ser observada nos dados resumidos apresentados na tabela 3.7 para o período de 1911 até 1990, para a mesma estação.

Tabela 3.7 Precipitação mensal no Estado da Paraíba no período 1911-1990. Código da Estação DFAARA: 3940225; latitude: 07°05'00"; longitude: 34°50'00"; altitude: 5m. Fonte: UFCG/CCT/DCA.

MÊS	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Maio	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Anual
MÉDIA	80,1	101,2	204,9	264,0	282,6	301,7	236,7	140,0	67,6	28,2	27,7	36,1	1768,2

3.1.3 Umidade relativa do ar

A umidade relativa do ar da região Litorânea, da RMJP, tem seus valores máximos nos meses de junho e julho, coincidindo com as máximas da precipitação, e mínimos nos meses de novembro e dezembro. A tabela 3.8 mostra a média dos últimos 69 anos, para valores mais representativos durante o dia, nos horários de 12h, 18h e 24h, do posto de observação 82798, da Estação Meteorológica de João Pessoa, latitude 7°7' sul e longitude 34°53' oeste, com altitude representativa do litoral de 5,0 m.

Tabela 3.8 Valores médios da umidade relativa do ar (%), em diferentes horários do dia, da região Litorânea da RMJP no período 1911-1980.
Fonte: UFCG/CCT/DCA.

MÊS HORÁRIO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA ANUAL (%)
ÀS 12h	79,40	81,10	82,90	84,60	86,00	87,20	87,10	85,40	81,60	77,70	77,00	77,80	82,30
ÀS 18h	70,00	71,20	72,50	75,50	77,30	77,50	76,60	74,00	71,90	69,50	69,50	69,20	72,90
ÀS 24h	83,80	84,70	85,60	87,00	89,50	89,60	89,80	89,10	86,40	84,70	83,60	83,00	86,40
SOMATÓRIO DAS MÉDIAS	233,20	237,00	241,00	247,10	252,80	254,30	253,50	248,50	239,90	231,90	230,10	230,00	241,60
MÉDIA DIÁRIA	77,73	79,00	80,33	82,37	84,27	84,77	84,50	82,83	79,97	77,30	76,70	76,67	80,53

3.1.4 Insolação

A insolação é a quantidade de energia solar que chega à Terra, por uma determinada unidade de área, por um determinado tempo. A sua eficiência varia de acordo com a inclinação dos raios solares em relação ao plano de interseção com a Terra.

Alguns fatores relativos às estações do ano, a posição do Sol em relação ao eixo da Terra determinando os ângulos relativos à incidência dos raios solares e a nebulosidade têm uma correlação direta, variando a intensidade conforme a época do ano. Na região equatorial, entre os Trópicos de Câncer e Capricórnio, a insolação tem uma quantidade de horas mais regular. A influência angular está relacionada com a posição da Terra em relação ao Sol. No período de agosto a janeiro, a Estação Meteorológica de João Pessoa registra mais horas de luz solar durante o período de 24 horas, enquanto que, no período de fevereiro a julho, registra períodos com menor quantidade de luz solar, e, neste caso, o efeito da insolação é menor, (v. tab. 3.9).

Tabela 3.9 Quantidade de horas diárias de insolação para o município de João Pessoa – Paraíba.

JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
12,36	12,21	12,00	11,83	11,68	11,58	11,61	11,75	11,95	12,13	12,32	12,42

3.2 Hidrologia

A área deste projeto de pesquisa situa-se na região do litoral paraibano, e é classificada como de baixos índices pluviométricos, com média anual inferior a 500 mm (VIEIRA; RIBEIRO, 2007). De acordo com dados coletados na pesquisa realizada pela UFCG-PB, os índices pluviométricos de 1994 a 2010 apresentaram média anual de 155,95 mm.

O Estado da Paraíba está dividido em onze bacias hidrográficas, do ponto de vista de recarga dos aquíferos. As bacias hidrográficas com grande parcela de contribuição são as do Rio Paraíba, na sua porção denominada de Região Hidrográfica do Baixo Paraíba, as Bacias Abiaí, Gramame e Miriri, sendo esta última limitada pela Falha de Mamanguape, ramificação importante do Lineamento Patos, que, segundo Barbosa (2004, 2007), é o acidente geográfico que limita a BSP ao norte. Essas bacias hidrográficas recobrem a área da Bacia Sedimentar Paraíba, dentro do Estado da Paraíba, na sua porção definida como Sub-Bacia Alhandra e Sub-Bacia Miriri, sendo áreas de drenagem da descarga pluviométrica que ocasionalmente

sobrecregam os solos da Região Metropolitana de João Pessoa. A área e localização das referidas Bacias correspondem às seguintes dimensões:

- A Bacia Hidrográfica do Rio Abiaí (v. fig. 3.2), localiza-se ao sul do Estado da Paraíba, faz limite com a divisa do Estado de Pernambuco, ao norte com a Bacia Hidrográfica do Rio Gramame, e a leste, com o Oceano Atlântico. Situa-se entre as latitudes $7^{\circ}10'$ e $7^{\circ}30'$ sul e entre as longitudes $34^{\circ}48'$ e $35^{\circ}06'$ oeste; sua área de drenagem é de $449,5 \text{ km}^2$ e seu perímetro é de 110,5 km, com extensão total de 28,2 km e com dois afluentes, o rio Taperubus e o rio Cupiçura. (AESÁ, [2009?]).
- A Bacia Hidrográfica do Rio Gramame (v. fig. 3.2), está limitada, a leste, pelo Oceano Atlântico, a oeste e ao norte, pela Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, e ao sul, pela Bacia Hidrográfica do Rio Abiaí. Localiza-se entre as latitudes $7^{\circ}11'$ e $7^{\circ}23'$ sul e as longitudes $34^{\circ}48'$ e $35^{\circ}10'$ oeste. A área de drenagem da Bacia é de $589,1 \text{ km}^2$, e seus principais afluentes são os rios Mumbaba, Mamuaba e Água Boa. O principal curso de água é o próprio rio Gramame, responsável pelo abastecimento da Grande João Pessoa. (Ibidem).



Figura 3.2 Bacias hidrográficas do Litoral Sul. (AESÁ, [2009]).

- A Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba (v. fig. 3.3), é bastante extensa, sendo a segunda em área, dominando extensivamente 38% do território estadual, e dividida em três grandes áreas de drenagem denominadas de Região Hidrográfica

do Alto Paraíba, Região Hidrográfica do Médio Paraíba e Região Hidrográfica do Baixo Paraíba. Sua área total é de 20.071,83 km², compreendida entre as latitudes 6°51'31" e 8°26'21" sul e as longitudes 34°48'35" e 37°2'15" oeste. A área que sobrepõe as zonas de recarga da BSP encontra-se dominada pela Região do Baixo Curso do Rio Paraíba, limitando-se, ao norte, com a Bacia Hidrográfica do Rio Miriri e a Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape, e ao sul, com a Bacia Hidrográfica do Rio Gramame e o Estado de Pernambuco.

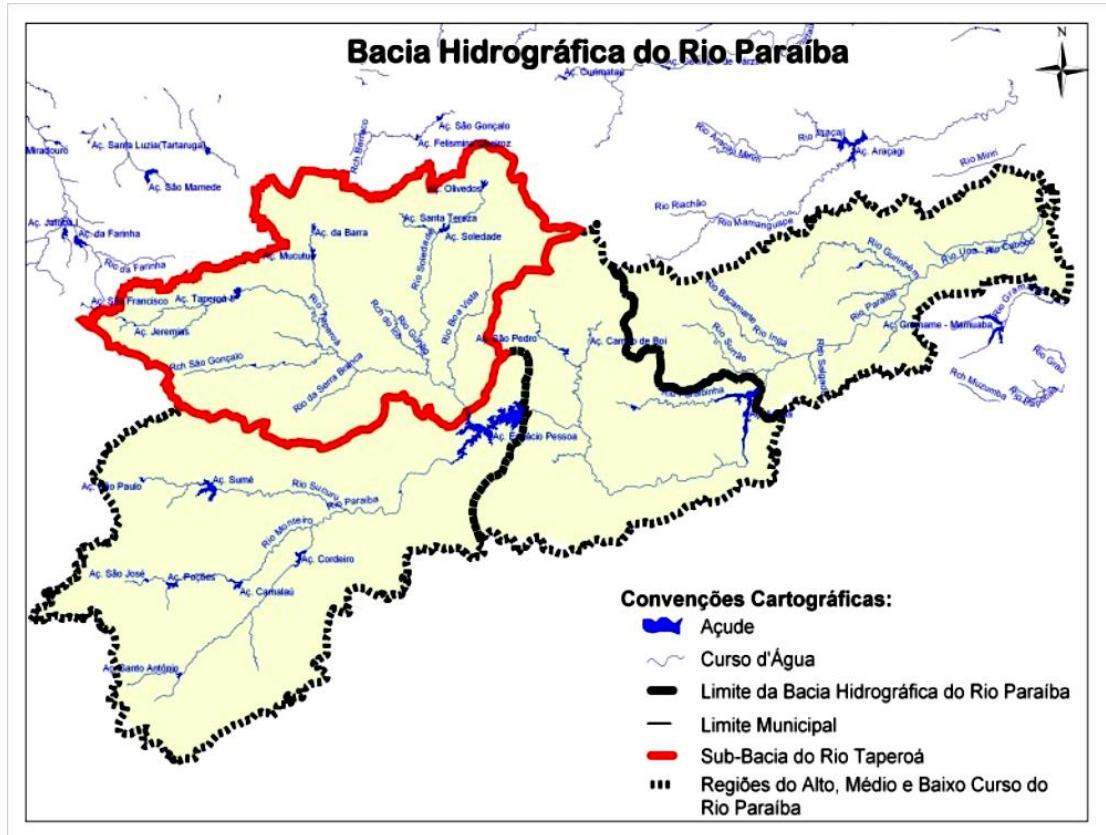


Figura 3.3 Bacia hidrográfica do rio Paraíba. Fonte AESA.

- A bacia hidrográfica do rio Miriri (v. fig. 3.4), é considerada pequena em relação à área de drenagem de suas vizinhas. Tem como eixo limitante a falha de Mamanguape, possui uma área de drenagem de 436,5 km², limitada a leste pelo oceano Atlântico, ao norte pela bacia hidrográfica de Mamanguape, ao sul e oeste pela Bacia do Rio Paraíba (v. fig. 3.5), e se encontra sob as latitudes 6°50' e 7°00' sul e longitudes 34°50' e 35° oeste. O principal rio tem o mesmo nome.

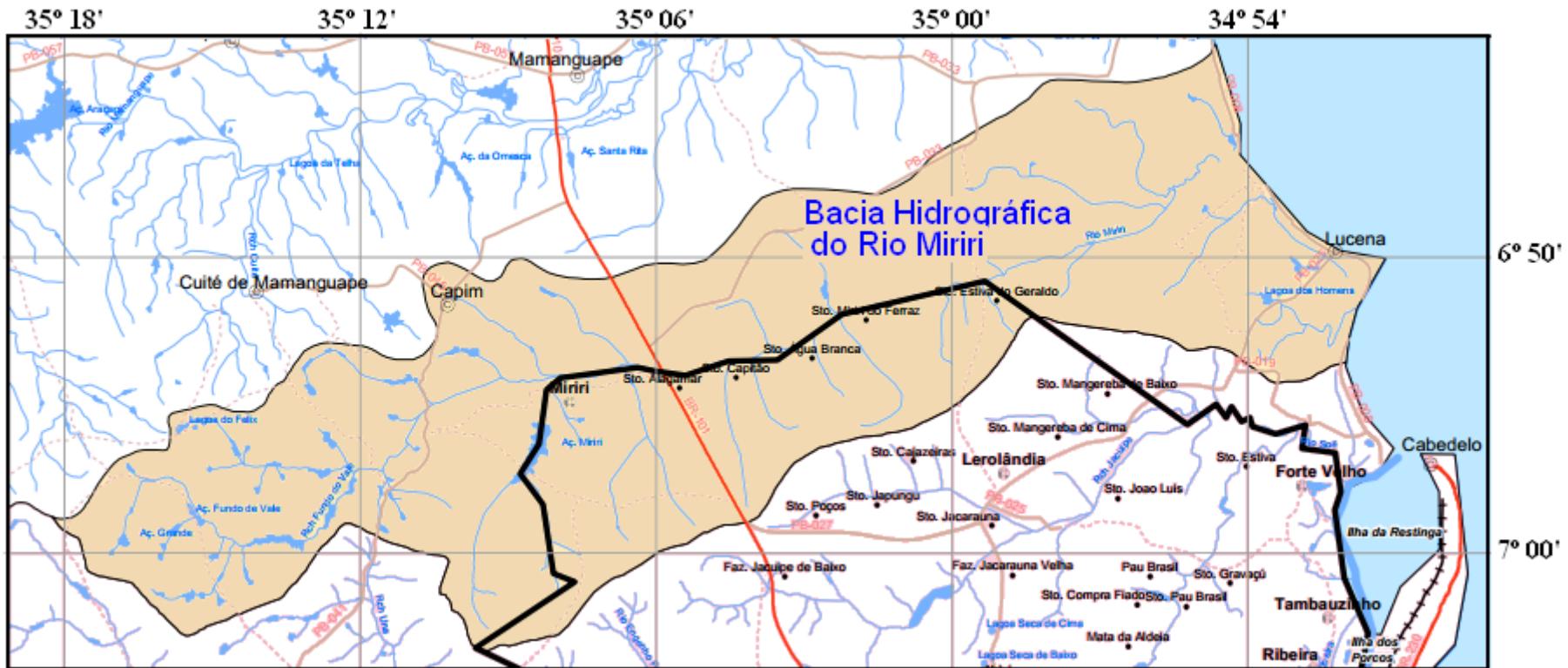


Figura 3.4 Mapa de drenagem da Bacia hidrográfica do rio Miriri. (AESÁ, [2009] modificado).

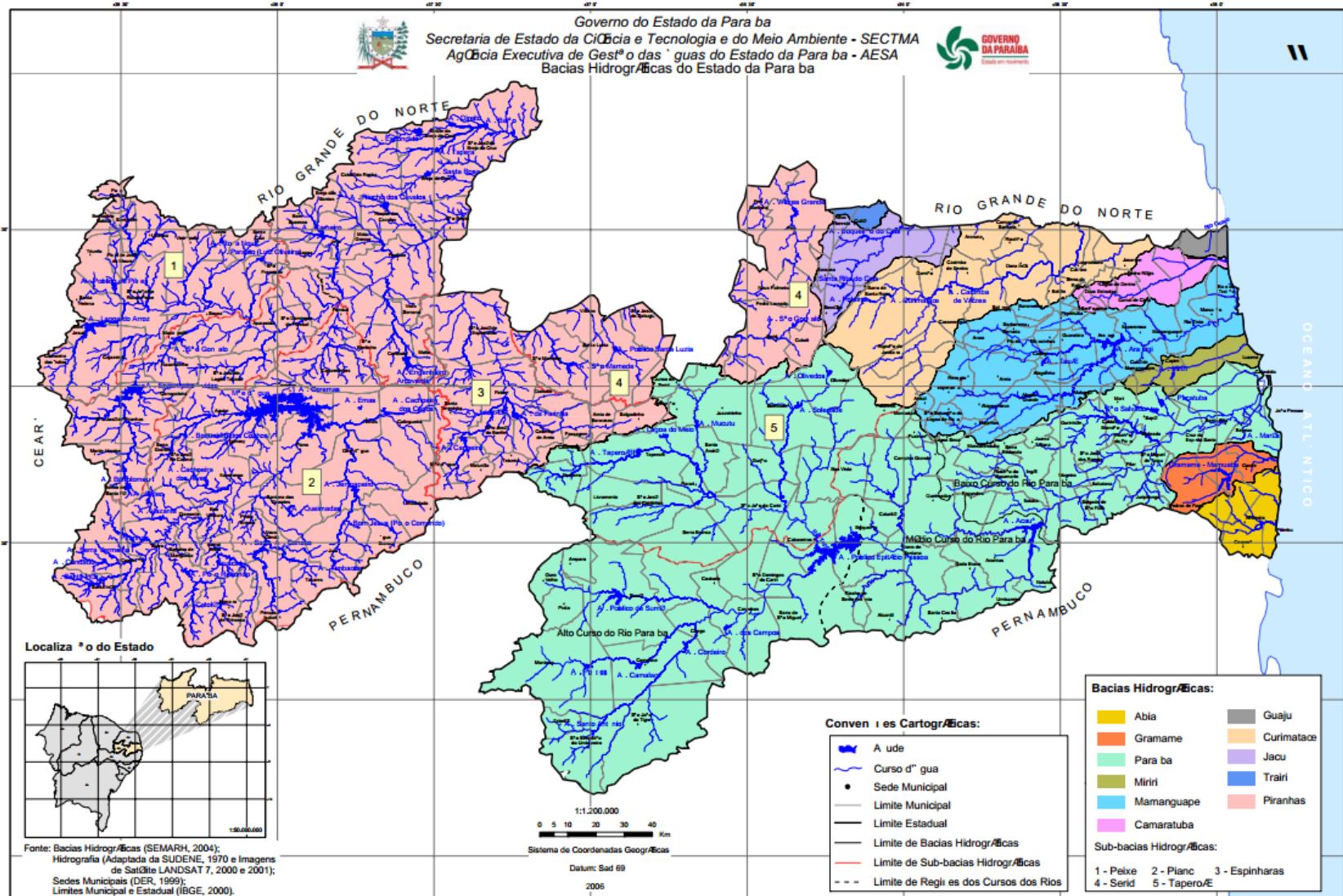


Figura 3.5 Bacias Hidrográficas do Estado da Paraíba. (AESA, [2009]).

As bacias hidrográficas que possuem maior influência de recarga para a Bacia Sedimentar Paraíba (v. fig.3.5), no trecho dentro do estado, são as da Bacia Hidrográfica do Rio Abiaí, com área de drenagem de 449,5 km², da Bacia Hidrográfica do Rio Gramame, com área de drenagem de 589,1 km², da Bacia Hidrográfica do Rio Miriri, com área de drenagem de 436,5 km², e da Região Hidrográfica do Baixo Paraíba². (AESÁ, [2009?]) (v. fig. 3.5).

As bacias hidrográficas funcionam como uma extensiva malha de drenagem, absorvendo as águas pluviométricas, distribuindo através do escoamento superficial, e boa parte infiltrando nas camadas mais profundas de sedimentos. Esse aporte hídrico é responsável pelo reabastecimento dos aquíferos.

Os aquíferos, nos períodos de maior intensidade das chuvas, meses de maio a agosto (UFCG, dados pluviométricos de 1994 a 2011), recebem sua recarga que varia diretamente com a intensidade das chuvas. Alguns fatores antrópicos tendem a dificultar a recarga, induzindo o *run-off*, a cobertura asfáltica e calçamentos promovidos pelocapeamento, e têm uma contribuição elevada e crescente nas regiões metropolitanas. As alterações e modificações da cobertura vegetal na região dos pontos de recarga dos aquíferos confinados são fatores que promovem o escoamento superficial, diminuindo potencialmente a infiltração das águas provenientes das chuvas, lagos, rios e lagoas. No caso dos aquíferos não drenantes da Bacia Sedimentar Paraíba, os locais próximos à borda são responsáveis por grande parte da recarga. Nessa região, muda a condição de confinado para livre, por ausência da camada confinante, mantendo o contato diretamente com a superfície ou com uma cobertura de sedimentos relativamente incosolidados, e com uma boa condição de drenança. Nesses casos, as bacias hidrográficas, com seus diversos canais de drenagem, funcionam como a mais forte fonte de recarga, recolhendo todo o potencial pluviométrico, e uma parte se destina à infiltração. Quanto maior for a permeabilidade do solo, melhores serão as condições favoráveis à infiltração e maior será a recarga enviada aos mananciais subterrâneos. Os aquíferos livres têm uma condição mais favorável de captação, pois os pontos de reabastecimento estão dispostos ao longo de todo o caminhamento dessas águas. O destino final do excesso promovido pelo escoamento, de uma forma grosseira, é o Atlântico. Condições diversas dificultam a infiltração e promovem o escoamento. A interferência do homem sem planejamento provoca a compactação das camadas mais superficiais do solo, desmatamentos e assoreamentos dos canais de drenagem das bacias hidrográficas.

² O Autor não encontrou na literatura informação sobre a área de drenagem da Região Hidrográfica do Baixo Paraíba..

O balanço hídrico é representado pelo princípio da continuidade ou conservação das massas, a variação do armazenamento define a diferença entre as entradas e saídas dentro do sistema. A tabela 3.1 (v. pag 59), mostra o balanço hídrico climatológico, elaborado pelo INMET, para o município de João Pessoa no período de 1961-1990. A recarga dos aquíferos está associada à pluviometria (precipitação) da área de ocorrência e a fatores diversos, como a infiltração (I), escoamento ou deflúvio ou *run-off* (R), a evapotranspiração real (ETR) e a evaporação. As bacias hidrográficas aqui citadas são as estruturas responsáveis pela captação e pelo reabastecimento dos mananciais subterrâneos da Bacia Sedimentar Paraíba. Para os aquíferos confinados à região próxima à borda, onde, ocasionalmente ocorre afloramento do Aquífero Beberibe. Por tratar-se de uma bacia homoclinal, com suave declive para leste, as camadas inferiores afloram na porção mais ocidental, e as camadas mais superiores afloram em direção à costa (FEIJÓ, 1994a; LIMA FILHO, 1998). É talvez a mais importante fonte de recarga. Ao longo do seu caminhamento em direção ao oceano Atlântico, ao abastecer continuamente os aquíferos superficiais, as águas provenientes da infiltração ocorrem sobre as falhas da formação Gramame, que, por drenança vertical descendente, contribuem para a recarga das formações aquíferas sotopostas ao calcário, sejam elas drenantes (semiconfinadas) ou não drenantes (confinadas).

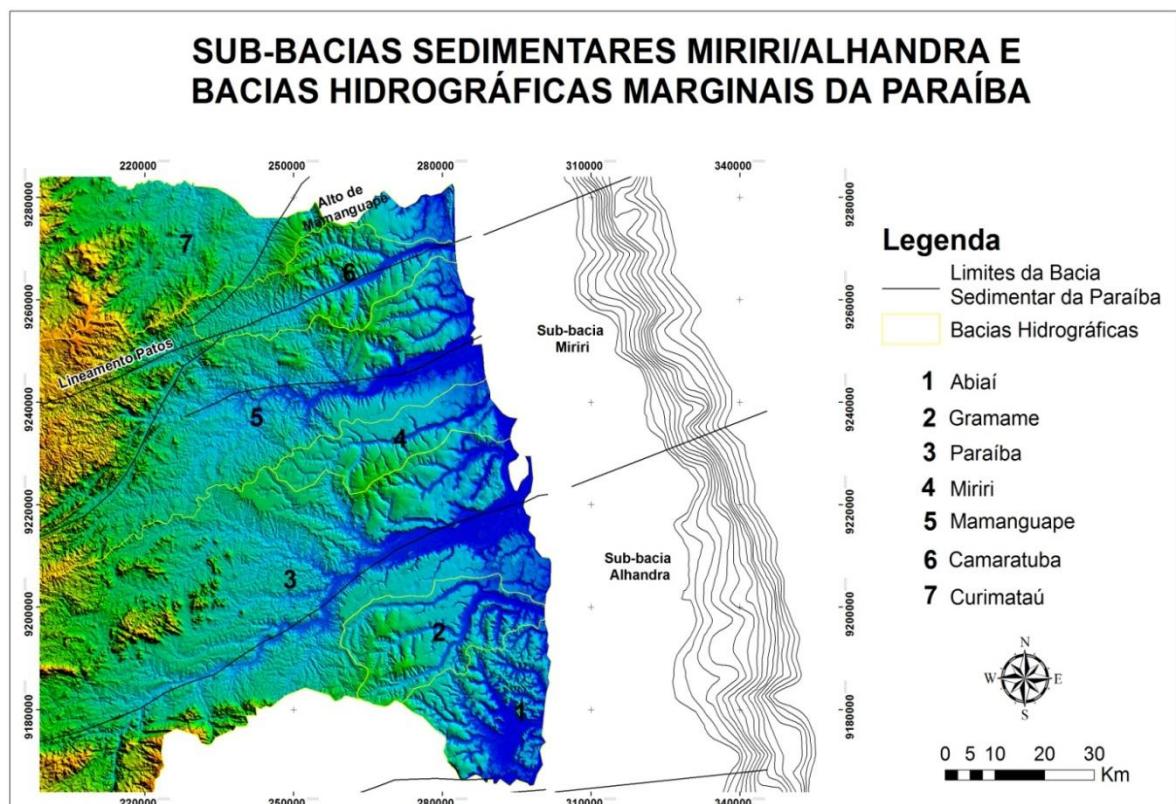


Figura 3.6 Mapa da Paraíba destacando a sobreposição da Bacia Sedimentar dentro das bacias hidrográficas da Paraíba.

3.3 Geomorfologia

A Geomorfologia está associada às características do contorno geográfico de estruturas que estão ligadas à dinâmica da terra, e sofre influência direta do clima e das atividades geológicas, por vezes resultando em sistemas erosivos que dão forma e características geográficas que moldam o relevo, promovendo as mais diversas configurações estruturais de superfície. Geralmente, a classificação geomorfológica de uma determinada região procura relacionar a forma do relevo com as atividades climáticas e a geologia. (CARVALHO, 1982). Para a Paraíba, a classificação geomorfológica foi dividida em dois grupos climáticos, úmido a subúmido e semiárido. Este último representa em torno de 63% da área do estado paraibano. As imagens processadas pelo satélite Landsat TM demonstram que apenas o alto da Serra da Borborema e áreas intocadas pela exploração agropecuária dentro de latifúndios mancham o mapa com vegetação nativa.

Na definição dos fatores geomorfológicos do Estado da Paraíba, foram feitas duas subdivisões chamadas de *setor oriental úmido e subúmido* e *setor ocidental subúmido e semiárido*. (Ibidem). O setor oriental representa a região mais próxima ao litoral paraibano, enquanto que a região extrema que representa a divisão entre os dois setores é a serra da Borborema. A alteração do relevo no sentido leste-oeste é percebida pela elevação das cotas topográficas que evidenciam a presença das primeiras rochas metamórficas do maciço, estando como acidente geográfico inicial a calha do rio Paraíba, estendendo-se até o vale do rio Curimataú.

3.3.1 Setor ocidental subúmido e semiárido

O setor ocidental representado pelas regiões consideradas como Sertão e Alto Sertão Paraibano tem um clima do tipo BSh, pela classificação de Köppen, com baixos índices pluviométricos, concentrados em praticamente quatro meses do ano, considerados como período chuvoso. No verão, período tipicamente seco e de forte estiagem, com precipitações escassas e irregulares, as temperaturas médias anuais variam entre 25°C e 30°C, com umidade relativa do ar em torno de 60% (variações ocorrem pontualmente em pequena escala). Os processos de desertificação progressivos acentuam a evaporação que normalmente é bastante agressiva, em função dos fatores climáticos com alta insolação e temperatura elevada, ausência de chuvas e escassa cobertura vegetal. O setor ocidental pode ser dividido em sub-regiões climáticas: Sub-Região Árida, Sub-Região Semiárida, Sub-Região Subúmida. Os afloramentos rochosos são comuns nessa região, seus solos são rasos e pedregosos,

mineralogicamente ricos, com certo grau de dificuldade para o desenvolvimento da agricultura, principalmente pela escassez das chuvas.

O setor ocidental, quanto à sua estrutura geográfica, são formadas por áreas cristalinas que compreendem (AESA, [2009]):

➤ **Áreas cristalinas:**

- Superfície Aplainada do Maciço da Borborema
- Maciços Residuais: Serras e Inselbergs
- Depressão Tectônica do Curimataú
- Pediplano Sertanejo

➤ **Áreas sedimentares continentais:**

- Chapadas
- Depressão do Rio do Peixe – Bacia sedimentar.

3.3.2 Setor oriental úmido e subúmido

O setor oriental, região próxima ao litoral paraibano, influenciada pelo oceano Atlântico e reservas florestais mais densas, tem uma umidade relativa do ar superior ao setor oriental em torno de 80%. Os fortes ventos alísios vindos do sudeste provocam números pluviométricos elevados, com média próxima a 2000mm/ano, chegando a alcançar índices superiores a 2500mm/ano, caso verificado em 1994 (2804mm/ano) e 2009 (2550mm/ano), segundo a estação de João pessoa DFAARA, lat. 07°08'33", long. 34°83'33", UFCG-PB. Nas regiões mais distantes da linha de costa, esses índices diminuem, caindo para uma média pluviométrica em torno de 1500mm/ano.

A elevação do maciço da Borborema juntamente com a depressão litorânea são fatores que influenciam o clima. Nas áreas mais orientais de cotas mais elevadas, o efeito do soerguimento abrupto transversal ao sentido dos ventos causa uma forte ascendência, ocasionando resfriamento e precipitação das águas e provocando chuvas que contribuem para o aumento da umidade relativa do ar, em torno de 85%, e para a conservação das matas locais.

Segundo Carvalho (1982), a vegetação é formada por uma mata úmida costeira (Mata Atlântica) e uma mata úmida de altitude (Mata do Brejo), ambas descaracterizadas pelos desmatamentos, onde matas que originaram posteriormente dão alguma ideia do potencial primário.

As mais diversas feições geomorfológicas caracterizam o setor oriental úmido e subúmido, sendo representativas:

➤ **Áreas sedimentares marinhas e fluviomarinhas**

Áreas tipicamente de atividades marinhas e estuarinas, com estruturas ricas em carbonatos, podendo-se observar vegetação característica de manguezais completamente adaptada ao ambiente. Observam-se raízes adventícias e pneumáticas propiciando à vegetação a capacidade de absorção de oxigênio, já que, em alguns pontos, o solo se encontra encharcado de água. As espécies abundantes são a *Rizophora mangle* L., *Avicenia tomentosa*, *Conocarpus erectus* L., etc. As formações estruturais observadas são as seguintes:

- **Formações Recifais:** São estruturas comuns nos cordões litorâneos, podendo ser do tipo arenítico ou coralígeno, e que aparecem na subzona marítima, em todo o litoral paraibano, de forma emersa ou submersa, algumas dispostas ao afloramento sobre o nível da água de acordo com a movimentação de baixa e elevação das marés.
- **Baixada Litorânea:** Formada a partir das atividades fluviomarinhas, eólicas e marinhas, de idade quaternária, geograficamente representada pelos terrenos planos formados a partir do depósito de sedimentos recentes, localizados nas partes mais baixas de praias do litoral paraibano. Fazem parte dessa unidade de relevo os seguintes elementos: terraços de acumulação marinha, restingas, dunas, formas lacustres, mangues e várzeas. (SUDENE, 1972). Na Baixada Litorânea, o trabalho do mar e dos rios durante o Quaternário deu origem às praias, às restingas e aos estuários.

➤ **Áreas sedimentares continentais**

- **Baixo Planalto Costeiro** – Os planaltos costeiros foram formados a partir da acumulação detrítica das rochas da província Borborema, representada pela Formação Barreiras. A superfície preservada e dissecada deu origem às colinas residuais e às falésias;

- **Planícies Aluviais e Chapadas** – O Baixo Planalto Costeiro, as Planícies Aluviais e algumas Chapadas que se elevam a 500/600 metros constituem as formas modeladas em terrenos sedimentares de origem continental que aparecem no Setor Oriental Úmido e Subúmido.

A morfologia da área pesquisada apresenta dois aspectos distintos: As regiões Altas (Baixo Planalto Costeiro), cujas altitudes variam entre 50 a 100 metros, crescentes do litoral para o interior; e as regiões baixas com cotas máximas entorno dos 20 metros correspondentes a baixada litorânea e as planícies aluviais dos grandes vales profundos.

As regiões altas constituem um relevo plano a levemente ondulado com pequenos declives em direção ao litoral, ocorrendo na porção oeste da área pesquisada, na forma de platôs que constituem os tabuleiros costeiros. Esses tabuleiros encontram-se em alguns locais fortemente dissecados pelo ciclo erosivo atual, dando origem a formas de relevo acidentados com vertentes íngremes e vales profundos escavados e com forte declividade, cujas redes de drenagens são predominantemente paralelas, condicionadas por falhas geológicas regionais.

As regiões baixas estão relacionadas com as redes de drenagem principais que se orientam transversalmente de oeste para leste, segundo vales encaixados onde se desenvolvem terraços fluviais, esta redes de drenagem chegam a apresentar extensões de até 15 km e largura máxima de 4 km cuja erosão fluvial vem dissecando a original superfície dos Tabuleiros, retalhando-a na forma em que é denominada. Também relacionados com as zonas baixas, estão as baixadas litorâneas que constituem a franja costeira, dispostas numa estreita faixa entre os tabuleiros e o mar, onde se desenvolvem os terraços costeiros e os sedimentos de praias.

A oeste ocorre o relevo colinoso sobre as rochas do embasamento cristalino, estendendo-se a até o sopé do planalto da Borborema, morfologicamente denominado Piemonte Oriental da Borborema ou Depressão Pré-Litorânea, marcam aproximadamente o limite continental da Bacia PB., sendo as feições peculiares as colinas do tipo “meia-laranja”, resultante da atuação de intenso intemperismo químico sobre as rochas do embasamento.

O interior deste domínio mostra comumente vales fluviais de fundo chato colmatados por areias, além de encostas com declives máximos de 24° . O topo dessas colinas não ultrapassam 200 metros de altitude, em relação ao nível do mar.

3.4 Contexto Geológico

A Bacia Paraíba possui a estrutura de uma homoclinal com suave sentido para leste com estruturas sedimentares que repousam sobre o embasamento cristalino, formado por rochas ígneas e metamórficas do Complexo Pigmatítico-Gnáissico do Complexo da Borborema. A sequência estratigráfica basal apresenta uma pilha sedimentar que grada de siliciclástica a carbonática, sobrepostas a partir do arcabouço estrutural e formada por uma litologia clástica basal de quartzo, originando águas sódicas da Formação Beberibe Inferior, seguida cronologicamente por arenitos calcíferos com águas carbonáticas, que representam o início da atividade marinha na plataforma continental, da Formação Itamaracá. A invasão oceânica marca fortemente as suas atividades, dando origem aos sedimentos bioquímicos, de idade maastrichtiana, das formações Gramame e Maria Farinha. Sobrepostas a todo esse pacote, as formações mais recentes e superficiais compostas por três sequências: sedimentos de praias e aluviões, coberturas eluviocoluvionares e Formação Barreiras. Com a formação mais antiga apresentando idade do Paleógeno (65 a 23,50 milhões de anos), representada pela Formação Barreiras; as coberturas eluviocoluviais possuem idade pleistocênica (1,75 a 1 milhão de anos), enquanto que os aluviões e sedimentos de praia têm idades holocênica (≥ 1 milhão de anos).

3.4.1 Embasamento

O embasamento ou arcabouço geológico Pré-Cambriano, que comporta toda a sequência clástica da Bacia Paraíba, tem idade proterozoica, e é formado por rochas metamórficas da província Borborema (ALMEIDA et al., 1977), de idade remanescente do Pré-Cambriano, formada por grandes falhamentos de direção NE, separando faixas de rochas intracrustais e supracrustais alongadas, cortados por um volumoso cortejo de granitoides e intensa deformação neoproterozoica (SANTOS; BRITO NEVES, 1984; SÁ, 1984, 1994). Entre o Lineamento Pernambuco e o Lineamento Paraíba, suas estruturas têm direção E-W. (SOUZA, 2006). O Lineamento Paraíba com suas ramificações, Falha de Mamanguape e Falha de Cacerengo, funcionam como estruturas limitantes. A primeira limita a Bacia Sedimentar Paraíba ao norte, tendo o Alto Estrutural de Mamanguape como barramento dos depósitos sedimentares. A segunda ramificação do Lineamento Paraíba limita uma faixa de transição entre a BSP e a Bacia Potiguar (FEITOSA, 2006), já comentado e detalhado neste trabalho. A evolução tectônica do embasamento, no Mesozoico, iniciou os processos de separação das placas e rifteamento, dando origem ao Oceano Atlântico e às bacias marginais

brasileiras. (SOUZA, 2006). A presença de rochas oriundas na borda da bacia, situada a oeste, provém de intensos processos metamórficos, visíveis pela observação das bandagens nas rochas em afloramentos, representativas do lento processo de cristalização mineralógica, expondo as diversidades mineralógicas dos gnaisses e migmatitos. Os processos metamórficos são ocasionados pela variação da temperatura de cristalização dos diversos minerais e pelo lento processo de resfriamento natural de formação das rochas metamórficas de idade Proterozoica. (SANTOS; BRITO NEVES, 1984; SÁ, 1984, 1994). Diretamente ligado ao Ciclo Brasiliano, com evolução em fase antes e durante os intensos processos colisionais, formando extensos cisalhamentos por retrabalhamento ou cicatrizes de acresção de terrenos (SÁ et al., 1992, 1997; SANTOS, 1996). Após a formação dessas estruturas de idade Proterozoica/Arqueana, no Fanerozoico a reativação das zonas de cisalhamento brasileiras teve grande influência na formação do arcabouço estrutural das bacias sedimentares, de idade Mesozoica. (MATOS, 1992; SÁ, 1994).

3.4.2 Bacia Pernambuco-Paraíba

Alguns autores mais antigos propuseram a subdivisão da Bacia marginal leste Atlântica a partir do alto estrutural denominado de Alto de Maragogi, em Pernambuco, e ao norte com Alto de Touros, no Rio Grande do Norte, como uma Bacia única denominada Bacia Pernambuco-Paraíba (MABESOONE; ALHEIROS, 1988), com uma área total de cerca de 30.000 km², dos quais cerca de 9.000 km² estão situados na parte emersa. Essa definição estaria subdividida segundo falhas, *grabens* e horts, compondo assim uma série de Sub-bacias. Essa diferenciação, associada ao tectonismo de teclas (FORTES, 1986), com blocos desnivelados dentro da macroestrutura (RAND, 1967, 1976 e 1978) associados à rampa homoclinal com direção W-E, possibilitou a subdivisão, algumas com um preenchimento sedimentar e compartimentação estrutural diferenciados, que posteriormente motivou a separação classificatória das Bacias Pernambuco, Paraíba e Potiguar por Barbosa e Lima Filho (2004, 2006).

A Bacia Pernambuco-Paraíba estaria limitada, ao sul do Estado de Pernambuco, pelo alto estrutural denominado de Alto de Maragogi, ao sul do Estado de Pernambuco, e ao norte pelo Alto de Touros, no Estado do Rio Grande do Norte. (MABESOONE; ALHEIROS, 1988). A Sub-Bacia Cabo seria considerada limite ao sul com a Bacia Alagoas-Sergipe, e ao norte pelo lineamento Pernambuco, seu preenchimento sedimentar destoa das sub-bacias vizinhas ao norte, a presença marcante dos pacotes carbonáticos das Sub-Bacias Olinda,

Alhandra e Miriri é praticamente ausente ao sul da ZCPE, bem como as demais camadas estratigráficas e a distorção das profundidades do embasamento. Em perfuração realizada pela PETROBRAS, na Ilha de Itamaracá, na Sub-Bacia Olinda, chegou-se à profundidade máxima de 399 metros (v. fig. 3.7), atingindo o embasamento cristalino. Por outro lado, ao sul do lineamento Pernambuco, a espessura sedimentar chega a mais de 2000 metros, observada em dois poços: 2CPE-1-PE (PETROBRAS), perfurado na praia do Cupe e 9-JG-1-PE (GORVENO DO ESTADO DE PERNAMBUCO-CPRM-PETROBRAS), na praia de Piedade, município de Jaboatão dos Guararapes.

Podem-se observar a estratigrafia e a evolução estrutural existente ao norte e ao sul do Lineamento Pernambuco das duas bacias que são bastante distintas (v. fig. 3.8): ao norte, a bacia é constituída na base por uma sequência de clásticos grosseiros da Formação Beberibe, passando lateralmente aos clásticos finos e carbonáticos da Formação Itamaracá. Essa sequência é sobreposta por calcilutitos e margas maastrichtianas da Formação Gramame, seguidos por calcários e margas da Formação Maria Farinha, do Paleoceno. Ao sul do referido lineamento, a Bacia apresenta espessuras sedimentares superiores a 2.000m, segundo informações do poço perfurado na praia do Cupe – PE. Nessa região ocorre a Formação Cabo, composta por arcóssios e conglomerados associados a vulcânicas alcalinas da Formação Ipojuca, de idade neoalbiana. Na porção superior, ocorrem calcários dolomitizados albianos da Formação Estiva. Esses carbonatos foram subsequentemente recobertos por leques siliciclásticos costeiros, do Turoniano ao Campaniano (Formação Algodoais).

Em ambas as bacias, ocorrem coberturas detriticas neocenozoicas diversas, ora da Formação Barreiras, ora de sedimentos marinhos, fluviais e de mangues.

As diferentes condições da estratigrafia e do arcabouço dessas estruturas objeto de divergências foram pontos favoráveis à redefinição da Bacia Pernambuco-Paraíba (LIMA FILHO; BARBOSA, 2004 e 2006), classificando as estruturas ao sul do Lineamento Pernambuco como Bacia Pernambuco, limitada ao sul pelo Alto Estrutural de Maragogi. Ao norte desse Lineamento, as Sub-Bacias Olinda, Alhandra e Miriri formariam a Bacia Paraíba propriamente dita, tendo como limite norte a falha de Mamanguape. A faixa compreendida entre o Alto do Mamanguape e o Alto de Touros tem uma afinidade deposicional mais ligada à Bacia Potiguar, formando a plataforma leste dessa bacia. (MABESOONE; ALHEIROS, 1991; FEITOSA; FEITOSA; LIRA, 2002).

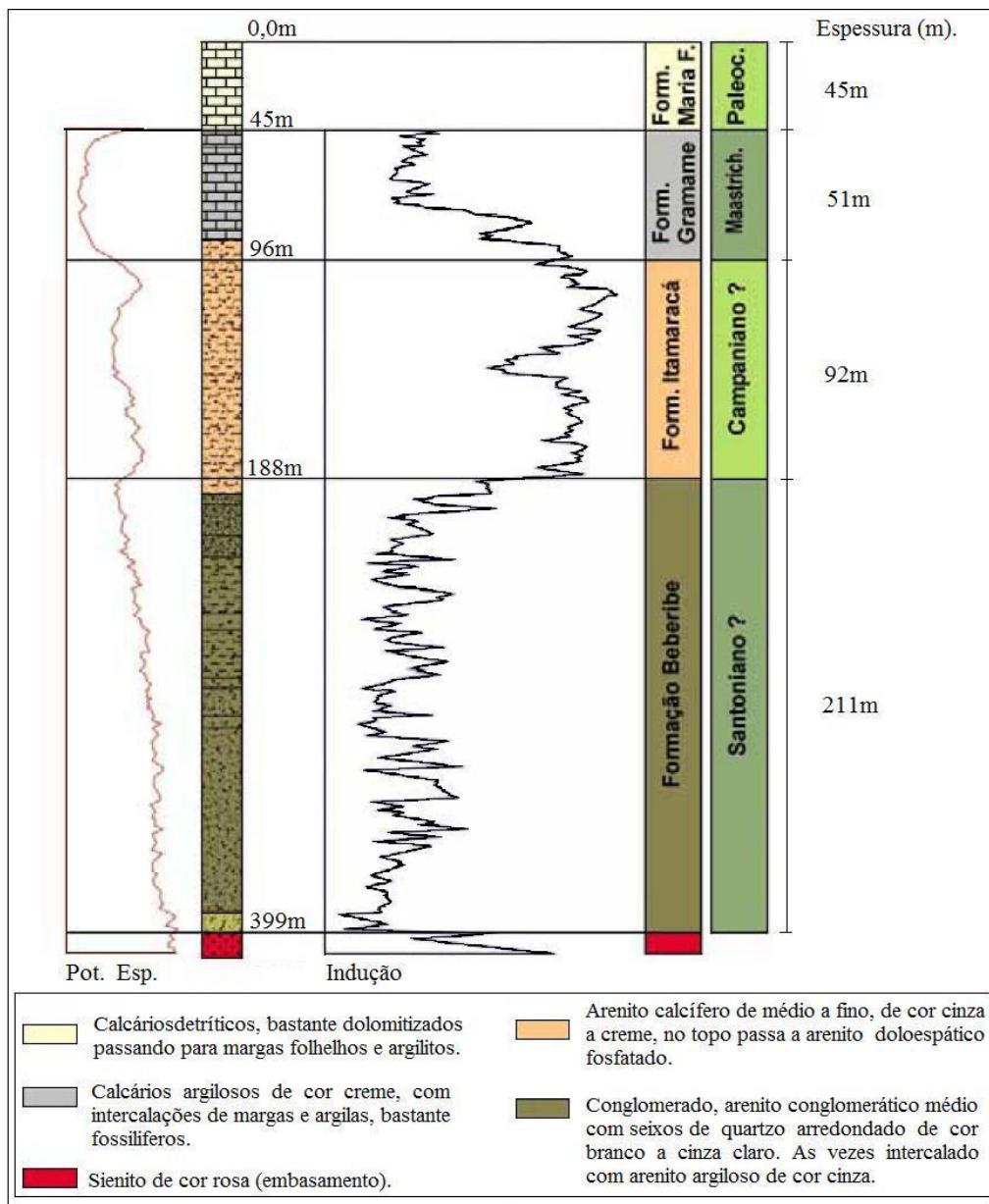


Figura 3.7 – Poço 2IST-1-PE (Itamaracá-PE), furo de sondagem estratigráfico da Bacia Sedimentar da Paraíba Coordenadas UTM 9143148 N / 298443 E. Altitude da boca do furo 10m, fonte Petrobrás.

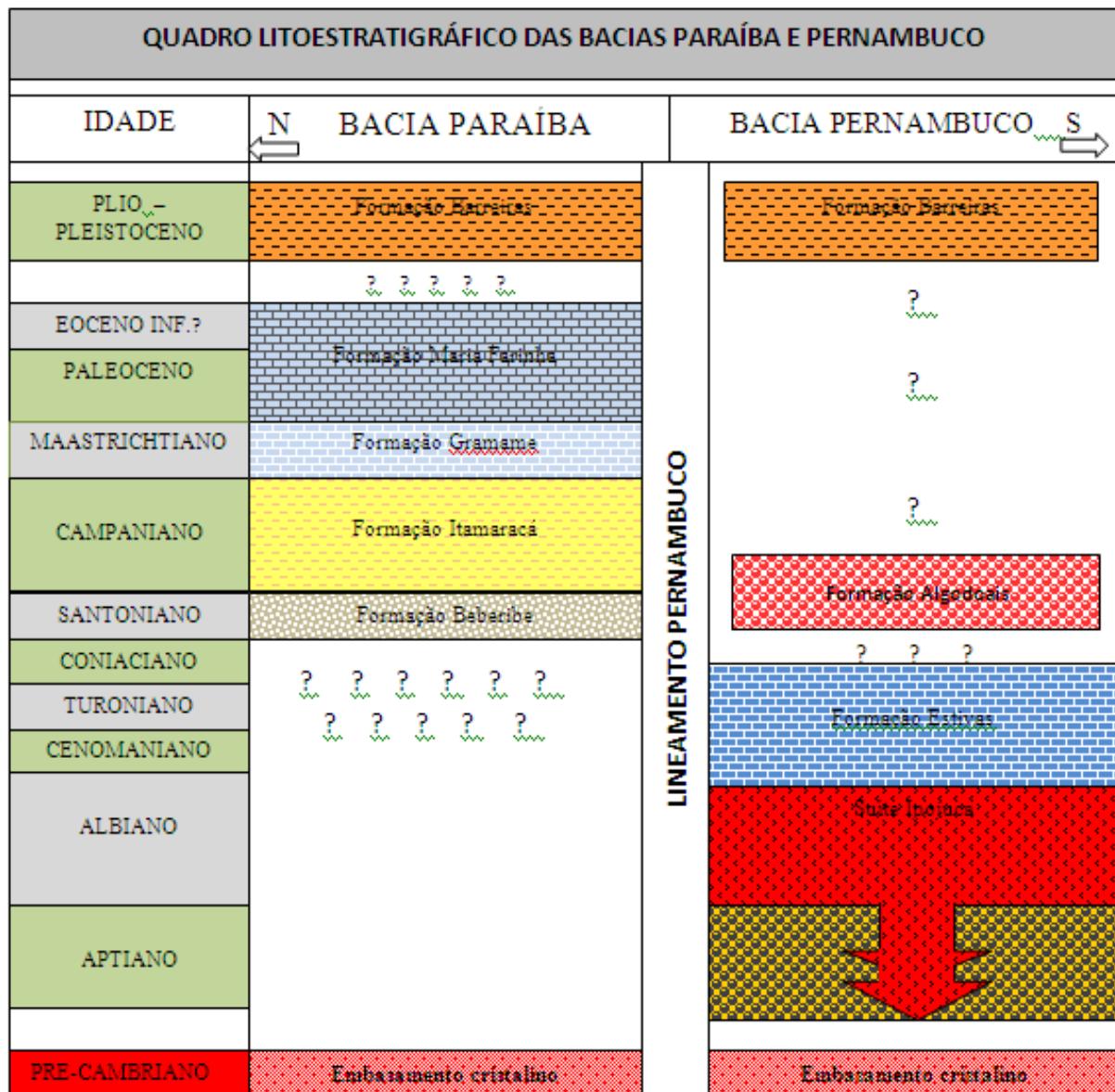


Figura 3.8 Quadro estratigráfico esquemático das Bacias Paraíba e Pernambuco, com as unidades estratigráficas distribuídas na área continental emersa das respectivas Bacias separadas pela Zona de Cisalhamento de Pernambuco. (MABESOONE; ALHEIROS, 1988; FEIJÓ, 1994; LIMA FILHO, 1996, 1998).



Figura 3.9 Divisão da faixa costeira entre o Alto de Maragogi e o Alto de Touros. (BARBOSA; LIMA FILHO, 2006)

3.5 Hidrogeologia

As águas subterrâneas que estão inseridas no contexto hidrogeológico da BSP estão alocadas nas diversas formações geológicas, já comentadas neste trabalho. Podem-se distinguir, de uma forma geral, quatro aquíferos que participam ativamente do processo de armazenamento das águas de subsuperfície. Na nomenclatura do aquífero normalmente está associado o nome da formação geológica, que são os reservatórios dessas águas, impondo a característica dos seus minerais sobre a atividade que caracteriza quimicamente a qualidade dessas águas, bem como a geometria e a particularidade granulométrica associada aos processos de diagênese, a condição de liberação das águas quando na sua exploração por processos mecânicos de bombeamento, através da perfuração e construção de poços. Os principais aquíferos são:

- Aquífero das Coberturas;
- Aquífero Barreiras;
- Aquífero Gramame/Maria Farinha;
- Aquífero Beberibe, ou Beberibe Inferior Basal.
- Aquífero Itamaracá, ou Beberibe Superior.

3.5.1 Aquífero das Coberturas

São aquíferos provenientes do acúmulo de águas nas formações quaternárias mais superficiais, aflorantes em toda a superfície da Bacia, formados, em sua maioria, pelas aluviões que ocorrem ao longo dos rios e riachos, formações eluviocoluvionares, e os cordões de dunas ao longo da costa de condutividade hidráulica bastante variável em função da grande diversidade da acomodação granulométrica dos sedimentos nos materiais inconsolidados, que gradam desde as argilas até cascalhos grosseiros. À margem do rio Mamanguape, próximo à BR 101, limite da BSP, sobreposto à falha de mesmo nome, podem-se observar cascalhos grosseiros. Numa perfuração manual de um poço tipo cacimbão, em profundidade de cinco metros, foi coletada amostra representativa desse material, revelando a diversidade granulométrica das formações mais recentes. Durante os processos de perfuração, é comum a variação de camadas impermeáveis e camadas de permeabilidade elevada, o que é determinante para a observação das características pontuais dos parâmetros hidrodinâmicos. A transmissividade, T , dessas formações pode apresentar-se elevada, tendo como fator maior de contribuição a condutividade hidráulica, K , já que as espessuras aquíferas, b , geralmente são pouco espessas, variando desde um metro até pouco mais de 30 (trinta) metros, mesmo sendo superficiais. Normalmente, temos a tendência a acreditar, pela sua superficialidade, que são aquíferos livres. Por vezes, podem comportar-se como confinados, caso esse que pôde ser observado no teste realizado de aquífero na Aluvião do Rio Mumbaba, às margens da BR 101, da COTEMINAS S.A. Foi encontrada uma condutividade hidráulica média de $2,28 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ com uma espessura aquífera em torno de 23m, caso demonstrado mais adiante.

3.5.2 Aquífero Barreiras

A Formação Barreiras encontra-se presente em toda a costa do litoral paraibano, com espessuras máximas estimadas entre 70 e 80 metros. (LEAL; SÁ, 1988). No início do século XX, as primeiras considerações sobre essa unidade foram citadas primeiramente por Branner em 1902. Posteriormente, em 1957, Kegel formalizou-a como formação geológica. Sua presença é marcante em todo o litoral da costa leste e norte atlântica, estendendo-se desde o estado do Rio de Janeiro até o Amapá, sendo de relevada importância sua contribuição como unidade armazenadora de águas subterrâneas. Sua formação deposicional ocorreu através de sistemas fluviais entrelaçados, desenvolvidos sobre leques aluviais (ALHEIROS, 1988) por distribuição dos sedimentos provenientes dos processos erosivos e do intemperismo das rochas metamórficas do complexo da Borborema. (SOUZA JÚNIOR; GOPINATH, 1993).

Outrora classificada como duas formações distintas, Guararapes (inferior) e Riacho Morno (Superior), Bigarella e Andrade (1964) classificando as duas unidades como Grupo Barreiras. Apesar das diversas classificações, por vários autores, das unidades faciológicas do então chamado Grupo Barreiras, Mabessone et al. (1991) classificaram esse grupo como sendo exclusivamente uma única formação sedimentar, e que as então discutidas e diferenciadas unidades seriam variações faciológicas, originadas – acredita o presente Autor – pelo processo de deposição, condicionadas pelo forte gradiente. O início das atividades deposicionais que originaram a formação de todo o pacote sedimentar, segundo Suguio et al. (1985), é de idade Pliopleistocênica. Em perfurações de poços com amostras de calha em locais próximos à costa, a porção aquífera da Formação Barreiras, imediatamente ao contato com a formação calcária, apresenta amostras com uma leve reação ao HCl, talvez uma fase inicial da deposição dos primeiros sedimentos com interferência de atividade marinha. Algumas análises físico-químicas da água de poços situados no bairro do Jardim Luna, nos condomínios residenciais Jardim Imperial e Iguatemi, em João Pessoa, apresentam concentração de carbonatos relativamente elevada, contradizendo que sua deposição teve suas atividades exclusivamente em área continental. Segundo Alheiros (1988), a deposição sedimentar da Formão Barreiras foi influenciada por forte gradiente, condição essa que poderia ser a explicação para espessuras decrescentes no sentido leste-oeste. Observa-se, através de perfurações, que, na linha de costa, a espessura na capital João Pessoa é algo em torno de 56 (cinquenta e seis) metros na região do bairro do Altiplano, e decresce no sentido do centro da cidade quase de forma linear, atingindo sua menor espessura, com afloramento da formação calcária, no Distrito Mecânico de João Pessoa, próxima à fabrica de cimento da CIMPOR, onde se podem avistar, na barreira local, pontos de descarga da água subterrânea que escoa naturalmente sobre a superfície. A Formação Barreiras próxima à linha de costa é identificada por sua deposição sobre os calcários maastrichtianos da formação Gramame. Na porção mais ocidental da Bacia, a ausência dessa Formação carbonática dificulta o reconhecimento entre Formação Barreiras e Formação Beberibe inferior aflorante e de material inconsolidado, já que existe certa semelhança sedimentológica entre as fácies arenosas das duas formações, principalmente próximo à borda da Bacia na região dos tabuleiros. Durante os processos de perfuração na Formação Barreiras, percebe-se uma camada argilosa, sobreposta à porção aquífera, resistente à penetração da broca, bastante avermelhada, rica em ferro, cuja profundidade varia desde os 09 até os 23 metros de profundidade, dependendo da espessura do pacote sedimentar no ponto de perfuração. É, sem

dúvida, uma camada de proteção do aquífero. Geralmente, logo em seguida, deparamos com o nível freático, sendo de grande valia na proteção dessas águas subterrâneas, relevando a importância da aplicação da pasta de cimento, no mínimo, acima dessa camada, fato que deve ser motivo para os órgãos de proteção e deliberação de outorgas tratarem com mais rigor na liberação do uso das águas subterrâneas. Na definição dos parâmetros hidrodinâmicos, foi realizado um teste de aquífero e de produção, que será detalhado mais adiante, em uma unidade envasadora de água mineral ITACOTIARA, na qual se verificou a condutividade hidráulica (K) de valor entre 10^{-5} e 10^{-6} m²/s, conforme detalhado mais adiante. A exploração das águas subterrâneas da formação Barreiras, para esse tipo de atividade, é bastante usual devido às suas águas sódicas de leve mineralização, agradável palatabilidade, porém com índice de pH baixo, tornando-as ácidas, com teor abaixo do permitido para os padrões de potabilidade do Ministério da Saúde.

3.5.3 Aquíferos Gramame e Maria Farinha

Como unidades aquíferas são muito limitadas devido à qualidade de suas águas, com elevados teores de dureza que as tornam incapacitadas para o consumo humano. Essas formações geológicas carbonáticas não possuem um sistema cárstico-fissural eficiente, do ponto de vista de armazenamento, e sua condutividade hidráulica é muito baixa, observando a riqueza das camadas argilosas e margas de suas fácies litológicas. Essas unidades encontram-se sobrepostas à formação Itamaracá, em sua maior parte separadas por uma camada fosfática, já descritas por vários autores, como Kegel (1955) e Barbosa (2004, 2007), e sua ocorrência é verificada extensivamente na Bacia Paraíba. (LIMA FILHO; SOUZA, 2001). Geralmente, encontram-se sotopostos à formação Barreiras, e no contato entre as duas normalmente se observam canais, ocasionados pela dissolução do carbonato de cálcio pela ação das águas de baixo pH do aquífero Barreiras. Essas anastomoses dificultam o processo de perfuração, acarretando a perda de circulação escoando toda a lama ou fluido de perfuração. Nessa condição, todo o processo deve ser paralisado para fechar essas aberturas, cuja metodologia é bastante diversificada desde a aplicação de argilas industrializadas e confeccionadas para esse fim, como a aplicação de argilas de minas locais ou pasta de cimento.

Os aquíferos cársticos não são comuns, porém foi observado durante a perfuração de cinco poços localizados ao longo da Avenida Júlia Freire, no Bairro da Torre até o seu cruzamento com a Rua Lauro Torres no Bairro dos Expedicionários, canais de dissolução com perda do fluido de perfuração. No último poço houve dificuldade em proceder os trabalhos de

perfuração pois a argila plástica, logo acima dos canais de dissolução, fechava imediatamente após a passagem da broca, o que impediu a aplicação do tubulão de ferro. O poço foi revestido e bombeado, sendo os filtros aplicados somente e tão somente na profundidade da região cárstica, iniciando-se aos 42 metros de e finalizando aos 52 metros de profundidade, onde a ferramenta desceu livremente logo abaixo da argila. O poço foi bombeado em seguida e coletado água para análise físico química, a vazão foi satisfatória em torno de 12 m³/h, entretanto, a concentração de carbonato extrapolou a 200 mg/l, índice bem acima das águas provenientes do aquífero Barreiras, dando, assim, uma conotação de abastecimento de um aquífero cárstico. A espessura dessas formações varia, em média, de 50 a 60 metros, porém na região do Bairro do Cabo Branco (Churrascaria Tererê) e Bairro do Portal do Sol (condomínio residencial Cabo Branco Residence Privê) foram encontradas espessuras calcárias em torno de 100 metros em poços perfurados pela CONSTRUPOÇOS LTDA., não houve o registro de canais de dissolução com perda do fluido de perfuração, acredito pela espessura do sedimento da formação Barreiras acima ser considerável (56 metros), o que deve ter ocasionado ocorrências de abatimentos devido ao peso da estrutura sobreposta. Essas estruturas calcárias, provenientes dos processos de deposição de carbonatos, são consideradas mais como aquitardes do que como unidades armazenadoras e fornecedoras de águas subterrâneas.

3.5.4 Aquífero Beberibe

Considerado o mais importante aquífero da BSP, o Beberibe é caracterizado por duas fácies que se diferenciam mineralógicamente, o que motivou a sua classificação em dois subsistemas aquíferos. (DEMÉTRIO; OLIVEIRA, 2004; BATISTA, 1984; COSTA et al., 1998). Separados por uma camada semipermeável siltic-argilosa de coloração cinza esverdeada, esse aquitarde faz com que o subnível inferior Beberibe, sobreposto ao embasamento cristalino, tenha um comportamento aquífero drenante. (DEMÉTRIO; OLIVEIRA, 2004). A diferença de carga hidráulica entre os dois subsistemas e a permeabilidade desse aquitarde permitem uma drenagem vertical cujo sentido seria do Beberibe Superior para o Itamaracá. Em decorrência dos níveis de exploração do aquífero basal, esse sentido, em alguns pontos, inverteu a condição primária. (MENTE; CRUZ, 2001; CRUZ et al., 1978; FRANÇA; CAPUCCI, 1978). As águas desse aquífero possuem as características pertinentes à sua litologia, formada por sedimentos de origem continental, ricos em grãos de quartzo, com uma variação granulométrica que grada das argilas proporcionadas

pelos folhelhos até aos grãos de quartzo grosseiros. Por tratar-se de uma formação de origem exclusivamente continental, não são verificadas durezas elevadas nas características físico-químicas de suas águas, cuja composição iônica é classificada como mais cloretada sódica.

(COSTA; COSTA FILHO, 2002). XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS REVISTA ÁGUAS SUBTERRÂNEAS Aguassubterraneas.emnuvens.com.br/asubterraneas/article/view/22818

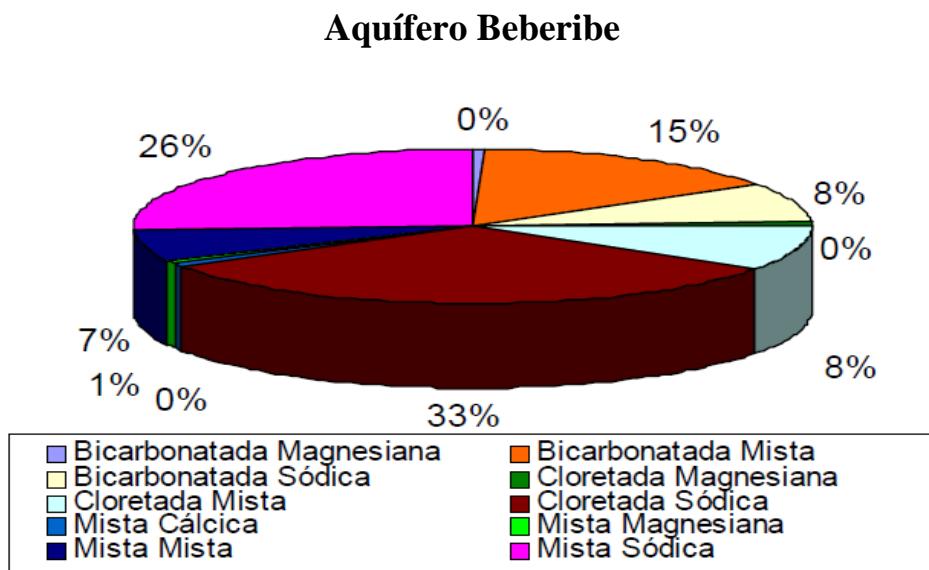


Figura 3.10 Classificação iônica da água subterrânea do Aquífero Beberibe (cloretada sódica), Itamaracá (bicarbonatada) e misturas dos aquíferos (mistas) (COSTA; COSTA FILHO, 2002).

Sobreposto à camada semipermeável, o Aquífero Beberibe Superior, ou Itamaracá, testemunha o ciclo das atividades marinhas com uma concentração de carbonatos que proporciona uma cimentação calcífera, com resistência à penetração da broca quando da ocorrência de perfurações de poços. Sua litologia, rica em arenitos calcíferos e calcarenitos com forte reação ao ácido, tem em suas águas uma dureza branda favorecida pela presença dos carbonatos de cálcio e magnésio, com índices dentro do padrão de potabilidade, exigido pelo Ministério da Saúde em torno de 160 a 220 ppm (COSTA; COSTA FILHO, 2002). Essa formação aquífera tem proporcionado à população uma fonte alternativa de abastecimento de água, nas áreas próximas ao litoral, cuja condição sofre a ausência de freáticos com níveis mais rasos com condições de consumo. As águas das formações mais próximas do litoral e mais superficiais são ricas em ferro, turfas provenientes dos resquícios de manguezais. São inviáveis para o consumo humano ou mesmo para uso doméstico já que a ação da oxigenação do Fe^{++} se apresenta em uma coloração variável, indo do creme ao vermelho intenso, característica da sua concentração, não restando outra opção senão recorrer a maiores profundidades para obtenção de águas mais adequadas. Nesse caso, a alternativa é o aquífero

Itamaracá que, mesmo com seu padrão de dureza, se torna a escolha mais racional, aceita pelos consumidores, com baixos índices de rejeição. Observando perfurações locais, o topo da Formação Itamaracá próximo ao litoral paraibano varia pontualmente; sua profundidade, na porção mais oriental da bacia, é após a camada fosfática, separando-a da formação calcária. Fazendo um acompanhamento em linha paralela nas proximidades da linha de costa, a profundidade do topo calcário e do Beberibe, em Cabedelo, é de 38m e 132m, respectivamente, seguido pelos bairros do Bessa, de Manaíra e de Tambaú, com uma variação média de 24m a 88m. Na sequencia, o bairro do Cabo Branco tem uma cota mais elevada do topo do calcário, com 23m, porém com o topo do Itamaracá com 118 a 125m de profundidade. A estimativa de profundidade da BSP nessa área é de 320 a 400m. A tabela 3.10 está baseada em experiência própria, durante mais de dez anos de perfuração, e em poços próximos à área do litoral sem a presença da formação Barreiras. A espessura da formação Beberibe Inferior é de profundidade estimada e comentada na literatura.

Tabela 3.10 Profundidade do topo calcário e do Beberibe próximo à linha da costa nos bairros do Bessa, Manaíra e Cabo Branco (João Pessoa) e na cidade de Cabedelo.

FORMAÇÃO AQUÍFERA		CABEDELO	BESSA	MANAÍRA	TAMBAÚ	CABO BRANCO
FORMAÇÕES RECENTES	Topo	0	0	0	0	0
	Base	38 a 42	28 a 32	24 a 30	24 a 30	21 a 23
CALCÁRIO	Topo	38 a 42	28 a 32	24 a 30	24 a 30	21 a 23
GRAMAME + MARIA FARINHA	Base	120 a 133	88 a 92	82 a 90	86 a 98	125 a 133
BEBERIBE	Topo	120 a 133	88 a 92	82 a 90	86 a 98	125 a 133
INFERIOR + SUPERIOR	Base	320 a 400				

Num poço perfurado em 1999, pela concessionária de águas do Estado da Paraíba, CAGEPA, na unidade reservatória MARÉS, a litologia demonstrou, através das amostras de calha, as espessuras das camadas sedimentares. A tabela 3.11 demonstra uma espessura para as formações que corresponde às expectativas acima. No entanto, inclui a formação Barreiras, ausente na porção mais próxima da margem litorânea, e a posição desse poço é cerca de 12km a oeste da linha de costa. A espessura total do pacote sedimentar apresenta uma profundidade inferior, confirmando a condição de homoclinal, com declive suave no sentido leste, conforme mostra a tabela 3.12, do perfil litológico do poço.

Tabela 3.11 Espessura das formações geológicas com base na descrição litológica do poço de Marés. (CAGEPA, 1999).

ESPESSURA GEOLÓGICA	PROFUNDIDADE (m)	
	Inicial	Final
Barreiras	0	47
Gramame	47	114
Beberibe	114	253

Tabela 3.12 Descrição litológica do poço da Estação Elevatória de Água Tratada de MARÉS – CAGEPA – FONTE HIDROTEC – 1999.

PROFUNDIDADE (m)	DESCRÍÇÃO LITOLÓGICA
0,00 a 6,00	Arenito, coloração creme a alaranjada, fino a médio, subanguloso, bem selecionado, matriz argilosa (~ 10%).
6,00 a 18,00	Arenito, cor creme, médio a grosso, subanguloso, bem selecionado, matriz argilosa (~15%).
18,00 a 34,00	Argila de coloração variando de arroxeadas a marrom, plástica, mole.
34,00 a 44,00	Arenito argiloso, coloração amarelada, grosso, subanguloso, moderado selecionamento. Intercala-se por níveis de argila amarelada.
44,00 a 47,00	Argila de coloração amarelada, plástica, mole.
47,00 a 56,00	Calcário de coloração amarelada, compacto duro.
56,00 a 114,00	Arenito calcífero, coloração cinza esbranquiçada, grosso, subanguloso, moderado selecionamento, duro. Intercala-se por níveis de argila acinzentada.
114,00 a 128,00	Arenito argiloso, médio-grosso, coloração esbranquiçada, subanguloso, moderado selecionamento, matriz carbonática.
128,00 a 172,00	Arenito argiloso, coloração acinzentada, grosso, subanguloso, bem selecionado, matriz selecionada, matriz carbonática. Intercala-se por níveis de argila acinzentada.
172,00 a 218,00	Arenito argiloso, coloração acinzentada, grosso, subanguloso, subarredondado, moderado selecionamento, matriz carbonática. Intercala-se por níveis de argila acinzentada.
218,00 a 230,00	Argila de coloração cinza esbranquiçada, plástica, mole. Intercala-se por pequenas lentes de areia.
230,00 a 236,00	Arenito argiloso, coloração acinzentada, médio, subanguloso, moderado selecionamento, matriz carbonática.
236,00 a 252,00	Arenito, coloração acinzentada, grosso a muito grosso, subanguloso, moderado selecionamento, matriz carbonática.

3.5.5 Caracterização da zona vadosa do sistema aquífero Beberibe

A *zona vadosa*, ou *zona de aeração*, ou *zona não saturada*, constitui-se na parte acima do nível freático, estendendo-se até à superfície, constituída essencialmente pelos poros dos sedimentos, os quais se encontram preenchidos por gases e por água não disponível para captação. Essa faixa está dividida em:

- **Franja capilar** – Corresponde à zona que se estende da superfície freática até ao limite de ascensão capilar da água para a fase imediatamente sobreposta. Não existe uma faixa predeterminada, pois varia com as características da porosidade e distribuição das partículas sedimentares.
- **Zona intermediária** – Situa-se entre a franja capilar e a área próxima do sistema radicular das plantas.
- **Zona de água do solo ou zona de evapotranspiração** – Área de atividade das raízes das plantas. Em presença de sistemas radiculares, há uma atividade ascendente proporcionada pela atividade metabólica da planta, ocasionando a evapotranspiração, e uma atividade descendente com a captação das águas de chuvas ou irrigação. Quando a quantidade de água disponibilizada ao solo extrapola a capacidade de campo, ocorre a percolação às camadas mais profundas, abastecendo os aquíferos.

A zona vadosa de uma formação aquífera é de grande importância para a definição dos pontos de recarga. É a principal fonte de reposição das águas, que ocorre através das chuvas, infiltrando-se na formação através da zona seca, denominada *zona de recarga direta*, cuja captação inicial ocorre nos aquíferos livres acima do nível freático. A condição de definição geométrica da BSP de uma homoclinal com inclinação para leste grosseiramente aponta as zonas vadosas do Aquífero Beberibe como sendo a porção mais ocidental, próxima à borda da Bacia. A fig. 3.11, representativa do modelo da BSP, mostra a tendência da condição de aquífero livre das formações sedimentares dessa Bacia, e que na Região Metropolitana do Recife a Formação Barreiras se estende desde o litoral até os limites a oeste da bacia.

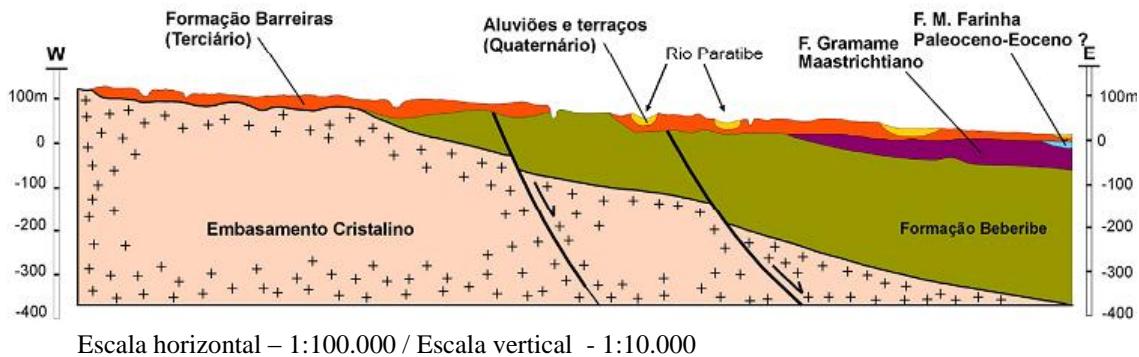


Figura 3.11 Corte geológico da BSP, demonstrando a conformação da rampa homoclinal. (Fonte: Mapa Geológico da RMR-CPRM, 1999).

Na Sub-Bacia Alhandra, essa localização geográfica da Formação Barreiras tem sido questionada por alguns autores que, baseados em visitas e observações de campo, alegam que essa formação foi “varrida” por eventos de ordem tectônica da região mais ocidental da Bacia, expondo como estrutura aflorante o Beberibe Inferior. (BRITO NEVES et al., 2009). Alguns poços foram perfurados na região oeste da Bacia no Condomínio Rural Green Ville, situado na Rodovia BR 230, Km 61, município de Cruz do Espírito Santo, com coordenadas geográficas $07^{\circ}12'19,2''$ S e $35^{\circ}09'00,0''$ W. Os sedimentos são inconsolidados, sem nenhuma camada confinante, com características de aquífero livre, e a espessura total até o topo do cristalino foi de 32 metros, com nível estático dos poços em 9,5m. A caracterização na área aflorante do Beberibe e Barreiras torna-se delicada, já que ambas apresentam características litológicas similares. Talvez por isso trabalhos anteriormente realizados tenham colocado o Aquífero Barreiras na área aflorante do Beberibe, na porção oeste da Bacia. Trabalhos de geofísica realizados por Feitosa (2004) expõem conotações de caracterização da Borda da BSP, na Sub-Bacia Alhandra. A fig. 3.12 e 3.13 identifica soerguimentos importantes com afloramentos da Formação Beberibe e provável ausência da Formação Barreiras, corroborando essas características estruturais a fig. 3.14 comprova com um mapa de resistividade, mostrando as condições de contorno do embasamento na Sub-Bacia Alhandra. Em determinados locais, em uma posição intermediária, um alto estrutural mostra uma conotação diferenciada da “simples rampa homoclinal com sentido para leste” indicando que pontualmente ocorre variações estruturais, não modificando de uma forma geral o gradiente suave no sentido leste direcionando suas águas subterrâneas que, de uma forma geral, demandam em direção ao Atlântico.

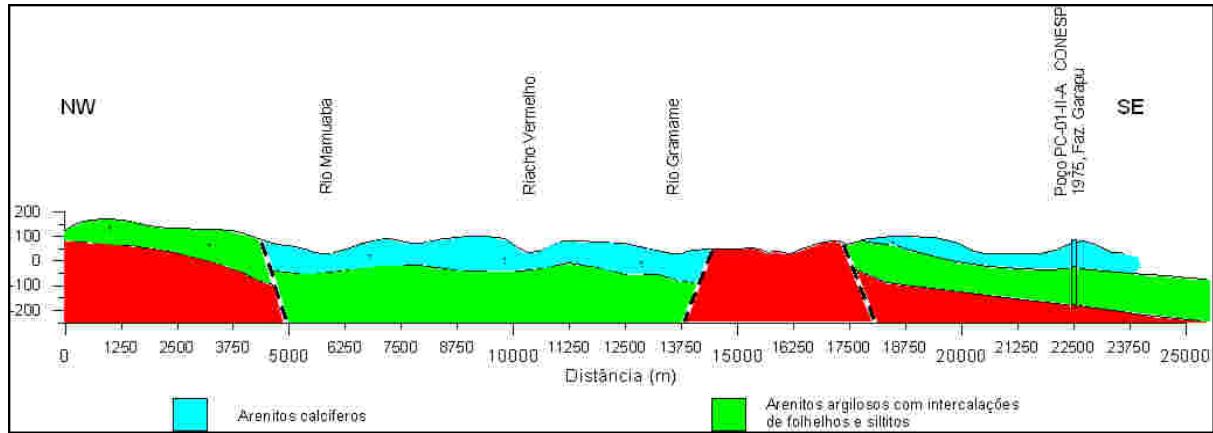


Figura 3.12 Condições de espessura das camadas na Sub-Bacia Alhandra, trabalho de geofísica realizado por Feitosa (2004), representando a linha AB da Fig. 3.13, tomando como referência o poço Garapu (CAGEPA).

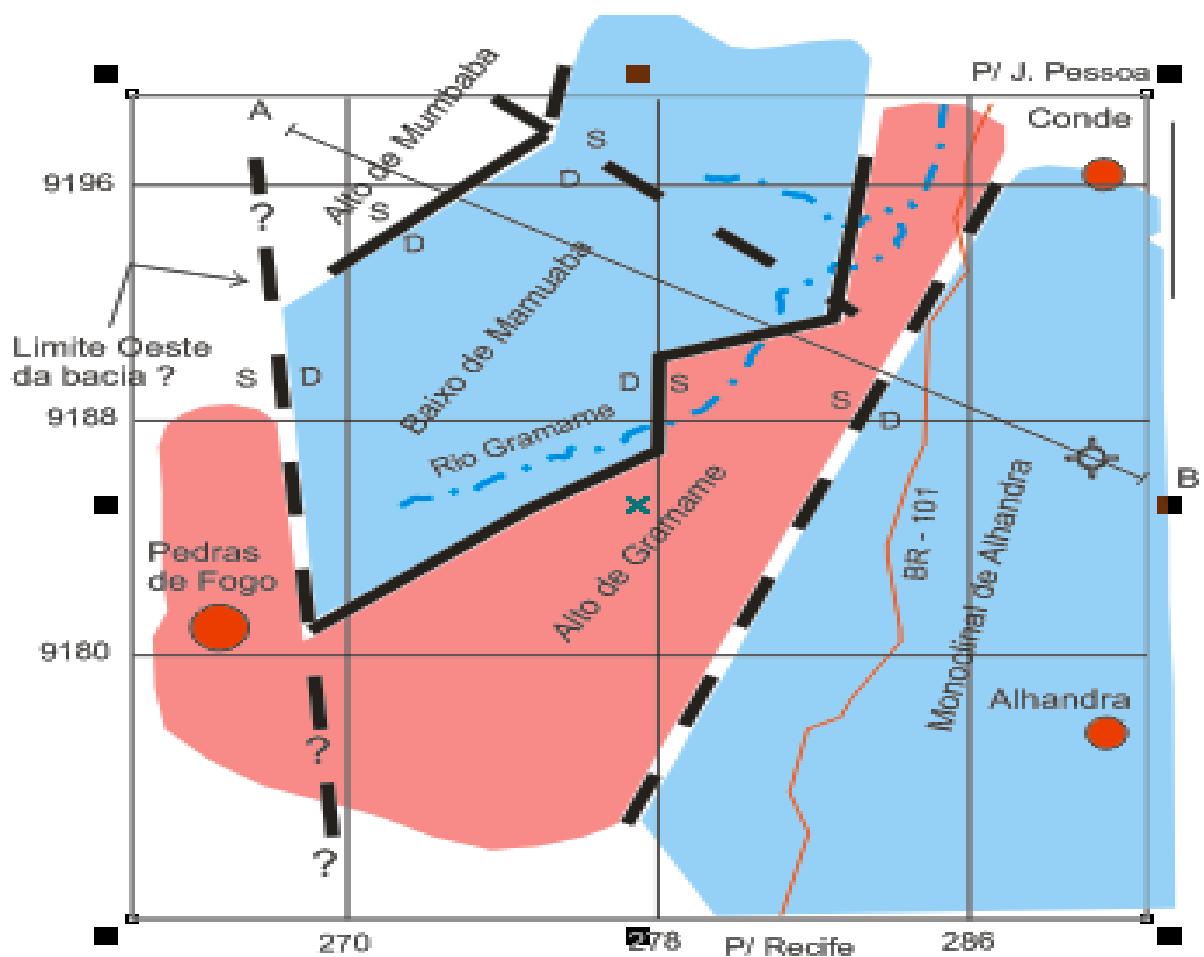


Figura 3.13 Desenho esquemático mostrando mapa da condição de contorno do embasamento, (FEITOSA, 2004).

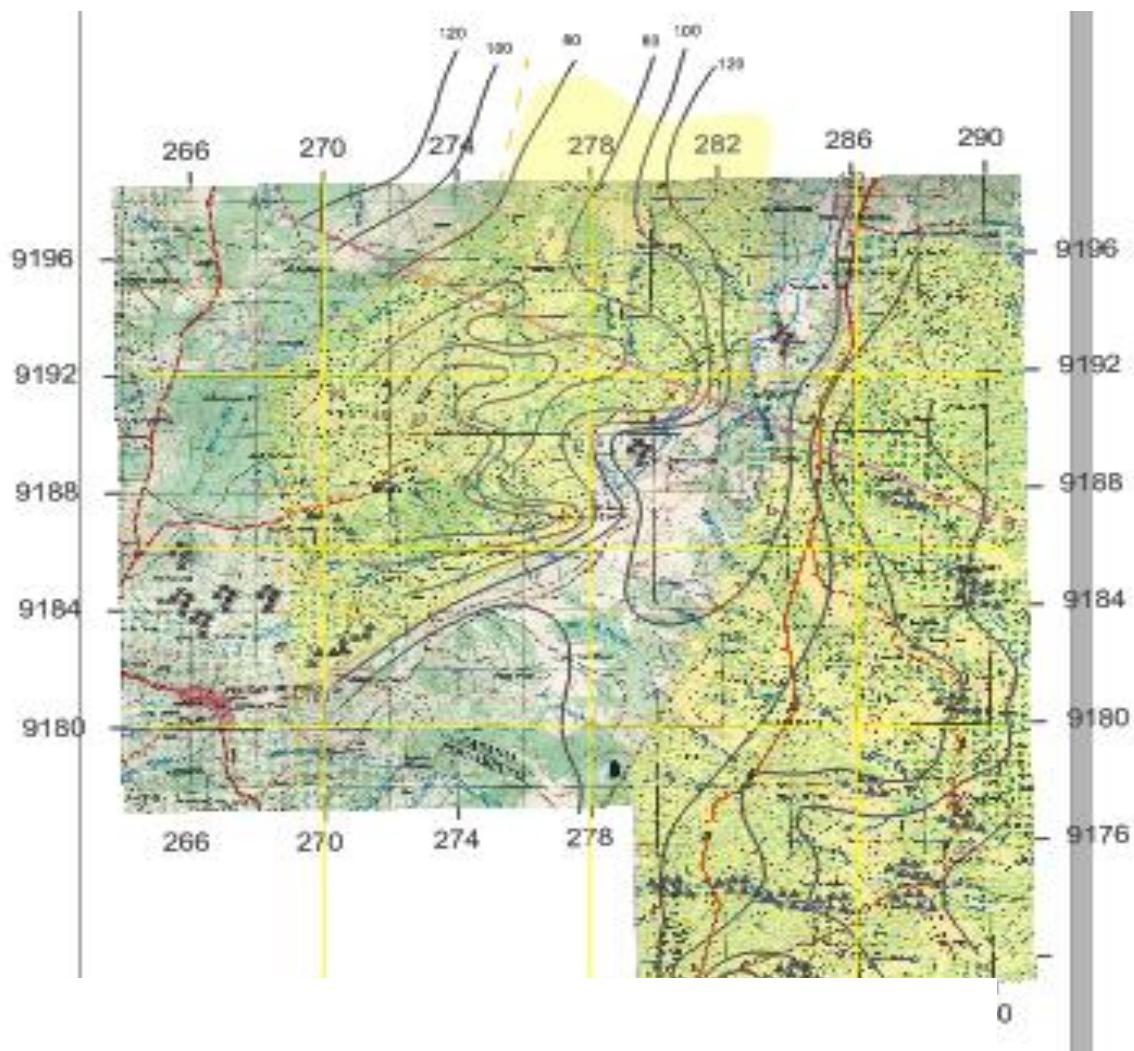


Figura 3.14 Mapa de resistividade mostrando as condições de contorno do embasamento na Sub-Bacia Alhandra. (FEITOSA, 2004).

CAPÍTULO 4

ANÁLISE DOS TESTES DE BOMBEAMENTO DA ÁREA ESTUDADA TESTES DE AQUÍFEROS E TESTES DE PRODUÇÃO

4.1 Considerações Gerais

Os parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos são de fundamental importância para avaliar e compreender o comportamento da movimentação, do armazenamento e da exploração das águas subterrâneas. Alguns testes de bombeamento foram realizados, não obstante as dificuldades para convencer os usuários a paralisar o seu abastecimento de água. O tempo de cada teste é considerável, levando em conta desde a paralisação total dos poços, para restabelecer o nível de água do aquífero, até à fase final que é a medição da recuperação do nível. O poço ou bateria de poços deve permanecer desligado(a) pelo período mínimo de 24 horas para recuperação do nível estático, e mais 24 a 30 horas de bombeamento para obtenção dos dados referentes ao rebaixamento e recuperação dos níveis hidrodinâmicos. Todos os testes foram realizados dentro das condições e metodologias adequadas.

4.2 Metodologia dos Testes de Bombeamento

4.2.1 Teste de Aquífero

O teste de aquífero consiste no bombeamento de, pelo menos, um poço e na observação dos seus efeitos ao longo do tempo. Utilizam-se equipamentos elétricos ou sensores barométricos para aferir a evolução do rebaixamento (v. fig 4.1 e fig 4.2), a diferença dos níveis de rebaixamento e a variação temporal, resultando em uma resposta que determina, através do gráfico tempo (t) x rebaixamento (s_w), a curva de campo. O objetivo deste teste consiste na determinação dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero, quais sejam: transmissividade (T), condutividade hidráulica (K) e armazenamento (S).

Nos testes realizados, foram observadas as espessuras dos aquíferos, o perfil construtivo e as características litológicas, através dos relatórios fornecidos pela empresa de perfuração.



Figura 4.1 Sensores de medição de nível da água, que, funcionam de acordo com a variação da pressão do rebaixamento do nível da água.



Figura 4.2 Medidor de nível elétrico, que funciona pelo disparo de aviso sonoro e luminoso ao entrar em contato com a água.

4.2.2 Teste de Produção

O teste de produção tem por objetivo determinar as características do poço, definindo a perda de carga total do próprio poço bombeado. O procedimento consiste em bombear e observar a evolução do rebaixamento em um determinado tempo com, no mínimo, três vazões crescentes, e a razão entre elas deve obedecer preferencialmente a uma progressão geométrica, mantendo vazão constante durante cada etapa.

O equipamento utilizado para medição e controle da vazão foi o escoadouro de orifício circular, cujo princípio funciona através da abertura e fechamento do registro e observação da altura do nível da água na coluna piezométrica. O orifício maior é o próprio diâmetro interno da tubulação do escoadouro e o diâmetro menor é proporcionado por uma placa com características próprias aplicada na porção final do escoadouro, causando um estrangulamento cuja vazão pode variar, dentro de limites pré-estabelecidos, observando-se a altura da coluna piezométrica.

4.3 Teste de Aquífero – Aluvião do Rio Mumbaba

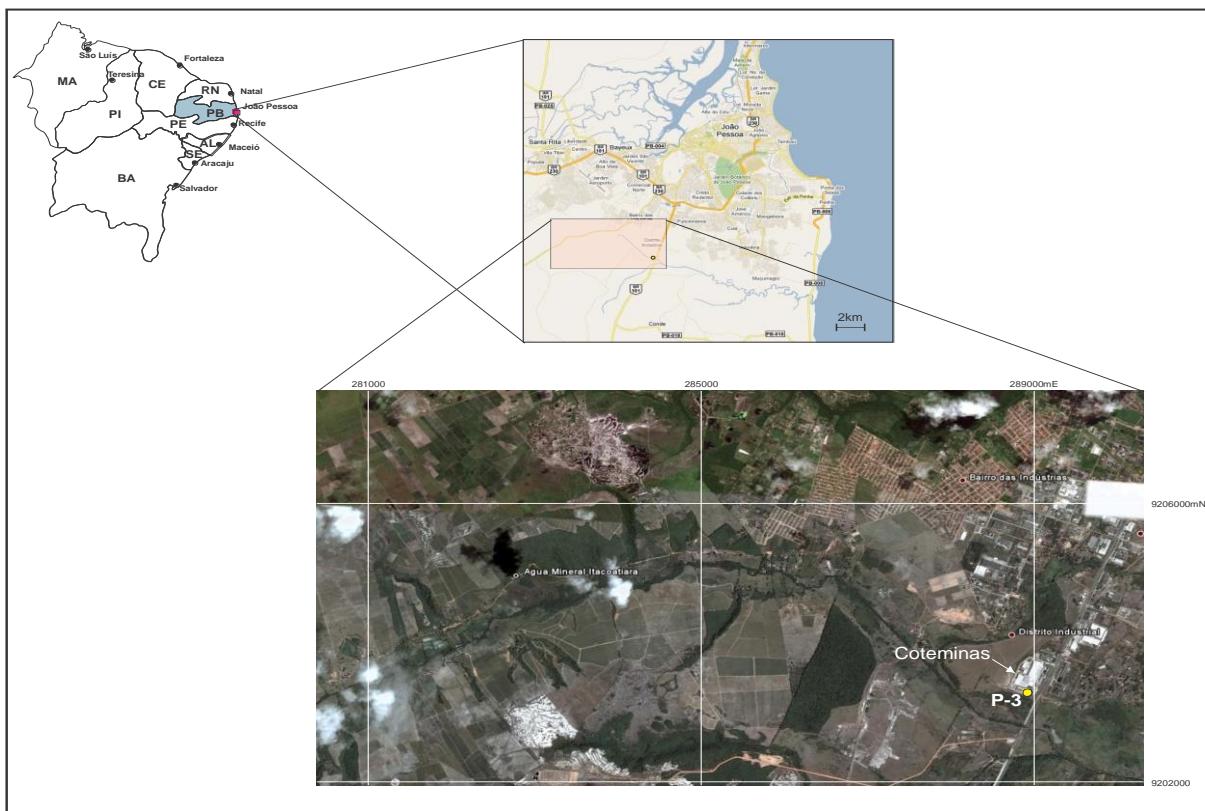


Figura 4.3 Localização geográfica do poço P3, da COTEMINAS, às margens dos Rios Gramame e Mumbaba.

Foram realizados testes de produção e de aquífero no Poço P-3, da Companhia de Tecidos Norte de Minas S.A. (COTEMINAS), localizada às margens da BR 101, Km 3,5, n.º3620, no Distrito Industrial de João Pessoa-PB (v. fig. 4.3).

A bateria de poços composta por 06 poços, denominados P1 P2, P3, P4, P5 e P6, está limitada pelos rios Gramame e Mumbaba e pela BR 101, como mostra a Fig. 4.4.

O poço de produção escolhido foi o P3, tendo como poços de observação os poços P1 e P4. Os demais mantiveram-se parados, sem condições de observação por fatores adversos.

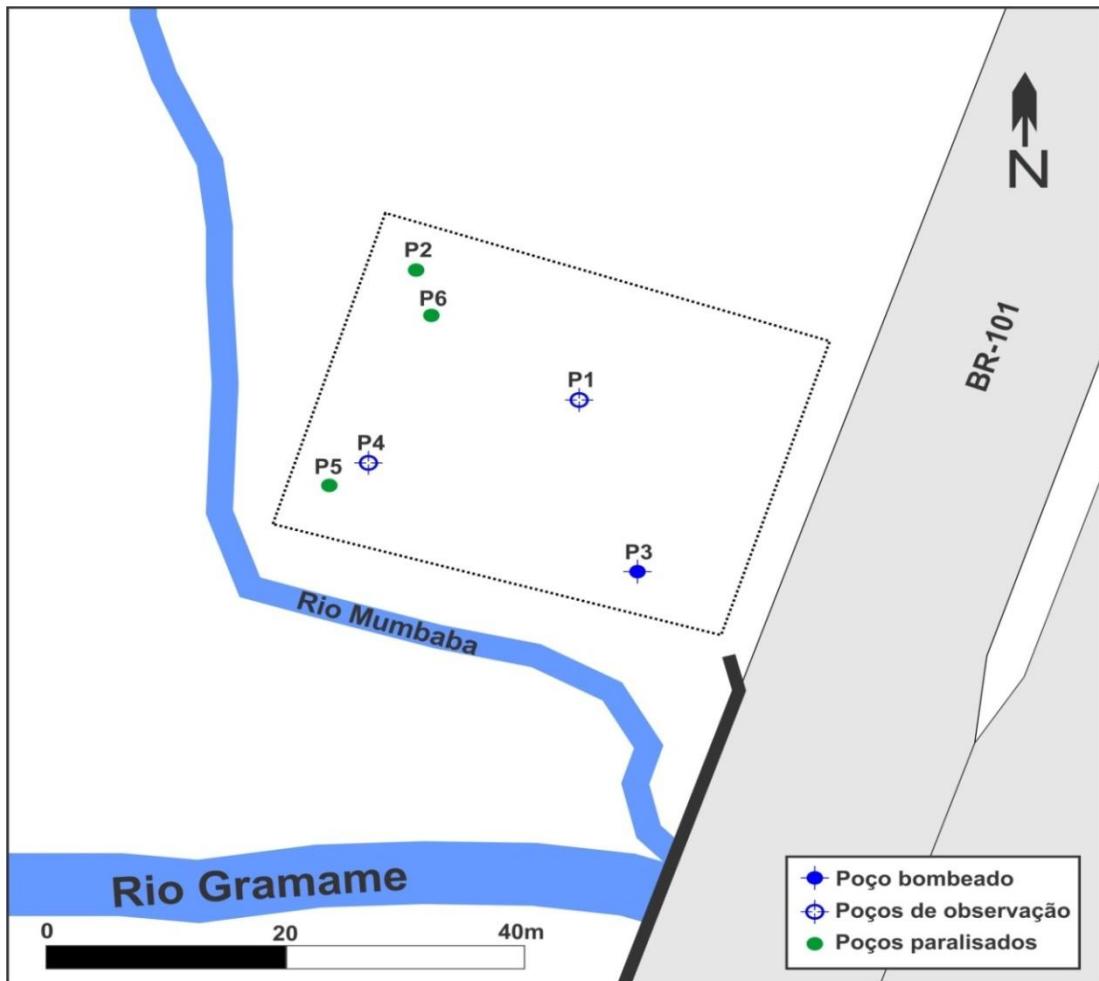


Figura 4.4 Visualização esquemática da posição dos poços.

4.3.1 Metodologia do teste

O teste de bombeamento foi realizado no poço P3 em três etapas sucessivas. A primeira etapa teve a duração de 01 (uma) hora, medindo-se os níveis de rebaixamento da água dentro do poço e, em seguida, paralisando o bombeamento para verificar a recuperação dos níveis de água; a segunda etapa teve o mesmo procedimento; e a terceira etapa consistiu do bombeamento por 20 horas seguidas, e foi medida a recuperação por 01 hora e vinte minutos. Durante o bombeamento dessa última etapa, foram observados e medidos os rebaixamentos dos poços de observação P1 e P4 para realização do teste de aquífero.

O procedimento para controlar e medir foi realizado através do escoadouro de orifício circular, cujos resultados proporcionam uma eficiência acima de 98% (DRISCOLL,

1986), apresentando um manejo eficiente da vazão na abertura ou fechamento de um registro que, conectado a um tubo de descarga horizontalizado, permite a observação da altura do nível da água no tubo piezométrico. A aferição é feita por fita métrica, cujos valores representam uma determinada vazão, que está relacionada ao diâmetro do tubo do escoadouro, orifício maior, e o estrangulamento causado pela placa cujo “orifício menor” é calculado para esse fim (v. fig. 4.5).

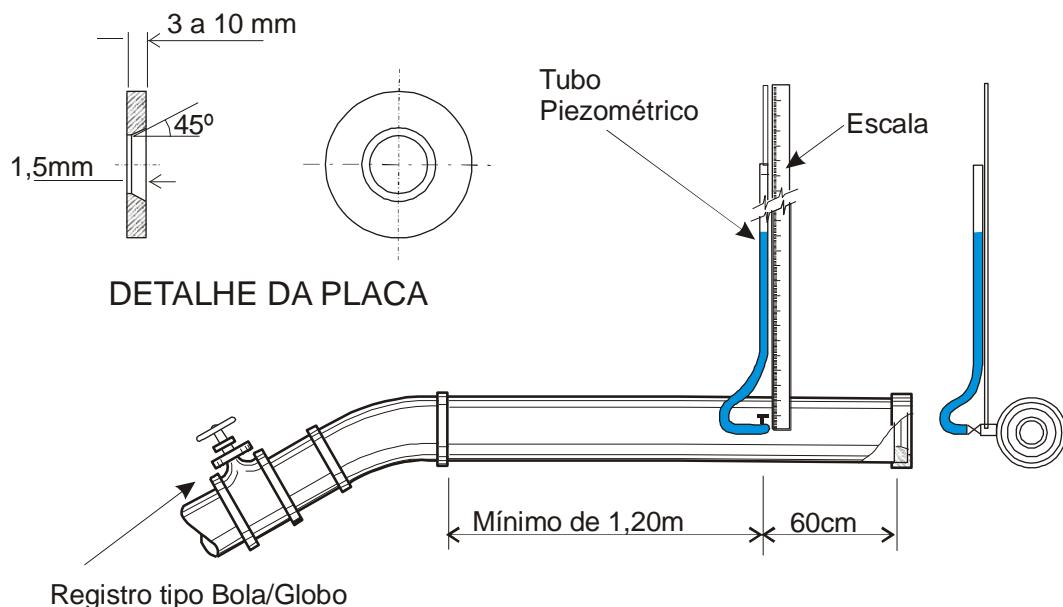


Figura 4.5 Escoadouro de orifício circular. [Adaptado de Driscoll (1986).]

Na realização desse teste, foi utilizado um escoadouro de aço inoxidável, com o diâmetro médio interno de 102,9 mm (“orifício maior”) e uma placa de nylon fabricada através de torno mecânico, exclusivamente para esse fim, com orifício medindo 75,0 mm.

Algumas recomendações sobre o escoadouro devem ser observadas (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2000):

- O diâmetro do orifício deve ser menor que 0,8 vezes o diâmetro interno do tubo de descarga, relação essa importante para garantir o valor da constante K;
- O niple ou bocal que serve de acoplamento para a mangueira (tubo piezométrico) não deve ultrapassar a parede interna do tubo de descarga, mantendo-se alinhado em 90° durante o teste;

- O tubo piezométrico não deve conter bolhas durante o procedimento quando da observação e anotação da carga hidráulica;
- O tubo de descarga deve manter-se horizontal durante todo o teste;
- Pode ser utilizado para vazões pequenas ($<1,0 \text{ m}^3/\text{h}$) e elevadas ($>700,0 \text{ m}^3/\text{h}$);
- A tubulação principal deve ser lisa internamente, com o mínimo possível de rugosidade, para evitar o atrito e a turbulência dentro do cano.

Driscoll (1986) desenvolveu a seguinte equação para o cálculo da vazão:

$$Q = 4,43 \times C \times A \times h$$

onde:

Q = vazão bombeada (m^3/s)

C = constante do escoadouro (adimensional)

A = área do orifício (m^2)

h = altura da coluna de água na mangueira (m).

A constante C varia conforme a relação entre os diâmetros do tubo de descarga e o orifício menor. Para a determinação de C , utiliza-se o gráfico da fig. 4.6, observando que a relação não deve exceder a 0,8.

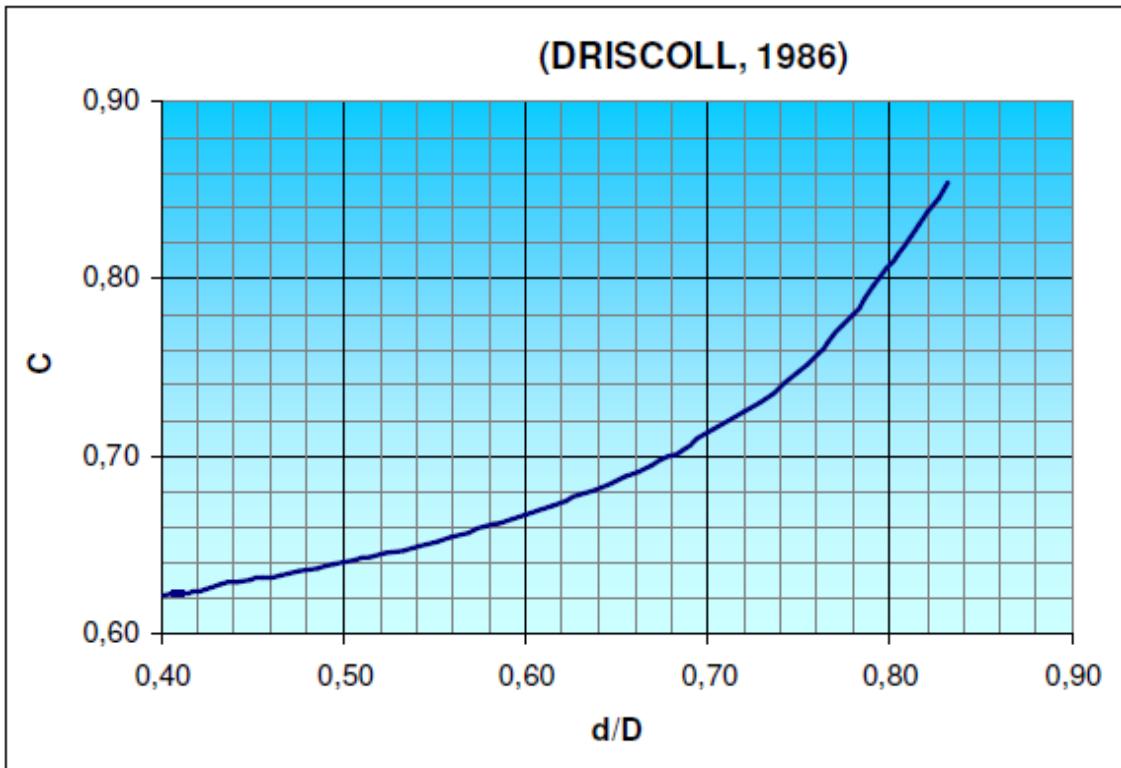


Figura 4.6 Gráfico para a obtenção da constante K. [Adaptado de Driscoll (1986).]

4.3.2 Condições para desenvolvimento do teste

Algumas fotografias foram tiradas da área de trabalho para observação e memória da situação do teste, refletindo originalmente a condição de campo. Na fig. 4.7, podem-se observar a junção dos rios Gramame e Mumbaba e a área de captação que se dispõe na formação aluvionar. Esses tipos de aquífero estão dispostos geralmente em espessuras curtas.

Pode-se observar, pela descrição litológica, o topo da formação calcária a uma profundidade média de 23m, indicando a espessura das estratificações sedimentares, podendo-se definir a espessura aquífera. A aluvião tem uma disposição de sedimentos argilosos em todo o seu perfil, recobertos por uma camada de argila. Nos poços 01 e 03, essa argila encontra-se aos 03 metros de profundidade. Os níveis estáticos desses poços, no dia do teste realizado pela CONSTRUPOÇOS, eram NE P1 = 0,746m, NE P4 = 0,732m e NE P3 = 1,288m, dando uma configuração de confinamento, com um nível potenciométrico acima da camada argilosa. A disposição dos poços na área e seus raios, que definem a distância entre o poço bombeado (P3) e os poços de observação (P1 e P4), estão tratados na seção 4.5, representativo dos dados dos poços, suprindo informações necessárias para a interpretação do teste de aquífero e do teste de produção.



Figura 4.7 Vista aérea da condição de união dos Rios Gramame e Mumbaba na área dos poços.

Durante a realização dos trabalhos, observou-se que a situação para escoamento das águas explotadas requer alguns cuidados no sentido de impedir o retorno para o aquífero, o que poderia dissimular os resultados, induzindo a erro na avaliação dos parâmetros T, K e S.

Os rios Mumbaba e Gramame encontram-se no ponto mostrado na fig. 4.7, destinando suas águas, *grosso modo*, ao Atlântico. A descarga nesse ponto é bem maior que a vazão ofertada pelo poço. Caso houvesse alguma interferência, já estaria presente devido aos rios presentes naquele ponto. A água explotada do poço 03 foi desviada para fora da área de proteção dos poços, lançada sobre a densa vegetação de capim, escoando diretamente no rio (v. fig 4,8). A faixa de escoamento entre a área de proteção e o rio foi medida, marcando 2,90m de distância (v. fig. 4.11).



Figura 4.8 Descarga do bombeamento do poço P3 no rio, o tambor tinha a função exclusiva de desviar as águas explotadas para o rio, não tendo nenhuma finalidade de medição da vazão.

4.3.3 Dados técnicos do teste

Os dados obtidos são remanescentes das empresas perfuradoras dos poços. Como as fichas originais haviam sido extraviadas, não havendo nenhum registro dos dados dos poços por parte do usuário, conseguiu-se recuperá-las na CPRM-PE, que guardou os arquivos remanescentes. Juntamente com esses dados, foram refeitos os relatórios, para melhor visualização e compreensão dos dados, porém mantendo a originalidade das informações aqui expostas. Uma exceção é o poço de observação 04, cujos dados estão pouco legíveis, não descaracterizando, porém, a fidelidade das informações registradas.

O teste foi realizado em 03 etapas com vazões crescentes, e a razão geométrica entre as etapas foi de 1,285. Teve início na data de 07 de junho de 2011. O escoadouro de orifício circular tem as seguintes características: fabricado através de corte de um torno mecânico, em aço inox, com diâmetro interno médio (diâmetro maior) de 0,1029 m, sendo utilizado como orifício menor uma placa de nylon, produzida exclusivamente para este teste, obedecendo às características e normas predeterminadas, com um diâmetro interno médio de 0,075 m. Todas

as medições foram realizadas a partir da boca do poço, cuja altura (1,0 metro) foi aferida em relação à estrutura de concreto sob o tubo, como mostra a Fig. 4.9.



Figura 4.9 Detalhe do poço de produção P3 e do escoadouro de orifício circular em aço inox. Pode-se observar o orifício menor na sua extremidade de cor branca em nylon, sendo fabricados exclusivamente para esse teste no torno mecânico.

A primeira etapa foi iniciada às 10h da manhã, com uma hora de bombeamento, uma hora de recuperação comum e vazão de $28,46 \text{ m}^3/\text{h}$. A segunda etapa foi iniciada às 12h, com uma hora de bombeamento, uma hora de recuperação e uma vazão de $36,86 \text{ m}^3/\text{h}$. A terceira etapa foi iniciada às 14h, com vinte horas de bombeamento com monitoramento noturno e anotações pontuais (v. fig. 4.12), sendo a primeira hora utilizada para o teste de produção, e as 20 horas restantes para o teste de aquífero. A vazão final foi $47,41 \text{ m}^3/\text{h}$, mantida constante nas três etapas através de um registro, e calibrada pela observação da altura da coluna de água no tubo piezométrico, avaliada pela fita métrica da régua milimetricamente aferida para essa finalidade. A área manteve-se seca sem a presença de precipitações pluviométricas que interferisse nos resultados (v. fig. 4.10).

O teste de produção finalizou às 10h da manhã do dia 08 de junho de 2011, iniciando-se a recuperação do nível da água por um período de 80 minutos. As variações da vazão foram realizadas ininterruptamente com a abertura do registro, sem que ocorresse o desligamento do sistema de bombeamento (teste de etapas sucessivas).



Figura 4.10 Fotografia do local mostrando que, durante o teste, a área se manteve seca.



Figura 4.11 Medição da distância da calha do rio Mumbaba para a área de proteção dos poços, coberta por densa vegetação.



Figura 4.12 Monitoramento noturno para observação da altura piezométrica da coluna de água e da vazão. O controle da vazão foi realizado através do registro cuja graduação de abertura é fornecida pela observação da altura da coluna d'água na coluna piezométrica.



Figura 4.13 Nivelamento do escoadouro de orifício circular.

4.3.4 Dados do Poço de Observação P1

O poço de observação P1 foi perfurado e construído em fevereiro de 1986 pela extinta CONESP (v. nota 1). O poço P1 tem as características litológicas e construtivas descritas na figura 4.14. Observa-se que a camada argilosa estende-se até os sete metros, o que provavelmente é uma camada confinante definindo o topo do aquífero, conferindo uma espessura em torno de vinte metros.

4.3.5 Dados do Poço de Observação P4

O poço de Observação P4 foi perfurado e construído por Serviço Geológico do Nordeste Ltda. (SGN). Para melhor observação dessas características, pouco legíveis no documento original, fez-se a transcrição mostrada na fig. 4.15.

4.3.6 Dados do Poço de Produção P3

O poço de produção P3 foi perfurado e construído também pela CONESP, com perfil construtivo e litológico descrito conforme o documento original (v. fig. 4.16).

A evolução temporal dos rebaixamentos dos poços P3, P1 e P4, foram monitoradas e anotadas, conforme as observações pontuais e transcritas na tabela 4.1 (v. pag. 110), assim como a distância dos poços e sua respectiva disposição geométrica dentro da sua área de proteção e contenção (v. fig. 4.17).

POÇO DE OBSERVAÇÃO P1 – COTEMINAS S.A.
POÇO TUBULAR: PERFIL LITOLÓGICO E CONSTRUTIVO

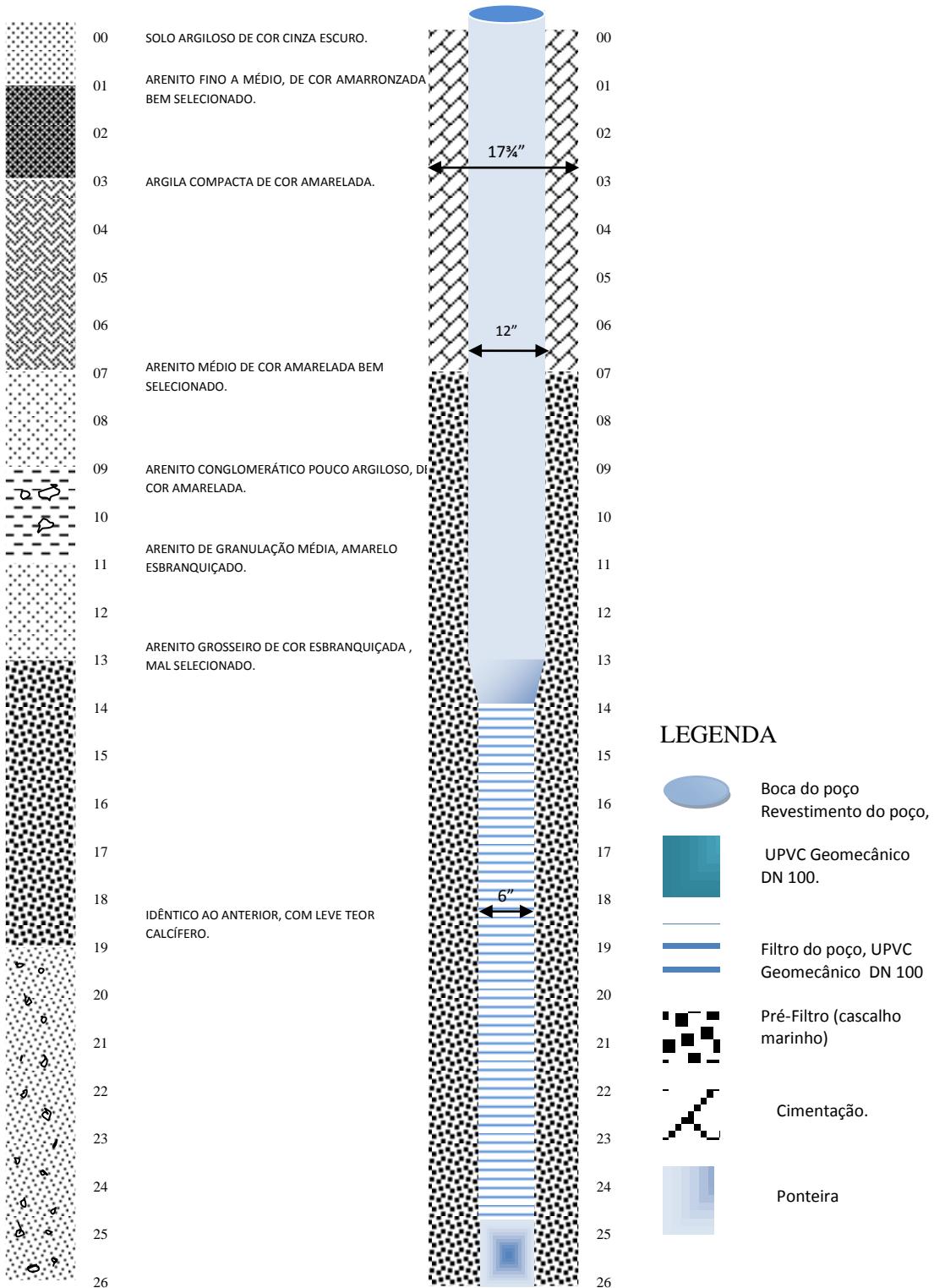


Figura 4.14 Transcrição do perfil litológico e construtivo do poço de observação P1.

POÇO DE OBSERVAÇÃO P4 – COTEMINAS S.A.
POÇO TUBULAR: PERFIL LITOLÓGICO E CONSTRUTIVO

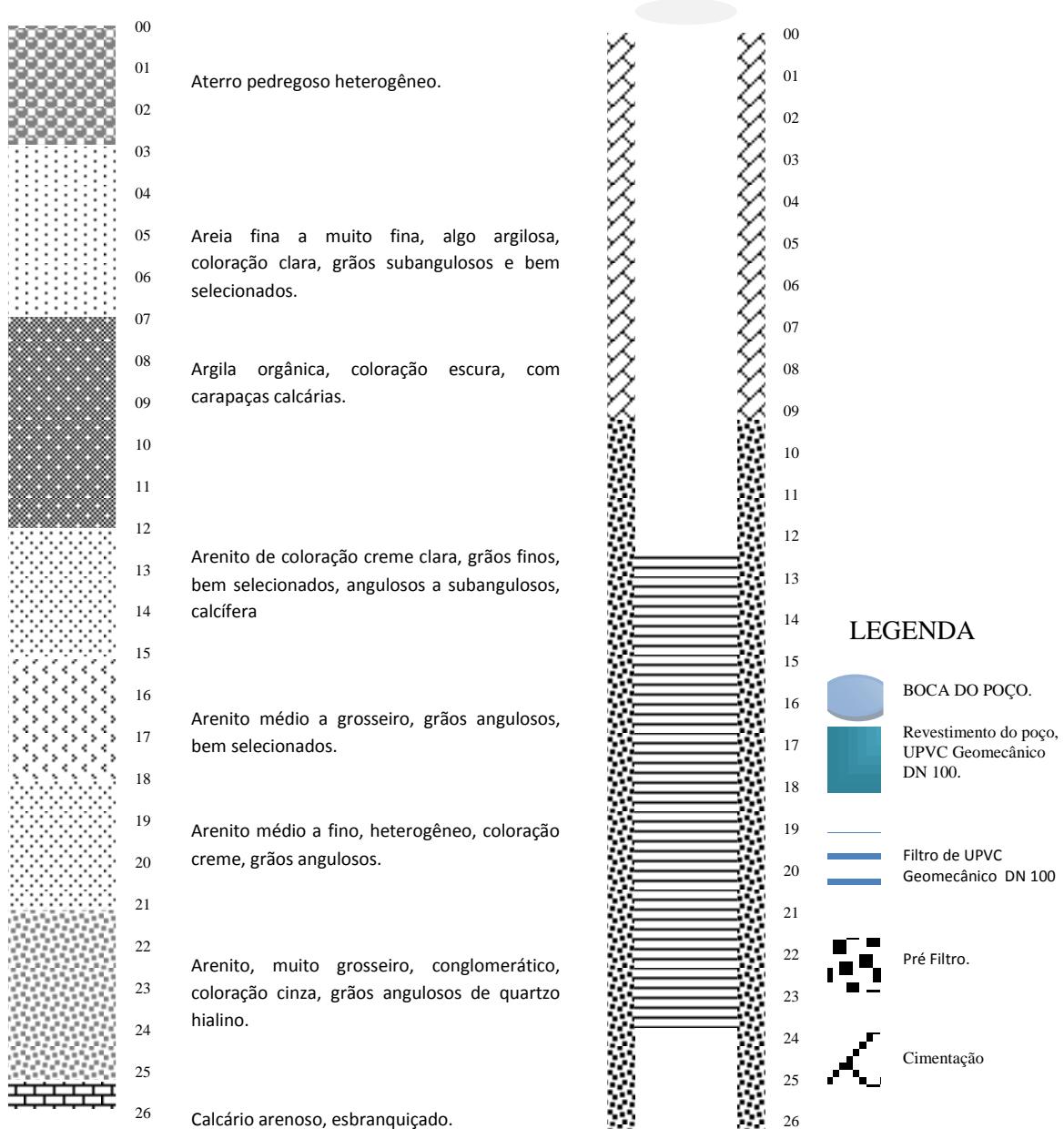


Figura 4.15 Transcrição do perfil litológico e construtivo do poço de observação P4.

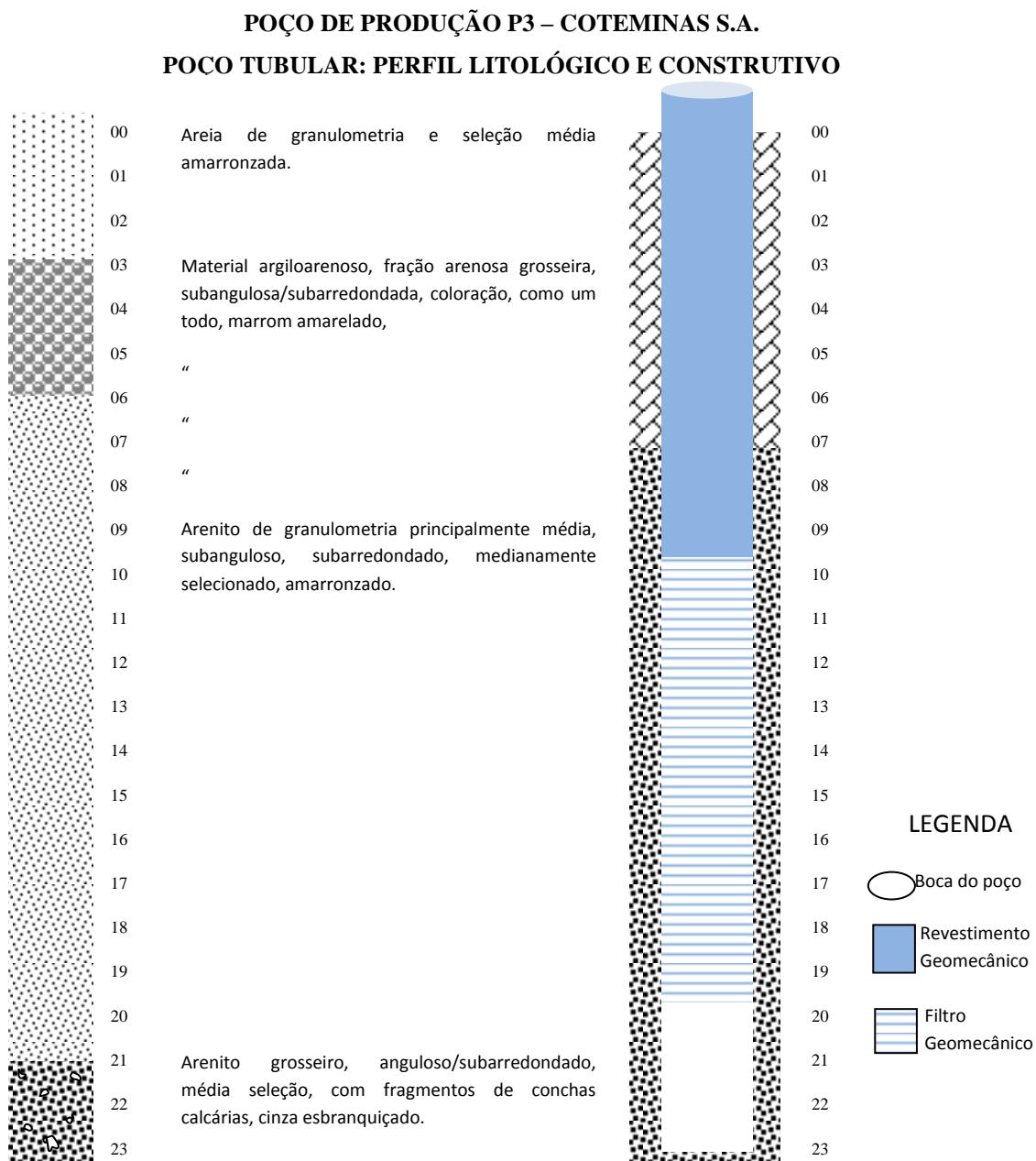


Figura 4.16 Transcrição do perfil litológico e construtivo do poço de produção P3.

4.3.7 Planilhas e informações dos testes de Produção e Aquífero

Data inicial: 07 de junho de 2011

Data final: 08 de junho de 2011

Poço de produção: P3

Poço de observação: P1

Poço de observação: P4

Distância P3-P1 (r_1): 16,55m

Distância P3-P4 (r_2): 24,80m

Nível Estático P3: 1,285m

Nível Estático P1: 0,746

Nível Estático P4: 0,732

Disposição dos poços: v. Fig. 4.17.

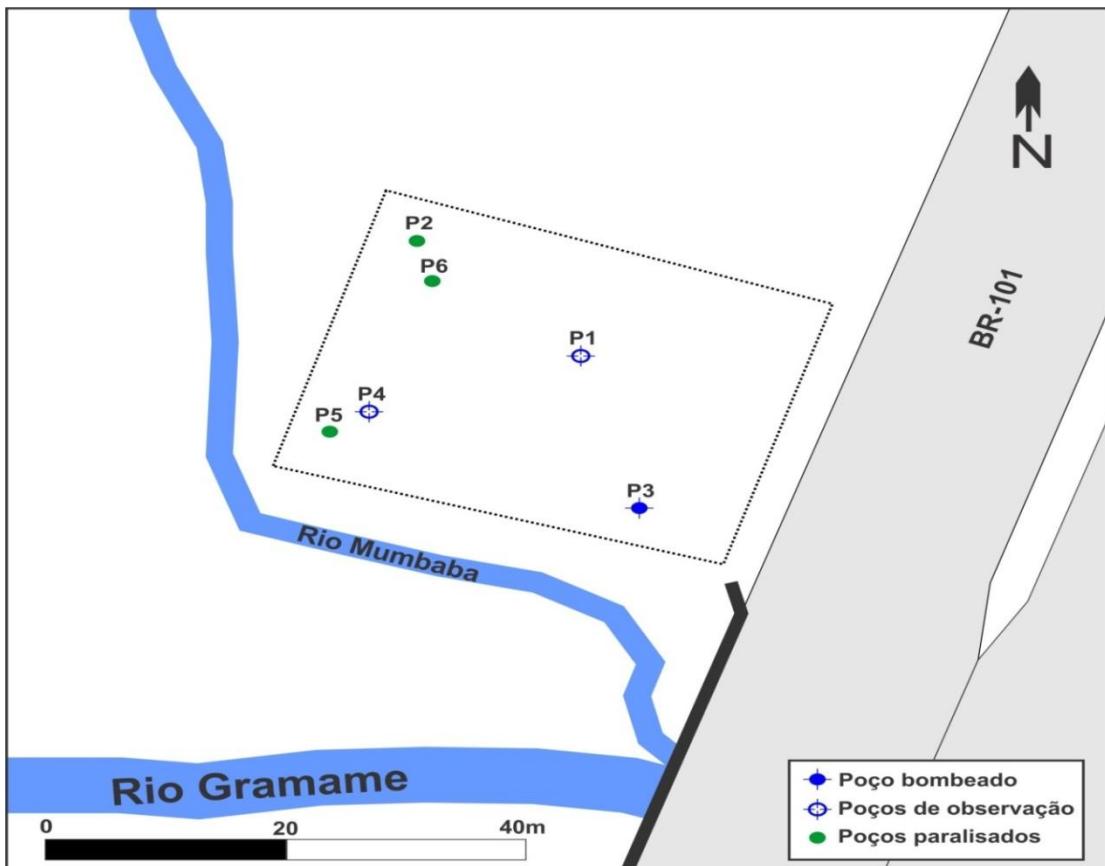


Figura 4.17 Visualização esquemática da posição geográfica dos poços.

Tabela 4.1 Evolução do nível dinâmico (ND), em metros, dos poços P3 (bombeado), P1 e P4 (observados); s_w = rebaixamento, em metros.

HORA	MINUTOS	P3		P1		P4	
		ND (m)	s_w (m)	ND (m)	s_w (m)	ND (m)	s_w (m)
14h01	1	5,840	4,495	0,848	0,102	0,804	0,072
14h02	2	6,380	5,035	1,014	0,268	0,956	0,224
14h03	3	6,458	5,113	1,138	0,392	1,031	0,299
14h04	4	6,510	5,165	1,202	0,456	1,090	0,358
14h05	5	6,534	5,189	1,263	0,517	1,146	0,414
14h06	6	6,593	5,248	1,321	0,575	1,189	0,457
14h08	8	6,633	5,288	1,372	0,626	1,226	0,494
14h10	10	6,655	5,310	1,413	0,667	1,265	0,533
14h12	12	6,682	5,337	1,458	0,712	1,294	0,562
14h15	15	6,725	5,380	1,509	0,763	1,322	0,590
14h20	20	6,750	5,405	1,549	0,803	1,370	0,638
14h25	25	6,780	5,435	1,561	0,815	1,391	0,659
14h30	30	6,780	5,435	1,582	0,836	1,410	0,678
14h40	40	6,813	5,468	1,618	0,872	1,435	0,703
14h50	50	6,825	5,480	1,631	0,885	1,458	0,726
15h00	60	6,835	5,490	1,653	0,907	1,472	0,740
15h10	70	6,845	5,500	1,663	0,917	1,479	0,747
15h20	80	6,855	5,510	1,681	0,935	1,486	0,754
15h40	100	6,865	5,520	1,685	0,939	1,499	0,767
16h00	120	6,870	5,525	1,701	0,955	1,524	0,792
16h30	150	6,865	5,520	1,724	0,978	1,526	0,794
17h00	180	6,878	5,533	1,727	0,981	1,537	0,805
18h00	240	6,884	5,539	1,735	0,989	1,552	0,820
19h00	300	6,886	5,541	1,742	0,996	1,556	0,824
20h00	360	6,888	5,543	0,846 ^(*)	0,100 ^(*)	1,549	0,817
21h00	420	6,887	5,542	1,744	0,998	1,539	0,807
22h00	480	6,886	5,541	1,745	0,999	1,542	0,810
23h00	540	6,886	5,541	1,745	0,999	1,542	0,810
24h00	600	6,886	5,541	1,745	0,999	1,542	0,810
02h00	720	6,884	5,539	1,745	0,999	1,542	0,810
04h00	840	6,885	5,540	1,745	0,999	1,542	0,810
06h00	960	6,886	5,541	1,745	0,999	1,545	0,813
08h00	1080	6,886	5,541	1,832	1,086	1,546	0,814
10h00	1200	6,886	5,541	1,832	1,086	1,545	0,813

^(*) Dados anômalos (descartados).

4.3.8 Teste de aquífero da aluvião do Rio Mumbaba – Método de Theis

O objetivo é definir os parâmetros hidrodinâmicos do aquífero – T, K e S –, através da observação da curva de rebaixamento ao longo do tempo nos poços de observação, tendo como referência comparativa a curva padrão (*curva de Theis*), aquífero confinado (não drenante). A distância entre os poços, representada pelo raio r , permite avaliar o comportamento aquífero durante a abertura do cone de rebaixamento pelas características anisotrópicas da formação aquífera, fornecendo dados para a avaliação do armazenamento.

4.3.8.1 Análise dos dados dos poços de observação P1 e P4

Pela análise da descrição litológica e observação do nível estático, os poços P1 e P4 apresentam uma configuração de aquífero não drenante (confinado), condicionado pela camada argilosa que se estende dos 3m aos 7m e dos 07m aos 12m respectivamente, não sendo observado nos primeiros minutos de bombeamento, condição de recarga. Para a determinação dos parâmetros hidrodinâmicos dessa Aluvião, será utilizado o método de Theis. É importante observar que a condição *sine qua non* para a execução do teste por esse método é que o regime de bombeamento deve estar na fase transitória, ou seja, quando a água é retirada essencialmente do aquífero.

O método de Theis consiste em aplicar, em papel bilog, a curva de campo sobreposta à curva padrão de Theis (v. fig. 4.18), observando que a relação entre o eixo da abscissa (evolução do tempo) e o eixo da ordenada (rebaixamento do nível da água no interior do poço) tenha o mesmo módulo logarítmico da curva padrão. Plotando um ponto de superposição (PS), para determinação dos valores do tempo e rebaixamento, e aplicando as equações desenvolvidas por Theis para determinação da transmissividade (T) e do armazenamento (S), a condutividade hidráulica pode ser obtida através da relação entre a espessura (b) e a transmissividade, isto é:

$$T = K \cdot b$$

Utilizando o gráfico da curva de campo sobreposta à curva padrão (v. fig. 4.18), obtiveram-se os seguintes parâmetros para a determinação de T, K, S.:

$$W(u) = 1$$

$$1/u = 10 \text{ onde } u = 0,1$$

$$s = 0,35 \text{ m}$$

$$t = 7,34 \text{ min} = 440,40 \text{ s}$$

4.3.8.2 Determinação dos parâmetros hidrodinâmicos dos poços P1 e P4

- Poço P1 – Determinação de T, K, S

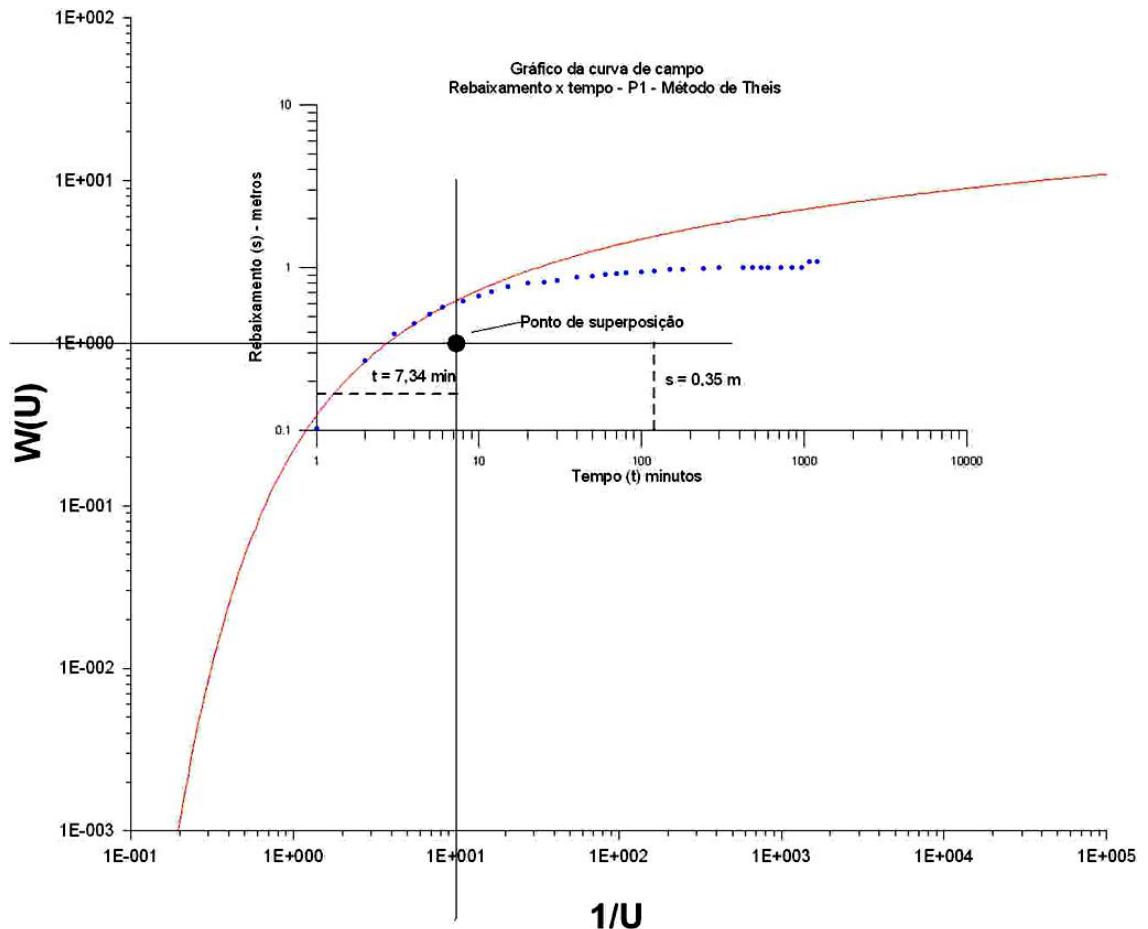


Figura 4.18 Gráfico da curva de campo rebaixamento x tempo, do poço de observação P1, sobreposta à curva padrão, com indicação do ponto de superposição.

Durante o teste de vazão e observação, foram obtidos os seguintes dados de P1:

$$Q = 47,41 \text{ m}^3/\text{h} = 0,013 \text{ m}^3/\text{s} \quad b = 19 \text{ m} \quad r_1 = 16,55 \text{ m}$$

Observando-se o gráfico dos dados da curva de campo do poço P1, sobreposta a curva padrão de Theis (v. fig. 4.19), obtemos os dados para: W(u), 1/u, s (rebaixamento) e t (tempo) ao ponto de superposição.

Tendo em vista que

$$T = (Q/4\pi s)W(u)$$

tem-se que:

$$T = [0,013 / (4 \times 3,1416 \times 0,35)] \times 1$$

$$T = 0,00295 = 2,95 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$$

Sendo $S = 4 \cdot T \cdot t \cdot u / r_1^2$, obtém-se:

$$S = (4 \times 0,00295 \times 440,40 \times 0,1) / 16,55^2 = 0,001897 \text{ (adimensional)}$$

$$K = T / b$$

$$K = 0,000155 \text{ m/s}$$

- **Poço P4 – determinação de T, K, S**

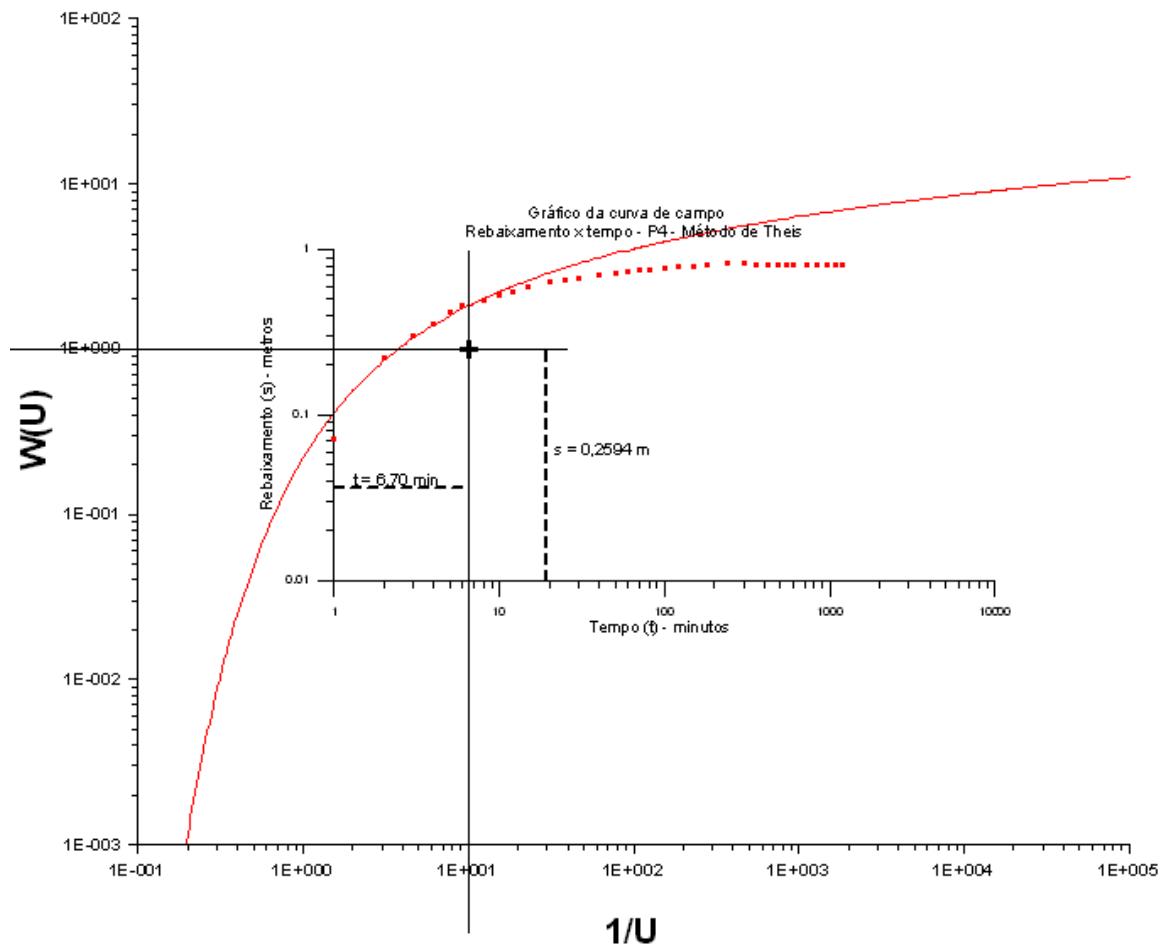


Figura 4.19 Gráfico da curva de campo rebaixamento x tempo, do poço de observação P4, sobreposta à curva padrão, com ponto de superposição.

Utilizando a mesma metodologia do P1 têm-se os seguintes dados para P4 (v. Fig. 4.19):

$$W(u) = 1$$

$$(1/u) = 10, \text{ pois } u = 0,1$$

$$s = 0,2594 \text{ m}$$

$$t = 6,70 \text{ min} = 462,0 \text{ s}$$

Dados de campo do teste de vazão e observação do perfil construtivo e litológico de P4:

$$Q = 47,41 \text{ m}^3/\text{h} = 0,013 \text{ m}^3/\text{s} \quad b = 19 \text{ m} \quad r_1 = 24,80 \text{ m} \quad NE_4 = 0,732$$

Convém observar que a figura do perfil do poço P4 deixa dúvidas quanto à posição da argila que confina o aquífero. Como a área é restrita e relativamente pequena, consideraram-se as condições da espessura representada pelo perfil do poço P1.

$$T = Q \cdot W(u) / 4\pi s$$

$$T = 0,013 / (4 \times 3,1416 \times 0,2594 \times 1)$$

$$T = 0,00399 = 3,99 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$S = 4 \cdot T \cdot t \cdot u / r_1^2$$

$$S = (4 \times 0,00399 \times 462,00 \times 0,1) / 24,80^2$$

$$S = 0,0012 = 1,2 \times 10^{-3} \text{ (adimensional)}$$

$$K = T / b$$

$$K = 0,00021 = 2,10 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

4.3.9 Teste de aquífero da aluvião do rio Mumbaba – Método de Thiem

A análise da curva padrão permite perceber a tendência de estabilização do nível da água no interior do poço, demonstrando que o aquífero está entrando em regime permanente, alcançando a fonte de recarga. O método para análise dos parâmetros hidrodinâmicos é o método de Thiem. A condição para interpretação exige que o aquífero seja confinado e o regime seja permanente. Em princípio, esse método deve ser aplicado em três poços de

observação, podendo, no entanto, ser utilizado em apenas dois poços com alguma restrição em função da precisão dos dados obtidos.

4.3.9.1 Determinação dos parâmetros hidrodinâmicos dos poços de observação P1 e P4 pelo método de Thiem

O método de Thiem consiste na produção do teste de aquífero, observando-se a quantidade de poços e a estabilização dos níveis hidrodinâmicos referentes a cada poço. Com os dados dos trabalhos realizados em campo (v. tab. 4.2), constrói-se a curva referente à relação entre o rebaixamento e o $\log r$, calcula-se o valor de Δs , se possível dentro de um ciclo logarítmico, aplicando as equações desenvolvidas por Thiem para determinação da transmissividade (T) (v. fig. 4.20). A condutividade pode ser obtida através da relação entre a espessura e a transmissividade, isto é, $T = K \cdot b$.

$$T = (0,366 \cdot Q/\Delta s) \cdot \log(r_2/r_1)$$

Tabela 4.2 Dados de rebaixamento e distâncias dos poços P1 e P4 em relação ao poço de produção P3.

	P1	P4
s (m)	1,832	0,813
r (m)	16,55	24,80

r = distância entre o poço de produção (P3) e o poço de observação (P1 e P4)

s = rebaixamento real

$$Q = 47,41 \text{ m}^3/\text{h} = 0,013 \text{ m}^3/\text{s} \quad b = 19 \text{ m} \quad r_4 = 24,80 \text{ m} \quad r_1 = 16,55 \text{ m} \quad \Delta s = 1,453$$

$$T = (0,366 \times 0,013 / 1,45) \cdot \log (50/5) = 3,27 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$K = T/b = 0,00327 / 19 = 0,000721 = 1,72 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

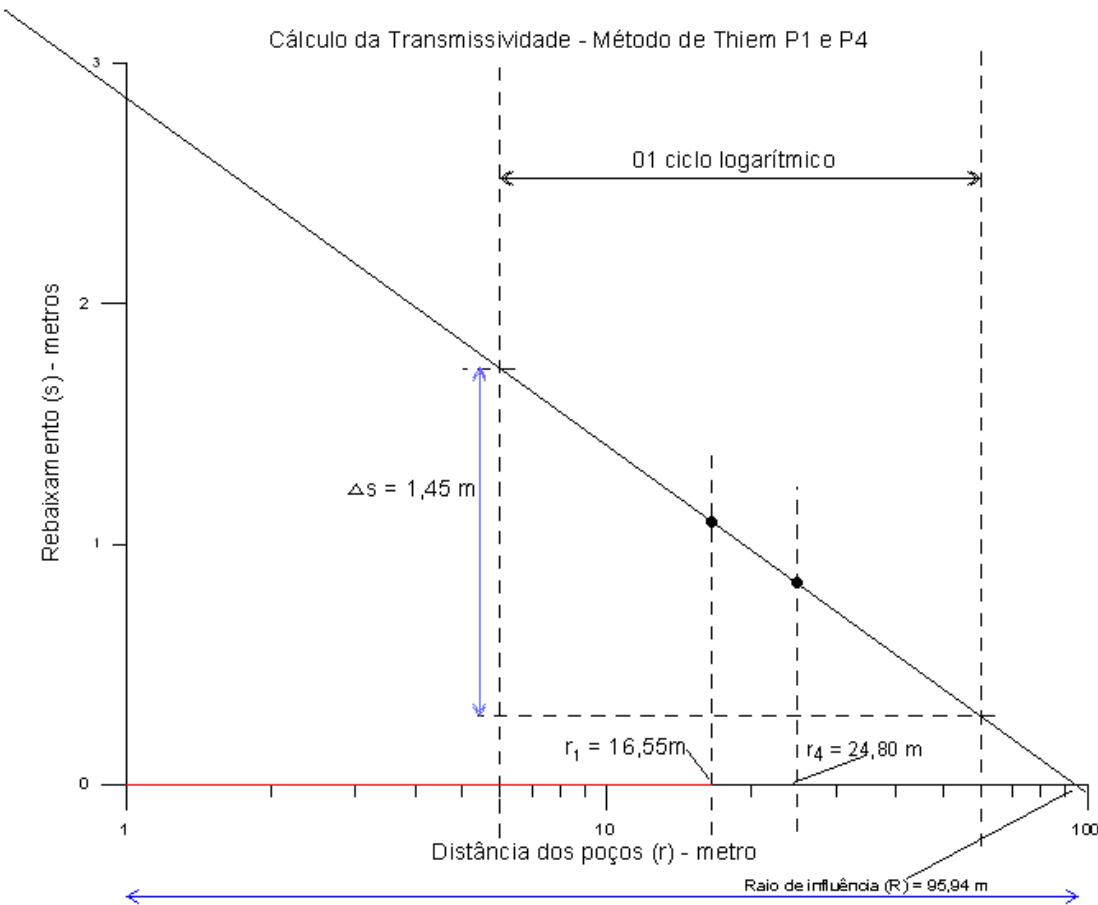


Figura 4.20 Gráfico da distância dos poços x rebaixamento, para a determinação da transmissividade em regime permanente utilizando o método de Thiem.

4.3.10 Teste de aquífero da aluvião do Rio Mumbaba – Método de Walton.

Como foi dito anteriormente quanto a descrição litológica e observação do nível estático, dos poços P1 e P4 apresentam uma configuração de aquífero não drenante (confinado), condicionado pela camada argilosa que se estende dos 3m aos 7m, não sendo observado nos primeiros minutos de bombeamento, condição de recarga. Entretanto próximo ao tempo de dez minutos após o início do bombeamento percebe-se a inflexão negativa da curva demonstrando a ocorrência de recarga, provavelmente por indução direta do Rio Mumbaba e/ou influencia de recarga retarda, provocada por uma superfície de sudação característica dos aquíferos livres e drenantes (semi-confinados), o que descaracteriza a condição para utilização da metodologia de THEIS, nessa fase da curva. Para estes casos a metodologia de WALTON apresenta-se mais adequada. A metodologia consiste na utilização da melhor sobreposição da curva de campo nas curvas teóricas elegendo-se um ponto qualquer denominado ponto de superposição, para determinação de $W(u, r/B)$, $1/u$, “s” e “t”(v. fig.4.21).

MÉTODO DE WALTON POÇO P1 – ALUVIÃO DO RIO MUMBABA

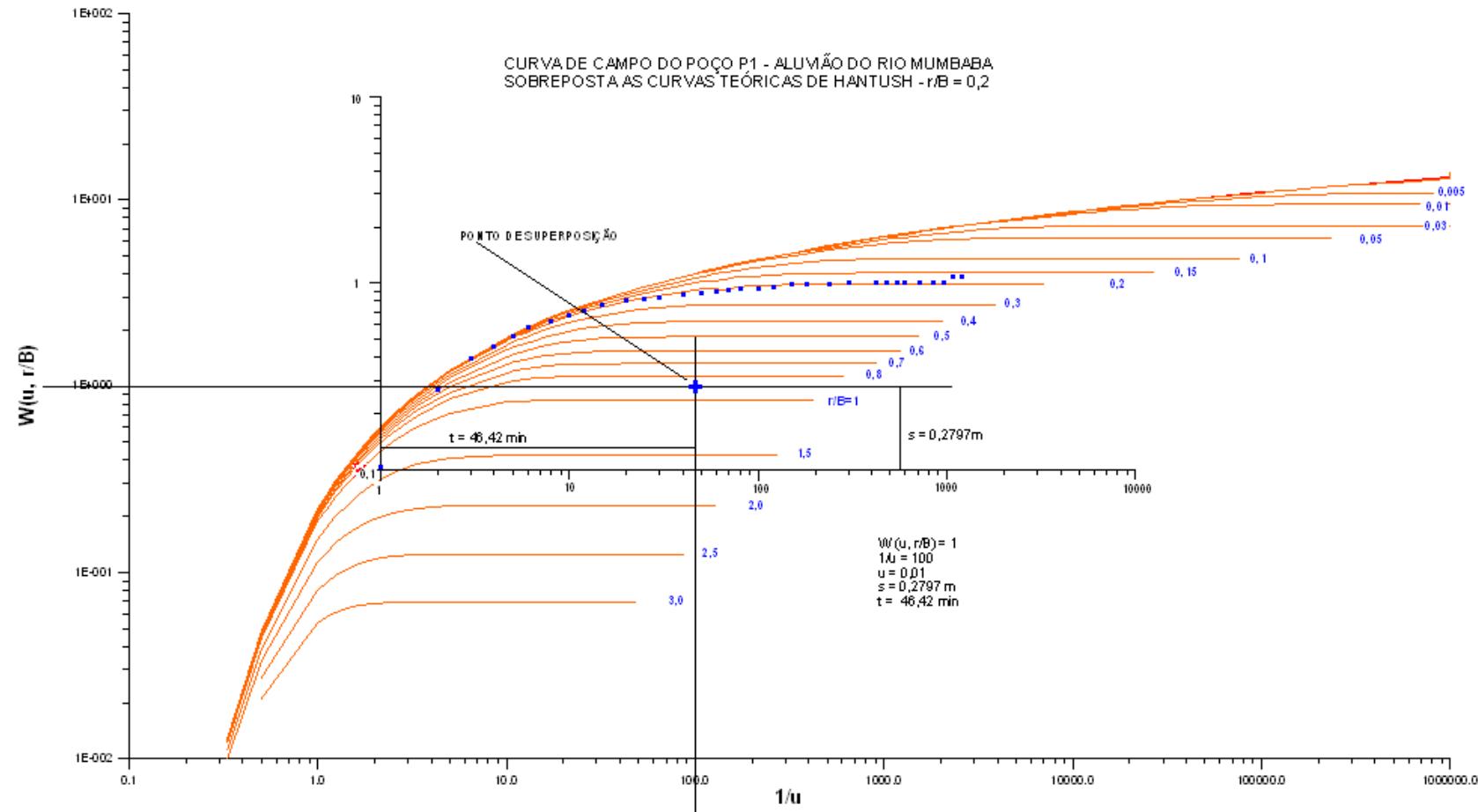


Figura 4.21 Gráfico da curva de campo P1 da Aluvião do Rio Mumbaba, sobreposta às curvas teóricas.

4.3.10.1 CALCULO DOS PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS DO POÇO P1 ALUVIÃO DO RIO MUMBABA – MÉTODO DE WALTON

$$Q = 47,41 \text{ m}^3/\text{h} = 0,01317 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$b = 19 \text{ m}$$

$$r_1 = 16,55 \text{ m}$$

$$t = 46,42 = 2785,20 \text{ seg}$$

$$s = 0,2797 \text{ m}$$

$$W(u, r/B) = 1$$

$$1/u = 100$$

$$u = 0,01$$

$$T = (Q / 4\pi s) \times W(u, r/B) \rightarrow T = (0,01317 / 4 \times 3.1416 \times 0,2797) \times 1 \rightarrow T = 3,75 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$S = 4Tut / r^2 \rightarrow S = (4 \times 0,00375 \times 0,01 \times 2785,20) / 16,55^2 \rightarrow S = 0,00153 = 1,53 \times 10^{-3}$$

$$K = T/b \rightarrow K = 0,00020 = 2,0 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

Entre as exigências da metodologia de Walton é que a interferência pela recarga seja pequena, consequentemente a condutividade hidráulica da camada semipermeável deve ser bem menor que a condutividade hidráulica do aquífero ou que o B (o fator de drenança) seja pelo menos 3 vezes maior que a espessura da camada semipermeável. Observando a curva r/B que ajustou-se melhor a curva de campo foi a $r/B = 0,2$ nesse caso temos que a distância entre o poço de produção e o poço de observação (r) é de 16,55 metros;

$$r/B = 0,2 \rightarrow B = 16,55/0,2 \rightarrow B = 82,75 \text{ metros}$$

Calculo da resistência hidráulica (c) e da condutividade hidráulica (K') da camada semipermeável:

$$c = B^2/T \rightarrow c = 82,75^2/0,00375 \rightarrow c = 1826017 \text{ s} = 507,22 \text{ horas} = 21,13 \text{ dias}$$

$$c = 1/(k'/b') \rightarrow k'/b' = 1/c \rightarrow k'/b' = 1/1826017 \rightarrow k'/b' = 5,5 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$$

Observando o perfil litológico do poço P1, a espessura argilosa correspondente dos 03 aos 07 metros apresenta características litológicas que corresponderia a camada semipermeável, ou $b' = 04$ metros.

$$\rightarrow k'/b' = 5,5 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1} \rightarrow k' = 4 \times 5,5 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1} \rightarrow k' = 2,2 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

A camada semipermeável tem uma condutividade hidráulica bem menor que a condutividade hidráulica da camada aquífera, e sendo $B \gg b'$ correspondendo a exigência para a utilização da metodologia de Walton,

Na utilização dessa metodologia, devem-se considerar as seguintes condições para sua aplicação:

- O aquífero é drenante (semi-confinado), recebendo uma drenagem vertical através de uma ou da outra das duas camadas, cuja condição é de uma camada semipermeável.
- O regime é transitório, a condição de rebaixamento do nível observado pela evolução do tempo continua condicionada pela retirada de água diretamente do aquífero.
- O rebaixamento do nível piezométrico da camada aquífera não deve ultrapassar a 5% da espessura da camada semipermeável. Ocorrendo uma proporcionalidade entre a drenagem e o rebaixamento do nível potenciométrico.
- Deve haver uma proporcionalidade entre a recarga, a condutividade hidráulica específica do aquitardo (K'/b') e a diferença de nível dos aquíferos.
- O efeito da recarga ao entrar no aquífero deve ser o mínimo possível, o fluxo vertical ocasionado pela drenagem no aquitardo devem acompanhar o fluxo do aquífero curvando-se horizontalmente, minimizando os efeitos das componentes verticais ocasionadas pela drenagem vertical.
- Deve-se calcular através das formulas apresentadas os seguintes parâmetros:
 - A transmissividade (T)
 - O coeficiente de armazenamento (S)
 - O fator de drenagem (B)
 - A resistência hidráulica (c)
 - A condutividade hidráulica da camada semipermeável (K')

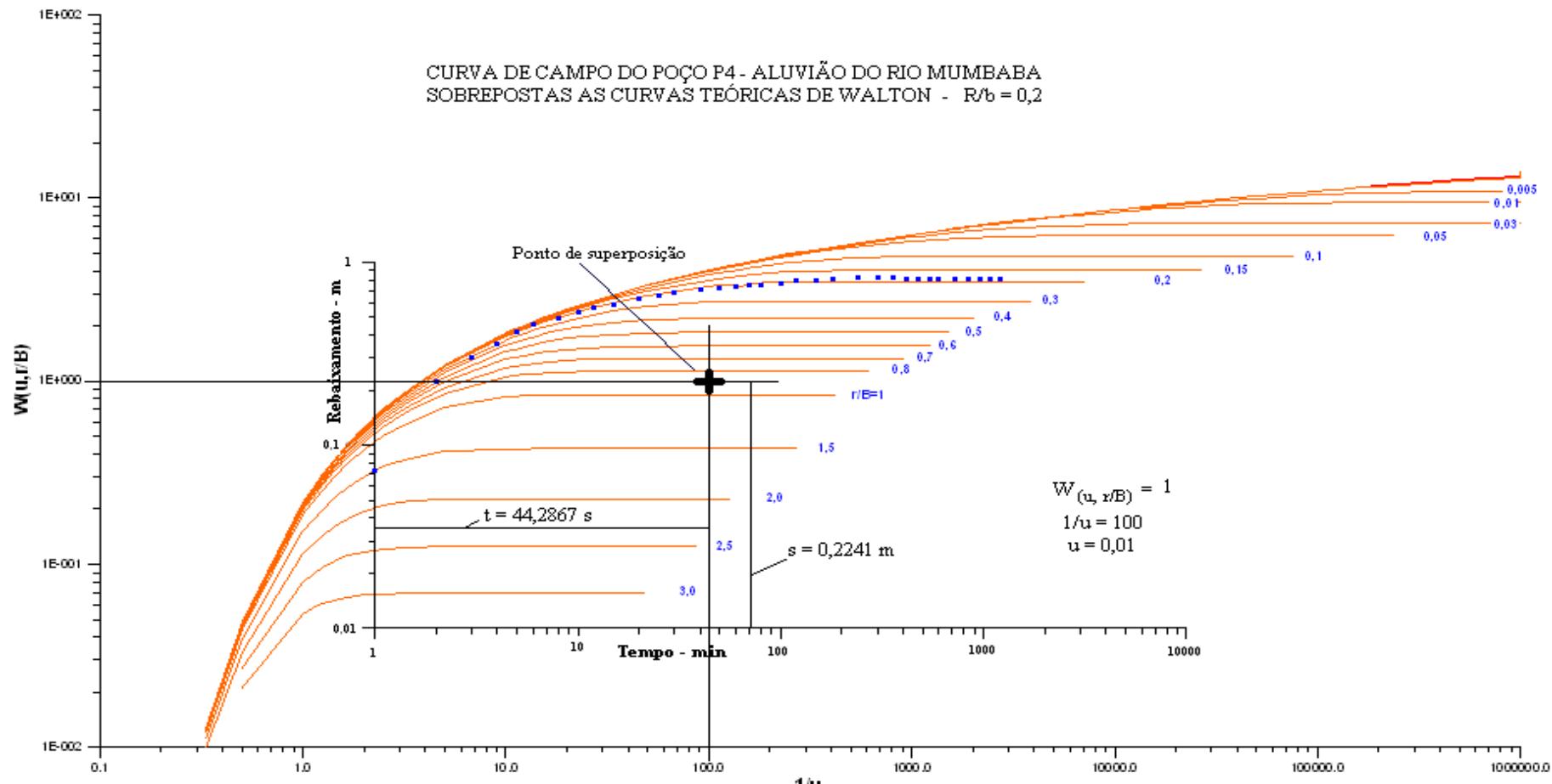


Figura 4.22 Gráfico da curva de campo P4 da Aluvião do Rio Mumbaba, sobreposta as curvas teóricas de Walton

4.3.10.2 CALCULO DOS PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS DO POÇO P4 ALUVIÃO DO RIO MUMBABA – MÉTODO DE WALTON - FIG 4.22

$$Q = 47,41 \text{ m}^3/\text{h} = 0,01317 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$b = 19 \text{ m}$$

$$r_1 = 24,80 \text{ m}$$

$$t = 44,2867 = 2657,20 \text{ seg}$$

$$s = 0,2241 \text{ m}$$

$$W(u, r/B) = 1$$

$$1/u = 100$$

$$u = 0,01$$

$$T = (Q / 4\pi s) \times W(u, r/B) \rightarrow T = (0,01317 / 4 \times 3.1416 \times 0,2241) \times 1 \rightarrow T = 4,68 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$S = 4Tut / r^2 \rightarrow S = (4 \times 0,00468 \times 0,01 \times 2657,20) / 24,80^2 \rightarrow S = 0,00081 = 8,1 \times 10^{-4}$$

$$K = T/b \rightarrow K = 0,00025 = 2,5 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

- Fator de Drenança (B):

$$r/B = 0,2 \rightarrow B = 24,80/0,2 \rightarrow B = 124,00 \text{ metros}$$

- resistência hidráulica (c) da camada semipermeável:

$$c = B^2/T \rightarrow c = 124^2/0,00468 \rightarrow c = 3285470 \text{ s} = 912,63 \text{ horas} = 38,03 \text{ dias}$$

- condutividade hidráulica (K') da camada semipermeável:

$$c = 1 / (k' / b') \rightarrow k' / b' = 1 / c \rightarrow k' / b' = 1 / 3285470 \rightarrow k' / b' = 3 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$$

Observando o perfil litológico do poço P4, a espessura argilosa correspondente dos 07 aos 12 metros apresenta características litológicas que corresponderia a camada semipermeável, ou $b' = 05$ metros consequentemente,

$$k' / b' \rightarrow = 3 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1} \rightarrow k' = 4 \times 5,5 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1} \rightarrow k' = 1,5 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

A camada semipermeável tem uma condutividade hidráulica bem menor que a condutividade hidráulica da camada aquífera, e sendo $B >> b'$ correspondendo a exigência para a utilização da metodologia de Walton.

Tabela 4.3 Parâmetros hidrodinâmicos e média dos valores obtidos para a Aluvião do rio Mumbaba.

POÇO PARÂMETROS T, K, S	MÉTODO	TRANSMISSIVIDADE (m ² /s)	CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA (m/s)	COEFICIENTE DE ARMAZENAMENTO
P1	THEIS	2,95 x 10 ⁻³	1,55 x 10 ⁻⁴	1,897 x 10 ⁻³
P4	THEIS	3,99 x 10 ⁻³	2,10 x 10 ⁻⁴	1,200 x 10 ⁻³
P1-P4	THIEM	3,27 x 10 ⁻³	1,72 x 10 ⁻⁴	—
P1	WALTON	3,75 x 10 ⁻³	2,00 x 10 ⁻⁴	1,53 x 10 ⁻³
P4	WALTON	4,68 x 10 ⁻³	2,50 x 10 ⁻⁴	8,10 x 10 ⁻⁴
Média	-	3,73 x 10 ⁻³	1,97 x 10 ⁻⁴	1,36 x 10 ⁻³

Na tabela 4.3 os dados obtidos representam, através da média, valores para os parâmetros hidrodinâmicos da Aluvião pesquisada. A variação do método, manteve a mesma ordem de grandeza.

4.4 TESTES DE BOMBEAMENTO DO AQUÍFERO BARREIRAS

Da mesma forma como aconteceu com a COTEMINAS S.A., a empresa envasadora de ÁGUA MINERAL ITACOATIARA LTDA. contratou os serviços da Construpoços Ltda., para desenvolver um trabalho de pesquisa de seus dois poços produtores. Inicialmente, consistia em realizar uma perfilagem óptica para confirmar o perfil construtivo constante no relatório da empresa perfuradora, desenvolvendo um trabalho de teste de vazão/aquífero, para determinar a capacidade produtiva dos poços e os parâmetros hidrodinâmicos. A exigência foi solicitada pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), através do Ofício n.º 486/2008. Foi realizada a perfilagem sob a fiscalização do DNPM. Esse trabalho foi realizado por este Autor em conjunto com os alunos de mestrado e doutorado da UFPE, respectivamente, contando com apoio da empresa contratante e fiscalização dos profissionais do DNPM (v.fig. 4.27), sob a orientação do professor da disciplina Hidráulica de Captações Subterrâneas da UFPE, José Geilson Alves Demetrius. O procedimento realizado é padrão, e tem como finalidade avaliar a atividade dos poços e definir os parâmetros hidrodinâmicos do Aquífero Barreiras naquela área.

4.4.1 Localização do Empreendimento

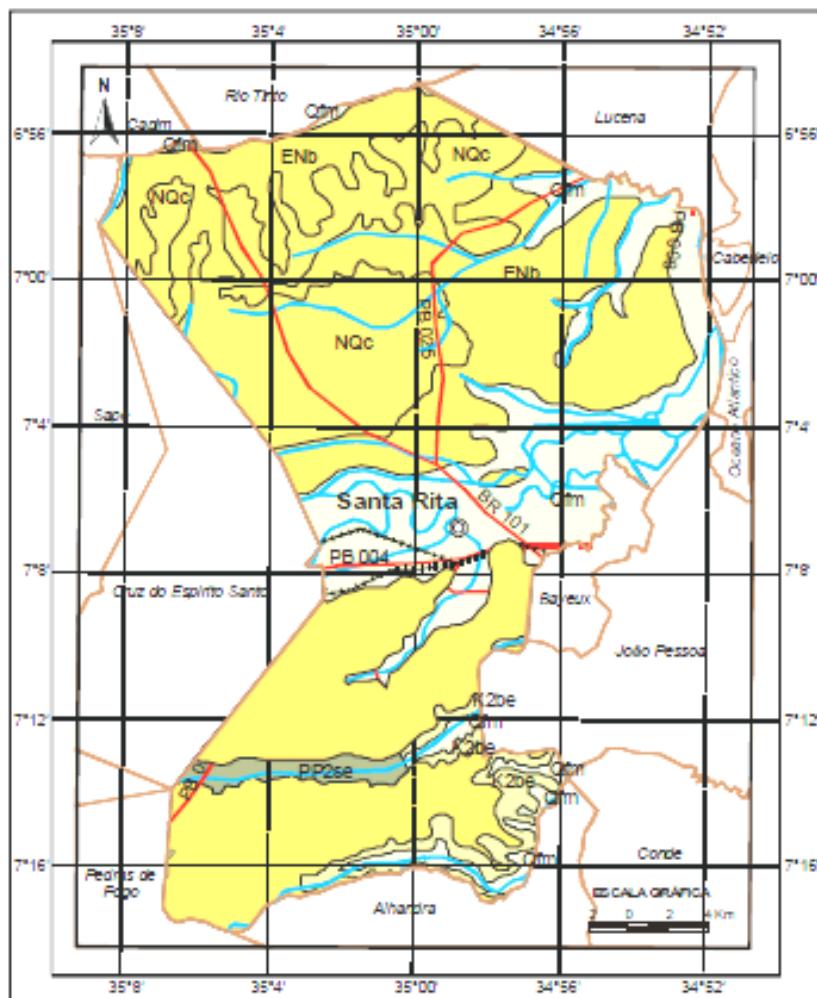
As plantas industriais envasadoras de água mineral da RMJP localizam-se geograficamente no município de Santa Rita, com acesso às rodovias federais BR 230 e BR 101, no Distrito Industrial de João Pessoa e Santa Rita. O acesso é economicamente importante, pois o valor agregado é alto, podendo inviabilizar-se financeiramente caso haja grandes dificuldades na logística de distribuição desse produto. A Água Mineral Itacoatiara, localiza-se no município de Santa Rita inserido na Bacia Sedimentar Paraíba (BSP), na Meso região da Mata Paraibana no estado da Paraíba (v. fig 4.23 e 4.24), apresentando grau de entalhamento bastante variável, alternando entre platôs e vales com taludes abruptos como também suaves, com características típicas de área controlada por intensa variação de regimes aluviais, estando sob os domínios da Bacia hidrográfica do Baixo Paraíba. Na estrutura da compartimentação da BSP a área municipal de Santa Rita esta alocada na Sub-bacia sedimentar Miriri (Barbosa, 2004, 2007), cujas características predominam superficialmente aflorante a Formação Barreiras com espessura variável, dominada por depósitos fluvio-marinhos. depósitos indiscriminados de mangues e pântanos, flúvio-lagunares e litorâneos, CPRM (2005).



Figura 4.23 Localização geográfica da Água Mineral Itacoatiara.

Tabela 4.4 Valores de resíduo seco e condutividade elétrica das águas do Aquífero Barreiras. (COSTA, 2006).

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS	BARREIRAS		BEBERIBE	
	Resíduo seco mg/l	Cond. Elétrica μS/cm	Resíduo seco mg/l	Cond. Elétrica μS/cm
MÉDIA	133,49	244,52	422,96	525,19
MEDIANA	100	160	313,25	396
DESVIO PADRÃO	105,38	176,82	563	362
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO	0,79	0,72	1,33	0,69
VALOR MÁXIMO	390	600	3594	1300
VALOR MÍNIMO	17	70	68	150
NÚMERO DE VALORES	33	21	68	13



UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

Cenozoíco

- Qtm Depósitos flúvio-marinhos (fml): depósitos indiscriminados de pântanos e mangues, flúvio-aguanares e litóneos
- NQc Depósitos coluvio-fluviais: sedimento arenoso, areno-argiloso e conglomerático
- ENb Grupo Barreiras (b): arenito e conglomerado, intercalações de siltito e argilito

Mesozoíco

- K2be Formação Beberibe (b): arenito mal selecionado, arenito calcífero (fluvial entrelaçado e transicional)

Paleoproterozoíco

- PP2se Complexo Sertânia: gneisse, marmore, quartzito, metavulcânica metáfica (2100 Ma U-Pb)

CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

- Contato geológico

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Sede Municipal
- Rodovias
- +— Linha férrea
- Limites Intermunicipais
- Rios e riachos

Figura 4.24 Mapa Geológico do Município de Santa Rita.

4.4.2 Caracterização do trabalho

Para determinar os parâmetros hidrodinâmicos, foram utilizados os dois poços de produção Pininchos de Mumbaba - PII (v. fig. 4.25) e Juventude - PIII (v. fig. 4.26), valendo-se de um para observar o outro poço quando em funcionamento. A caracterização litológica e construtiva dos poços foi fornecida pelos relatórios da empresa perfuradora, sendo realizada uma perfilagem óptica para observação da conservação da estrutura interna do revestimento e confirmação dos dados, que foram considerados aptos e concordantes com o relatório de campo.

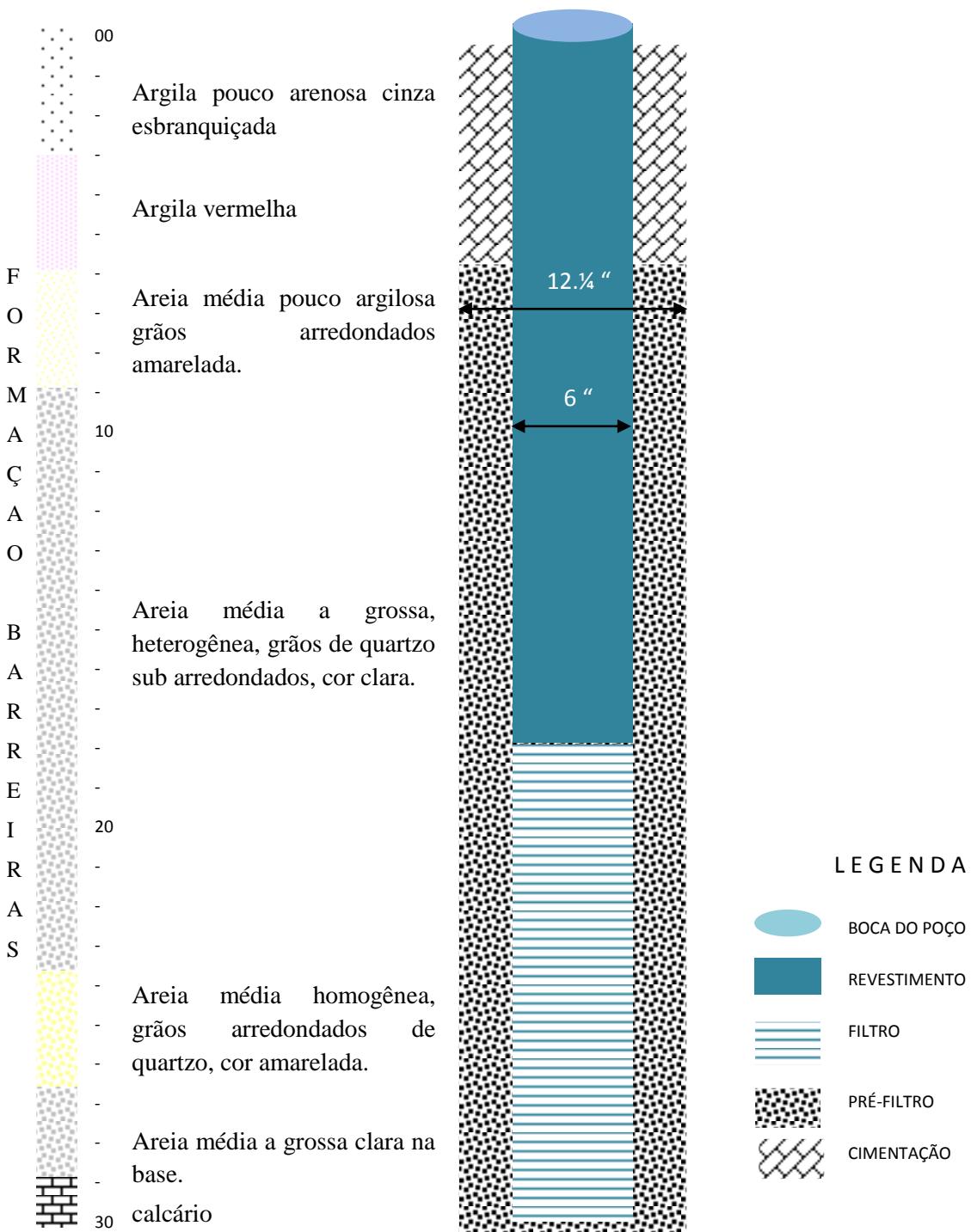
Os equipamentos de medição de nível utilizados foram dois medidores com sensores elétricos, de fabricação nacional, com marcação milimétrica, e o escoadouro de orifício circular para determinação e controle da vazão, cuja caracterização e desempenho já foram mencionados no teste anterior. Para esse teste, foi dimensionado um escoadouro com diâmetro interno de 0,059m e orifício menor de 0,042m. A distância entre os poços, medida em linha reta, foi de 68m. A vazão foi monitorada com a observação da altura da coluna da água na mangueira piezométrica, mantendo-a constante com o controle da abertura ou fechamento do registro colocado na saída do tubo edutor da bomba submersa (v. fig. 4.29).

Para avaliação dos parâmetros hidrodinâmicos, foram utilizados os dados obtidos com o bombeamento do poço Pininchos de Mumbaba - P2 (v. tab 4.5) e de observação do poço Juventude - PIII (v. tab. 4.6). O teste foi dividido em quatro etapas, obtendo dados para o teste de produção e utilizando a distância (r) do PIII, para a realização do teste de aquífero. A data foi dia 04 de julho de 2010, com início do bombeamento às 20h15min, finalizando no dia seguinte, 05 de julho de 2010, às 10h15min. A primeira etapa teve duração de 780min, equivalentes a 13 horas. As três etapas seguintes tiveram duração de 60 minutos cada uma, completando o tempo total de 16 horas. Para avaliação das características do poço, as etapas sucessivas foram aumentadas progressivamente, sem desligar o conjunto motobomba, numa progressão geométrica cuja razão ficou em torno de 1,3.

Durante o teste de bombeamento, a água explotada foi depositada numa caixa de fibra e transportada por gravidade, através de tubos de PVC de 100mm, para um córrego distante 80m do PII, no sentido oposto ao PIII, evitando que retornasse ao aquífero (v. fig. 4.28).

4.4.3 Dados do Poço de Produção PII – Pininchos de Mumbaba:

**FIGURA 4.25 PERFIL LITOLÓGICO E CONSTRUTIVO POÇO PII
PININCHUS DE MUMBABA**



4.4.4 – Dados do poço de produção PIII – Juventude:

FIGURA 4.26 PERFIL LITOLÓGICO E CONSTRUTIVO POÇO III

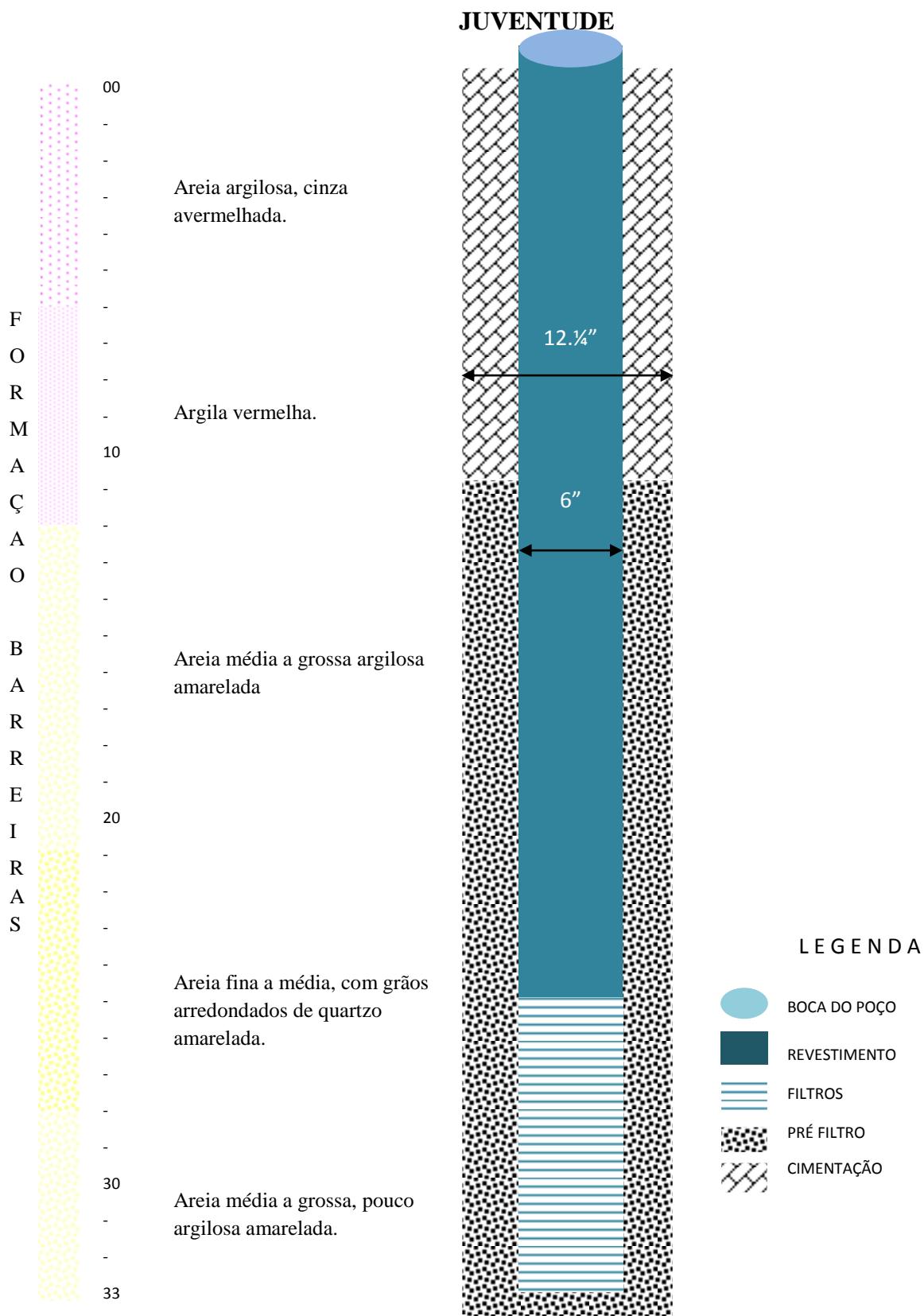




Figura 4.27 Equipe que participou do teste: Mário Valença (doutorando, UFPE), Valdervan Ferreira de Sousa (encarregado geral da Itacoatiara), Cláudio Lima (DNPM-PB), Alípio Agra (DNPM-PE), José Wellington (mestrando, UFPE), Fernando Carrilho (Engenheiro de Minas – Itacoatiara), Tiago Miranda (mestrando, UFPE), Antônio José (funcionário da Itacoatiara).



Figura 4.28 Escoamento da água do poço PII- Pininchos de Mumbaba para o córrego. A foto também mostra o tambor de fibra para recepção imediata da água, e que não oferece nenhuma resistência ao deslocamento primário do bombeamento, e a tubulação de 100mm para o transporte.



Figura 4.29 Marcação da altura piezométrica na mangueira calibrada pela trena afixada à régua de madeira.

4.4.5 Planilhas e informações dos testes de produção e aquífero

Data inicial: 04 de julho de 2010

Data final: 05 de julho de 2011

Poço de produção: Pininchos de Mumbaba – PII

Poço de observação: Juventude – PIII

Distância PII-PIII (r_1): 68,00m

Nível Estático de PII: 7,355m

Nível Estático de PIII: 11,709m

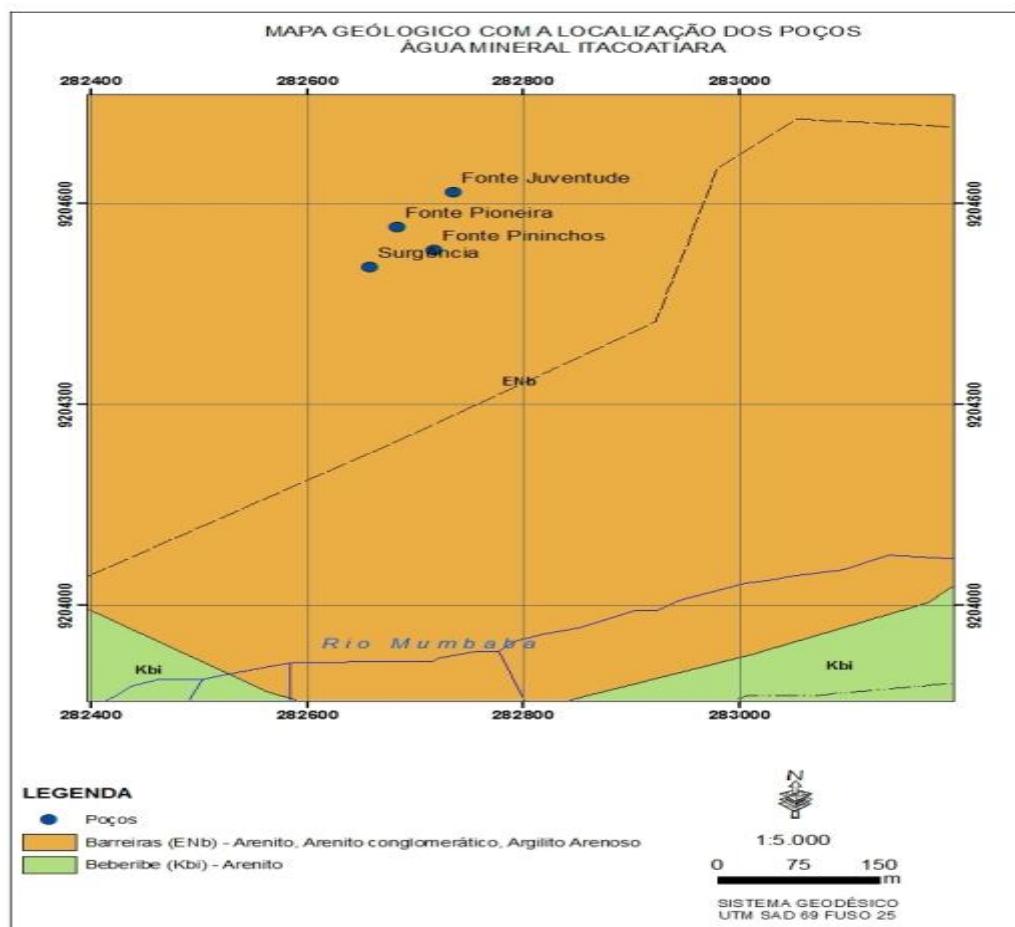


Figura 4.30 Mapa geológico com a localização dos poços da Itacoatiara. A surgência marca o córrego que recebeu a água bombeada por PII.

Tabela 4.5 Evolução do rebaixamento das quatro etapas do teste de produção do poço PII.

POÇO DE PRODUÇÃO PII - PININCHOS DE MUMBABA													NE (m) = 7,355		
1.ª Etapa Q = 6,85 m ³ /h				2.ª Etapa Q = 9,10 m ³ /h				3.ª Etapa Q = 11,50 m ³ /h				4.ª Etapa Q = 15,10 m ³ /h			
Hora	min	ND (m)	SW (m)	Hora	min	ND (m)	SW (m)	Hora	min	ND (m)	SW (m)	Hora	min	ND (m)	SW (m)
20h16	1	8,280	0,925	09h16	1	8,947	1,592	10h16	1	9,455	2,100	11h16	1	10,075	2,720
20 h17	2	8,332	0,977	09h17	2	9,000	1,645	10 h17	2	9,510	2,155	11 h17	2	10,185	2,830
20 h18	3	8,375	1,020	09h18	3	9,005	1,650	10h18	3	9,526	2,171	11 h18	3	10,205	2,850
20 h19	4	8,400	1,045	09h19	4	9,032	1,677	10h19	4	9,540	2,185	11 h19	4	10,225	2,870
20 h20	5	8,445	1,090	09h20	5	9,049	1,694	10h20	5	9,557	2,202	11 h20	5	10,237	2,882
20 h21	6	8,460	1,105	09h21	6	9,054	1,699	10h21	6	9,571	2,216	11 h21	6	10,245	2,890
20 h23	8	8,485	1,130	09h23	8	9,060	1,705	10h23	8	9,580	2,225	11 h23	8	10,266	2,911
20 h25	10	8,517	1,162	09h25	10	9,068	1,713	10h25	10	9,588	2,233	11 h25	10	10,280	2,925
20 h27	12	8,520	1,165	09h27	12	9,074	1,719	10h27	12	9,610	2,255	11 h27	12	10,295	2,940
20 h30	15	8,535	1,180	09 h30	15	9,075	1,720	10h30	15	9,615	2,260	11 h30	15	10,310	2,955
20 h35	20	8,565	1,210	09h35	20	9,090	1,735	10h35	20	9,620	2,265	11 h35	20	10,330	2,975
20 h40	25	8,585	1,230	09h40	25	9,095	1,740	10h40	25	9,637	2,282	11 h40	25	10,350	2,995
20 h45	30	8,597	1,242	09h45	30	9,105	1,750	10h45	30	9,644	2,289	11 h45	30	10,365	3,010
20 h55	40	8,615	1,260	09h55	40	9,114	1,759	10h55	40	9,650	2,295	12 h00	40	10,385	3,030
21 h05	50	8,630	1,275	10h05	50	9,125	1,770	11h05	50	9,657	2,302	12 h10	50	10,410	3,055
21 h15	60	8,640	1,285	10h15	60	9,145	1,790	11h15	60	9,665	2,310	12 h20	60	10,415	3,060
21 h25	70	8,650	1,295												
21 h35	80	8,660	1,305												
21 h55	100	8,665	1,310												
22 h15	120	8,675	1,320												
22 h45	150	8,685	1,330												
23 h15	180	8,685	1,330												
23 h45	210	8,685	1,330												
00 h15	240	8,685	1,330												
00 h45	270	8,685	1,330												
01 h15	300	8,695	1,340	Hora	min	ND (m)	SW (m)								
01 h45	330	8,685	1,330	05h45	570	8,690	1,335								
02 h15	360	8,685	1,330	06h15	600	8,690	1,335								
#####	390	8,685	1,330	06h45	630	8,690	1,335								
03 h15	420	8,685	1,330	07h15	660	8,690	1,335								
03 h45	450	8,690	1,335	07h45	690	8,693	1,338								
04 h15	480	8,690	1,335	08h15	720	8,695	1,340								
04 h45	510	8,690	1,335	08h45	750	8,695	1,340								
00 h15	540	8,690	1,335	09h15	780	8,695	1,340								

Características Construtivas

Profundidade: 30m

 $\phi_{\text{Perfuração}}$: 12 1/4" $\phi_{\text{Revestimento}}$: DN 150

Tipo: Geomcânico

 ϕ_{Filtro} : DN 150 Leve

Tipo; Geomecânico

Ranhura: 0,75mm

Informações do Teste

Data inicial: 04.07.2010

Data final: 05.07.2010

TB = 13h= 960min

NE = 7,355m

ND = 10,42m

Q = Teste de vazões sucessivas

sw = 3,060

Tabela 4.6 Evolução do rebaixamento do poço de observação PIII – Juventude.

POÇO BOMBEADO PII – PININCHOS D MUMBABA POÇO DE OBSERVAÇÃO PIII - JUVENTUDE				NE (m) = 11,709			
1.ª Etapa				Características Construtivas			
Hora	min	ND (m)	sw (m)	Profundidade:	33m		
20h16	1	11,725	0,016	$\varnothing_{\text{Perfuração}}$:	12 $\frac{1}{4}$ "		
20h17	2	11,729	0,020	$\varnothing_{\text{Revestimento}}$:	DN 150		
20h18	3	11,744	0,035	Tipo:	Geomecânico		
20h19	4	11,760	0,051	$\varnothing_{\text{Filtro}}$:	DN 150		
20h20	5	11,769	0,060	Tipo:	Geomecânico		
20h21	6	11,783	0,074	Ranhura:	0,75mm		
20h23	8	11,799	0,090				
20h25	10	11,814	0,105				
20h27	12	11,829	0,120				
20h30	15	11,848	0,139				
20h35	20	11,871	0,162				
20h40	25	11,886	0,177				
20h45	30	11,897	0,188				
20h55	40	11,910	0,201				
21h05	50	11,929	0,220				
21h15	60	11,941	0,232				
21h25	70	11,950	0,241				
21h35	80	11,953	0,244	Hora	min	ND (m)	sw (m)
21h55	100	11,963	0,254	03h45	450	11,996	0,287
22h15	120	11,972	0,263	04h15	480	11,996	0,287
22h45	150	11,979	0,270	04h45	510	11,997	0,288
23h15	180	11,982	0,273	05h15	540	11,997	0,288
23h45	210	11,984	0,275	05h45	570	11,999	0,290
00h15	240	11,990	0,281	06h15	600	12,000	0,291
00h45	270	11,991	0,282	06h45	630	12,000	0,291
01h15	300	11,992	0,283	07h15	660	12,000	0,291
01h45	330	11,993	0,284	07h45	690	12,000	0,291
02h15	360	11,995	0,286	08h15	720	12,000	0,291
02h45	390	11,996	0,287	08h45	750	12,000	0,291
03h15	420	11,996	0,287	09h15	780	12,000	0,291

4.4.6 Condições para determinação dos parâmetros hidrodinâmicos P. Juventude

A litologia do poço apresenta estratificações características da formação Barreiras com camadas alternando entre argilas e areias médias a grossas, de colorações variadas, típico da geologia local (v. fig. 4.30). De maneira geral, o aquífero comporta-se como livre. A interferência do bombeamento do PII sobre o PIII na 1.^a etapa, com duração de 13 horas (780 minutos), e vazão de $6,85 \text{ m}^3/\text{h} = 0,019 \text{ m}^3/\text{s}$ representou um rebaixamento pequeno de 0,291m.

Em aquíferos livres, a superfície é freática, sob pressão atmosférica. Na presença de um bombeamento, a pressão exercida pela água é aliviada, dando condições para que ocorra uma variação entre o NE e o ND, dando início a uma superfície denominada de *ressurgência* ou *sudação*, surgindo pontualmente uma drenagem retardada com componentes de fluxo vertical.

Segundo Custódio e Llamas (1983), a metodologia de Theis e Jacob pode ser aplicada a aquífero livre nas seguintes situações:

- Quando o rebaixamento máximo for inferior a $\frac{1}{4}$ da espessura saturada;
- Em regime provisório;
- Quando há, pelo menos, um poço de observação.

O poço de observação Juventude (PIII), em sua resposta ao bombeamento do poço Pininchos de Mumbaba (PII), teve o rebaixamento s_w pequeno e inferior a 25% da espessura saturada (H_o). O efeito causado pelas componentes de fluxo vertical, característica dos aquíferos livres, pode ser compensado aplicando aos rebaixamentos medidos uma correção proposta por Dupuit-Jacob, em que:

$$s_c = s - (s^2/2H_o)$$

Para esse método, a exigência é de apenas um poço de observação e a correção dos rebaixamentos medidos (s_c), enquanto a metodologia de Dupuit-Thiem exige o mínimo de dois poços de observação. A feição da curva mostra uma tendência à estabilização. Para que se atendam as condições exigidas para o teste, seria necessário utilizar a fase da curva onde o regime é provisório.

A fórmula de correção do rebaixamento de Dupuit-Jabob é completamente válida também para o regime permanente, quando todo o processo alcançou um equilíbrio hidrodinâmico e a água está sendo retirada da fonte de recarga do aquífero.

Em regime provisório, os efeitos das componentes verticais interferem no processo de rebaixamento, e só deve ser utilizado na condição já especificada de $s < 25\%$ da espessura saturada. Quando $s < 2\%$ da espessura saturada, não é necessário nenhuma correção.

Observamos que o rebaixamento total foi de 0,291m, que corresponde a 1,37% da espessura saturada (21,29m), não sendo, portanto, necessária nenhuma correção para a determinação dos parâmetros T, K e S.

4.4.7 Obtenção dos parâmetros hidrodinâmicos do poço PIII - JUVENTUDE

4.4.7.1 Método de Theis e correção de Dupuit-Jacob

Realização de um teste de aquífero para obtenção da curva de campo, anotando-se os valores dos rebaixamentos ao longo do tempo, podendo-se utilizar apenas um poço de observação.

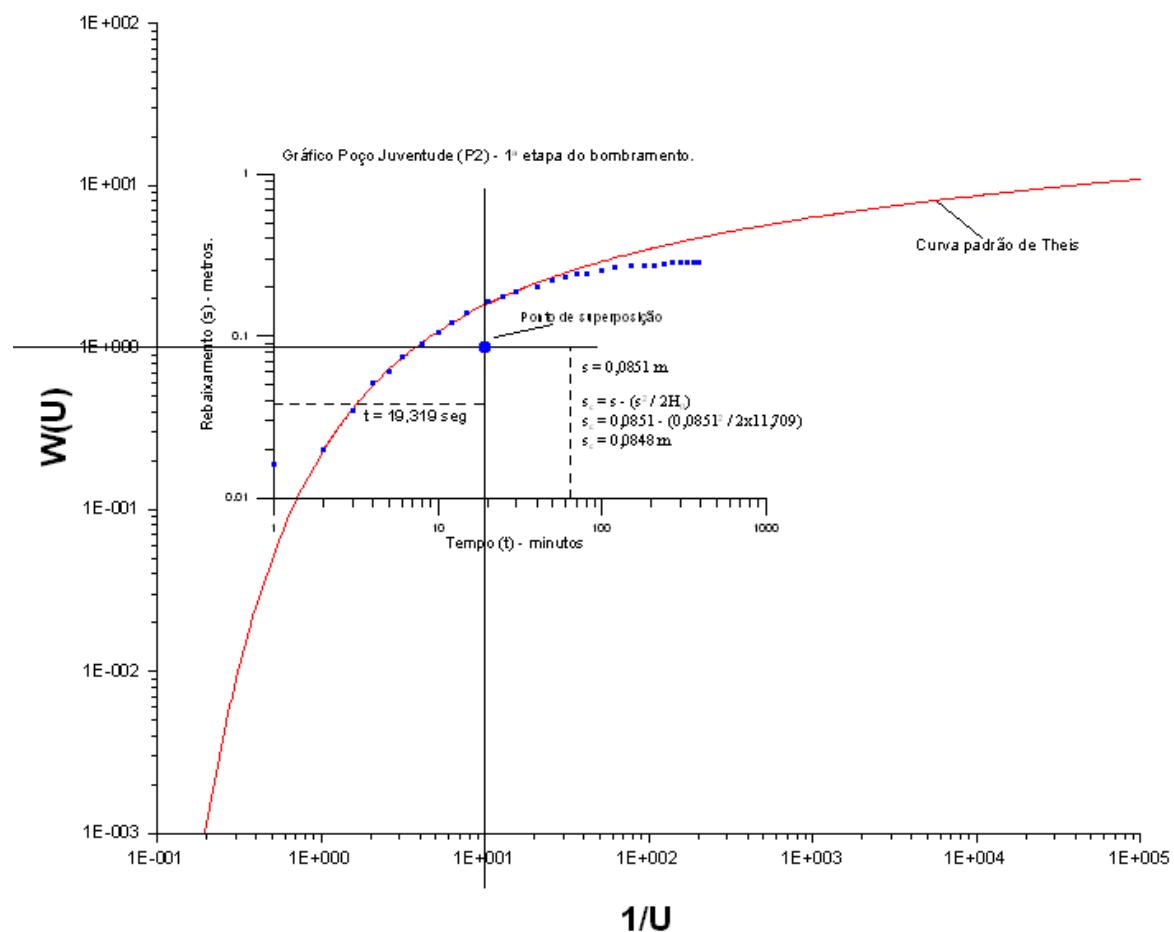


Figura 4.31 Gráfico da sobreposição da curva de campo sobre a curva padrão de Theis, para determinação dos parâmetros hidrodinâmicos T, K e S no poço Juventude.

Dados obtidos com a superposição da curva de campo na curva padrão, (v. fig 4.31):

$$Q = 6,85 \text{ m}^3/\text{h} = 0,0019 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$t = 19,319 \text{ s}$$

$$s = 0,08 \text{ 5m}$$

$$r_1 = 68,00 \text{m (distância PII-PIII)}$$

$$W(u) = 1$$

$$H_0 = 21,29 \text{ m}$$

$$1/u = 10 \rightarrow u = 0,1$$

$$T = (Q/4\pi s) \cdot W(u)$$

$$T = 0,0019 / (4 \times 3,1416 \times 0,085) \times 1$$

$$T = 0,00178 = 1,78 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$S = 4 \cdot T \cdot t \cdot u / r_1^2$$

$$S = 4 \times 0,00178 \times 19,319 \times 0,1 / 68^2$$

$$S = 0,00000297 = 2,97 \times 10^{-6} \text{ (adimensional)}$$

$$K = T / b$$

$$K = 0,0000836 = 8,36 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

4.4.8 Obtenção dos parâmetros hidrodinâmicos do poço PII

No Poço de Produção PII (Pininchos), a litologia descrita pelas amostras de calha demonstra que a camada argilosa, presente no poço PIII (Juventude), se encontra em uma conformação diferente: a água do aquífero em sua condição de normalidade sem bombeamento apresenta um nível estático igual a 7,355, e a camada de argila está posicionada dos 03 aos 06 metros. O nível é freático, diferentemente do poço PIII.

Foi realizado outro teste de bombeamento no poço PIII, observando a evolução do rebaixamento no poço PII. Em princípio, pode-se utilizar a metodologia de Theis ou a metodologia de Cooper-Jacob com a correção do rebaixamento de Dupuit-Jacob, já que, no outro teste realizado, a espessura total do aquífero em PII foi $H_o = 22,67$ metros e o rebaixamento foi de 0,27 m, sendo s_w muito menor que $0,25H_o$ (v. tabela 4.7).

Nesse caso, em que o aquífero se caracteriza como aquífero livre, outro método pode ser aplicado para a determinação dos parâmetros hidrodinâmicos, que é o método de Boulton-Pricket, que exige apenas um poço de observação, levando em consideração a recarga que ocorre pela superfície de sudação ou ressurgência. A drenagem gravitacional é responsável por uma considerável parte da recarga dos aquíferos livres durante os processos de bombeamento. Inicialmente, a condição de recarga por uma drenagem ocasionada pelas componentes verticais, pelo alívio da pressão hidrostática, deve ser avaliada em função das variáveis observadas no campo.

Utilizando experimentalmente a metodologia de Cooper-Jacob, poderemos comparar com os parâmetros hidrodinâmicos encontrados na metodologia de Theis.

O teste refere-se à segunda etapa, e teve uma duração total de 60 minutos, iniciando-se no dia 04 de julho de 2010, às 15h00min, utilizando-se o escoadouro de orifício circular para controle da vazão, com as seguintes características:

$$\varnothing_{\text{maior}} = 0,059 \text{ m}$$

$$\varnothing_{\text{menor}} = 0,049 \text{ m}$$

$$h_{\text{mang. piez.}} = 0,251 \text{ m}$$

$$Q = 7,9 \text{ m}^3/\text{h} = 0,0219 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$NE \text{ (m)} = 7,121 \text{ m}$$

$$ND \text{ (m)} = 7,917 \text{ m}$$

$$s_w = 0,040 \text{ metros}$$

$$r_{\text{pIII} \rightarrow \text{pII}} = 68 \text{ metros}$$

$$H_o = b = 22,67 \text{ m}$$

Tabela 4.7 Rebaixamento do nível da água no poço PII em função do bombeamento no poço PIII.

t (min)	ND (m)	s_w (m)
1	7,4185	0,0275
2	7,4465	0,0280
3	7,4751	0,0286
4	7,5043	0,0291
5	7,5339	0,0296
6	7,5642	0,0303
8	7,5955	0,0313
10	7,6274	0,0319
12	7,6598	0,0324
15	7,6931	0,0333
20	7,7278	0,0347
25	7,7633	0,0355
30	7,7998	0,0364
40	7,8380	0,0382
50	7,8771	0,0390
60	7,9171	0,0400

4.4.8.1 Método de Boulton-Pricket – Condições necessárias para a sua aplicação

I – Obtenção dos valores referentes aos parâmetros hidrodinâmicos do 1.º trecho da curva:

- 1) Realização de um teste de aquífero com, pelo menos, um poço de observação.
- 2) Elaboração do gráfico bilog da curva $s_w \times t$.

- 3) Utilização das curvas teóricas padrão de Pricket, em papel bilog, com a finalidade de definir o r/D através da superposição da curva de campo sobre a curva de melhor ajuste. Nessa primeira fase, o ajuste deverá ser feito, observando-se os primeiros pontos da curva de campo sobre a curva teórica, definindo o r/D .
- 4) Nas famílias das curvas teóricas elaboradas por Pricket, observam-se os valores de $1/u$ na parte superior do gráfico e os valores referentes a $W(u, r/D)$, do lado esquerdo.
- 5) Feita a superposição, determina-se um ponto qualquer, denominado de *ponto de superposição "A"* para definição do $W(u, r/D)$ e $1/u$ da curva teórica, ao mesmo tempo em que esse ponto "A" determina a distância " s_A " e o tempo " t_A " relativos na curva de campo.
- 6) Determinação da transmissividade no primeiro trecho (T) e do armazenamento no primeiro trecho (S), para o 1.º trecho da curva de campo sobre a família das curvas teóricas de Pricket, descritas na resolução desse caso.

II – Obtenção dos parâmetros hidrodinâmicos referentes ao 2.º trecho da curva:

- 1) Mantendo a mesma curva r/D , desloca-se a curva de campo, procurando obter o melhor ajuste entre os últimos instantes de bombeamento sobre a curva considerada para esse trecho como "B".
- 2) Nas famílias das curvas teóricas elaboradas por Pricket, observam-se os valores de $1/u'$ na parte inferior do gráfico e os valores referentes a $W(u', r/D)$ igualmente do lado esquerdo.
- 3) Feita a superposição, determina-se um ponto qualquer, denominado de *ponto de superposição "B"*, para definição de $W(u', r/D)$ e $1/u'$ da curva teórica, ao mesmo tempo em que esse ponto "B" determina a distância " s_B " e o tempo " t_B " relativos na curva de campo.
- 4) Determinação da transmissividade no segundo trecho (T') e do armazenamento no segundo trecho (S'), para o 2.º trecho da curva de campo sobre a família das curvas teóricas de Pricket, descritas na resolução desse caso.

III – Adequação do Método

Se a transmissividade do primeiro trecho for da mesma ordem de grandeza que a transmissividade do segundo trecho, considera-se que a metodologia foi adequada à situação, correspondendo às características do aquífero livre sob o efeito do bombeamento. Por outro lado, se os valores forem diferentes, pode-se considerar que houve falha na aplicação dos procedimentos ou que a metodologia elaborada por Boulton-Pricket não corresponde às características do aquífero, devendo-se aplicar outra metodologia. A segunda etapa de bombeamento do Poço Juventude PIII ocasionou um impacto no aquífero refletindo no Poço Pininchus de Mumbaba – PII uma variação do nível das águas causando um rebaixamento. A curva de campo desse poço de observação (v. fig 4.32), será utilizada sobreposta as curvas padrão de Boulton-Pricket, para determinação dos parâmetros hidrodinâmicos (v. fig. 4.33). Para corroborar o resultado obtido, foi realizado o mesmo procedimento, utilizando essa mesma curva de campo para o segundo trecho (v. fig 4.35).

4.4.8.2 Cálculo dos parâmetros do poço de observação PII pelo método de Boulton-Pricket

- Gráfico da curva de campo – PII observado e PIII bombeado – 2.^a etapa do teste de bombeamento

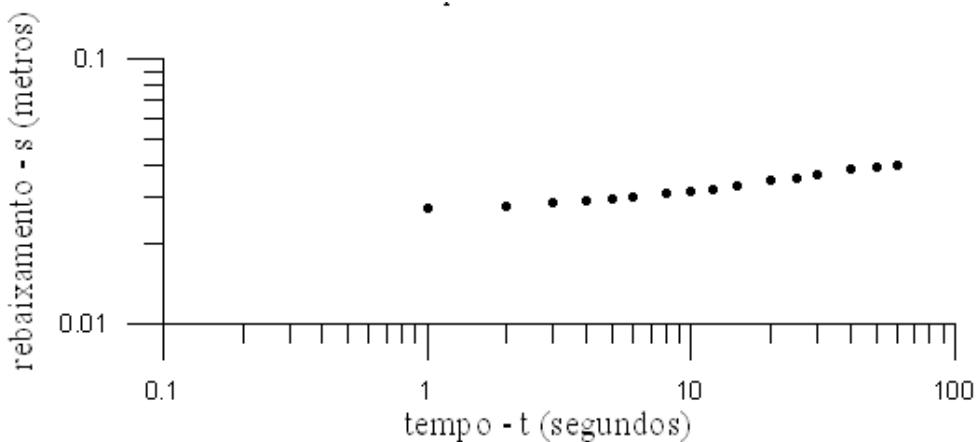


Figura 4.32 Gráfico da 2.^a etapa do tempo x rebaixamento do poço PII resultante do bombeamento do poço PIII – Juventude.

➤ Gráficos da curva de campo sobreposta à família de curvas padrão de Pricket – 1.º trecho

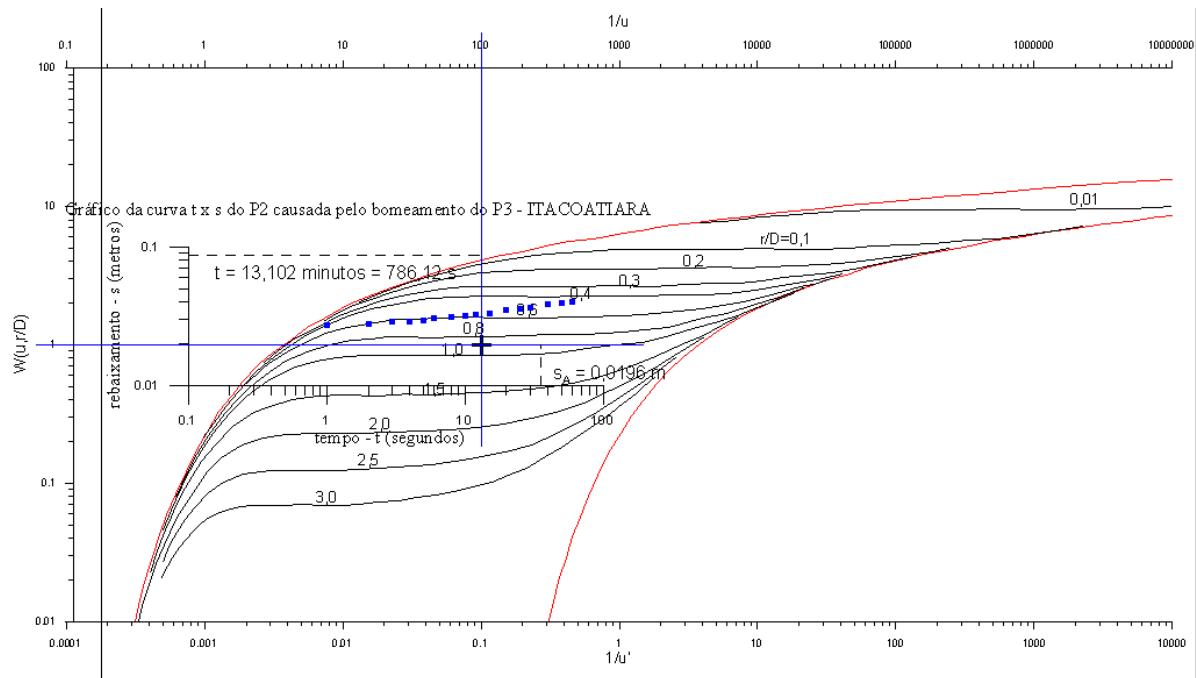


Figura 4.33 Superposição da curva no 1.º trecho e definição da relação r/D .

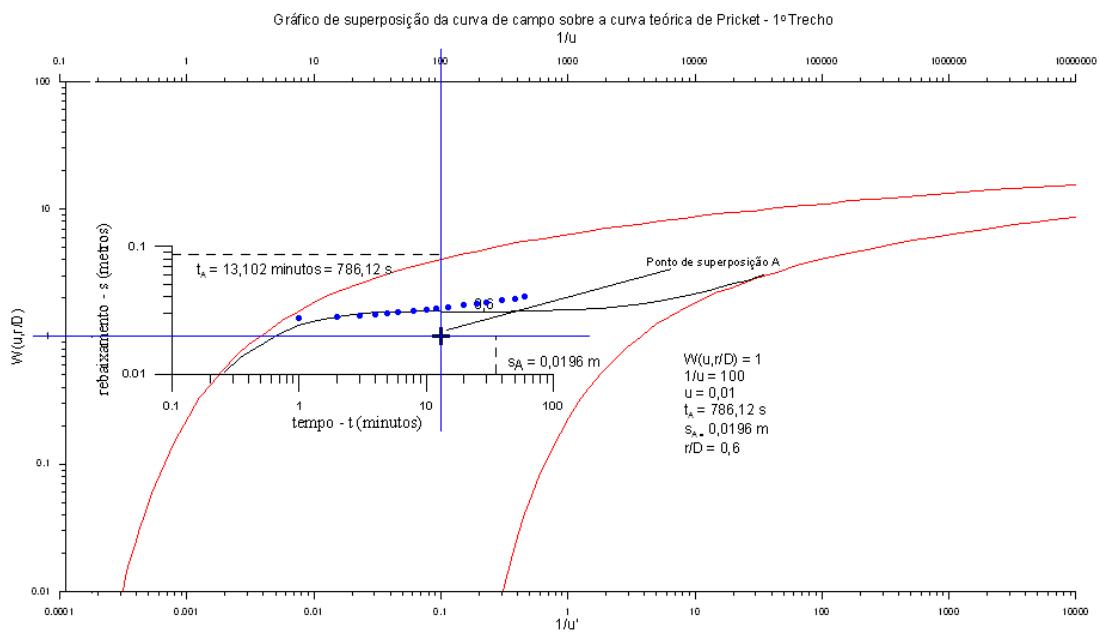


Figura 4.34 Mesmo gráfico da Fig. 4.32 sem as famílias de curvas de Pricket para melhor visualização do ponto de superposição.

Ponto de Superposição A:

$$W(u, r/D) = 1$$

$$1/u = 100 \rightarrow u = 0,01$$

$$s_A = 0,0196 \text{ m}$$

$$t_A = 786,12 \text{ s}$$

$$r/D = 0,6$$

$$r_{pIII} \rightarrow pII = 68 \text{ metros}$$

$$Q = 7,9 \text{ m}^3/\text{h} = 0,00219 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H_0 = b = 22,67 \text{ m}$$

➤ **Cálculo da Transmissividade (T_A) e do Coeficiente de Armazenamento (S_A) no 1.º trecho**

$$T_A = [Q \cdot W(u, r/D) / (4\pi s_A)] = [(0,00219 \times 1) / (4\pi \cdot 0,0196)]$$

$$\rightarrow T_A = 0,00889 = 8,89 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$S_A = 4T_A t_A u / r^2 = (4 \times 0,00889 \times 786,12 \times 0,01) / 68^2$$

$$\rightarrow S_A = 0,0000604 = 6,04 \times 10^{-5}$$

$$K = T/b$$

$$K = 0,00889 / 22,67 = 0,000392 = 3,92 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

- Gráfico da curva de campo sobreposta às curvas de Pricket, destacando a curva $(r/D) = 0,6 - 2.º$ trecho

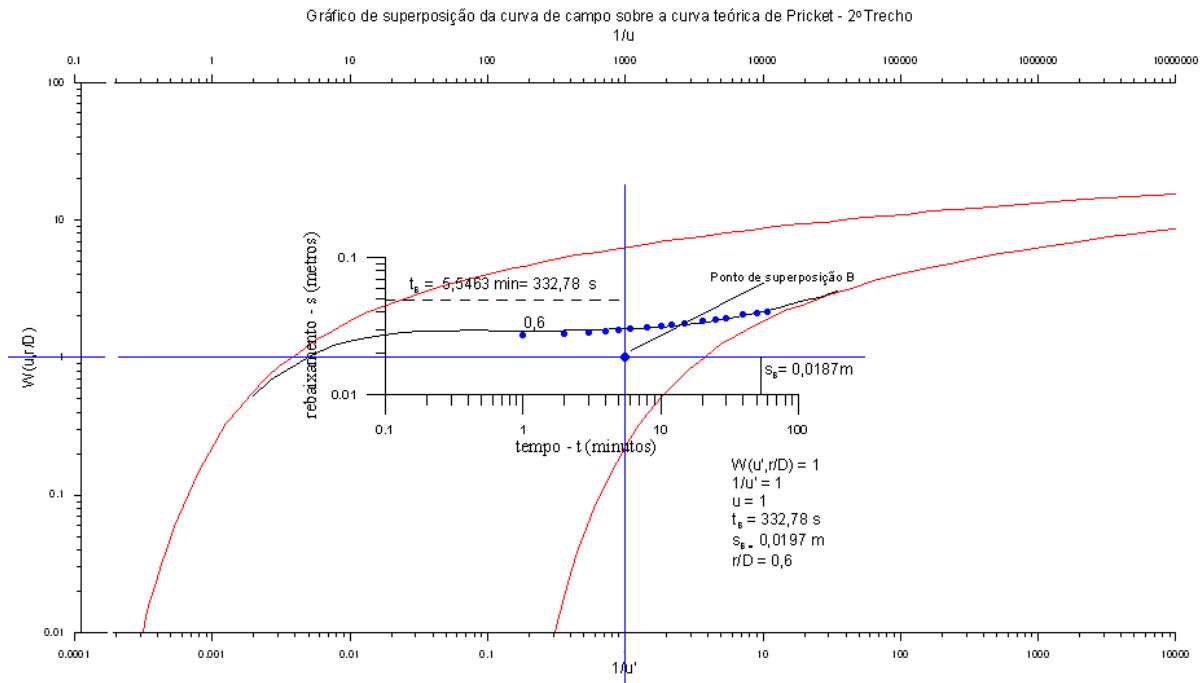


Figura 4.35 Gráfico da superposição da curva de campo na curva de Pricket $(r/D) = 0,6$.

$$W(u', r/D) = 1$$

$$1/u' = 1 \rightarrow u' = 1$$

$$s_B = 0,0187 \text{ m} \quad t_A = 332,78 \text{ s} \quad r/D = 0,6$$

$$r_{\text{PIII} \rightarrow \text{PII}} = 68 \text{ m}$$

$$Q = 7,9 \text{ m}^3/\text{h} = 0,00219 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H_0 = b = 22,67 \text{ m}$$

➤ **Cálculo da Transmissividade (T_B) e do Coeficiente de Armazenamento (S_{Befet}) no 3.º trecho**

$$T_B = [Q \cdot W(u, r/d) / (4\pi S_B)] = [(0,00219 \times 1) / (4\pi \cdot 0,0187)]$$

$$\rightarrow T_B = 0,00932 = 9,32 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$S_{Befet} = 4Tt_{Au} / r^2 = (4 \times 0,00932 \times 332,78 \times 1) / 68^2$$

$$\rightarrow S_{Befet} = 0,00268 = 2,68 \times 10^{-3}$$

$$K = T/b$$

$$K = 0,00889 / 22,67 = 0,000118 = 1,18 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

Comparando os valores obtidos de T_A e T_B , conclui-se que o método de Boulton-Pricket foi bem aplicado a este caso.

4.4.8.3 Análise dos parâmetros hidrodinâmicos dos poços PII e PIII

A tab. 4.8 sintetiza os parâmetros hidrodinâmicos encontrados na Água Mineral Itacoatiara nos poços PII e PIII pelos métodos de Theis, em uma condição não drenante, e pelo método de Boulton-Pricket, em uma condição freática.

Os parâmetros encontrados pelo método de Theis refletem a situação do aquífero em uma condição não drenante, observando a resposta do bombeamento do poço PII (Pininchos de Mumbaba) sobre o poço PIII (Juventude).

Os parâmetros encontrados pelo método de Boulton-Pricket refletem a situação do aquífero em uma condição freática (áquifero livre), observando a resposta do bombeamento do poço PIII (Juventude) sobre o poço PII (Pininchos de Mumbaba).

Em todos os casos, a transmissividade foi da mesma ordem de grandeza, confirmando os valores comparativamente, com um desvio pequeno da média aritmética encontrada.

O armazenamento manteve suas características de acordo com a condição da natureza do aquífero. A ordem de grandeza da similaridade entre o coeficiente de

armazenamento efetivo (S_{efet}) e a porosidade efetiva (η_e) nos aquíferos livres encontra-se entre valores de 100 a 1000, o que pode ser observado entre os parâmetros referentes ao armazenamento (S) encontrados.

Tabela 4.8 Comparação dos parâmetros hidrodinâmicos encontrados pelos métodos de Theis e de Boulton-Pricket – Itacoatiara.

Poço Bombeado	Poço Observado	Método	Condutividade Hidráulica (K), em m/s	Transmissividade Hidráulica (T), em m^2/s	Armazenamento (S)
PII	PIII	Theis	$8,36 \times 10^{-5}$	$1,78 \times 10^{-3}$	$2,97 \times 10^{-6}$
PIII 1.º trecho	PII 1.º trecho	Boulton-Pricket	$3,92 \times 10^{-4}$	$8,89 \times 10^{-3}$	$6,04 \times 10^{-5}$
PIII 3.º trecho	PII 3.º trecho	Boulton-Pricket	$1,18 \times 10^{-4}$	$9,32 \times 10^{-3}$	$2,68 \times 10^{-3}$ S_{efet}
Média	—	—	$1,98 \times 10^{-4}$	$6,65 \times 10^{-3}$	$2,74 \times 10^{-3}$

4.4.9 Fator de Drenagem e Índice de Retardo de Boulton

O fator de drenagem juntamente com o índice de retardo de Boulton determinam o tempo necessário para que o nível freático, pela sudação ou ressurgência, deixe de contribuir com a recarga do aquífero. Segundo Boulton, o fator de drenagem, D , é dado por

$$D = T \left[(1/\alpha) \times (1/S_{efet}) \right]^{1/2}$$

onde $1/\alpha$ é o índice de retardo de Boulton.

Conhecendo-se o fator de drenagem, que pode ser calculado a partir do valor da curva teórica que ajustou os dados, bem como a distância entre os poços de produção e observação, a transmissividade e o armazenamento efetivo, pode-se calcular o índice de retardo de Boulton.

Portanto, para $r = 68m$, tem-se:

$$D = (r/0,6) = 113,33 \text{ metros}$$

e

$$(1/\alpha) = (D^2 S_{efet} / T_B) = (113,33^2 \cdot 0,00268 / 0,00932) = 3693,25 \text{ segundos}$$

$$\rightarrow (1/\alpha) = 01h2min$$

4.4.10 Equação característica e Eficiência do poço PII – PININCHUS DE MUMBABA.

A construção de um poço tubular tem como objetivo a captação das águas subterrâneas. Quanto mais bem projetado, maior será a eficiência do poço. Os processos que envolvem a perfuração e o perfil construtivo contribuem, de maneira conclusiva, para um bom desempenho. O conhecimento dos princípios de hidráulica permitem uma melhor adequação da estrutura física na aplicação dos revestimentos, filtros e pré-filtros na relação das condições da geologia e estrutura do aquífero. (JOHNSON, 1966). Durante o processo de perfuração, o fluido que circula tem influência direta, podendo rebocar a parede do poço, aumentando a ineficiência na captação.

Na verificação do grau de eficiência de um poço tubular, as perdas de carga contadas são aquelas que percorrem o trajeto da água da formação saturada até o corpo do conjunto motobomba, responsável pela exploração da água contida no interior do poço para o meio externo. Rorabaugh (1953) definiu a equação característica do poço como:

$$s_t = B.Q + C.Q^n$$

onde

s_t = Rebaixamento total (no interior do poço)

B = Coeficiente de perdas de carga laminares totais (ocorre no aquífero)

C = Coeficiente de perdas de carga turbulentas axiais e na entrada dos filtros (ocorre a partir do pré-filtro até o interior do poço)

n = Exponente de Q (que pode variar entre 1 e 3,5)³

As perdas de carga no regime laminar são diretamente proporcionais à vazão, correspondendo ao termo $B.Q$ da equação característica, e ocorrem no aquífero, geralmente limitadas ao raio de circulação do poço, antes do pré-filtro.

³ Quando os pontos referentes ao gráfico formado pela vazão (Q) e pelo rebaixamento específico (s/Q) se alinham em uma reta, com algum grau de inclinação, n pode ser substituído por 2 (aproximação de Jacob); se não houver inclinação na reta alinhada pelos pontos, n pode ser substituído por 1; quando os pontos se alinham segundo uma curva, n varia entre 2 e 3,5, entretanto para efeito de cálculo pode-se considerar a aproximação de Jacob ($n=2$), essas variações não alteram de forma significativa o resultado final.

As perdas de carga no regime turbulento iniciam geralmente próximo à zona do pré-filtro, e são consideradas proporcionais ao quadrado da vazão, correspondendo ao termo $C \cdot Q^2$ da equação característica do poço. (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2000). São as perdas de carga que ocorrem a partir do pré-filtro até o conjunto motobomba. Exceções podem ocorrer quando, em poços de grandes bitolas, o diâmetro for capaz de absorver o volume de água, distribuindo a energia provocada pela entrada da água do aquífero para o interior do poço.

O *regime laminar* ou *turbulento* é definido pelo Número de Reynolds (Re), e varia de acordo com a velocidade do fluido (v), a uniformidade e o tamanho dos grãos do pré-filtro (D_{50}), a densidade (ρ) e a viscosidade do fluido (μ):

$$Re = (v \cdot \rho \cdot D_{50}) / \mu$$

À medida que a água é bombeada e se aproxima do poço, a velocidade aumenta, mantendo o mesmo volume. As perdas de cargas originadas durante o percurso dividem-se de acordo com o regime laminar ou turbulento. Quanto mais afastado do poço, maior a área de distribuição para um volume constante, resultado do bombeamento, prevalecendo o regime laminar ($Re < 30$). À medida que se aproxima do poço, esse volume tem de passar por uma área menor, causando um regime turbulento ($Re > 30$).

4.4.10.1 Determinação da equação característica do poço PII – PININCHUS DE MUMBABA.

A equação característica do poço tem por finalidade determinar a variação do rebaixamento para qualquer vazão dentro dos limites do tempo estimado, nessas condições pode-se qualificar limites para instalação do conjunto motobomba adequado, sua profundidade na câmara de bombeamento e as limitações de utilização do próprio poço.

Para a determinação da equação característica do poço é necessário realizar um teste de produção com no mínimo três vazões sucessivas e crescentes, sua evolução deve estar condicionada a uma razão progressiva. N

Nos testes realizados para o poço PII – Pininchus de Mumbaba, foi feito um teste de produção com quatro etapas sucessivas e observação da evolução dos

rebaixamentos no próprio poço bombeado, com a vazão constante controlada através do escoadouro de orifício circular, já explicado anteriormente nesse trabalho.

Foi realizado os ajustes dos rebaixamentos (fig 4.36) e anotados os valores referentes ao rebaixamento, vazão específica crescente, rebaixamento específico decrescente e a razão entre as vazões utilizadas para a elaboração do teste e conclusão da equação característica do poço PII - Pininchos de Mumbaba, ver tabela 4.9. Para as quatro etapas, podemos usar a aproximação de Jacob para a determinação da equação característica do poço (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2004, p. 609):

$$s_t = B.Q + C.Q^2$$

Donde se obtém o rebaixamento específico, s_t/Q , isto é:

$$(s_t/Q) = B + C.Q$$

que corresponde à equação de uma reta, onde C representa o coeficiente angular dado pela tangente do ângulo com a horizontal, conforme o gráfico da fig. 4.37.

O alinhamento dos pontos no gráfico da Fig. 4.43 representa uma reta, ficando a equação característica do poço representada pela equação:

$$s_w = B.Q + C.Q^2$$

$$\rightarrow s_w = 0,1821Q + 0,00013Q^2$$

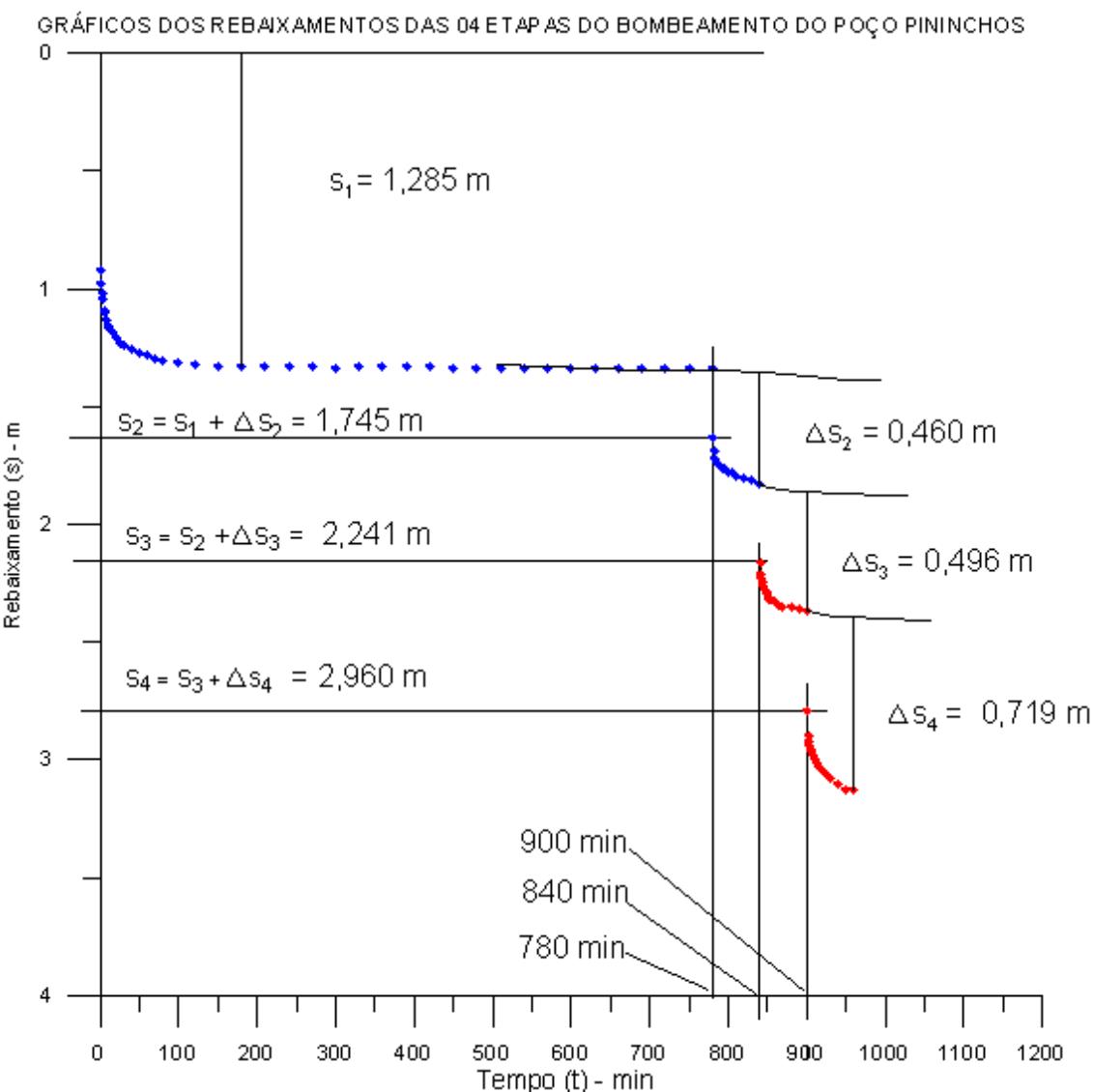


Figura 4.36 Gráficos dos rebaixamentos das 04 etapas do bombeamento poço PII.

Tabela 4.9 Vazão e rebaixamento específico do teste de produção com três etapas

POÇO PII - PININCHUS DE MUMBABA

Q (m^3/h)	$s_{(w)}$ (m)	$Q/s_{(w)}$ (m^3/h)/m	$s_{(w)}/Q$ m/(m^3/h)	Razão entre vazões
6,85	1,285	5,33	0,1876	—
9,10	1,721	5,30	0,1891	1,3285
11,50	2,206	5,21	0,1918	1,2637
15,10	2,930	5,15	0,1940	1,3130

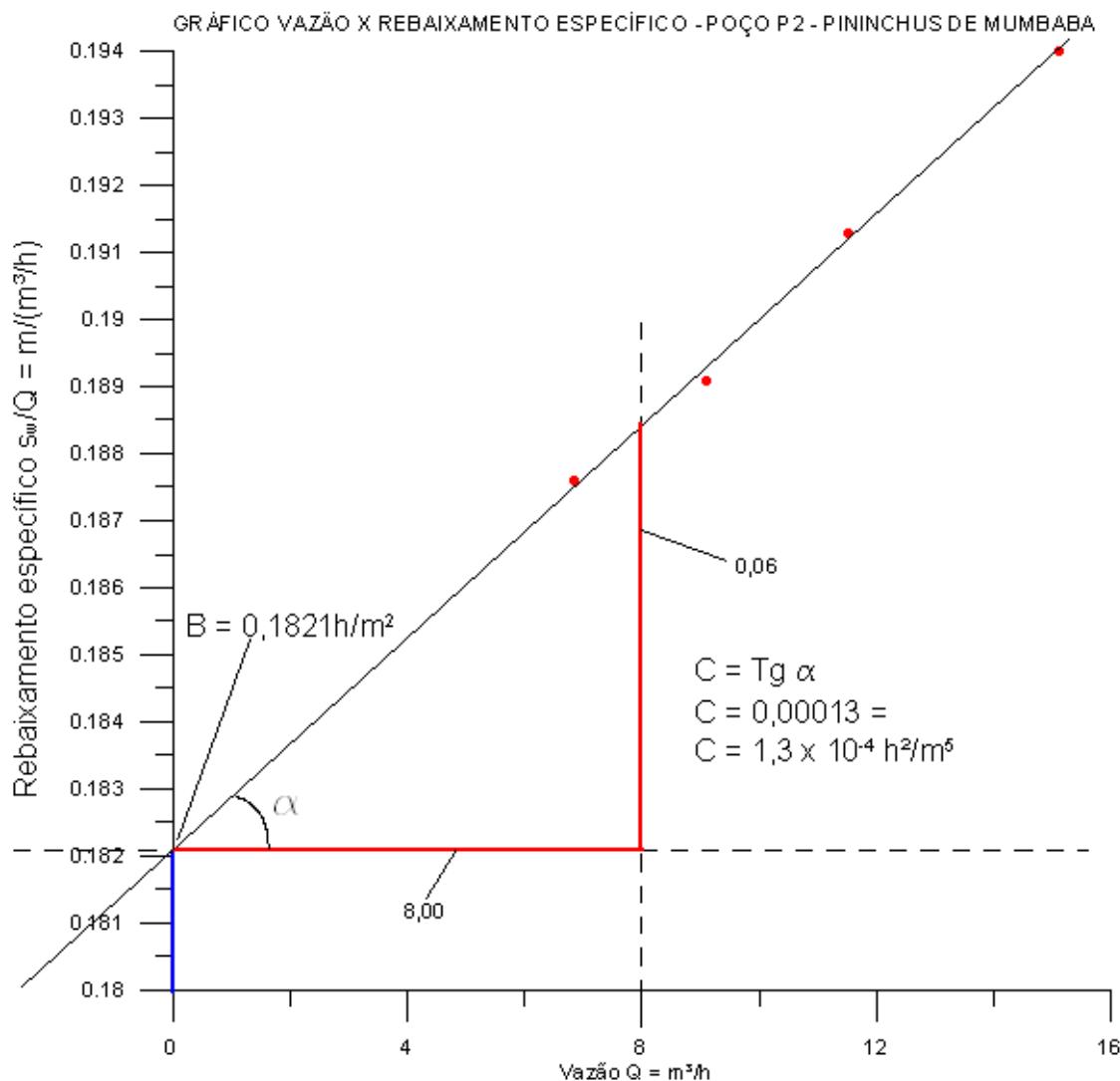


Figura 4.37 Gráfico do rebaixamento específico x vazão do poço PII – PININCHUS DE MUMBABA.

O alinhamento dos pontos no gráfico da Fig. 4.43 representa uma reta, ficando a equação característica do poço representada pela equação:

$$S_w = B \cdot Q + C \cdot Q^2$$

$$\rightarrow S_w = 0,1821Q + 0,00013Q^2$$

4.4.10.2 Eficiência do poço PII – PININCHUS DE MUMBABA.

A eficiência de um poço é a relação entre o rebaixamento teórico (externo) e o rebaixamento real (interior do poço). Quanto menor for essa relação maior a eficiência do poço, cujo resultado é a expressão do grau de eficiência do poço desde o projeto, execução dos processos durante a perfuração e o seu desenvolvimento. A fig. 4.38 mostra uma visualização da diferença entre os rebaixamentos que ocorrem em um poço ao ser bombeada e a diferença entre o rebaixamento real e o teórico.

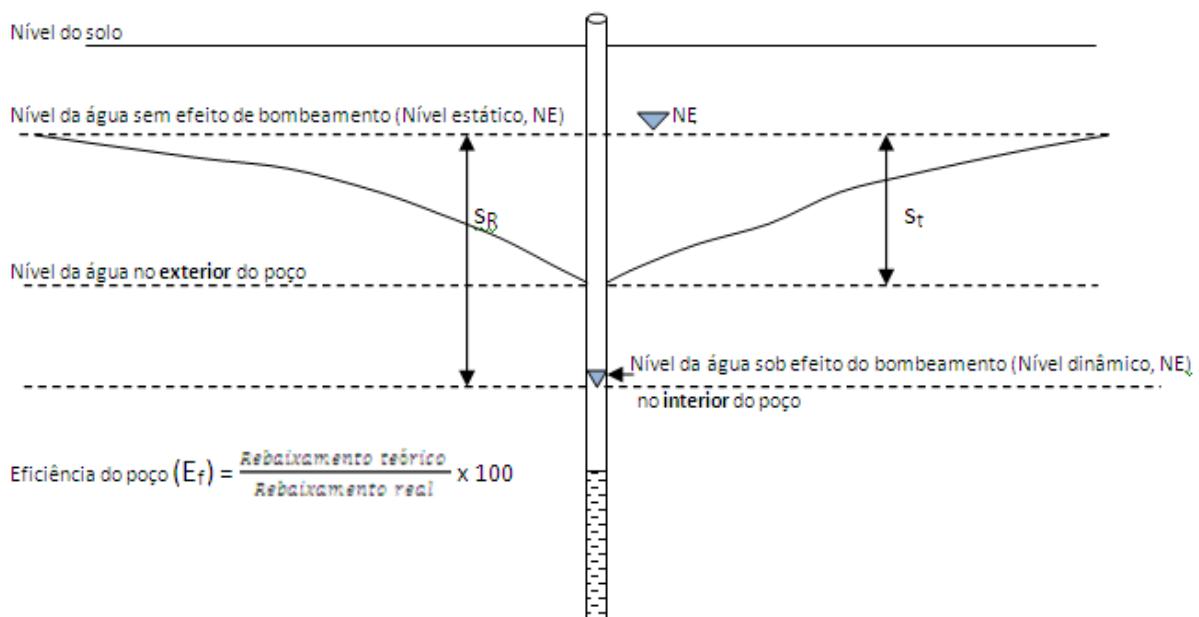


Figura 4.38 Relação dos níveis da água determinantes da eficiência do poço

Na avaliação da eficiência o rebaixamento real são aqueles medidos e observados através do rebaixamento da água no interior do poço. Os dados referentes ao rebaixamento teórico podem ser obtidos através da equação de JACOB.

$$S_w = (Q/4\pi T) \ln (2,25 T t / r^2)$$

S_w = Rebaixamento teórico da 1^a etapa do bombeamento

$Q = 6,85 \text{ m}^3/\text{h} = 0,00190 \text{ m}^3/\text{s}$ - Vazão do teste contínuo

T = Transmissividade = $2,38 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ – ver fig 4.39.

$t = 15 \text{ min}$ - tempo de bombeamento utilizado para comparação dos s_r e s_t

$r = 155,57 \text{ mm}$ - Raio do diâmetro de perfuração

$S_{r15 \text{ min}}$ = Rebaixamento real (no interior do poço) aos 15 minutos: 1,180 m

$S = 6,04 \times 10^{-5}$, obtido pelo bombeamento do poço Juventude e observação do poço Pininchus, pelo método de Boulton-Pricket.

$$s_w = (Q/4\pi T) \ln (2,25 T t / r^2)$$

$$s_w = (0,00190/4 \times 3,1416 \times 0,00238) \ln (2,25 \times 0,00238 \times 900) / 0,15557^2 \times 0,0000604$$

$$s_w = 0,06353 \times \ln 4,82 / 0,000001462 \rightarrow s_w = 0,9535 \text{ m}$$

Eficiência do poço = Rebaixamento teórico / Rebaixamento real

$$Ef = (0,9535 / 1,180) \times 100 \rightarrow Ef = 80,80\%$$

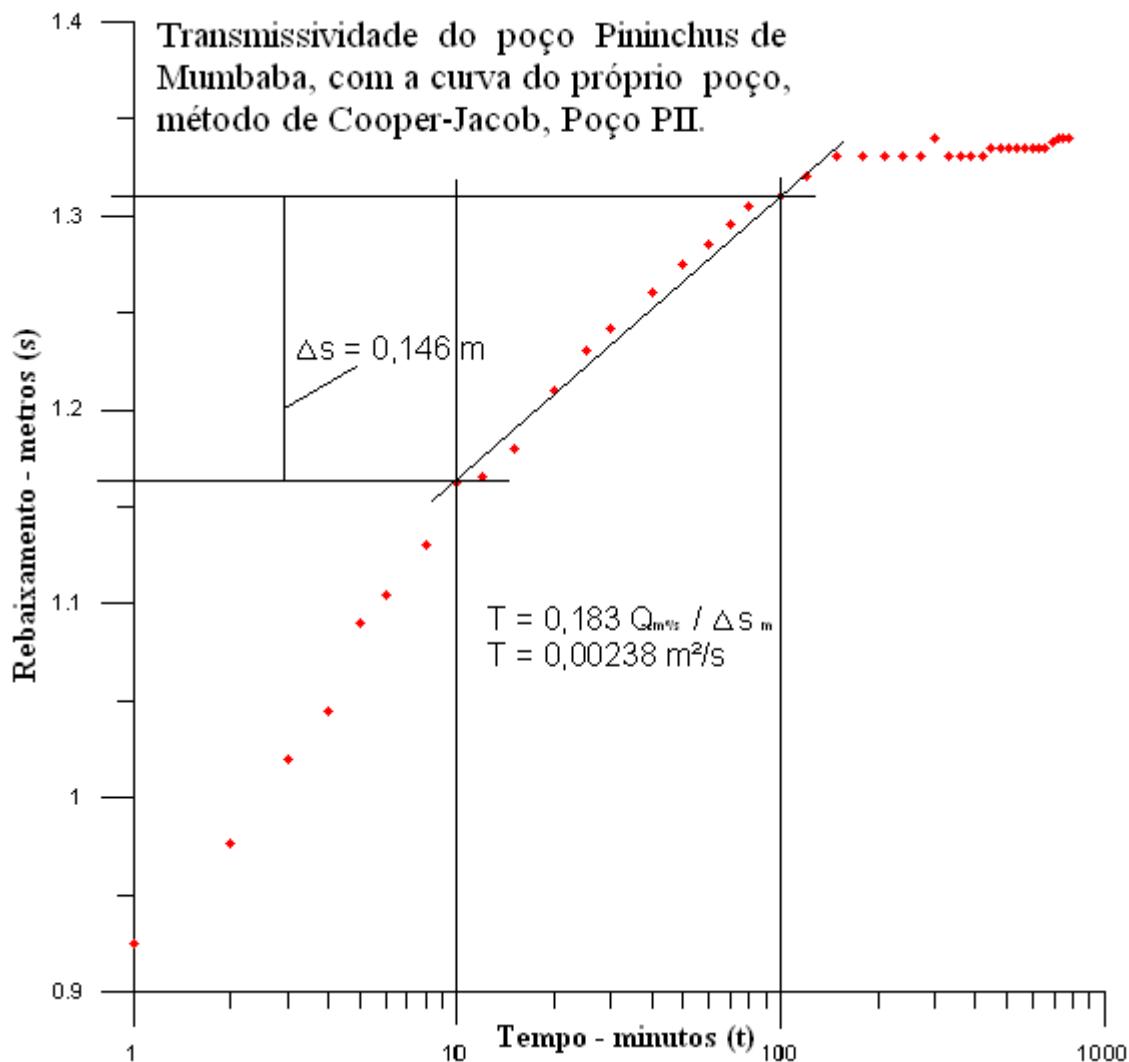


Figura 4.39 Transmissividade do poço PII – Pininchus de Mumbaba, método de Cooper-Jacob, com a curva do próprio poço bombeado.

4.4.11 Equação característica e Eficiência do poço PIII – JUVENTUDE:

A metodologia já discutida será da mesma forma aplicada ao poço juventude com o objetivo de determinar a equação característica do poço juventude e sua eficiência. Para tanto será determinado de forma objetiva os dados necessários para a sua conclusão, sendo necessário utilizar as quatro vazões progressivas (v. tab. 4.10). e os respectivos rebaixamentos ocasionados no próprio poço bombeado (v. fig.4.40).

Tabela 4.10 Evolução do rebaixamento das quatro etapas do Poço PIII – JUVENTUDE

Dados do poço bombeado – teste de produção

Poço observado: Juventude Água Mineral Itacoatiara Município: João Pessoa - PB
Poço bombeado: Juventude NE = 11,532 (m) Data de inicio: 04/07/2010
Tb = 240 min ND= 18.282m Data de término: 04/07/2010
Hora inicio: 14h00min

Etapa 01		Etapa 02		Etapa 03		Etapa 04	
Q= 6,19m ³ /h		Q= 7,90m ³ /h		Q= 10,01m ³ /h		Q= 13,10m ³ /h	
t (min)	s _w (m)	t (min)	s _w (m)	t (min)	s _w (m)	t (min)	s _w (m)
1	2.590	1	3.700	1	4.800	1	6.240
2	2.690	2	3.805	2	4.935	2	6.434
3	2.730	3	3.833	3	4.950	3	6.477
4	2.765	4	3.842	4	4.955	4	6.514
5	2.800	5	3.842	5	4.966	5	6.542
6	2.830	6	3.848	6	*4.760	6	6.556
8	2.860	8	3.852	8	4.998	8	6.584
10	2.887	10	3.870	10	5.010	10	6.597
12	2.910	12	3.880	12	5.022	12	6.619
15	2.935	15	3.900	15	5.028	15	6.633
20	2.980	20	3.925	20	5.050	20	6.655
25	3.005	25	3.940	25	5.063	25	6.655
30	3.025	30	3.955	30	5.074	30	6.685
40	3.035	40	3.985	40	5.091	40	6.687
50	3.070	50	3.986	50	5.104	50	6.725
60	3.095	60	3.988	60	5.118	60	6.750

4.4.11.1 Determinação da equação característica do poço PIII – JUVVENTUDE

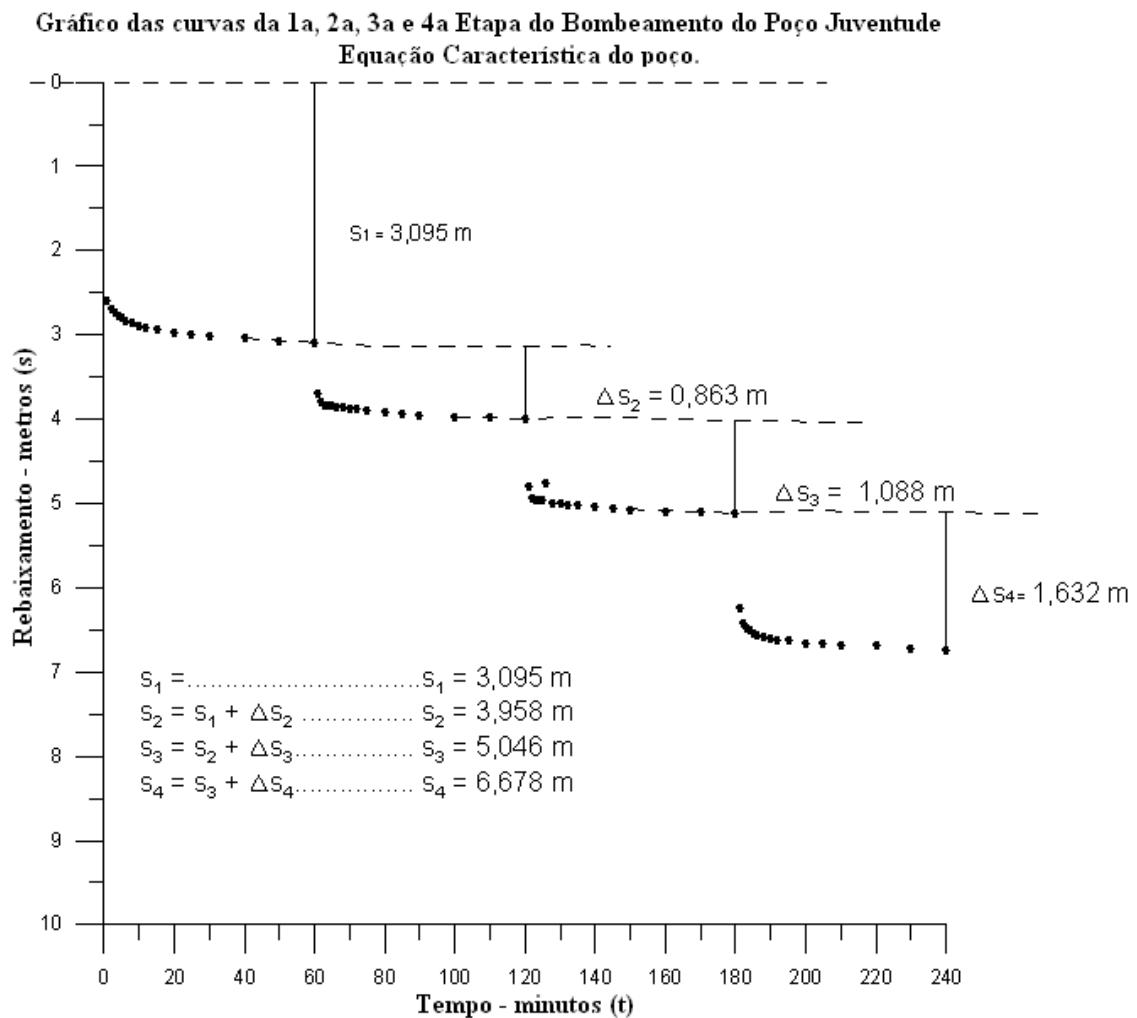


Figura 4.40 Gráficos dos rebaixamentos das 04 etapas do bombeamento poço PIII.

Tabela 4. 11 Vazão e rebaixamento específico do teste de produção com três etapas do poço PIII – JUVVENTUDE.

Q (m³/h)	s_(w) (m)	Q/s_(w) (m³/h)/m	s_(w)/Q m/(m³/h)	Razão entre vazões
6,19	3,095	2,000	0,5000	-
7,90	3,958	1,9959	0,5010	1,2762
10,01	5,046	1,9837	0,5041	1,2671
13,1	6,678	1,9616	0,5098	1,3087

As vazões foram ajustadas, obtendo valores para a vazão específica crescente (Q/s_w) e o rebaixamento específico decrescente (s_w/Q), (v. tab. 4.11), exigência para a continuidade do teste. No gráfico da figura 4.41, foram obtidos os valores de B e C.

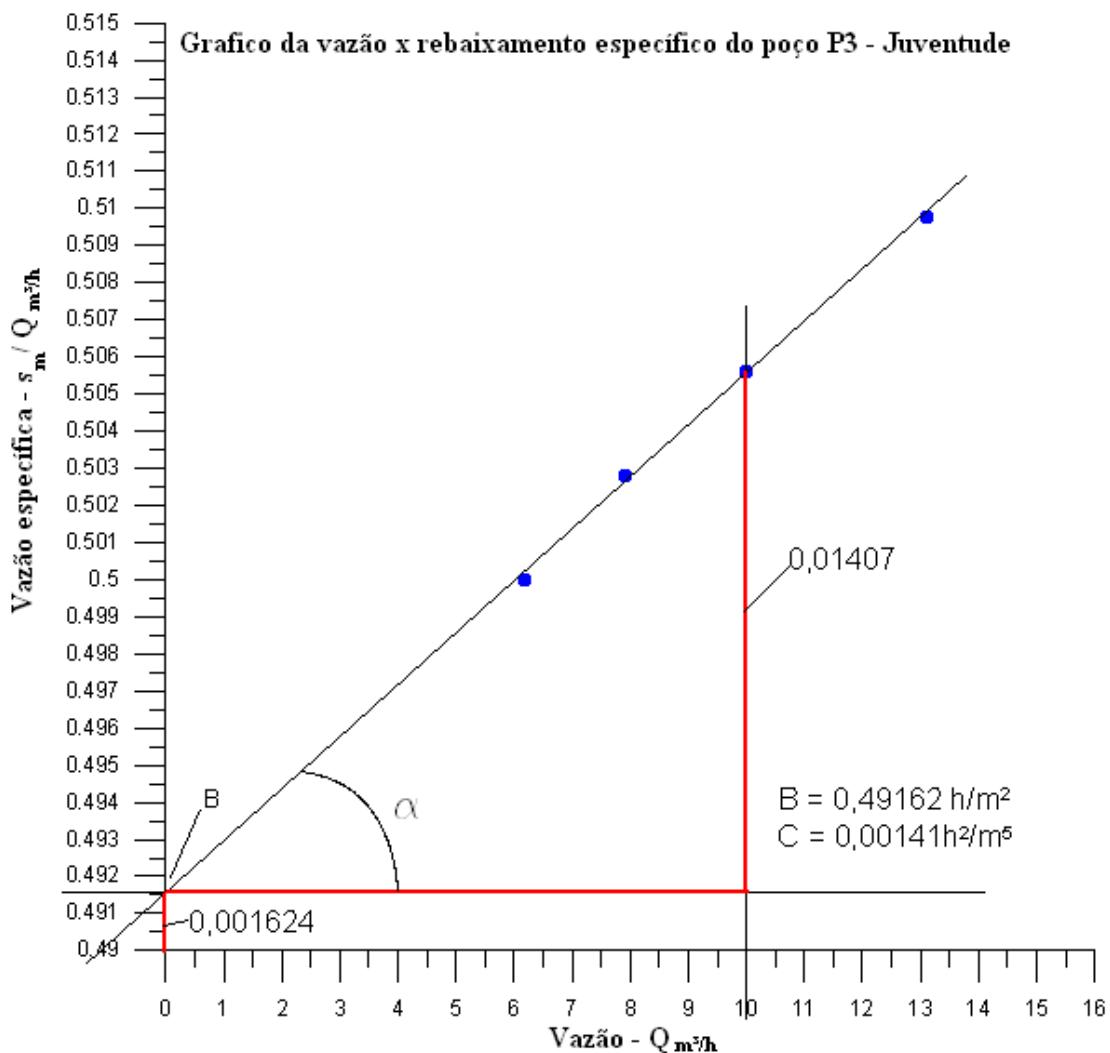


Figura 4.41 Gráfico da vazão x rebaixamento específico com os valores B e C da equação característica do poço PIII – JUVENTUDE.

O alinhamento dos pontos no gráfico da Fig. 4.43 representa uma reta, ficando a equação característica do poço representada pela equação:

$$s_w = B.Q + C.Q^2$$

$$\rightarrow s_w = 0,255Q + 0,00144Q^2$$

4.4.11.2 Eficiência do poço PIII JUVENTUDE.

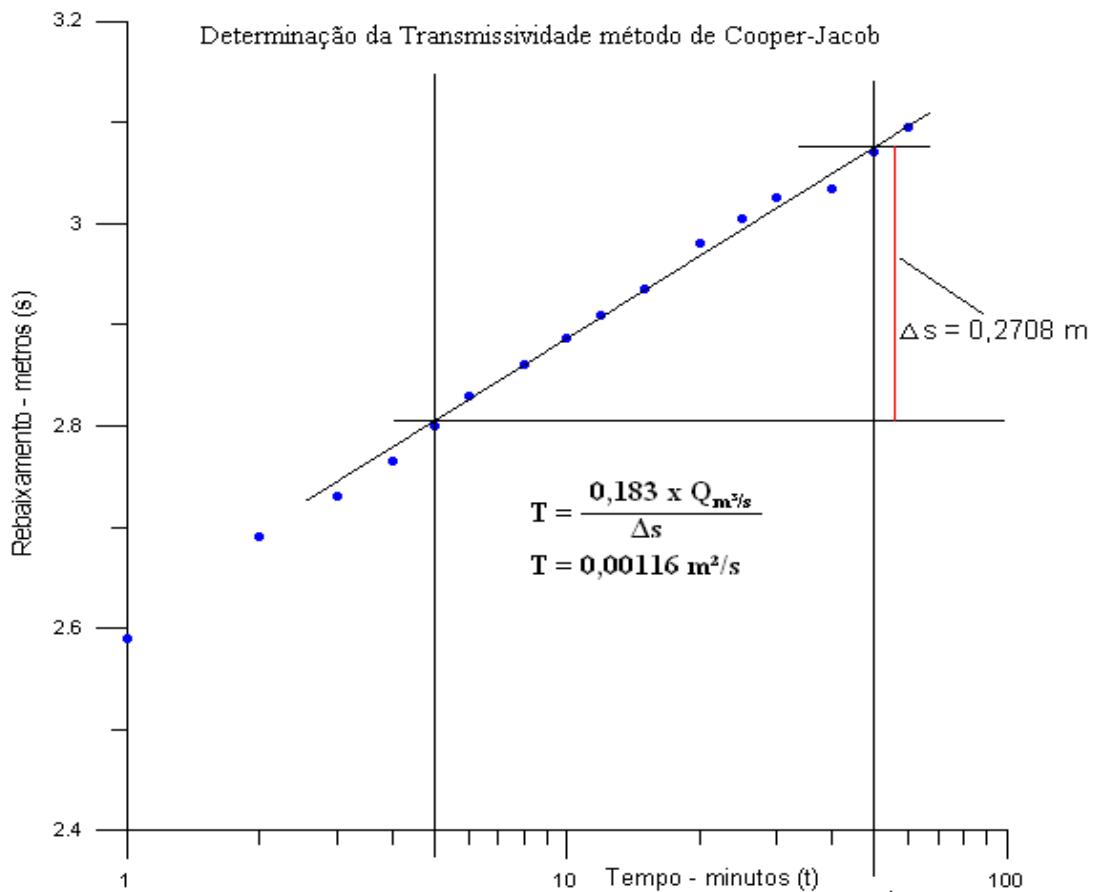


Figura 4.42 Gráfico de $s \times t$ 1^a etapa poço PIII – JUVENTUDE, determinação da Transmissividade método de Cooper-Jacob.

s_w = Rebaixamento teórico da 1^a etapa do bombeamento

$$s_w = (Q / 4\pi T) \ln (2,25 T t / r^2)$$

$$s_w = (0,00172 / 4 \times 3,1416 \times 0,00116) \ln (2,25 \times 0,00116 \times 1200) / 0,1556^2 \times 2,97 \times 10^{-6}$$

$$s_w = 2,07 \text{ m}$$

$Q = 6,19 \text{ m}^3/\text{h} = 0,00172 \text{ m}^3/\text{s}$ - Vazão do teste contínuo

T = Transmissividade = $1,16 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ – ver fig. 4.42.

$t = 20 \text{ min}$ - tempo de bombeamento utilizado para comparação dos s_r e s_t

$r = 155,6 \text{ mm}$ - Raio do diâmetro de perfuração

$s_{r20 \text{ min}}$ = Rebaixamento real (no interior do poço) aos 20 minutos: 2,98 m

$S = 2,74 \times 10^{-3}$ Eficiência do poço = Rebaixamento teórico / Rebaixamento real

$$\rightarrow Ef = \frac{2,07}{2,98} \times 100 \rightarrow Ef = 69,46\%$$

4.5 Ponta do Seixas–Perfuração de Poço, Espessura do Calcário e Transmissividade.

A construção de condomínios residenciais horizontais na zona urbana do município de João Pessoa vem apresentando um crescimento acelerado. Nos bairros do Altiplano e Portal do Sol, por exemplo, foram perfurados vários poços com funcionamento constante de 24 horas por dia para suprir as necessidades do consumo desses empreendimentos imobiliários. Normalmente, contam com um número elevado de moradores, com 150 a 400 moradias unifamiliares. O consumo residencial desse tipo de imóvel tem consumo de água bem mais elevado do que os moradores de imóveis do tipo vertical.

O condomínio Cabo Branco Privê, situado no Bairro do Portal do Sol, na Av. Des. Hilton Souto Maior, 6701 (v. fig. 4.43) possui três poços, perfurados por três empresas distintas, a saber: POÇO 01, em 1998, pela CDRM; POÇO 02, em 2007, pela HIDRA, e POÇO 03, em 2012, pela CONSTRUPOÇOS (v. fig 4.49).

O POÇO 01 (v. fig. 4.46) e o POÇO 02 (v. fig 4.47), pela disposição dos filtros, tinham o objetivo de captar água dos aquíferos Barreiras e Itamaracá. Pelo perfil construtivo e litológico, pode-se verificar que essas duas primeiras empresas não atingiram plenamente o Aquífero Itamaracá, pois os arenitos dessa formação começam aos 160 metros de profundidade.

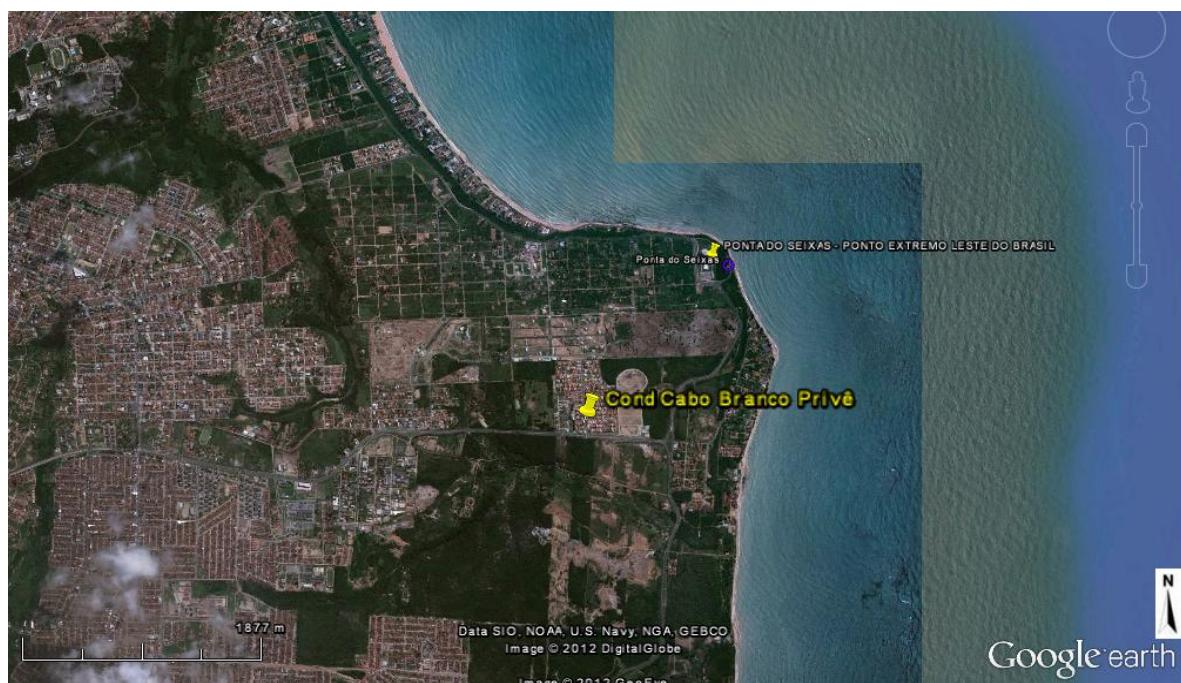


Figura 4.43 Localização dos poços do Cabo Branco Residence Privê. (Fonte: Google Earth).

Com a perfuração do terceiro poço, cuja profundidade total alcançou 200 metros, pôde-se observar, através das amostras de calha, a partir dos 160 metros, a presença dos arenitos calcíferos da Formação Itamaracá.

A perfuração do terceiro poço forneceu dados pontuais sobre as espessuras das Formações Barreiras, Gramame e o topo da camada da formação Itamaracá, prolongando-se até os 200 metros. Essas informações coincidem com o relatório da CDRM, empresa de caráter público responsável pela perfuração do POÇO 01, e com o relatório técnico da empresa que perfurou o terceiro poço, a CONSTRUPOÇOS (v. fig 4.48). Esta, além de seus profissionais técnicos, contou com a fiscalização de um profissional externo, o geólogo Ricardo Santiago Brandão, contratado pelo Cabo Branco Residence Privê para reforçar a necessidade de aprofundar a perfuração do poço aos 200 metros.

Inicialmente, os dois primeiros poços com 160 metros de profundidade estavam bombeando vazões em torno de 23 m³/h. Essa vazão estava sendo monitorada por um dos moradores, o engenheiro civil Fernando Burity, através de um medidor Woltmann (medidor de vazão).

O POÇO 01, construído pela CDRM, deixou de operar em função de um acidente que causou o rompimento do filtro, passando a produzir cascalho e areia. O POÇO 02, construído pela empresa HIDRA (extinta), continuou dando suporte ao empreendimento residencial, mantendo a vazão acima especificada, porém insuficiente para suprir as necessidades totais de água do empreendimento imobiliário.

Esse Condomínio tem um total de 430 lotes, com 318 residências unifamiliares. Considerada como classe média alta, utilizando jardins, piscina, além de outros acessórios que contribuem para o aumento do consumo hídrico.

Após a perfuração e construção do terceiro poço, puderam-se observar efeitos causados sobre o POÇO 01 (CDRM) pelo bombeamento do POÇO 03 e a evolução do seu rebaixamento. O POÇO 01 serviu de poço de observação durante o teste de produção do POÇO 03, cuja retirada de água estava sendo exclusivamente no aquífero Itamaracá.

Os testes de vazão do POÇO 03 e de observação do POÇO 01 obedeceram aos mesmos critérios observados nos testes anteriores deste trabalho, sendo utilizado o escoadouro de orifício circular para medição e controle da vazão, e o tubo de inspeção

para descida do medidor de nível elétrico para observação da evolução dos níveis de água.

4.5.1 Análise dos dados coletados na observação do POÇO 01 e do POÇO 02

O relatório construtivo do POÇO 01 (v. fig. 4.46), mostra que os filtros foram aplicados em duas fases: a primeira captando água do Aquífero Barreiras, iniciando aos 37,0 metros e finalizando aos 55,00 metros (18,00 metros), e a segunda sequência de filtros inicia-se aos 147,00 m, finalizando aos 149,00 m (12,00 metros).

O relatório do POÇO 02 (v. fig. 4.47), mostra que foi aplicada uma sequência alternando entre tubos e filtros desde o Aquífero Barreiras até o final do poço (160 metros). A compreensão está duvidosa, devido a contradições do relatório na descrição e no desenho esquemático do poço. Entretanto, a constatação de filtros nas camadas do Aquífero Barreiras foi feita por consulta à empresa perfuradora.

A captação desses dois poços provavelmente é do Aquífero Barreiras, já que as camadas abaixo estão restritas à Formação Gramame, cujas características aquíferas são comprovadamente baixas, e a perfuração encerrou-se ao iniciar o Aquífero Itamaracá, não oferecendo condições de exploração da camada aquífera. Esse fato pode ser comprovado ao observar os efeitos do bombeamento do POÇO 02, cujo nível dinâmico é em torno dos 42 metros, efeito esse também observado no POÇO 01.

Após a construção do POÇO 03 (v. fig. 4.48), pôde-se constatar que o seu nível estático é de 42,645m. No primeiro minuto de bombeamento do seu teste de produção, o nível dinâmico rebaixa aos 53,321 m, na sequencia evolutiva aos sessenta minutos, o nível dinâmico alcança a profundidade de 68,135m, que corresponde a um rebaixamento de 25,490 metros, equivalente a 92,6% do seu rebaixamento total de 1440 minutos, fugindo completamente das características de bombeamento do POÇO 02 e do poço de observação POÇO 01, demonstrando que a captação do POÇO 03 estava sendo realizada de um aquífero distinto dos outros dois POÇOS 01 e 02.

O nível estático dos POÇOS 01 e 02 foi registrado inicialmente aos 28,85m e 30,00m, respectivamente, correspondente ao nível do Aquífero Barreiras naquela área. O nível da água no POÇO 01, no início do bombeamento do POÇO 03, estava registrando 40,072m, um provável reflexo do funcionamento do POÇO 02, que estava funcionando há vários dias sem interrupção, antes e durante o teste de produção do POÇO 01. Pelo perfil construtivo e litológico do POÇO 02, e pelo comportamento

mediante o bombeamento do POÇO 03, a captação de água ocorre provavelmente no Aquífero Barreiras.

Durante o teste de vazão do POÇO 03, o POÇO 01, situado a 23 metros de distância, está parado sem bomba, o POÇO 02, situado a 106 metros de distância do POÇO 03, estava bombeando ininterruptamente há vários dias, desde que fora iniciado o processo de perfuração do POÇO 03, não apresentando rebaixamento significativo após 24 horas do teste de vazão do POÇO 03. A observação da espessura da camada calcária e a ausência de canais de dissolução, aliada à vazão de bombeamento dos poços e suas características litológicas e construtivas, são informações que podem facilitar os projetos de futuros poços nessa área.

O rebaixamento do POÇO 01 (v. tab. 4.13), evolui inicialmente, respondendo ao rebaixamento causado pelo bombeamento do POÇO 03. A partir do quinto minuto, ocorre uma recuperação do nível de água, com picos variando como se houvesse interferência de outros poços em funcionamento, alternando efeitos de recarga, que podem ser percebidos na visualização do gráfico da fig. 4.45.

A exposição dos filtros causa um efeito de gotejamento no interior do poço com uma vazão variável, escorrendo no interior dos revestimentos, podendo ser uma das causas da variação nos níveis do POÇO 01.

O brusco rebaixamento no POÇO 01, ao iniciar o bombeamento no POÇO 03, indica comunicação entre os dois aquíferos Barreiras e Itamaracá, apesar da espessura em torno de 100 metros da Formação Gramame, proveniente talvez do fato de a perfuração ter alcançado os 160 metros, comunicando, assim, as duas porções aquíferas.

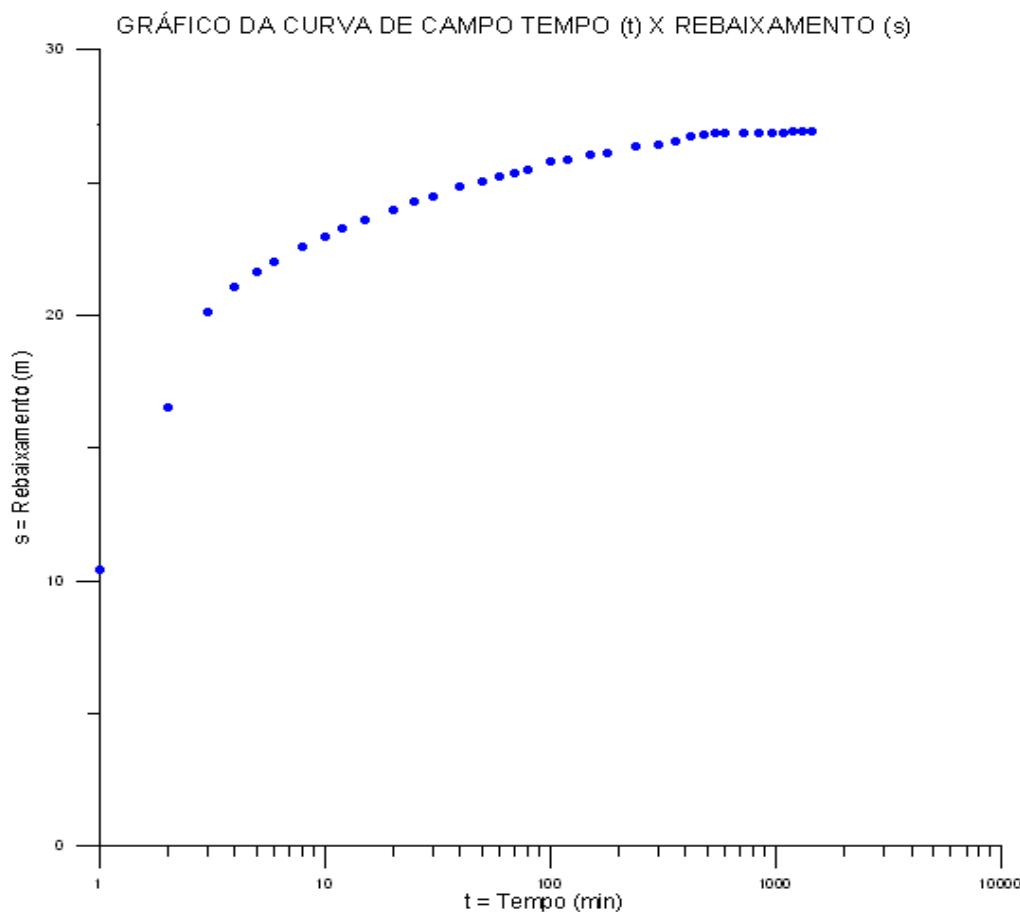


Figura 4.44 Gráfico da evolução do rebaixamento da curva de campo bi-log do poço P3 do Cabo Branco Residence Privê.

A espessura calcária (Formação Gramame) provavelmente exerceu a função de camada impermeável, diminuindo uma influência significativa entre os dois aquíferos. A presença de fraturas no calcário é inconclusiva para o teste elaborado; entretanto, durante os trabalhos de perfuração, não ocorreu nenhuma perda do fluido, o que identificaria a presença de prováveis fraturas e/ou canais de dissolução.

O teste de vazão do POÇO 03, com 24 horas de bombeamento, não pôde ser utilizado para determinar valores hidrodinâmicos para o armazenamento (S), mas será utilizado para o cálculo da transmissividade pelo método de Cooper-Jacob com a curva do próprio poço bombeado, (v. fig 4.44 e fig. 4.50). O armazenamento (S), poderia ser calculado com os dados do poço de observação (P1), que ficou comprometido devido à irregularidade observada no comportamento dos níveis hidrodinâmicos, (v. fig. 4.45), o equipamento utilizado foi o escoadouro de orifício circular. Na Tabela 4.12 são mostrados os dados do teste referente a evolução do rebaixamento do poço P3, durante o bombeamento de 24 horas .

Tabela 4.12 Evolução do rebaixamento POÇO 03 durante o teste de bombeamento (CBRP).

TESTE DE PRODUÇÃO - ETAPA ÚNICA 1200 MIN DE BOMBEAMENTO CABO BRANCO RESIDENCE PRIVÊ				
POÇO DE VAZÃO POÇO 03		CONJUNTO MOTOBOMBA	ESCOADOURO DE ORIF. CIRCULAR	PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS
LAT.:		MODELO: BHS 511-13	$\phi_{INT\ DO\ ESC.}$ 0,059 m	$NE\ (m) = 42,645$
LONG.:		FAB: EBARA	$\phi_{OR\ MENOR}$ 0,0447m	$T = 3 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
INÍCIO: 17.01.2012		VAZÃO MÁX.: 21m ³ /h	$h = 1,155\text{M}$	$K =$
FINAL: 18.01.2012			$Q = 20,133 \text{ m}^3/\text{h}$	$S =$
HORA	REBAIXAMENTO			
	T (min)	ND (m)	s _w (m)	Q/s _w
09h31	1	53,321	10,676	1,886
09h32	2	59,425	16,780	1,200
09h33	3	62,999	20,354	0,989
09h34	4	63,943	21,298	0,945
09h35	5	64,525	21,880	0,920
09h36	6	64,906	22,261	0,904
09h38	8	65,449	22,804	0,883
09h40	10	65,846	23,201	0,868
09h42	12	66,145	23,500	0,857
09h45	15	66,452	23,807	0,846
09h50	20	66,852	24,207	0,832
09h55	25	67,134	24,489	0,822
10h00	30	67,369	24,724	0,814
10h10	40	67,705	25,060	0,803
10h20	50	67,945	25,300	0,796
10h30	60	68,135	25,490	0,790
10h40	70	68,204	25,559	0,788
10h50	80	68,373	25,728	0,783
11h10	100	68,655	26,010	0,774
11h30	120	68,764	26,119	0,771
12h00	150	68,925	26,280	0,766
12h30	180	68,980	26,335	0,764
13h30	240	69,255	26,610	0,757
14h30	300	69,305	26,660	0,755
15h30	360	69,455	26,810	0,751
16h30	*420	*69,435	#VALOR!	#VALOR!
17h30	480	69,712	27,067	0,744
18h30	540	69,715	27,070	0,744
19h30	600	69,716	27,071	0,744
21h30	720	69,727	27,082	0,743
23h30	840	69,745	27,100	0,743
01h30	960	69,754	27,109	0,743
03h30	1080	69,727	27,082	0,743
05h30	1200	69,873	27,228	0,739
07h30	1320	70,065	27,420	0,742
09h30	1440	70,175	27,530	0,745

• Valor anômalo, não utilizado

Tabela 4.13 Evolução do rebaixamento do POÇO 01 durante o teste de bombeamento (CBRP – v. gráfico da fig. 4.45).

REBAIXAMENTO												
Tempo t -(min)	Reb. s (m)											
1	0,042	10	-0,049	50	0,394	180	0,605	600	0,555	1320	0,699	
2	0,066	12	-0,585	60	0,414	240	0,650	720	0,575	1440	0,770	
3	0,079	15	-0,114	70	0,423	300	0,670	840	0,305	1530	0,883	
4	0,097	20	-0,048	80	0,431	360	0,800	960	0,225			
5	0,084	25	0,149	100	0,451	420	0,461	1080	0,195			
6	0,100	30	0,239	120	0,484	480	0,723	1200	0,152			
8	-0,030	40	0,331	150	0,580	540	0,676	600	0,555			

CABO BRANCO RESIDENCE PRIVÉ – CURVA DE REBAIXAMENTO X TEMPO
POÇO 01 – CDRM – COM OS REBAIXAMENTOS ANÔMALOS

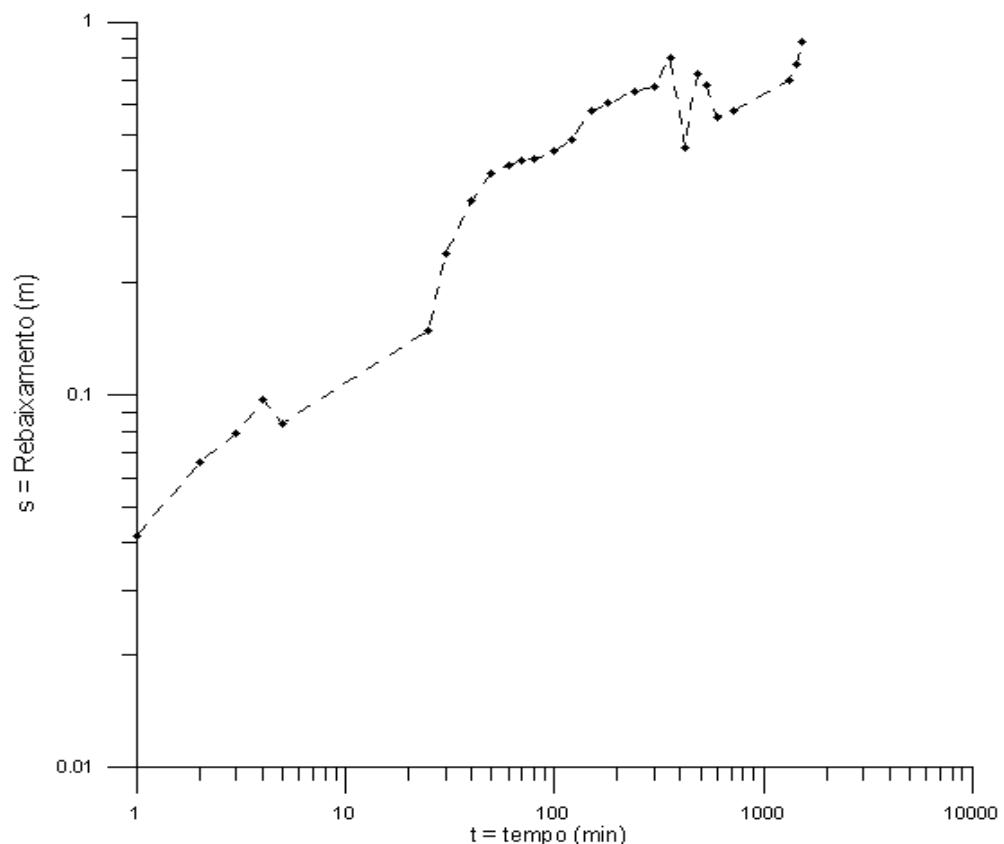


Figura 4.45 Gráfico da evolução do tempo x rebaixamento do poço de observação 01. A disposição dos pontos no gráfico representa a ocorrência de um poço funcionando, ligando e desligando o controle do quadro de comando automático e/ou por causa do efeito de chuva (respingo), em razão da exposição dos filtros e consequente captação de água do Aquífero Barreiras.

PERFIL LITOLÓGICO E CONSTRUTIVO COND CABO BRANCO PRIVÊ CDRM
 COMPANHIA DE RECURSOS MINERAIS DA PARAÍBA.
 POÇO 01

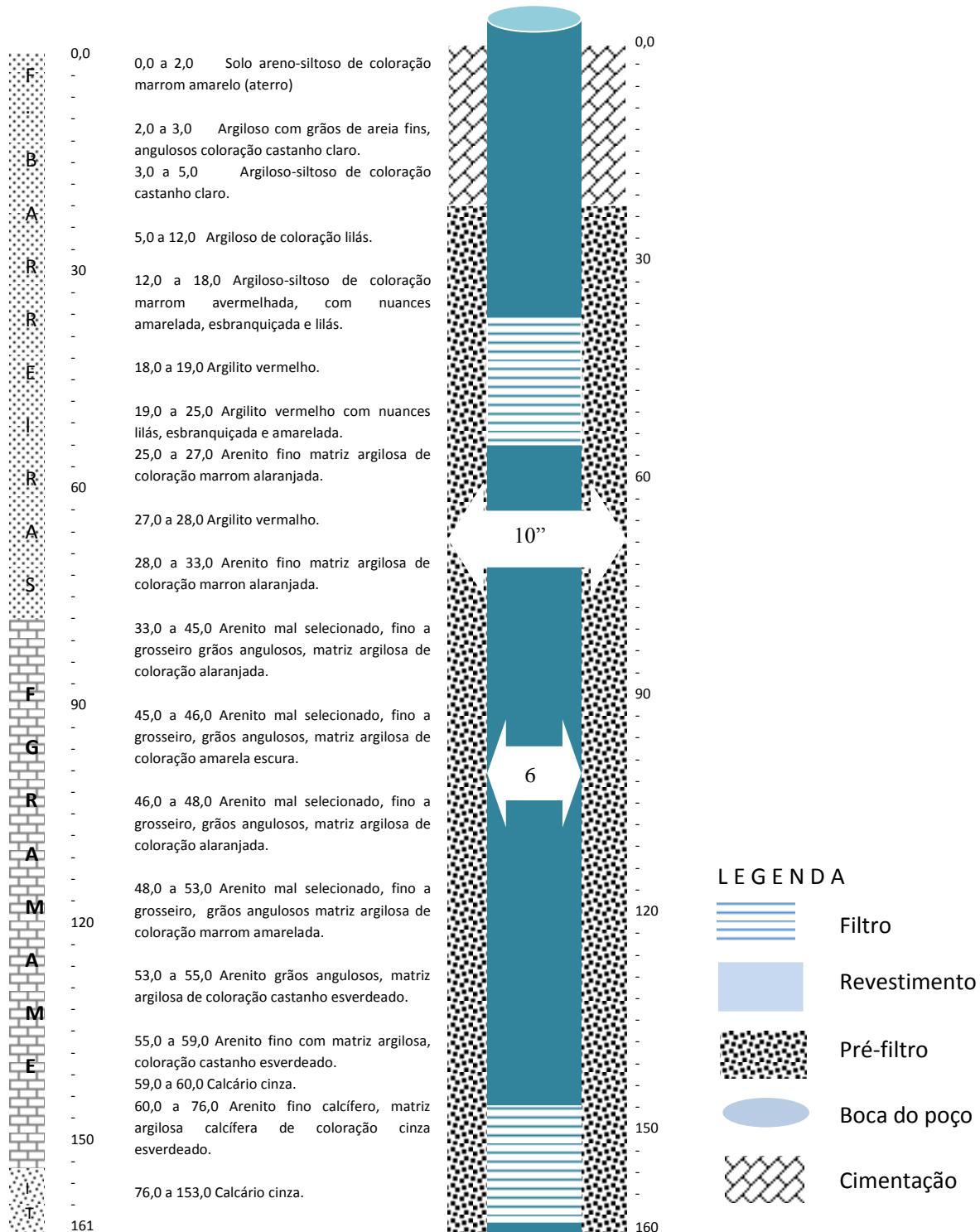


Figura 4.46 Perfil litológico e construtivo do Cabo Branco Residence Privê – POÇO CDRM. Todos os dados colocados nesta figura foram descritos fielmente como no original .

PERFIL LITOLÓGICO E CONSTRUTIVO CABO BRANCO PRIVÊ
POÇO PERFURADO PELA HIDRA
POÇO 02

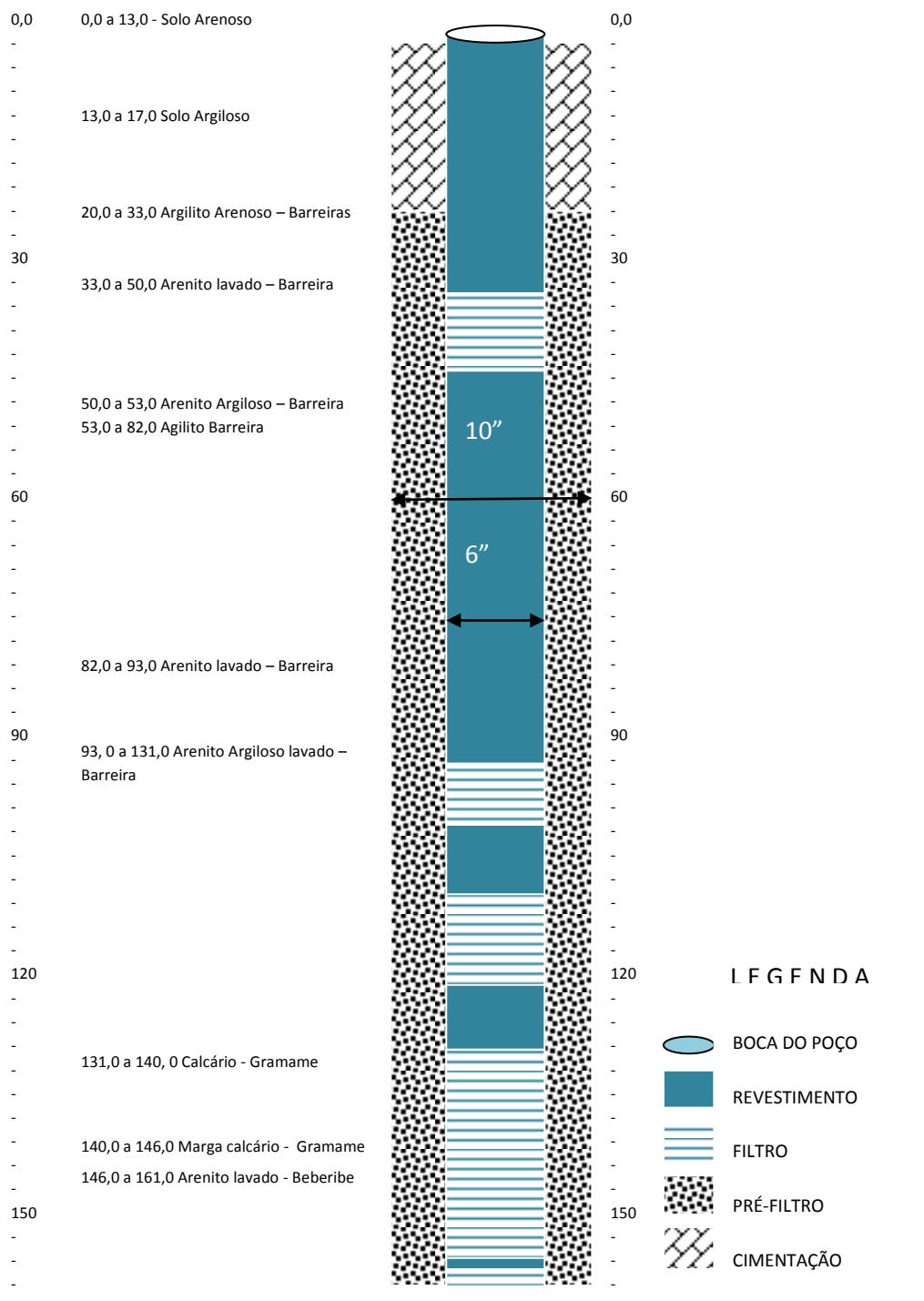


Figura 4.47 Perfil litológico e construtivo do POÇO 02 do Cabo Branco Residence Privê (perfurado pela HIDRA). A descrição litológica desse poço não foi utilizada para descrição das formações e descrita fielmente com o original.

PERFIL LITOLÓGICO E CONSTRUTIVO DO COND. CABO BRANCO PRIVÊ.
POÇO 03 - POÇO PERFURADO E CONSTRUÍDO PELA CONSTRUPOÇOS.

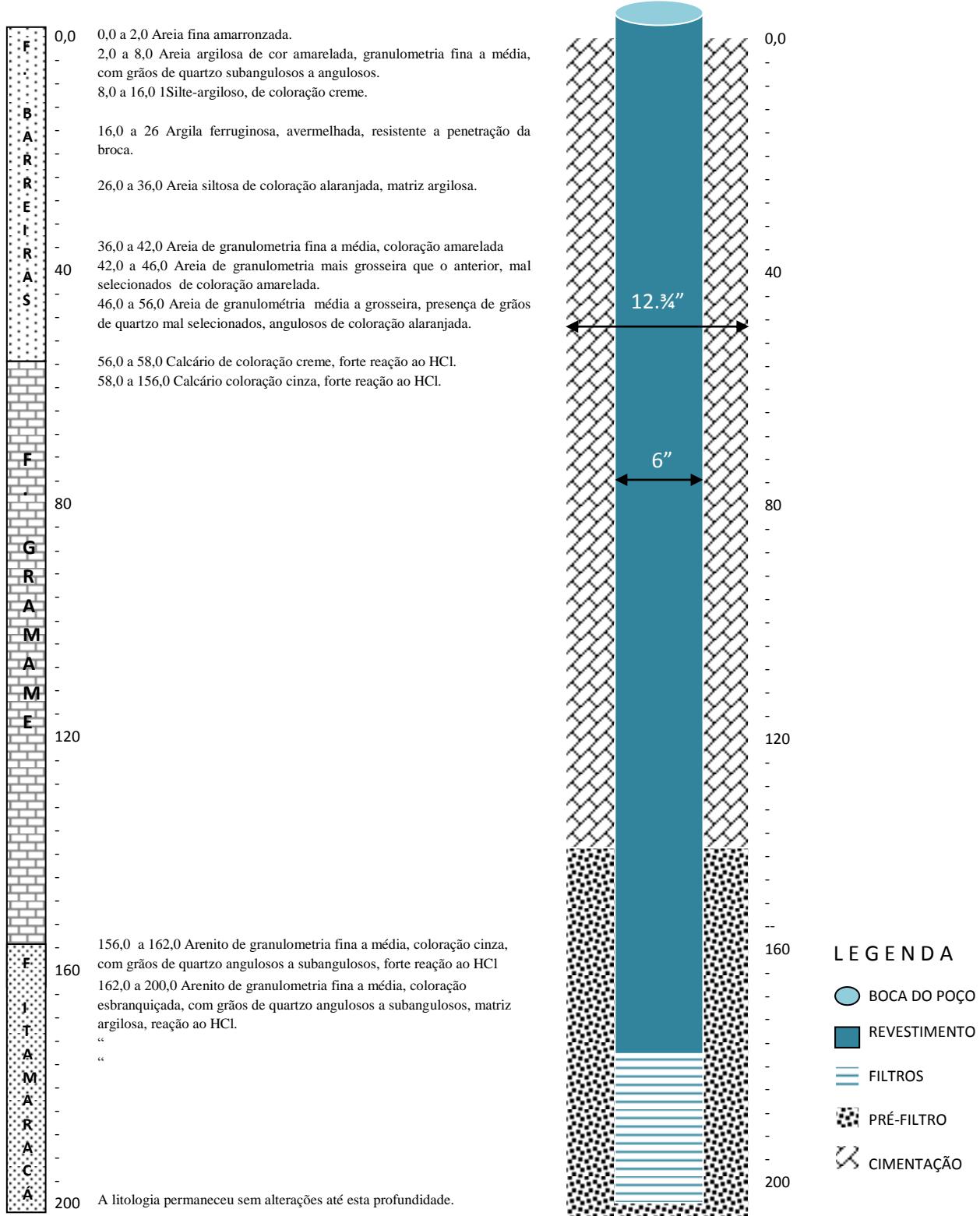


Figura 4.48 Perfil litológico e construtivo do POÇO 03 do Cabo Branco Residence Privê (construído pela CONSTRUPOÇOS).

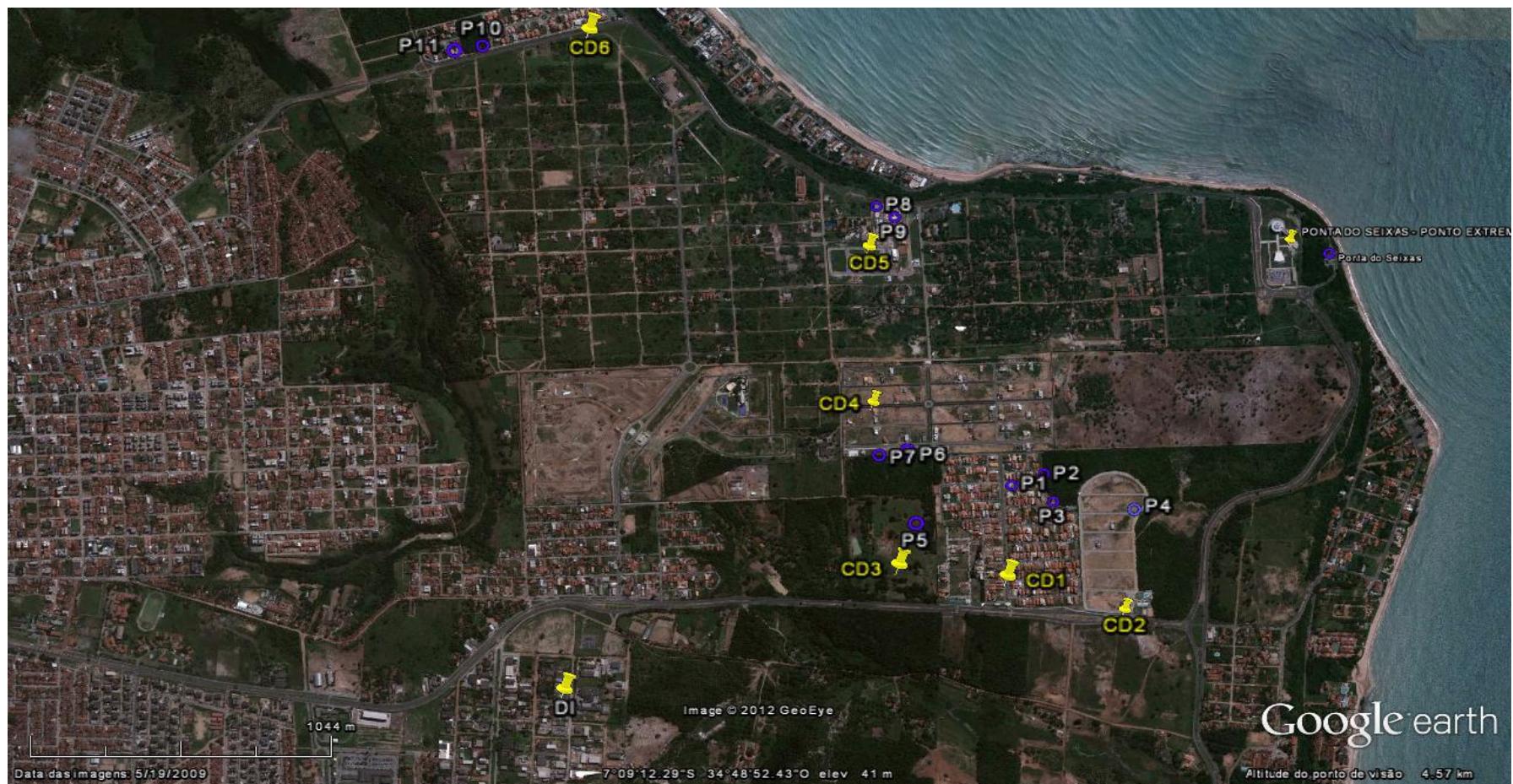


Figura 4.49 Localização do poço CD1 = Cabo Branco Residence Privê (CBRP) e demais poços da área: CD2 = Condomínio Residencial; CD3 = Condomínio Residencial; CD4 = Condomínio Residencial Bougainville (CRB); CD5 = Condomínio Residencial Villas do Farol (CRVF); CD6 = Condomínio Residencial Alpha Village (CRAV); P1 = Poço tubular CBRP - 160 m; P2 = Poço tubular CBRP - 160 m; P3 = Poço tubular CBRP - 200 m; P4 = Poço tubular; P5 = Poço tubular; P6 = Poço tubular CRB - 53 m; P7 = Poço tubular CRB - 160 m; P8 = Poço tubular CRAV - 57 m; P9 = Poço tubular CRAV - 160 m; P10 = Poço tubular CRAV - 52 m; P11 = Poço tubular CRAV - 160 m.

4.5.2 Calculo da Transmissividade do poço P3 – Cabo Branco Residence Privê.

Os parâmetros T e K podem ser obtidos através dos dados coletados no próprio poço bombeado pelo método de Cooper-Jacob. Essa metodologia parte do princípio que quando o valor de “u” é muito pequeno menor que 0,01 ao dois primeiros termos da série convergente da solução dada por Theis para a equação diferencial geral do fluxo subterrâneo levam a um resultado bastante aproximado de forma que a margem de erro não chega a influenciar ao resultado final, a expressão é dada por:

$$T = [(0,183 \times Q) / \Delta s] \times \log (t_2 / t_1)$$

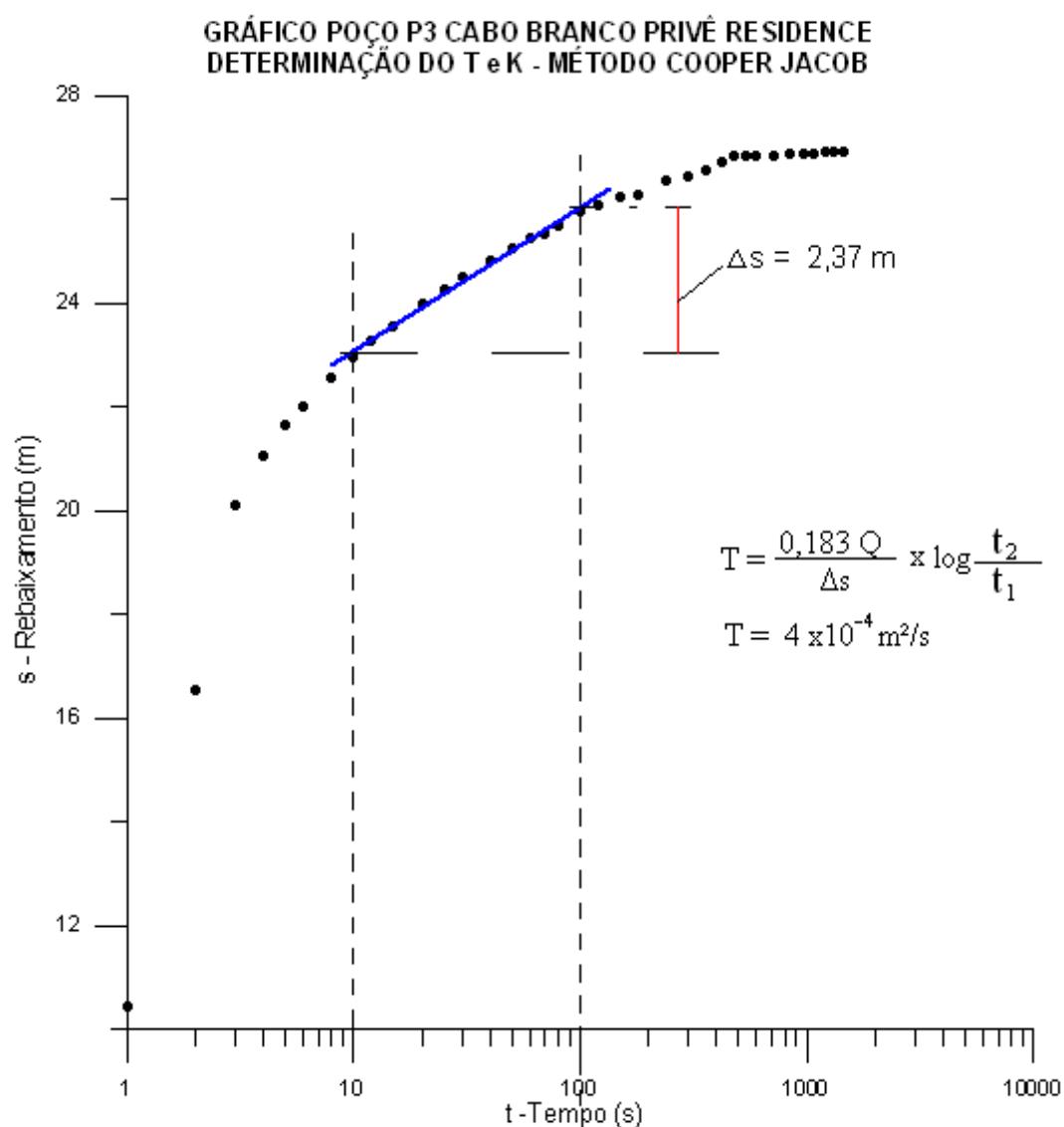


Figura 4.50 Gráfico tempo x rebaixamento, determinação da Transmissividade, Cabo Branco Residence Privê – Método de Cooper-Jacob.

4.6 POÇO THERMO 1

O Poço THERMO 1 - PT1 (v. fig. 4.52), está localizado no Município de Bayeux, e sua perfuração e construção foram realizadas em 2002 pela empresa CORNER NORDESTE, com coordenadas UTM X = 287968 e Y = 9208466, ou coordenadas geográficas de 7° 09'24,75" S e 34°55'11,97"W, distando 1100 metros do poço da CAGEPA-MARÉS. O teste de bombeamento, com 72 horas de duração, identificou uma fronteira hidráulica após 3360 minutos, provavelmente referente às atividades do poço MARÉS. Não existe nenhuma informação de outros poços nessa área.

O Poço THERMO 1 tem uma profundidade total de 323,00 metros, alcançando o embasamento. Conforme o relatório descrito pela empresa perfuradora, foi aproveitada para revestimento a profundidade até os 275,00 metros. Nas camadas inferiores, verificou-se a presença de água salgada, situação essa descrita em outro poço perfurado por essa mesma empresa no Distrito Industrial de João Pessoa. Em ambos os casos, foi realizada uma cimentação, isolando a profundidade abaixo dos 275 metros.

Outros poços perfurados, em locais próximos, demonstraram menores profundidades do embasamento, em média da ordem de 280 metros, não atingindo essa camada de água salgada referendada pela CONESP NORDESTE.

CONESP – 1976 – Perfurou na empresa TOALIA 02 poços cujos registros se encontram no PROJETO SIAGAS, da CPRM, relata o embasamento aos 273 metros de profundidade.

SGN – 2001 – Perfurou mais um poço (POÇO 08) também na TOALIA, registrou a profundidade do embasamento aos 287 metros.

CONSTRUPOÇOS – Perfurou mais um poço na TOALIA em dez. 2004, embasamento aos 273 metros.

POÇO MARÉS, da CAGEPA, em seu relatório aponta o embasamento aos 253 metros.

Essa situação localizada da profundidade do embasamento, acumulando sedimentos e águas de subsuperfície na ocorrência da deposição, pode ter causado um enriquecimento de sais pela condição de confinamento dessa porção aquífera. As águas aí acumuladas absorveram, ao longo do tempo, sais provenientes da rocha matriz,

ocasionando uma concentração gradativa em função do seu represamento, entre outras razões aqui não mencionadas.

4.6.1 Determinação dos parâmetros hidrodinâmicos do poço THERMO 1 – MÉTODO DE COOPER- JACOB.

Os parâmetros hidrodinâmicos TKS, são relacionados ao comportamento do aquífero, torna-se necessário, pelo menos, um poço de observação para a obtenção dos dados necessários, que são o raio da distância entre os poços (r), o tempo relacionado ao rebaixamento do poço de observação (t) e o rebaixamento do poço de observação (s) para a aplicação de um dos métodos relacionados ao regime de bombeamento e o tipo de aquífero. A utilização dos dados fornecidos pelo próprio poço bombeado (v. tab. 4.15), não expressam a melhor forma da condição aquífera em relação aos seus parâmetros hidrodinâmicos, entretanto uma aproximação dos valores da transmissividade e condutividade hidráulica podem ser obtidas utilizando-se a própria curva do poço bombeado (v. fig 4.51). Na aplicação do método de interpretação dos parâmetros hidrodinâmicos, ocorrem variações na escolha da metodologia mais adequada. A Tabela 4.14 demonstra os tipos de comportamento relacionados à estrutura física do aquífero, não drenante (confinado), drenante (semiconfinado) ou livre (superfície aquífera freática). A escolha da metodologia deve ainda observar a evolução do rebaixamento, que caracteriza a condição de regime permanente ou regime transitório.

No regime permanente, a água está sendo retirada de sua(s) fonte(s) de recarga. No gráfico, ocorre a suavização da curva após o ponto de inflexão, seguida pela estabilização da curva. No regime transitório, a água está sendo retirada constantemente do aquífero, porém se observa uma suavização da curva relacionada ao aumento da abertura do cone de rebaixamento, que passa a retirar água de uma área, nas imediações do poço, cada vez maior de contribuição.

Na determinação dos valores da Transmissividade (T) e da condutividade hidráulica (K) será utilizado a metodologia de JACOB, para analisar a eficiência do poço THERMO 1. (Ver fig 4.42). O armazenamento (S), só pode ser calculado na observação da evolução do rebaixamento de pelo menos um outro poço, porém se necessário pode-se, para efeito de cálculo, estimar através das médias observadas valores em trabalhos de pesquisa relacionados em áreas próximas do mesmo aquífero.

Para a estimativa do parâmetro “S” vamos considerar para efeito de cálculo o coeficiente de armazenamento indicado pela própria CONER que foi de 6×10^{-4} , comparativamente obedece a mesma ordem de grandeza estimada pelo PROJETO HIDROREC II (COSTA & COSTA FILHO, 2002).

Tabela 4.14 Métodos de interpretação de testes de aquífero em função do tipo de aquífero e do regime de bombeamento. (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2000, p. 261).

REGIME DE BOMBEAMENTO	TIPO DE AQUÍFERO		
	NÃO DRENANTE	DRENANTE	LIVRE
PERMANENTE	Thiem	DeGlee / Hantush Jacob	Dupuit/Thiem
TRANSITÓRIO	Theis/Cooper	Walton/Hantush	Theis – correção de Jacob e Boulton/Pricket

Pela descrição litológica, o poço apresenta estratificações argilosas, e a disposição das camadas destas em relação ao nível estático caracterizam uma condição não drenante (confinado). O nível estático, aos 90,775 metros, origina um nível potenciométrico, os últimos filtros aplicados no processo construtivo do poço estão situados na profundidade de 23,81 a 130,26 metros. A curva da Fig. 4.51 é típica de aquífero não drenante, ocorrendo após os 1440 minutos de bombeamento uma estabilização do rebaixamento, que se manteve constante. Na medição dos 2880 minutos, observa-se uma barreira hidráulica negativa. Visualmente, a curva ascende, mostrando um rebaixamento de 0,26 metro, dando continuidade ao abaixamento do nível da água no interior do poço. Esse efeito pode ter sido causado pelas atividades do poço existente da CAGEPA – MARÉS, que se situa a 1100 metros de distância, com exploração nos mesmos níveis de profundidade, não sendo de conhecimento público o registro de outro poço próximo com essas dimensões na área especificada.

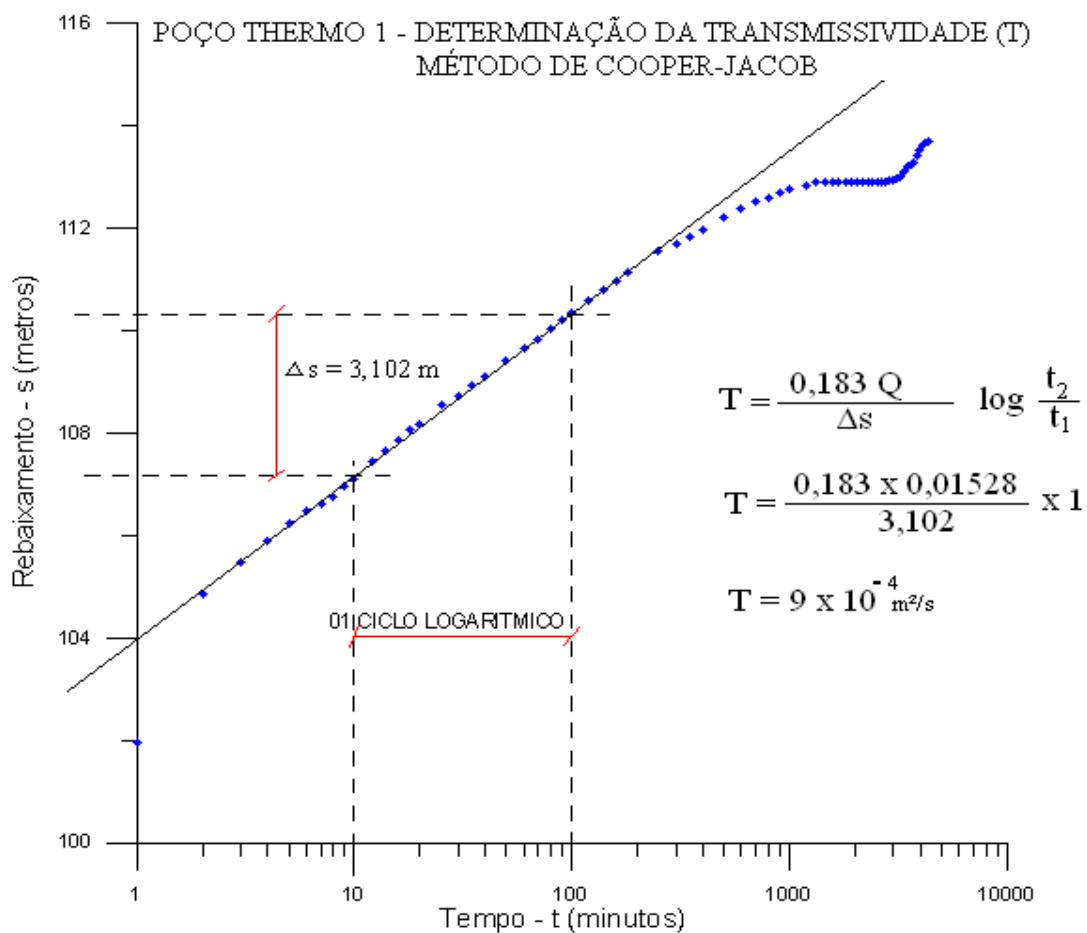


Figura 4.51 Gráfico da curva de campo tempo x rebaixamento (4320 min)– Etapa contínua, determinação do T – método de Cooper-Jacob.

A condutividade hidráulica esta relacionada com a transmissividade e a espessura do aquífero, a visualização das camadas litológicas não deixa claro a definição dos limites entre o Aquífero Itamaracá e o Aquífero Beberibe inferior.

Na base histórica das deposições sedimentares de cada uma dessas unidades aquíferas a deposição das camadas inferiores basais são de origem continental, enquanto que a porção superior do Itamaracá é de formação marinha apresentando-se com características carbonáticas. A informação de que amostras provenientes das camadas mais profundas sejam carbonáticas seria a contaminação das amostras da Formação Beberibe inferior durante o processo de subida em contato com os arenitos carbonáticos da formação Itamaracá.

Considerando o aquífero Beberibe como um só a espessura do pacote estaria limitada aos cento e cinquenta metros pela camada de “*Argilito arenoso acinzentado, com intercalações de arenito*”, cuja espessura estaria em torno dos 132 metros, consequentemente $K = 6,82 \times 10^{-6} \text{ m/s}$.

PERFIL LITOLÓGICO E CONSTRUTIVO DO POÇO THERMO 1

EMPRESA PERFURADORA: CORNER NORDESTE

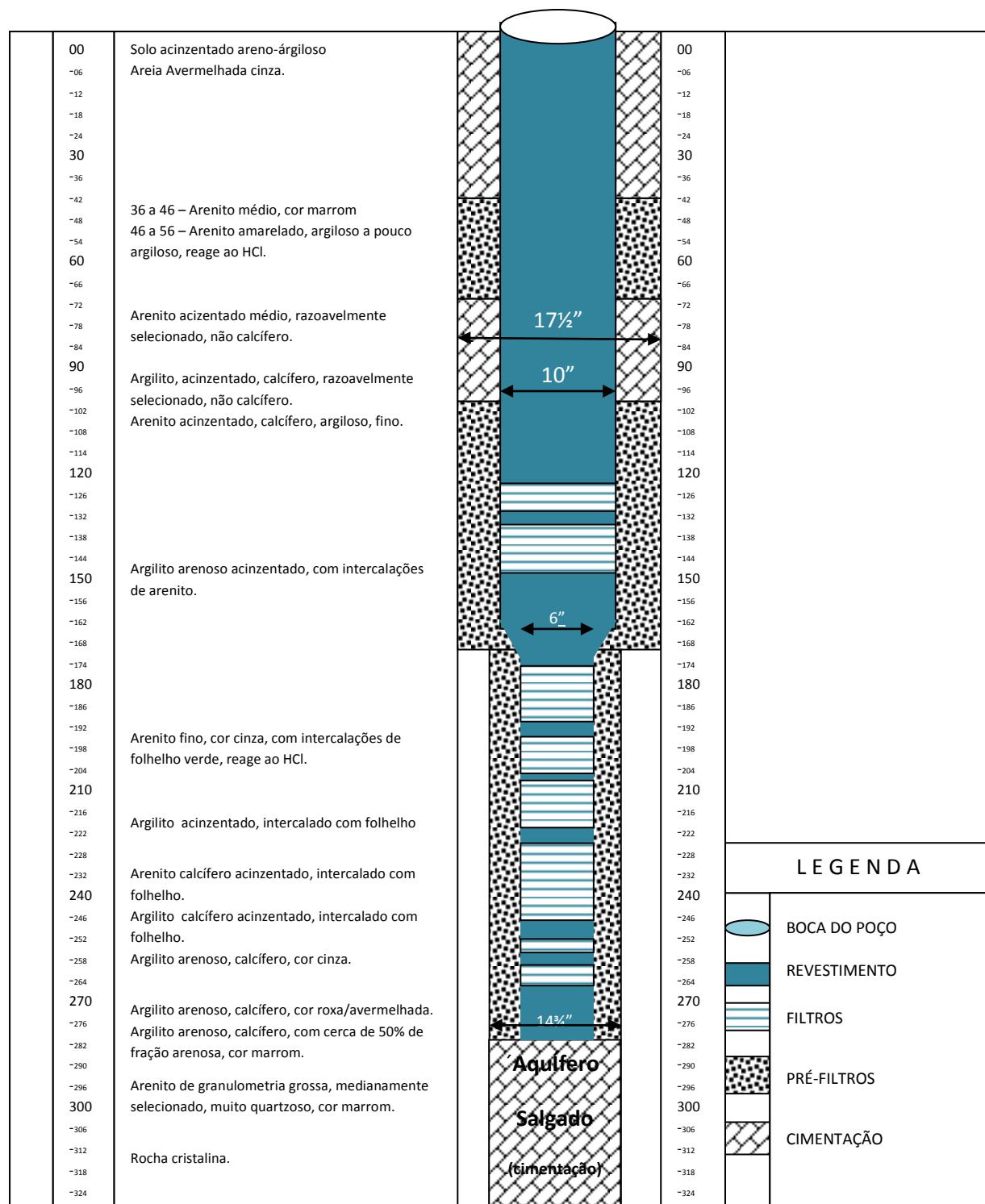


Figura 4.52 Perfil litológico e construtivo do poço THERMO 1, segundo CORNER NORDESTE. (Adaptado pelo Autor do original)

Tabela 4.15 Teste de produção do poço THERMO 1, etapa contínua 4320 min.

TESTE DE VAZÃO - ETAPA ÚNICA 4320 MIN DE BOMBEAMENTO										
POÇO THERMO 1										
Poço: THERMO 1		Local: Bayeux				Município de Bayeux - Paraíba.				
Início 25/nov/02	Hora 08h30	Conclusão 28/nov/02	Hora 08h30	NE (m) 90,775	ND (m) 113,71	Q ₁ (m ³ /h) 55	Q/s (m ³ /h)m 2,398	TB (min) 4320		
Poço Bombeado:	xxxxxxxxxxxx	Piezômetro 01:	xxxxxxxxxxxx		Piezômetro 02:	xxxxxxxxxxxx				
EQUIPAMENTO UTILIZADO						PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS				
Conjunto motobomba	Medição de vazão		Med. nível da água		Método:					
Mod.: EBARA BHS 813- 5/70 HP	ESC. DE ORIF CIRCULAR		Eletrossonoro		T=	K=	S+			
Prof. do poço: 275,00 m	Prof de instalação do conj. motobomba: 153,69 m				Nível de referência: 1,00 m					
R E B A I X A M E N T O					r e c u p e r a ç ã o					
Hora	t (min)	ND(m)	s (m)	Q (m ³ /h)	t' (min)	ND (m)	s(m)	(tb/t')+1		
08h31	1	101,965	11,190	55,00	1	110,545	19,770	4321		
	2	104,846	14,071	55,00	2	105,665	14,890	2161,000		
	3	105,492	14,717	55,00	3	103,530	12,755	1441,000		
	4	105,885	15,110	55,00	4	102,355	11,580	1081,000		
	5	106,225	15,450	55,00	5	101,625	10,850	865,000		
	6	106,470	15,695	55,00	6	101,139	10,364	721,000		
	7	106,627	15,852	55,00	7	100,715	9,940	618,143		
	8	106,765	15,990	55,00	8	100,390	9,615	541,000		
	9	106,955	16,180	55,00	9	100,128	9,353	481,000		
	10	107,115	16,340	55,00	10	99,870	9,095	433,000		
	12	107,452	16,677	55,00	15	98,940	8,165	289,000		
	14	107,654	16,879	55,00	20	98,313	7,538	217,000		
	16	107,872	17,097	55,00	25	97,837	7,062	173,800		
	18	108,058	17,283	55,00	30	97,473	6,698	145,000		
	20	108,176	17,401	55,00	40	96,850	6,075	109,000		
	25	108,542	17,767	55,00	50	96,390	5,615	87,400		
	30	108,739	17,964	55,00	60	96,020	5,245	73,000		
	35	108,932	18,157	55,00	120	94,643	3,868	37,000		
	40	109,097	18,322	55,00	180	94,160	3,385	25,000		
	50	109,430	18,655	55,00	240	93,520	2,745	19,000		
09h30	60	109,653	18,878	55,00	300	93,180	2,405	15,400		
	70	109,842	19,067	55,00	360	92,890	2,115	13,000		
	80	110,050	19,275	55,00	420	92,705	1,930	11,286		
	90	110,215	19,440	55,00	480	92,568	1,793	10,000		
	100	110,340	19,565	55,00	540	92,416	1,641	9,000		
	120	110,595	19,820	55,00	600	92,300	1,525	8,200		

(Continua)

(Continuação)

	140	110,805	20,030	55,00	650	92,164	1,389	7,646
	160	110,962	20,187	55,00	780	92,060	1,285	6,538
	180	111,143	20,368	55,00	900	91,950	1,175	5,800
	250	111,561	20,786	55,00	1020	91,810	1,035	5,235
	300	111,709	20,934	55,00	1140	91,724	0,949	4,789
	350	111,837	21,062	55,00	1260	91,688	0,913	4,429
	400	111,973	21,198	55,00	1380	91,650	0,875	4,130
	500	112,228	21,453	55,00	1500	91,570	0,795	3,880
	600	112,388	21,613	55,00	1620	91,510	0,735	3,667
	700	112,529	21,754	55,00	1740	91,474	0,699	3,483
	800	112,588	21,813	55,00	1860	91,439	0,664	3,323
	900	112,711	21,936	55,00	1980	91,404	0,629	3,182
	1000	112,770	21,995	55,00	2100	91,375	0,600	3,057
	1200	112,838	22,063	55,00	2220	91,339	0,564	2,946
	1320	112,910	22,135	55,00	2340	91,304	0,529	2,846
08h30	1440	112,914	22,139	55,00	2460	91,275	0,500	2,756
	1560	112,914	22,139	55,00	2580	91,266	0,491	2,674
	1680	112,914	22,139	55,00	2700	91,259	0,484	2,600
	1800	112,914	22,139	55,00				
	1920	112,914	22,139	55,00				
	2040	112,914	22,139	55,00				
	2160	112,914	22,139	55,00				
	2280	112,914	22,139	55,00				
	2400	112,914	22,139	55,00				
	2520	112,914	22,139	55,00				
	2640	112,914	22,139	55,00				
	2760	112,914	22,139	55,00				
08h30	2880	112,940	22,165	55,00				
	3000	112,940	22,165	55,00				
	3120	112,965	22,190	55,00				
	3240	113,000	22,225	55,00				
	3360	113,105	22,330	55,00				
	3480	113,225	22,450	55,00				
	3600	113,240	22,465	55,00				
	3720	113,286	22,511	55,00				
	3840	113,405	22,630	55,00				
	3960	113,520	22,745	55,00				
	4080	113,614	22,839	55,00				
	4200	113,673	22,898	55,00				
08h30	4320	113,710	22,935	55,00				

4.6.2 Equação Característica do Poço THERMO 1

A metodologia já explicada nesse trabalho será a mesma utilizada para a determinação da equação característica do poço da THERMO 1, os princípios que devem ser levados em consideração sempre é o primor aos processos seletivos durante os procedimentos da perfuração, construção e desenvolvimento dos poços tubulares, pois a condição aquífera do ponto escolhido para a captação das águas subterrâneas são inerentes ao ponto de perfuração. Quanto mais bem projetado maior será a eficiência do poço. Os processos que envolvem a perfuração e o perfil construtivo contribuem, de maneira conclusiva, para um bom desempenho. Durante o processo de perfuração, o fluido que circula tem influência direta, podendo rebocar a parede do poço, diminuindo a eficiência na captação.

Como já foi dito anteriormente, é necessário realizar um teste de produção com, no mínimo, três vazões diferentes, crescentes e, se possível, obedecendo a uma progressão geométrica. Foram realizados pela empresa construtora CORNER dois testes, sendo o primeiro contínuo, com 72 horas de duração, correspondente a 4320 minutos, iniciando-se no dia 25.11.2002, às 08h30min e finalizando dia 28.11.2012, às 08h30min (v. tabela 4.13).

Um segundo teste do tipo escalonado, com três etapas e duração de duas horas, totalizando seis horas de bombeamento (v. tabela 4.14), foi realizado, iniciado no dia 30.11.2002, às 10h30min, e concluído no mesmo dia às 16h30min. Para as três primeiras etapas, em que o regime é laminar, $Re < 30$, podemos usar a aproximação de Jacob para a determinação da equação característica do poço (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2004, p. 609):

$$s_t = B.Q + C.Q^2$$

Donde se obtém o rebaixamento específico, s_t/Q , isto é:

$$(s_t/Q) = B + C.Q$$

que corresponde à equação de uma reta, onde C representa o coeficiente angular dado pela tangente do ângulo com a horizontal, conforme o gráfico da Fig. 4.43.

4.6.2.1 Cálculo do ajuste do rebaixamento, utilizando a extração do rebaixamento para 240 minutos de bombeamento

As vazões foram ajustadas dentro da margem de erro permitida, obtendo valores para a vazão específica crescente (Q/s_w) e o rebaixamento específico decrescente (s_w/Q), satisfazendo a exigência para a continuidade do teste. A metodologia já discutida será forma aplicada com o objetivo de determinar a equação característica do poço THERMO 1 e sua eficiência. Para tanto será determinado de forma objetiva os dados necessários para a sua conclusão, sendo necessário utilizar as vazões progressivas (v. tab. 4.17). e os respectivos rebaixamentos ocasionados no próprio poço bombeado (v. fig. 4.53 e tab. 4.16).

No gráfico de $Q \times s_w/Q$ (v. fig. 4.54), os pontos alinham-se em uma reta. Quando isso ocorre, o valor de “B” pode ser obtido na interseção do prolongamento dessa reta com o eixo das ordenadas, (s_w/Q), e o valor de “C” é dado pela $\tan \alpha$, onde α é o ângulo formado entre a reta e a horizontal originada a partir dos pontos s_w/Q .

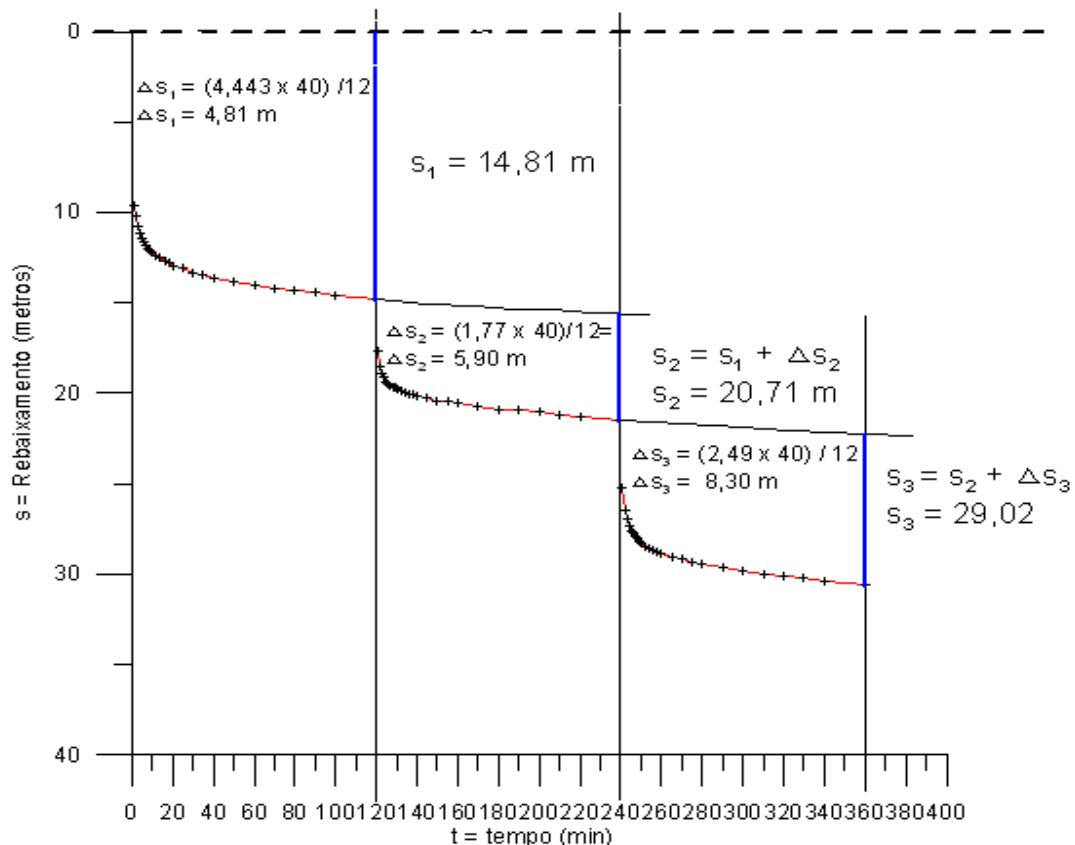
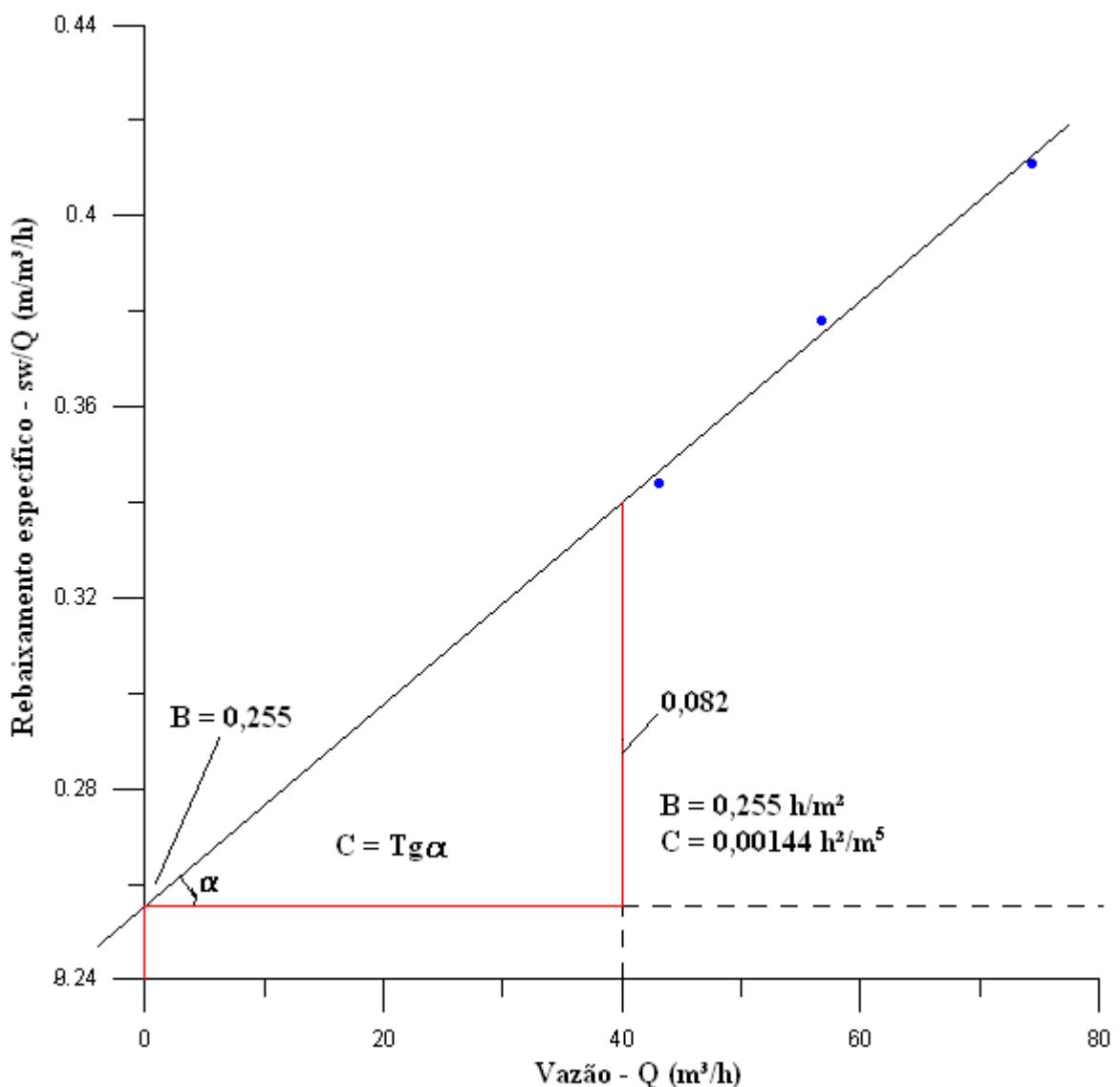


Figura 4.53 Superposição dos gráficos da evolução do rebaixamento no poço de produção com três etapas, poço THERMO 1.

Tabela 4.16 Vazão e rebaixamento específico do teste de produção com três etapas.

Q (m³/h)	s_(w) (m)	Q/s_(w) (m³/h)/m	s_(w)/Q m/(m³/h)	Razão entre vazões
43,05	14,81	2,91	0,344	—
56,67	20,71	2,73	0,365	1,31
74,28	29,02	2,56	0,390	1,31

4.6.2.2 Determinação da equação característica do Poço

**Figura 4.54** Gráfico do rebaixamento específico x vazão – Etapa contínua.

O alinhamento dos pontos no gráfico da fig. 4.54 representa uma reta, ficando a equação característica do poço representada pela equação:

$$S_w = B.Q + C.Q^2$$

$$\rightarrow S_w = 0,255Q + 0,00144Q^2$$

Essa equação representa o rebaixamento para a variação das vazões no tempo realizado pelo teste de produção, nesse caso sessenta minutos.

4.6.3 Eficiência do poço THERMO 1.

A eficiência de um poço é a relação entre o rebaixamento real (dentro do interior do poço) e o rebaixamento externo. Quanto menor for essa relação maior a eficiência do poço, traduzindo-se no relativo sucesso desde o projeto, execução dos processos durante a perfuração e a capacidade aquífera com elevados parâmetros hidrodinâmicos. A figura 4.55 mostra uma visualização da diferença entre os rebaixamentos que ocorrem em um poço ao ser bombeada e a diferença entre o rebaixamento real e o teórico.

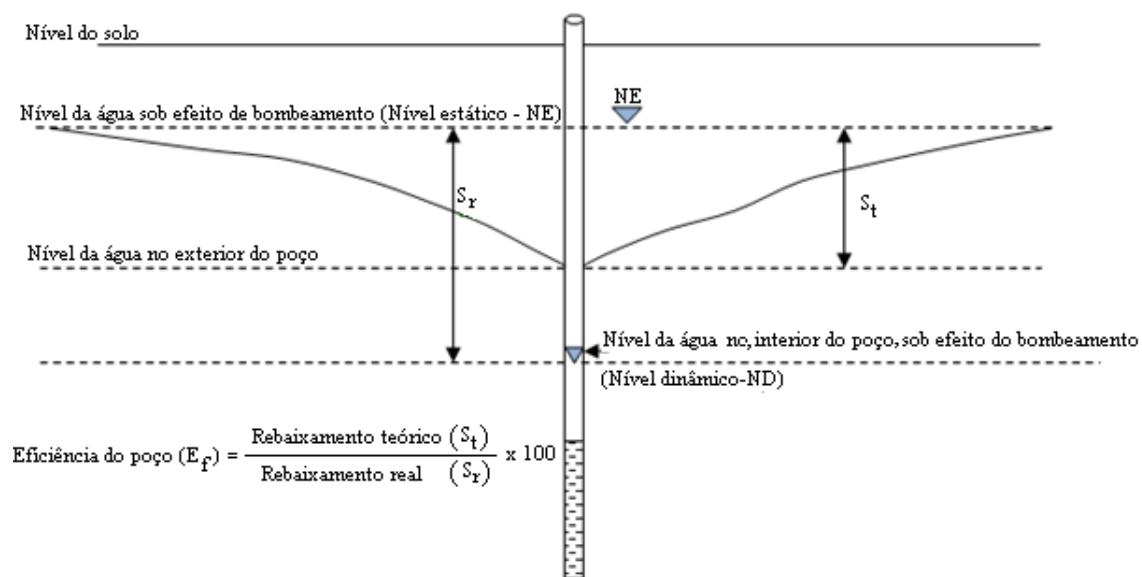


Figura 4.55 Relação dos níveis da água determinantes da eficiência do poço.

Na avaliação da eficiência o rebaixamento real são aqueles medidos e observados através do rebaixamento da água no interior do poço. Os dados referentes ao rebaixamento teórico podem ser obtidos através da equação de JACOB.

$$s_w = (Q/4\pi T) \ln (2,25 T t / r^2 S)$$

s_w = Rebaixamento teórico

$Q = 55 \text{ m}^3/\text{h} = 0,0153 \text{ m}^3/\text{s}$ - Vazão do teste contínuo

$T = \text{Transmissividade} = 9 \times 10^{-4}$

$t = 100 \text{ min}$ - tempo de bombeamento utilizado para comparação dos s_r e s_t

$r = 0,1873$ - Raio do diâmetro de perfuração

$S = 6 \times 10^{-4}$ Coeficiente de armazenamento (estimado)

Para determinação da transmissividade (T), pode-se utilizar a própria curva do poço bombeado, utilizando a metodologia de JACOB,

Calculo do rebaixamento teórico:

$$s_t = (0,00153/4 \times 3.1416 \times 0,0009) \ln (2,25 \times 0,0009 \times 600) / 0,1873^2 \times 0,0006$$

$$S_t = 1,3528 \times 13,26832 \rightarrow S_t = 17,94938 \text{ m}$$

O rebaixamento real aos 100 minutos, onde o regime é transitório é de 19,565 m, a eficiência do poço é de:

$$Ef = (S_t / S_r) \times 100 \rightarrow Ef = 92\%$$

Tabela 4.17 Rebaixamento x tempo – teste escalonado poço THERMO 1. (CORNER, 2002).

Poço: THERMO 1		Local: Bayeux					Município de Bayeux - Paraíba.							
Início 30 nov. 2002		Hora 10h30		Conclusão 30 nov. 2002		Hora 16h30	NE (m) 90,83	ND (m) 121,396	Q ₁ (m ³ /h) 41,00	Q ₂ (m ³ /h) 59,50	Q ₃ (m ³ /h) 78,00			
Poço Bombeado:		xxxxxxxxxxxxxx		Piezômetro 01:		xxxxxxxxxxxxxx		Piezômetro 02:		xxxxxxxxxxxxxx				
EQUIPAMENTO UTILIZADO														
Conjunto Motobomba			Medição de Vazão		Medição do Nível da água		Método: Não se aplica							
Mod.: EBARA BHS 813-5/70			ESC. DE ORIF. CIRCULAR		Eletrossonoro		T = ---	K = ---	S = ---					
Prof. do poço: 275,00 m			Prof. de instalação do conjunto motobomba: 153,69 m				Nível de Referência: 1,00 m							
R E B A I X A M E N T O S														
Primeira etapa do teste escalonado					Segunda etapa do teste escalonado				Terceira etapa do teste escalonado					
Hora	t (min)	ND(m)	s (m)	Q (m ³ /h)	Hora:	t (min)	ND(m)	s (m)	Q (m ³ /h)	Hora	t (min)	ND(m)	s (m)	Q (m ³ /h)
10h31	1	100,410	9,580	41,00	12:31	121	108,512	17,682	59,50	14:31	241	116,085	25,255	78,00
10h32	2	101,030	10,200	41,00	12:32	122	109,363	18,533	59,50	14:32	242	117,258	26,428	78,00
10h33	3	101,605	10,775	41,00	12:33	123	109,780	18,950	59,50	14:33	243	117,826	26,996	78,00
10h34	4	101,965	11,135	41,00	12:34	124	109,978	19,148	59,50	14:34	244	118,163	27,333	78,00
10h35	5	102,235	11,405	41,00	12:35	125	110,170	19,340	59,50	14:35	245	118,405	27,575	78,00
10h36	6	102,416	11,586	41,00	12:36	126	110,280	19,450	59,50	14:36	246	118,595	27,765	78,00
10h37	7	102,660	11,830	41,00	12:37	127	110,391	19,561	59,50	14:37	247	118,762	27,932	78,00
10h38	8	102,850	12,020	41,00	12:38	128	110,462	19,632	59,50	14:38	248	118,869	28,039	78,00
10h39	9	102,900	12,070	41,00	12:39	129	110,518	19,688	59,50	14:39	249	119,010	28,180	78,00
10h40	10	103,020	12,190	41,00	12:40	130	110,566	19,736	59,50	14:40	250	119,105	28,275	78,00
10h42	12	103,220	12,390	41,00	12:42	132	110,705	19,875	59,50	14:42	252	119,275	28,445	78,00
10h44	14	103,360	12,530	41,00	12:44	134	110,825	19,995	59,50	14:44	254	119,417	28,587	78,00
10h46	16	103,495	12,665	41,00	12:46	136	110,856	20,026	59,50	14:46	256	119,525	28,695	78,00
10h48	18	103,646	12,816	41,00	12:48	138	110,915	20,085	59,50	14:48	258	119,600	28,770	78,00
10h50	20	103,760	12,930	41,00	12:50	140	110,970	20,140	59,50	14:50	260	119,695	28,865	78,00
10h55	25	103,895	13,065	41,00	12:55	145	111,120	20,290	59,50	14:55	265	119,861	29,031	78,00
11h00	30	104,137	13,307	41,00	13:00	150	111,237	20,407	59,50	15:00	270	119,985	29,155	78,00
11h05	35	104,321	13,491	41,00	13:05	155	111,313	20,483	59,50	15:05	275	120,134	29,304	78,00
11h10	40	104,457	13,627	41,00	13:10	160	111,386	20,556	59,50	15:10	280	120,299	29,469	78,00
11h20	50	104,686	13,856	41,00	13:20	170	111,528	20,698	59,50	15:20	290	120,475	29,645	78,00
11h30	60	104,844	14,014	41,00	13:30	180	111,713	20,883	59,50	15:30	300	120,666	29,836	78,00
11h40	70	105,010	14,180	41,00	13:40	190	111,795	20,965	59,50	15:40	310	120,818	29,988	78,00
11h50	80	105,165	14,335	41,00	13:50	200	111,884	21,054	59,50	15:50	320	120,936	30,106	78,00
12h00	90	105,280	14,450	41,00	14:00	210	112,017	21,187	59,50	16:00	330	121,070	30,240	78,00
12h10	100	105,419	14,589	41,00	14:10	220	112,095	21,265	59,50	16:10	340	121,197	30,367	78,00
12h30	120	105,640	14,810	41,00	14:30	240	112,290	21,460	59,50	16:30	360	121,396	30,566	78,00

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES, PERSPECTIVAS E RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho, foram feitos testes de bombeamento em diversos poços para a determinação de parâmetros hidrodinâmicos dos Aquíferos Beberibe, Barreiras e Aluvião, que representam os mais importantes mananciais de águas subterrâneas da Bacia Sedimentar Paraíba, situada dentro dos limites da Região Metropolitana de João Pessoa. Além disso, avaliaram-se as possíveis interferências ocasionadas pela falta de planejamento da locação dos poços.

Foram feitas pesquisas bibliográficas sobre temas referentes à Bacia Sedimentar Paraíba, procurando sintetizar seu histórico desde a formação das aberturas do embasamento que originou o processo de formação da compartimentação do arcabouço estrutural. A reativação dessas estruturas mostra que a continuidade de movimentação na crosta contribuiu para uma configuração estrutural de Grabens e Horsts, podendo-se constatar condições pontuais que contribuem para uma diversidade na sua hidrogeologia. As observações detalhadas na Sub-Bacia Alhandra fornecem uma conotação diferenciada do que, até hoje, se supunha da condição de formação estrutural de uma simples homoclinal. Nos dados coletados referentes aos poços por empresas perfuradoras comprometidas com o uso das águas subterrâneas, verifica-se, como fato corriqueiro em todas as regiões com desenvolvimento crescente, mas desordenado, a ocorrência de perfurações e instalações de poços de forma desorganizada. O monitoramento por parte das entidades governamentais é relativamente difícil, pois essas obras são rápidas e silenciosas, e suas estruturas finais fogem à fiscalização visual, porém as suas atividades são intensas na exploração das águas subterrâneas. Carece, pois, com certa urgência, uma legislação mais rigorosa, com fiscalização intensa e multas direcionadas no sentido de coibir a instalação de novos poços para qualquer área de consumo sem uma prévia concepção do impacto que possam causar. Entretanto, essas atitudes podem afetar o desenvolvimento da região, principalmente quando o setor público não tem como suprir a demanda. Investimentos nas áreas voltadas à pesquisa hidrogeológica devem ser realizados com o objetivo de dimensionar a capacidade de exploração desses aquíferos e controlar as atividades da exploração das águas subterrâneas.

As abordagens feitas aqui buscam contribuir para a preservação dos dados referentes aos parâmetros hidrodinâmicos das águas de subsuperfície de poços e ao progressivo aumento de sua procura e utilização. As concessionárias de água e esgoto, atualmente, encontram dificuldades em acompanhar a demanda progressiva ocasionada pelo crescente aumento da densidade demográfica e sua concentração nos cordões litorâneos, tendo como uma das consequências o aumento no consumo de água.

As formações geológicas mais superficiais da Região Metropolitana de João Pessoa, Aluviões e Aquífero Barreiras, devido à qualidade de suas águas subterrâneas, à sua superficialidade e a uma relativa facilidade na sua captação, promovem uma série de motivações à população para a perfuração de poços tubulares. Esses aquíferos são a porta de entrada para a recarga das águas de subsuperfície.

Nas perfurações realizadas, pôde-se perceber uma camada de dureza elevada, de coloração avermelhada, cuja profundidade está alocada acima dos níveis de água dessas formações aquíferas, ou seja, uma laterita que, comprovadamente, tem presença extensiva, protegendo-a de contaminações. A perfuração desordenada sem a correta isolação com a utilização da pasta de cimento ou de outro impermeabilizante eficiente, é uma das exigências que deveriam ser cobradas dos perfuradores com a devida responsabilidade.

As características hidrodinâmicas em casos como a Formação Barreiras e as Aluviões geralmente são pontuais. Essa variação está intimamente relacionada à disposição das lentes de argila, influenciando diretamente a capacidade de produção dos poços instalados nessas porções aquíferas. Por exemplo, na região do Altiplano, bairro situado sobre a Formação Barreiras próximo à linha de costa na praia do Cabo Branco, poços perfurados apresentam distorções que variam a vazão específica desde $0,1 \text{ m}^3/\text{h/m}$ até casos de $3,1 \text{ m}^3/\text{h/m}$, demonstrando a interferência local que pode ocasionar a concentração das partículas mais finas na condutividade hidráulica nos aquíferos.

Dos testes de aquíferos realizados, os parâmetros hidrodinâmicos encontrados para a Aluvião do Rio Mumbaba foram: 1) a transmissividade (T), pelo método de Theis, para os poços P1 e P4 foi de $2,95 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ e $3,99 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, respectivamente, com média aritmética de $3,40 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$; utilizando o método de Thiém, o valor de T_{P1-P4} foi $3,27 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$; 2) a condutividade hidráulica (K), pelo método de Theis, foi $1,55 \times 10^{-4} \text{ m/s}$, para P1, e $2,10 \times 10^{-4} \text{ m/s}$, para P4, com uma média de $1,79 \times 10^{-4}$,

enquanto que, pelo método de Thiem, $K_{P1-P4} = 1,72 \times 10^{-4}$ m/s; 3) o armazenamento (S) apresentou uma média de $1,548 \times 10^{-3}$.

No Aquífero Barreiras, a transmissividade (T), pelo método de Theis, para o poço de observação PIII foi de $1,78 \times 10^{-3}$ m²/s, e para o poço PII, pelo método de Boulton-Pricket, foi de $8,89 \times 10^{-3}$ m²/s para o primeiro trecho e de $9,32 \times 10^{-3}$ m²/s para o segundo trecho, com média de $6,66 \times 10^{-3}$ m²/s. A condutividade hidráulica (K), para o poço de observação PII, foi de $8,36 \times 10^{-5}$ m/s, e para o poço PII, pelo método de Boulton-Pricket, foi de $3,92 \times 10^{-4}$ m/s para o primeiro trecho e de $1,18 \times 10^{-4}$ m/s para o segundo trecho, com média de $1,98 \times 10^{-4}$ m/s; o armazenamento (S) apresentou uma média de $9,1 \times 10^{-4}$.

No Aquífero Beberibe Poço THERMO1 e CABO BRANCO RESIDENCE PRIVÊ, foram respectivamente 9×10^{-4} m²/s e 4×10^{-4} m²/s.

Comparativamente, os resultados apresentam alguma distorções relativas, quando comparados ao aquífero em outras áreas, cujos efeitos podem ter sido causados por fatores adversos aos aquíferos aqui apresentados. Essas alterações podem ter sido ocasionados pelos aspectos construtivos e até mesmo pela carga hidráulica causada pela localização dos filtros, o que leva a considerar os fatores construtivos. Essas condições podem ser observadas nas perdas de cargas localizadas e/ou pela penetração parcial no aquífero.

Tabela 5.1 Média dos parâmetros hidrodinâmicos obtidos

AQUÍFERO	MÉTODOS	T (m ² /s)	K (m/s)	S (adm)
ALUVIÃO DO RIO MUMBABA	Theis / Thiem / Walton	$3,73 \times 10^{-3}$	$1,97 \times 10^{-4}$	$1,36 \times 10^{-3}$
AQUÍFERO BARREIRAS (ITACOATIARA)	Theis e Boulton Pricket	$6,65 \times 10^{-3}$	$1,98 \times 10^{-4}$	$2,74 \times 10^{-3}$
AQUÍFERO BEBERIBE (CBRP)	Cooper-Jacob	$4,00 \times 10^{-4}$	-----	-----
AQUÍFERO BEBERIBE (THERMO1)	Cooper-Jacob	$9,00 \times 10^{-4}$	$6,82 \times 10^{-6}$	-----
AQUÍFERO BEBERIBE PLANÍCIE DO RECIFE & JABOATÃO PROJETO HIDROREC II	-----	$2,20 \times 10^{-3}$	$2,2 \times 10^{-5}$	$2,0 \times 10^{-4}$

Por sua capacidade e pela qualidade de suas águas, o Aquífero Beberibe tem o maior potencial de reservas de águas subterrâneas da Bacia Sedimentar Paraíba, aflorante na sua porção mais ocidental. Entretanto, corresponde à área menos habitada da Região Metropolitana de João Pessoa. A sua exploração está mais acentuada nos condomínios residenciais no Aquífero Itamaracá (Beberibe Superior), na área litorânea, e nas indústrias da RMJP, alguns casos em comunidades dos municípios de Pitimbu, Alhandra, Conde e Lucena, atendendo a comunidades carentes com apoio de verba do governo federal, esses últimos com atividade no Aquífero Beberibe Superior e Inferior.

A pesquisa realizada veio a corroborar a boa condição de exploração dos Aquíferos da Bacia Paraíba (Barreiras, Aluvião do Rio Gramame e Sistema Aquífero Beberibe), onde os valores dos coeficientes hidrodinâmicos mostraram-se relativamente elevados. Revelando uma condição de sustentabilidade que deve ser resguardada, evitando atingir a situação de superexploração, que vem ocorrendo na área de Pernambuco, que revelou estar sendo explotado um volume maior que a recarga natural dos aquíferos, causando um rebaixamento elevado da sua superfície potenciométrica e salinização das suas águas de subsuperfície. Devendo seus usuários opera-los de acordo com as condições hidrodinâmicas dos aquíferos explotados, evitando danos ao meio e desperdício das águas subterrâneas.

Torna-se evidente a necessidade de um controle e monitoramento mais agressivo na fiscalização da liberação das licenças de obras hídricas voltadas para a perfuração de poços tubulares e da liberação das concessões de outorga. Pontualmente, a realização de testes de aquíferos, utilizando os poços já existentes, pode definir, de maneira eficiente, a quantidade de poços que podem ser liberados em determinada área, evitando problemas futuros de rebaixamentos inadequados e contaminações dos aquíferos que, hoje, ainda preservam características adequadas ao consumo humano. As gerações passadas tiveram, outrora, a oportunidade de um contato mais próximo com a qualidade que as águas superficiais puderam proporcionar à população de uma forma geral. Hoje são raros os casos em que podemos contar com águas de rios, lagos, lagoas, etc. que não precisem de um ostensivo tratamento antes de sua utilização pela população. A tendência de utilização das águas subterrâneas na Região Metropolitana de João Pessoa é de crescimento, e sua condição localizada e o aumento no consumo promovem, consequentemente, aumento na perfuração de poços. Torna-se importante a implantação de um sistema de monitoramento para a caracterização dos sistemas das

águas superficiais e subterrâneas, observando os dados já existentes, alinhando as necessidades atuais e as previsões futuras da demanda com o objetivo precípuo de proteção desses mananciais.

REFERÊNCIAS

- AESA. **Relatório Anual sobre a Situação dos Recursos Hídricos no Estado da Paraíba.** Ano hidrológico: 2008-2009. João Pessoa-PB, [2009?].
- ALMEIDA, F. F.; M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R. **Províncias estruturais brasileiras.** In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8., 1977, Campina Grande-PB. *Atas...* Campina Grande: SBG, Vol. 6, 1977, p. 363-391.
- BARBOSA, J. A. **Evolução da Bacia da Paraíba durante o Maastrichtiano-Paleoceno:** formações Gramame e Maria Farinha, NE do Brasil. 2004. 230 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, 2004.
- BARBOSA, J. A.; LIMA FILHO, Mário. **Os Domínios da Bacia da Paraíba.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS, 3., 2005, Salvador-BA. *Anais...* Salvador: [s.l.], 2005.
- _____. **Aspectos estruturais e estratigráficos da faixa costeira Recife-Natal:** observações em dados de poços. *Boletim de Geociências da Petrobras*, v. 14, n. 2, p. 287-306, 2006.
- BATISTA, R. P. **Estudo hidrogeológico da Planície do Recife.** f. 1984. Dissertação (Mestrado)
- BEURLEN, K. **Estratigrafia da faixa sedimentar costeira Recife-João Pessoa.** *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, v. 16, n. 1, p. 43-56, 1967a.
- _____. **Paleontologia da faixa sedimentar costeira Recife-João Pessoa.** *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, v. 16, n. 1, p. 73-79, 1967b.
- _____. **O Turoniano marinho do Nordeste do Brasil.** *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, v. 16, n. 1, p. 43-54, 1961a.
- BIGARELLA, J. J.; ANDRADE, G. O. **Considerações sobre a estratigrafia dos sedimentos cenozoicos em Pernambuco** (Grupo Barreiras). *Arquivos do Instituto de Ciências da Terra*, v. 2, p. 1-14, 1964.
- BRITO NEVES, B. B.; FEITOSA, E. C.; BEZERRA, F. H. **A Sub-Bacia Alhandra (Sul-Sudeste da Paraíba) revisitada:** contribuição de novos dados geológicos e geofísicos. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 21., 2005, Recife. *Resumos Expandidos...* Recife: SBG, 2005, p. 204-207.
- BRITO NEVES, B. B.; ALBUQUERQUE, J. P. T.; COUTINHO, J. M. V.; BEZERRA, F. H. R. **Novos Dados Geológicos e Geofísicos para a caracterização geométrica e estratigráfica da Sub-Bacia de Alhandra** (Sudeste da Paraíba). *Geologia USP*. Série Científica, v. 9, p. 63-87, 2009.
- CARTER, D. B.; MATHER, J. R. **Climatic classification for environmental biology.** Elmer, NY: C. W. Thornthwaite Associates Laboratory of Climatology, 1966. 395p. (Publications in Climatology, v. 19, n. 4).

- CARVALHO, Maria Gelza R. F. de. **“Estado da Paraíba”**: classificação geomorfológica. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, 1982.
- COSTA, W. D. (Coord.). **Estudo Hidrogeológico da Região Metropolitana do Recife**. Relatório Técnico HIDROREC I, Recife, v. 1, 1998.
- COSTA, Waldir Duarte e COSTA FILHO, Waldir Duarte. 2002. Estudo Hidrogeológico dos Municípios de Recife, Olinda, Jaboatão dos Guararapes e Camaragibe/PE. PROJETO HIDROREC II. Recife, COSTA CONSULTORIA.
- CRUZ, W. B.; SILVA, A. B.; JARDIM, F. G.; PEIXOTO, C. A. M. P. **Modelo de simulação analítica de exploração do Aquífero Beberibe, na área Olinda-Igarassu**. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 32-54, 1978.
- DEMÉTRIO, J. G. A.; OLIVEIRA, L. T. **Estudo de vulnerabilidade e proposta de proteção de aquíferos na faixa costeira de Pernambuco**. Recife: FADE/UFPE: CPRH, 2004.
- DIAS BRITO, D. **A Bacia de Campos no Mesocretáceo**: uma contribuição à paleoceanografia do Atlântico Sul primitivo. *Revista Brasileira de Geociências*, vol. 17, n. 2, p. 162-167, 1987.
- DNAEE – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Divisão de Concessão de Recursos Hídricos (Brasil). **Sistema de Codificação das Estações Hidrológicas**. 1976. 22 p.
- FEIJÓ, F. P. **Bacia Pernambuco-Paraíba**. *Boletim de Geociências da Petrobras*. Rio de Janeiro, Petrobras, vol. 8, n. 1, p. 143-148, 1994.
- FEITOSA, E. C.; FEITOSA, F. A. C.; LIRA, H. M. P. **Relações estratigráficas e estruturais entre a Bacia Potiguar e a Bacia Costeira PE/PB** – uma hipótese de trabalho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12., 2002, Florianópolis, SC. **Anais em CD- ROM**, 2002.
- FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. (Coord.). **Hidrogeologia**: Conceitos e Aplicações. 2. ed. Recife: CPRM: LABHID-UFPE, 2000.
- _____. _____. 3. ed. Recife: CPRM: LABHID-UFPE, 2004.
- FERREIRA, M. G.; ALHEIROS, M. M. Gênese de coberturas arenosas na faixa costeira Pernambuco-Paraíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37., 2002, São Paulo, SP. **Anais...** São Paulo, v. 2, p. 229-300, 1992.
- FLOHN, H. **Neue Anschauungen über die allgemeine Zirkulation der Atmosphäre und ihre klimatische Bedeutung**. *Erdkunde*, 4, p. 141-162, 1950.
- FORTES, F. P. **A tectônica de tecas da Bacia Potiguar**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34., 1986, Goiânia. **Atas...** Goiânia: SBG, vol. 3, p. 1145-1159.

FRANÇA, H. P. M.; CAPUCCI, E. B. **Diagnóstico preliminar das condições de exploração de água substerrânea do aquífero Beberibe, área Olinda-Paulista-Itamaracá**. Recife, CPRM/SUREG/RE: COMPESA, 1978. 1. v. (relatório inédito).

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Resolução n.º 5**, de 10 de outubro de 2002. (Áreas territoriais dos Estados e Municípios Brasileiros). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/areaterritorial/resolucao.shtml>>. Acesso em: 05 dez. 2010.

_____. **Contas Nacionais número 33. Produto Interno Bruto dos Municípios 2004-2008**. Rio de Janeiro, 2010. ISBN: 978-85-240-4159-4 (meio impresso), ISBN 978-85-240-4160-0 (CD-ROM), ISSN: 1415-9813. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pibmunicipios/2004_2008/pibmunicipio2004_2008.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2010.

KEGEL, W. **Geologia do fosfato de Pernambuco**. *Boletim da Div. Geol. Min.*, 187. Rio de Janeiro, 1955.

KEGEL, W. **Um novo membro fossilífero da formação Itamaracá (Cretáceo Superior), Pernambuco**. Anais da Academia Brasileira de Ciências. Rio de Janeiro, vol. 29, n. 3, p. 373-375, 1957.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.

LIMA FILHO, M. F. **Correlação da Bacia Cabo com as Bacias do Oeste Africano**. Simpósio dos Aspectos Tectônicos, Deposicionais e Evolutivos de Bacias *Rift*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39., 1996, Salvador. **Anais...** Vol. 5, p. 347-349, 1996.

_____. **Análise Estrutural e Estratigráfica da Bacia Pernambuco**. 1998. 139 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998a.

_____. **The main tectonic-magmatic events in Pernambuco basin (NE Brazil)**. In: MABESOONE, J. M. (Ed.). Contribuições científicas do LAGESE (Laboratório de Geologia Sedimentar) para o projeto IGCP N.º 381 “Correlações Mesozoicas no Atlântico Sul”. Universidade Federal de Pernambuco. Departamento de Geologia. Publicação Especial 4. Recife-PE, 1998b.

LIMA FILHO, M. F.; BARBOSA, J. A.; NEUMANN, V. H.; SOUZA, E. M. **Evolução estrutural comparativa da Bacia de Pernambuco e da Bacia da Paraíba**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS – SNET, 5., 2005, Curitiba. **Boletim de Resumos Expandidos**, p. 45-47

MABESOONE, J. M. **Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco-Paraíba-Rio Grande do Norte**. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 4., 1996, Águas de São Pedro-SP. **Boletim...** 1996a. p. 81-84.

_____. **Significance of Pernambuco-Paraíba-Rio Grande do Norte Basin (NE Brazil) for Atlantic Cretaceous.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39., 1996, Salvador, BA. *Anais...* Vol. 7, p. 389-391.

MABESOONE, J. M.; ALHEIROS, M. M. **Origem da Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco/Paraíba.** *Revista Brasileira de Geociências*, vol. 18, p. 476-482, 1988.

_____. **Base Estrutural** – Faixa sedimentar costeira de Pernambuco, Paraíba e parte do Rio Grande do Norte. In: MABESOONE, J. M. (Coord.). Revisão geológica da faixa sedimentar costeira de Pernambuco, Paraíba e parte do Rio Grande do Norte. *Estudos Geológicos*, Série B, vol. 10, p. 33-43, 1991.

_____. **Evolution of the Pernambuco-Paraíba-Rio Grande do Norte Basin and the problem of the South Atlantic connection.** *Geologie en Mijnbouw, Kluwer Academic Publishers*, vol 71., pp. 351-362, 1993.

MABESOONE, J. M.; CAMPOS E SILVA, A.; BEURLEN, K. **Estratigrafia e Origem do Grupo Barreiras em Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte.** *Revista Brasileira de Gociências*, v. 2, n. 3, p. 173-178, 1972.

MATOS, R. M. D. **The Northeastern Brazilian Rift System.** *Tectonics*, vol. 11., n. 4, p. 766-791, 1992.

MAURY, C. J. **O Cretáceo da Parahyba do Norte.** Serviço Geológico e Mineralógico. *Monographia*, n. 8, p. 1-305 Álbum das estampas, I-XXIII, estampas 1-35. Rio de Janeiro, 1930.

MENTE, A.; CRUZ, W. B. **Estudo de área de proteção de fontes de águas minerais da região norte do Recife, Estado de Pernambuco.** Recife: Ministério de Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), 2001.

OLIVEIRA, E. P. de. **História da Pesquisa de Petróleo no Brasil.** Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1940. [Obra póstuma]

OLIVEIRA, Luiz Antônio de; CAMPOS, José Elói Guimarães. **Parâmetros hidrogeológicos do sistema aquífero Bauru na região de Araguari/MG:** fundamentos para a gestão do sistema de abastecimento de água. *Revista Brasileira de Geociências*, 34(2), p. 213-218, jun. 2004.

OLIVEIRA, R. G. de. **Interpretação tectono-estrutural da área sedimentar da Região Metropolitana do Recife com base no mapa gravimétrico Bouger.** In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 15., 1993, Natal. *Atas...* Natal: SBG, 1993. p. 85-87.

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil.** 2003. Disponível em: <<http://www.pnud.org.br/atlas/>>. Acesso em: 29 maio 2010.

PREMOLI SILVA, I.; BOERSMA, A. **Cretaceous planktonic foraminifers – DSDP Leg 39 (South Atlantic).** In: PERCH-NIELSEN, K.; SUPKO, P. Init. Repts. DSDP, Washington (U. S. Govt. Printing Office), vol. 40, pp. Q025-1031, 1977.

RAND, H. M. Análise gravimétrica e magnetométrica da estrutura superficial da faixa costeira do Nordeste brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., 1978, Recife. **Boletim de Resumos...** vol. 5, p. 2336-2346.

RAND, H. M. **Estudos geofísicos na faixa sedimentar costeira Recife-João Pessoa.** *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, vol. 16, n. 1, p. 87-99, 1967.

RAND, H. M.; MABESOONE, J. M. Northeastern Brazil and the final separation of South America and Africa. *Paleogeography Paleoclimatology, Paleoecology*, vol. 38, pp. 163-183, 1982.

RODRIGUEZ, Janete Lins (Coord.). **Atlas Escolar da Paraíba** – Espaço Geo-Histórico e Cultural. 2. ed. João Pessoa: GRAFSET, 2000.

RORABAUGH, M. I. **Graphical and theoretical analysis of step-drawdown test of artesian wells.** *Transactions, American Society of Civil Engineers*, 79 (separate 362), p. 1-23, 1953.

SÁ, E. F. J. **Aspectos estruturais e tectônicos de rochas granitoides.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 23., 1984, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBG, 1984.

_____. **As relações de borda da sequência rifte na Sub-Bacia de Pernambuco, NE do Brasil.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS, 2., 2002, Rio de Janeiro. **Boletim de Resumos...** 2002, CD-ROM.

SÁ, E. F. J. et al. **Pre-Brasiliiano orogenic evolution in the Serido Belt, NE Brazil:** conflicting geochronological and structural data. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 27, p. 311-314, 1997.

SALIM, J.; SOUZA, C. J.; MUNIZ, G. C. B.; LIMA, M. R. **Novos subsídios para a elucidação do episódio "Barreiras" no Rio Grande do Norte.** In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 7., 1975, Fortaleza. **Atas...** Fortaleza: SBG. 1975. p. 149-158.

SANTOS, E. J. Ensaio preliminar sobre a geologia, os terrenos e acrecionalária na Província da Borborema. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39., Salvador. **Anais...** (1996).

SANTOS, M. E. C. M.; CUNHA, F. L. S. **Sobre Hemiaster Jacdsoni Maury e outro equinoides do Cretáceo Brasileiro.** In: ROSADO, Vingt-Un; ROSADO, Amélia. (Org.). **Estudos de Paleontologia Potiguar.** [s.d.]. Edição especial para o Acervo Virtual Oswaldo Lamartine de Faria. Disponível em: <http://www.colecaomossoroense.org.br/acervo/estudo_de_paleontologia.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2012.

SANTOS, E. J.; BRITO NEVES, B. B. **Província Borborema.** In: ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y. (Ed.). **O Pré-Cambriano do Brasil.** São Paulo: Edgard Blucher, 1984. p. 123-186.

- SCHEIBNEROVÁ, V. **Paleogeographical implication of Cretaceous benthic foramininifers recovered by the DSDP in the western South Atlantic Ocean.** *Cretaceous Research*, vol. 2, pp. 1-18, 1981.
- SETZER, J. **Atlas Climático e Ecológico do Estado de São Paulo.** São Paulo: CIBPU, 1966, 61 p.
- SILVA, T. C. da; PEDROSA FILHO, L. de A.; SILVA, A. C. S. **Avaliação e Espacialização das Características dos Poços do Município de João Pessoa – Paraíba.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 14., 2001, Aracaju. *Anais...* 2001.
- SOBRAL, A. C. S.; ZUCON, M. H.; BARRETO, A. M. F. **Amonoides da Bacia de Pernambuco-Paraíba, NE, Brasil.** *Estudos Geológicos*, v. 20, n. 1, 2010. Disponível em: <<http://www.ufpe.br/estudosgeologicos/paginas/edicoes/2010201/2010201t03.pdf>>. Acesso em: 22 abr. 2012.
- SOUZA, E. M. **Estratigrafia da sequência clástica inferior (andares Coniaciano-Maastrichtiano Inferior) da Bacia da Paraíba, e suas implicações paleogeográficas.** 350 f. 2006. Tese (Doutorado em Geociências) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, 2006.
- SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Levantamento exploratório – Reconhecimento de solos do Estado da Paraíba.** *Boletim Técnico*, 15, Série Pedologia, 8, Recife, 1972.
- SUGUIO, K.; MEIS, M. R. M.; TESSLER, M. G. **Atas do IV Simpósio do Quaternário no Brasil.** Rio de Janeiro: CTCQ-SBG, 1986.
- SZATMARI, P.; FRANÇOLIN, J. B. L.; ZANOTTO, O.; WOLFF, S. Evolução tectônica da margem continental brasileira. *Revista Brasileira de Geociências*, vol. 17, n. 2, p. 180-188. 1987).
- TINOCO, I. M. **Foraminíferos e a passagem entre o Cretáceo e o Terciário em Pernambuco.** 1971. 147 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Astronomia, Universidade de São Paulo, 1971.
- TREWARTHA, G. T. **An Introduction to Climate.** New York: McGraw-Hill, 1954. 402 p.
- VIEIRA, Z. M. C. L.; RIBEIRO, M. M. R. **A Gestão de Recursos Hídricos no Estado da Paraíba:** Aspectos Legais e Institucionais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17.; SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA, 8., 2007, São Paulo, SP. *Anais...* São Paulo, 2007. CD-ROM.
- VILAS BOAS, G. S.; SAMPAIO, F. J.; PEREIRA, A. M. S. **The Barreiras Group in the Northeastern coast of the State of Bahia, Brazil:** depositional mechanisms and processes. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, vol. 73, n. 3, pp. 417-427, Rio de Janeiro, Sept. 2001. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0001-37652001000300010>. Acesso em: 03 abr. 2012.

