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

ANA GABRIELLA DOS SANTOS BATISTA DE MENEZES

GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA BACIA SEDIMENTAR DE SÃO JOSÉ DO BELMONTE - PE

Recife

2022

ANA GABRIELLA DOS SANTOS BATISTA DE MENEZES

GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA BACIA SEDIMENTAR DE SÃO JOSÉ DO BELMONTE - PE

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Geociências.

Área de concentração: Hidrogeologia e Geologia Aplicada.

Orientador: Prof. Dr. José Geilson Alves Demétrio.

Recife

2022

Catalogação na fonte:
Bibliotecária Sandra Maria Neri Santiago, CRB-4 / 1267

M543g Menezes, Ana Gabriella dos Santos Batista de.
Gestão das águas subterrâneas da bacia sedimentar de São José do Belmonte-Pe / Ana Gabriella dos Santos Batista de Menezes. – 2022.
187 f.: il., fig. e tab.

Orientador: Prof. Dr. José Geilson Alves Demétrio.
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Recife, 2022.
Inclui referências e anexos.

1. Geociências. 2. Superexplotação. 3. Aquífero Tacaratu. 4. Outorga de águas subterrâneas. 5. São José do Belmonte. I. Demétrio, José Geilson Alves (Orientador). II. Título.

UFPE

551 CDD (22. ed.)
BCTG/2023-142

ANA GABRIELLA DOS SANTOS BATISTA DE MENEZES

GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA BACIA SEDIMENTAR DE SÃO JOSÉ DO BELMONTE - PE

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Geociências. Área de concentração: Hidrogeologia e Geologia Aplicada.

Aprovada em: 16/11/2022.

BANCA EXAMINADORA

_____
Prof. Dr. José Geilson Alves Demétrio (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

_____
Prof. Dr. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

_____
Prof. Dr. Anderson Luiz Ribeiro de Paiva (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

_____
Prof. Dr. Luiz Rogério Bastos Leal (Examinador Externo)
Universidade Federal da Bahia

_____
Dra. Leanize Teixeira Oliveira (Examinadora Externa)
Serviço Geológico do Brasil

AGRADECIMENTOS

Este presente trabalho representa concretização de uma caminhada difícil, exigiu muita dedicação. No entanto, no meu caminho encontrei o apoio de muitas pessoas, que sem elas jamais teria conseguido, por isso não posso esquecer-me de agradecê-las de todo meu coração.

Agradeço primeiramente a Deus por ter fornecido forças em todo percurso de minha vida.

Aos meus pais Ivanildo Jose Batista e Maria do Socorro Santos Batista por todo o apoio principalmente ensinado os verdadeiros valores da vida

Ao meu irmão Carlos Eduardo dos Santos Batista por me apoiar.

Ao meu marido José Acioli Bezerra de Menezes Filho que com sua alegria torna minha vida mais doce e feliz. Agradeço por todo o amor carinho, cuidado, respeito e amizade.

Ao meu filho Jose Acioli Bezerra de Menezes Neto, que transformou minha vida profundamente, meu grande amor.

Ao meu orientador Prof. Dr. José Geilson Alves Demetrio meu agradecimento ad eternum, nada será o suficiente para demonstrar toda minha gratidão, mas fica o reconhecimento de que foi e é um privilégio poder desfrutar, ao longo desses anos, de toda sua experiência e principalmente motivação na condução desse trabalho.

À banca examinadora pela contribuição para o aperfeiçoamento deste trabalho.

As minhas amigas Lara Souza, Thais Carrino, Thais Menezes, Fatima e a Geruza de Fatima que transcende o verdadeiro sentido de amizade.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

.

RESUMO

A gestão da água subterrânea é uma tarefa complexa, tendo em vista o grande número de variáveis envolvidas na sua formulação. No Brasil ainda são tímidas as ferramentas de gestão utilizadas pelos gestores. Em Pernambuco a Agência reguladora utiliza as chamadas zonas de explotação dos aquíferos, quando disponíveis, para estabelecer as vazões outorgadas. Essas zonas são estabelecidas basicamente com base na profundidade dos níveis estáticos, que é uma forma muito limitada para se estabelecer a outorga. Uma ferramenta de gestão eficiente tem que contemplar a complexidade do aquífero como um todo, assim, para uma boa gestão é indispensável a utilização de um modelo numérico de fluxo da água subterrânea, de forma que, a outorga seja feita levando-se em conta os efeitos hidráulicos do bombeamento outorgado, fornecendo ao gestor o embasamento técnico necessário para suas tomadas de decisão. Os dados disponíveis para elaboração do modelo numérico de fluxo do Aquífero Tacaratu, na Bacia Sedimentar de São José do Belmonte, permitiram calibração e validação satisfatórias, bem como a elaboração de cenários. Mantendo-se o atual ritmo de bombeamento o aquífero deverá secar em poucos anos, porém paralisando-se a construção de novos poços a partir de 2030, sem alteração das vazões bombeadas, o aquífero estaria exaurido por volta de 2130. Caso as vazões fossem reduzidas pela metade e dobrasse a recarga, as reservas do aquífero seriam recuperadas em 70 anos aproximadamente.

Palavras-chave: superexplotação; Aquífero Tacaratu; outorga de águas subterrâneas; São José do Belmonte.

ABSTRACT

Groundwater management is a complex task, considering the large number of variables involved in its formulation. In Brazil, the management tools used by managers are still shy. In Pernambuco, the regulatory agency uses the so-called aquifer exploitation zones, when available, to establish the authorized flows. These zones are basically established based on the depth of static levels, which is a very limited way to establish the grant, generating distortions. The tool to be proposed will be based on the hydraulic behavior of the aquifer, for which a numerical model of groundwater flow is essential, so that the grant is made taking into account the hydraulic effects of the pumping granted, providing the manager with the technical background necessary for their decision making. The data, available for the elaboration of the numerical flow model of the São José do Belmonte Sedimentary Basin, allowed satisfactory calibration and validation, which does not limit the proposal of the management model, moreover the model can be refined as the data refined and new information incorporated. At the present stage of the work, the proposal of the management tool is in its initial phase.

Keywords: superexplotation; Aquifer Tacaratu; modelling numeric; São José do Belmonte.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Mapa de localização da área de estudo……..... 18

Figura 2 - Dados pluviométricos das precipitações médias dos postos São José do Belmonte 11, São José do Belmonte 15, São José do Belmonte 44 e São José do Belmonte 48……..... 23

Figura 3 - Mapa de isoietas do município de São José do Belmonte…..... 23

Figura 4 - Temperaturas médias para o posto meteorológico situado no município de Cabrobó (PE). Linha preta indica o ajuste linear obtido dos dados de temperatura no período de 1961 a 2018……..... 24

Figura 5 - Na área de estudo a ampla distribuição das espécies como o xiquexique (*pilocereusgounelliei*) (Figura 5A), algaroba (*Prosopisjuliflora*) (Figura 5B), o juá (Ziziphus joazeiro) (Figura 5C), a jurema (*Mimosa sp.*) (Figura 5D), o mandacaru (*Cereus sp.*) 5E)……..... 25

Figura 6 - Aspectos do Rio São Cristovão, em julho/2018 em primeiro plano no período chuvoso (A, B) e no período seco em março de 2019 (C, D)……..... 26

Figura 7 - Relevo da Bacia Sedimentar de São Jose do Belmonte……..... 27

Figura 8 - Mapa de solos da Bacia de São Jose do Belmonte……..... 28

Figura 9 - Polígono de Thiessen da Bacia de São José do Belmonte..... 31

Figura 10 - Distribuição das estações pluviométricas em torno do município de São José do Belmonte……..... 34

Figura 11 - Mapa simplificado da Zona Transversal: TPAB – Terreno Piancó-Alto Brigida; TAP – Terreno Alto Pajeú; TAM – Terreno Alto Moxotó e TRC – Terreno Rio Capibaribe. Linha tracejada - área de estudo……... 39

Figura 12 - Mapa Geológico da Bacia de São José do Belmonte..... 41

Figura 13 - Afloramentos de arenitos da Formação Tacaratu na área de estudo em primeiro plano (A, B) arenitos avermelhados, granulometria média a fina, B arenito com níveis

conglomeráticos, C arenitos acinzentados, granulometria média a fina e apresentando estratificação plano paralela…..... 44
Figura 14 - Afloramentos da Formação Aliança na porção SE da bacia de São Jose do Belmonte. 45
Figura 15 - Afloramentos da Formação Sergi na porção SE da BSSJB…… 45
Figura 16 - Coberturas arenosas oriundo do retrabalhamento da Formação Tacaratu……..... 46
Figura 17 - Afloramentos encontrados na borda da BSSJB, rocha xistosa (A) e ortognaisses com diques pegmatíticos (B)……..... 47
Figura 18 - Mapa geológico do município de São José do Belmonte……... 48
Figura 19 - Mapa de distribuição dos poços dos respectivos bancos de dados mais os poços da rede de monitoramento. 50
Figura 20 - Evolução da potenciometria na Bacia de São José do Belmonte no período de 1940-1970 e 1940 -1980……..... 52
Figura 21 - Histograma distribuição das vazões. 54
Figura 22 - Evolução da potenciometria na bacia de São José do Belmonte……..... 56
Figura 23 - Variação das potenciometria entre os períodos de (1940 e 1980) – (1981 a 1990) para o setor 01……..... 57
Figura 24 - Variação das potenciometria entre os períodos de (1981 a 1990) – (1991a 2000) para o setor 01……... 58
Figura 25 - Variação das potenciometria entre os períodos de (1940 e 1980) – (1981 a 1990 58
Figura 26 - Variação das potenciometria entre os períodos de (1981 a 1990) e (1991 a 2000)..... 59
Figura 27 - Variação das potenciometria entre os períodos de (1981 a 1990) e (1991 a 2000)……..... 59
Figura 28 - Variação das potenciometria entre os períodos de (1991 a 2000) e (2001 a 2007)……..... 60
Figura 29 - Variação das potenciometria entre os períodos de (1981 a 1990) e (1991 a 2000) próximo ao Rio São Cristóvão……..... 60
Figura 30 - Variação das potenciometria entre os períodos de (1991 a 2000) e (2001 a 2007) próximos ao Rio São Cristóvão…….. 61

Figura 31 -	Oscilação da precipitação média mensal para cada período….....	62
Figura 32 -	Variação da precipitação total anual no período de 1940 a 2007 do posto 11 em São José do Belmonte…….....	62
Figura 33 -	Histogramas do ano de perfuração e a quantidade de poços para o período de 1940 a 2007……..	64
Figura 34 -	Curvas de capacidade específica versus rebaixamento ajustadas a uma lei de potência para os poços, PG0757 e PG1092…….....	70
Figura 35 -	Curvas rebaixamento x tempo utilizando o método de Theis para os poços PG0757 e PG1092…….....	71
Figura 36 -	Curva rebaixamento versus tempo para determinação dos parâmetros hidrogeológicos a partir do método de Theis para os poços PG1016 e PG1021…….....	73
Figura 37 -	Determinação de T e K no próprio poço bombeando - Método de Jacob…….....	74
Figura 38 -	Determinação de T e K no próprio poço bombeando - Método de Jacob…….....	77
Figura 39 -	Curva de rebaixamento versus tempo pelo método de Theis e Jacob para a determinação dos parâmetros hidrogeológicos nos poços PG1544 e PG1543…….....	78
Figura 40 -	Determinação dos parâmetros hidrogeológicos pelo método de Theis…….....	79
Figura 41 -	Potenciometria na área da Fonte Cristalina – antes do bombeamento julho/2020…….....	82
Figura 42 -	Potenciometria apos 24h de bombeamento – julho 2020.	83
Figura 43 -	Rebaixamento após 24 h de bombeamento…….....	83
Figura 44 -	Poços com perfis litológicos com uma única camada arenosa……..	85
Figura 45 -	Perfis litológicos apresentando pelo menos uma camada argilosa ou síltica……..	86
Figura 46 -	Perfis litológicos apresentando pelo menos uma camada argilosa ou síltica (continuação)…….....	87

Figura 47 - Poços com pelo menos uma camada argilosa ou síltica e que os níveis dinâmicos não ultrapassam os estratos impermeáveis….. 88
Figura 48 - Distribuição das SEVs ao longo da BSJB. 89
Figura 49 - Mapa do campo magnético anômalo (A) e da primeira derivada vertical (B)……..... 95
Figura 50 - Mapa de amplitude do sinal analítico e indicação de quatro feições geológicas: 1 alto estrutural, 2- zona de cisalhamento, 3- baixo estrutural e 4 -Gráben Arrudeiro…..……..... 97
Figura 51 - Imagem com soluções de Deconvolução de Euler para as seguintes configurações janela 7 índices estrutural de 1, associados aos poços profundos da BSSJB..... 98
Figura 52 - Perfis Geológico da BSSJB. 103
Figura 53 - Primeira aproximação da superfície do embasamento cristalino..... 104
Figura 54 - Mapa com a localização dos poços e suas profundidades. 105
Figura 55 - Detalhamento para zona 01 e 02 conforme a figura anterior. 106
Figura 56 - Superfície do embasamento cristalino. 106
Figura 57 - Discretização da área modelada para a BSSJB. 108
Figura 58 - Diferentes tipos de condições de contorno. 109
Figura 59 - Distribuição da recarga na área modelada. 110
Figura 60 - Distribuição dos poços digitalizados ao longo da BSSJB. 113
Figura 61 - Comparação das potenciometrias observada (A) e a potenciometria reproduzida pelo modelo (B). 114
Figura 62 - Relação entre as cargas calculadas x cargas observadas. 115
Figura 63 - Relação entre o NRMS e a condutividade hidráulica e a recarga..... 117
Figura 64 - Comparação das cargas digitalizadas, observadas e calculadas..... 118
Figura 65 - Mapa Zoneamento Explotável da RMR – HIDROREC I (1998) 130
Figura 66 - Mapa de Zoneamento Explotável dos Aquíferos Beberibe, Cabo e Barreiras..... 131
Figura 67 - Mapa de Zoneamento Explotável dos Aquíferos da Bacia do Jatobá..... 133

Figura 68 - Evolução da descarga e da recarga na BSSJB..... 136
Figura 69 - Variação dos níveis estáticos nos poços PG1018 e PG0912 na BSSJB..... 138
Figura 70 - Mapa de Zoneamento Explotável dos Aquíferos na BSSJB..... 139
Figura 71 - Evolução do crescimento das descargas no período de 1981 a 2007..... 141
Figura 72 - Evolução do consumo da reserva nos cenários 01 e 02..... 142
Figura 73 - Evolução do consumo da reserva para diferentes cenários 145
Figura 74 - Evolução do rebaixamento para 2080 em diferentes cenários 146

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Médias de precipitações mensais de vários locais do município de São José do Belmonte..... 22
Tabela 2 - Séries históricas dos postos pluviométricos de São José do Belmonte..... 31
Tabela 3 - Postos vizinhos ao município de São José do Belmonte..... 35
Tabela 4 - coeficientes angulares para cada posto. 36
Tabela 5 - Dados mensais de precipitação (mm) da estação São José do Belmonte-11, com o preenchimento das lacunas..... 36
Tabela 6 - Valores do excedente hídrico e infiltração no período de 1994 a 2018..... 37
Tabela 7 - Variação da quantidade de poços construídos. 63
Tabela 8 - Relação descarga e volume por período..... 64
Tabela 9 - Comparação dos valores de transmissividade e condutividade hidráulica..... 68
Tabela 10 - Valores obtidos da descarga fractal, transmissividade e condutividade hidráulica..... 72
Tabela 11 - Poços de abastecimento com informação de ensaios de bombeamento..... 72
Tabela 12 - Resumo dos dados obtidos com o teste de aquífero..... 74
Tabela 13 - Parâmetros hidrogeológicos determinados a partir da primeira etapa dos testes de produção..... 76
Tabela 14 - Resumo dos valores dos parâmetros hidrogeológicos 77
Tabela 15 - Determinação parâmetros hidrodinâmicos - Fonte Belmonte..... 81
Tabela 16 - Medidas de nível antes e durante o teste de aquífero – Fonte Cristalina julho 2020..... 81
Tabela 17 - Estimativa da profundidade do embasamento..... 91
Tabela 18 - Índices estruturais e possibilidade de detecção de tipo de fonte magnética (Reid 1990) 94

Tabela 19 - Respostas do modelo às variações dos parâmetros analisados..... 118
Tabela 20 - Restrições de explotação – Anexo 02 da Resolução..... 134
Tabela 21 - Variação dos níveis estáticos na BSJB..... 137
Tabela 22 - Reserva total e volume explotado para diferentes períodos – Cenário 01..... 141
Tabela 23 - Projeção do volume explotado em diferentes períodos – Cenário 01..... 142
Tabela 24 - Projeção do volume explotado em diferentes períodos – Cenário 02..... 143
Tabela 25 - Reserva total e volume explotado para diferentes períodos – Cenário 03..... 144
Tabela 26 - Projeção do volume explotado em diferentes períodos – Cenário 03..... 144

SUMARIO

1	**INTRODUÇÃO**	**17**
1.1	LOCALIZAÇÃO.....	18
1.2	OBJETIVOS GERAIS.....	18
1.2.1	**Objetivos específicos**	**19**
2	**METODOLOGIA**.....	**20**
3	**ASPECTOS GEOGRÁFICOS**.....	**22**
3.1	CLIMATOLOGIA.....	22
3.1.1	**Temperatura.**.....	**23**
3.2	VEGETAÇÃO.....	25
3.3	HIDROGRAFIA.....	26
3.4	MORFOLOGIA.....	26
3.5	SOLOS	27
3.5.1	**Areias quartzosas.**.....	27
3.5.2	**Latassolos**.....	28
3.5.3	**Solos aluviais**.....	28
3.6	BALANÇO HÍDRICO.....	29
3.6.1	**Preenchimento de falhas**.....	**32**
3.6.2	**Ponderação regional**.....	**32**
3.6.3	**Regressão linea**r.....	**33**
3.6.4	**Séries temporais sintéticas**	**33**
3.6.5	**Estações pluviométricas próximas a São José do Belmonte**.....	**33**
4	**CONTEXTO GEOLÓGICO**.....	**39**
4.1	EVOLUÇÃO DAS BACIAS INTERIORES.....	40
5	**GEOLOGIA LOCAL**	**43**
5.1	FORMAÇÃO TACARATU.....	43
5.2	FORMAÇÃO ALIANÇA	44
5.3	FORMAÇÃO SERGI	45

5.4 COBERTURAS CENOZOICAS 46
6 HIDROGEOLOGIA REGIONAL **47**
6.1 HIDROGEOLOGIA LOCAL..... 49
6.2 CADASTRAMENTO DE PONTOS D'ÁGUA..... 49
6.3 MAPA POTENCIOMÉTRICO..... 51
7 ENSAIOS DE BOMBEAMENTO..... **66**
7.1 ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - 1999 66
7.1.1 Capacidade específica fractal **68**
7.2 ENSAIOS DE BOMBEAMENTO DA COMPESA 72
7.2.1 Teste de Aquífero **73**
7.2.2 Ensaios de bombeamento de curta duração na BSSJB **76**
7.2.3 Ensaio de curta duração e teste de aquífero – Fonte Belmonte 78
7.3 DEFINIÇÃO DO TIPO AQUÍFERO 84
8 GEOFÍSICA **89**
8.1 MÉTODO MAGNETOMÉTRICO 91
8.2 REDUÇÃO DE DADOS MAGNÉTICOS PARA CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL E ESTIMATIVA DA PROFUNDIDADE 92
8.2.1 Derivada Vertical **92**
8.2.2 Sinal Analítico **93**
8.2.3 Derivada tilt **93**
8.2.4 Deconvolução de Euller **94**
8.2.5 Resultados **95**
9 MODELO CONCEITUAL E NUMÉRICO DA BSJB 99
9.1 MODELO CONCEITUAL DA BSSJB 101
9.2 GEOMETRIA DO AQUÍFERO 102
9.3 DISCRETIZAÇÃO ESPACIAL..... 107
9.4 CONDIÇÕES DE CONTORNO..... 108
9.5 DIREÇÃO DO FLUXO..... 111
9.6 PARÂMETROS HIDROGEOLÓGICOS 111
9.7 CALIBRAÇÃO..... 112
9.8 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE 116
9.9 VALIDAÇÃO 118
10 MODELO DE GESTÃO **120**

10.1 GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS..... 120
10.2 GESTÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM ALGUMAS PARTES DO MUNDO..... 121
10.2.1 Estados Unidos **121**
10.2.2 Austrália **122**
10.2.3 União Europeia **123**
10.3 GESTÃO NO BRASIL 126
10.3.1 Legislação no Brasil **126**
10.3.2 Leis especiais para águas subterrâneas **126**
10.3.3 Leis Estaduais 128
10.3.4 Bacia do Jatobá **133**
10.3.5 São José do Belmonte **135**
10.4 GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA BSSJB 139
10.5 CENÁRIOS FUTUROS 140
11 CONCLUSÕES **147**
12 RECOMENDAÇÕES **149**
REFERÊNCIAS **150**
ANEXO A - FICHA DE CAMPO DOS ENSAIOS DE BOMBEAMENTO – (Costa, 2006) 157
ANEXO B - CURVAS DE CAPACIDADE ESPECÍFICA FRACTAL PARA OS POÇOS PG00674, PG0836, PG0856, PG1115 E PG 1165 179
ANEXO C - CURVAS REBAIXAMENTO X TEMPO PG00674, PG1030, PG0856, PG1115 E PG 1165 181
ANEXO D - FICHA DE CAMPO DOS ENSAIOS DE CURTA DURAÇÃO 182
ANEXO E - FICHA DE CAMPO TESTE DE AQUÍFERO – COMPESA 184
ANEXO F - FICHA DE CAMPO TESTE DE PRODUÇÃO – FONTE BELMONTE 186

1 INTRODUÇÃO

A Bacia Sedimentar de São José do Belmonte vem sendo aproveitada para explotação de água subterrânea, pelo menos, desde a década de 1940, segundo o banco de dados da CPRM. A partir de então a explotação de água subterrânea vem aumentando exponencialmente. De acordo com o SIAGAS (2022), que não é atualizado, constam 1502 poços, sendo a maioria deles concentrados ao longo do Rio São Cristóvão.

A água subterrânea do aquífero Tacaratu vem sendo utilizada para abastecimento humano, animal e irrigação. Por exemplo, a cidade de São José do Belmonte é abastecida integralmente a partir desse manancial. Esse uso diverso e intenso com certeza poderá gerar problemas, entre eles a superexplotação e aumento do risco de contaminação devido a utilização de agrotóxicos e pesticidas, uma vez que, o aquífero é extremamente vulnerável, por conta do caráter livre do mesmo (Feitosa; Vidal, 2004).

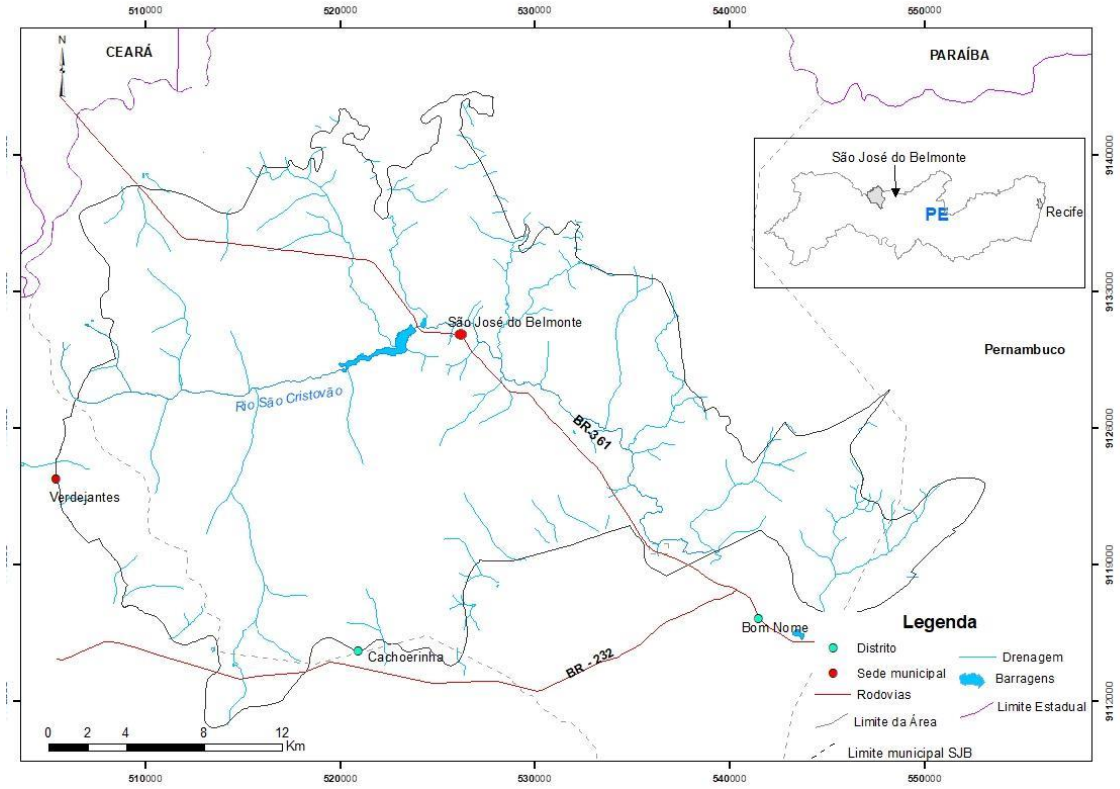
A gestão dos recursos hídricos subterrâneos passa necessariamente pelo conhecimento adequado do aquífero, ou sistema aquífero, desde sua geometria, características hidrodinâmicas, condições de recarga e exutórios naturais, bem como, o seu grau de explotação. Essa complexidade prejudica a compreensão para os leigos, o que diminui o seu apelo político e social, fazendo com que torne difícil a legitimação prática da legislação vigente.

A elaboração de uma ferramenta de gestão, adequada teria que contemplar a natureza gradativa dos impactos do bombeamento dos novos poços, bem como, o impacto dos já existentes, e não só em uma pequena região, mas considerar a utilização do aquífero como um todo, isto é, que considere as suas reações aos bombeamentos, infiltrações, transporte de contaminantes, relações com a água de superfície, entre outros aspectos, ou seja, um modelo matemático do aquífero, mais especificamente um modelo numérico de fluxo.

1.1 LOCALIZAÇÃO

A Bacia Sedimentar de São José do Belmonte (BSSJB) situa-se na Mesorregião do Sertão Pernambucano e Microrregião do Pajeú, ocupando uma área de 748,0 km². Está situada entre os municípios pernambucanos de São Jose do Belmonte, Mirandiba e Verdejantes, e tem como principais vias de acesso a BR-232, BR-361 e a PE 430, na Figura 01 mostra-se o mapa de localização da BSSJB.

Figura 1- Mapa de localização da área de estudo



Fonte: A Autora (2022), limite da BSSJ por Costa (2006).

1.2 OBJETIVOS GERAIS

Desenvolver uma ferramenta de gestão da água subterrânea na BSSJB, baseada no conhecimento hidrogeológico e com auxílio da modelagem numérica em diferenças finitas, para servir como instrumento de outorga e como piloto para outros aquíferos no Estado de Pernambuco.

1.2.1 Objetivos específicos

Aprofundar o conhecimento geológico, geofísico e hidrogeológico na Bacia Sedimentar de São José do Belmonte.

a) Desenvolver e calibrar um modelo numérico dos aquíferos na BSSJB.

b) Realizar simulações e cenários para melhor entendimento do comportamento hidrodinâmico do aquífero sob diferentes configurações de bombeamento futuros de acordo com as outorgas a serem concedidas em BSJJB.

c) Desenvolver e propor um roteiro de gestão de água subterrânea da BSSJB para auxiliar os órgãos gestores na liberação de licenças de operação e outorgas de poço.

2 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento desse trabalho, foram executadas as seguintes etapas:

Levantamento de dados: foi realizado levantamento bibliográfico sobre gestão de aquíferos, da hidrogeologia e geologia da Bacia Sedimentar de São José do Belmonte, legislação de outorgas no Brasil, além do uso de modelagem numérica para fins de gestão no Brasil e no mundo.

Levantamento do cadastro de poços do Serviço Geológico do Brasil-CPRM e da Agência Pernambucana de Águas e Climas -APAC.

Interpretação de testes de aquífero e de produção realizados em estudos anteriores e em relatórios de pesquisa para água mineral.

Obtenção de dados de vinte sondagens elétricas verticais a partir do trabalho Estudo hidrogeológico da bacia sedimentar de São Jose do Belmonte, visando a instalação de sensores telemétricos (COSTA, 2006), além de um parecer acerca do estudo hidrogeológico desenvolvido para Companhia de Saneamento de Pernambuco - COMPESA no setor sudeste da Bacia sedimentar de São José do Belmonte (FEITOSA, 1990).

Foram usados dados de modelo digital de elevação do sensor lidar (Light Detection and Ranging) provenientes do projeto Pernambuco 3D. Estes dados são marcados por resolução espacial de 1 m, e foram cedidas pela APAC.

Foram usados grids de imagens aeromagnetométricas provenientes do Projeto Aerogeofísico Pernambuco-Paraíba da CPRM (celebrado com o consórcio LASA Engenharia e Prospecções S.A./ em 2008). Os dados magnéticos foram obtidos a altura de voo de 100 m e com espaçamento de linhas de voo e de controle, respectivamente, de 0,5 e 10 km. Os grids do campo magnético anômalo, da primeira derivada vertical e da amplitude do sinal analítico foram previamente cedidas pela CPRM (200x), e são marcadas por células de 125 m.

Foram realizadas 05 etapas de atividades de campo, objetivando a coleta de dados geológicos e para caracterização hidrogeológica da área de pesquisa.

Seleção de trinta poços, estrategicamente posicionados, para monitoramento dos seus níveis estáticos. Preferencialmente, foram selecionados poços não instalados, para que as medidas de nível estático representem apenas a evolução da potenciometria do aquífero como um todo, sem a influência do bombeamento no próprio poço. Também compõem a rede de monitoramento poços com bombeamentos inferiores a duas horas diárias, para abastecimentos domésticos, e que não eram utilizados todos os dias.

Elaborar o modelo conceitual do aquífero Tacaratu na BSSJB a partir dos dados levantados acima, a definição do modelo considera ainda a geometria do aquífero, parâmetros hidrogeológicos e condições de contorno.

A penúltima etapa foi o desenvolvimento do modelo numérico em diferenças finitas, que se fundamenta na equação diferencial que rege o fluxo de água subterrânea.

Elaboração da proposta de gestão do aquífero Tacaratu na BSSJB.

3 ASPECTOS FISIOGRAFICOS

Os aspectos fisiográficos referem-se às características físicas e geográficas de uma determinada área ou região. Esses aspectos incluem elementos como o relevo, hidrografia, clima, vegetação e solos, que, juntos, moldam a paisagem

3.1 CLIMATOLOGIA

A área de estudo está situada na região semiárida do nordeste do Brasil que é caracterizada pela precipitação escassa, de comportamento irregular e concentrada. As temperaturas são altas e relativamente homogêneas o ano todo. O clima dominante, segundo a classificação de Köppen (PEEL et al., 2007) é do tipo BSh, ou seja, clima seco de estepe de baixas latitudes. Toda a região do município de São José do Belmonte é caracterizada por baixos índices pluviométricos, com médias mensais oscilando entre 48,56 mm e 40,67 mm e média anual 500 mm. O município supracitado possui quatro postos pluviométricos: São José do Belmonte 11, São José do Belmonte 15, São José do Belmonte 44 e São José do Belmonte 48. Conforme, a APAC a Tabela 01 mostra as precipitações médias mensais para as estações pluviométricas do município no período de 1993-2018.

Tabela 1 - Médias de precipitações mensais de vários locais do município de São José do Belmonte.

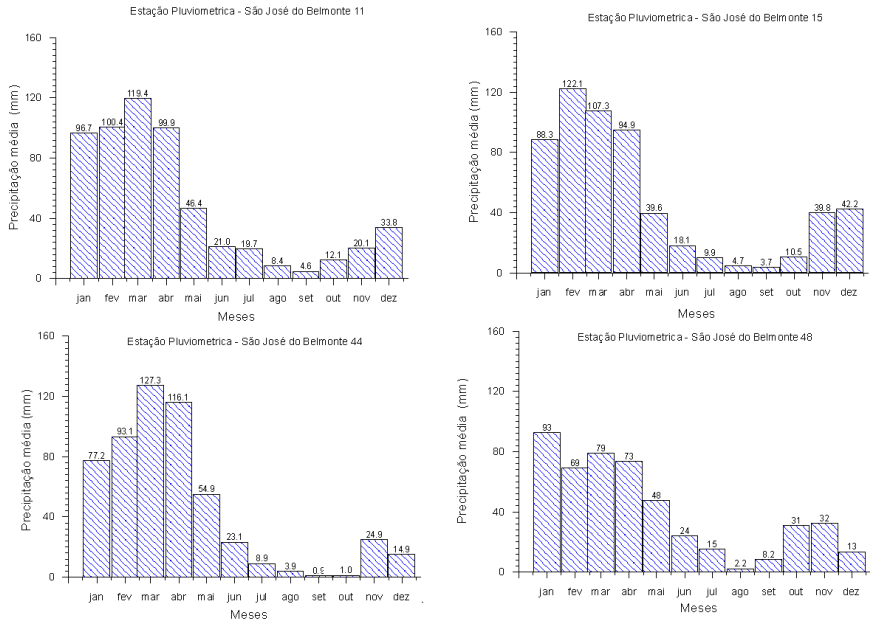
Meses	Postos pluviométricos e a quantidade de anos com dados							
	SJB -11 (mm)	Anos	SJB - 15 (mm)	Anos	SJB-44 (mm)	Anos	SJB-48 (mm)	Anos
Jan	96,7	26	88,3	10	77,2	9	92,6	7
Fev	100,4	25	122,1	10	93,1	9	69,2	7
Mar	119,3	26	107,3	10	127,2	9	78,9	7
Abr	99,9	26	94,9	10	116,0	8	73,2	8
Mai	46,3	26	39,6	10	54,9	8	47,6	8
Jun	21,0	25	18,1	11	23,0	8	24,1	7
Jul	19,7	26	9,9	8	8,8	8	15,1	7
Ago	8,4	26	4,7	7	3,9	7	2,1	6
Set	4,6	26	3,7	7	0,9	7	8,1	6
Out	12,1	25	10,5	7	1,0	7	30,8	6
Nov	20,1	26	39,8	8	24,8	7	32,4	6
Dez	33,7	26	42,2	7	14,8	7	13,4	5
Média	48,5	26	48,4	8,7	45,5	7,8	40,6	6,6

Fonte: APAC (2022).

* Na Tabela Anos refere-se ao número de valores utilizados no cálculo da média.

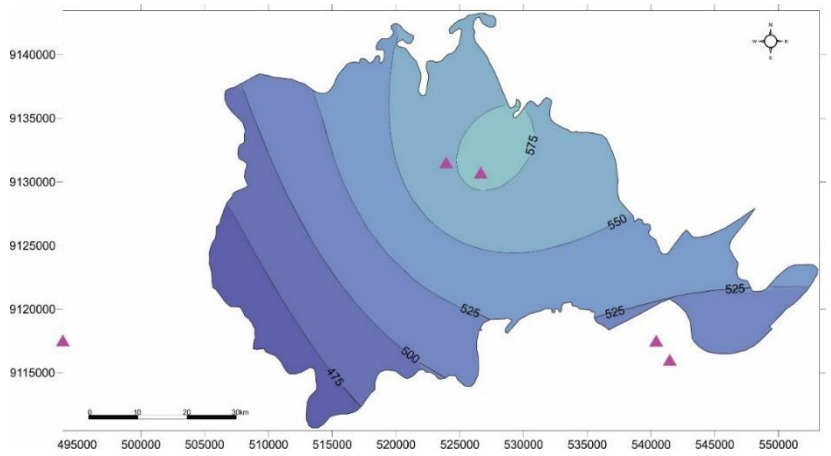
Na Figura 02 são apresentados os hietogramas dos dados das precipitações médias dos postos da Tabela 01. Percebe-se que os valores pluviométricos mais elevados estão concentrados entre os meses de janeiro e maio, com irregularidade na sua distribuição no tempo e no espaço. O período seco ocorre entre os meses de junho e dezembro. Na Figura 03 é apresentado o mapa de isoietas da Bacia de São José do Belmonte.

Figura 2 - Dados pluviométricos das precipitações médias dos postos São José do Belmonte 11, São José do Belmonte 15, São José do Belmonte 44 e São José do Belmonte 48.



Fonte: A partir dos dados da APAC (2022).

Figura 3 - Mapa de isoietas do município de São José do Belmonte**.**

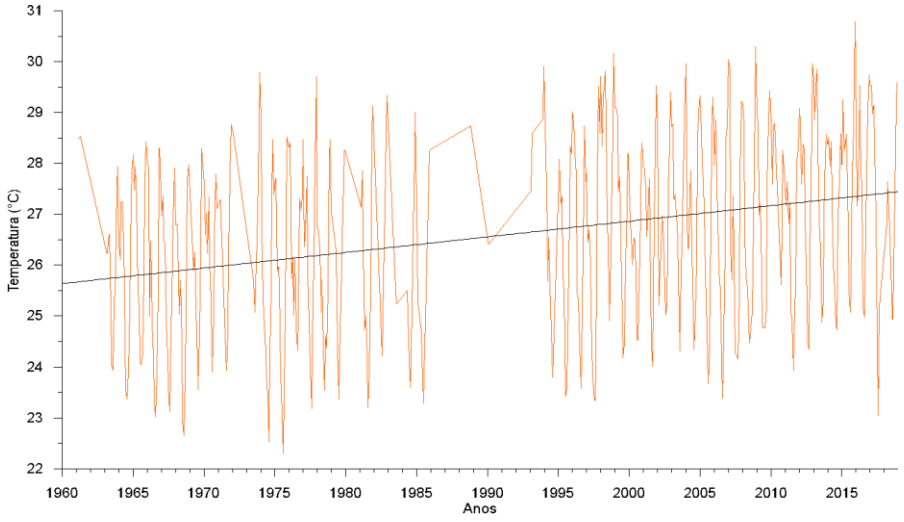


Fonte: A Autora (2022).

3.1.1 Temperatura

O posto meteorológico com semelhança climática e com dados de temperatura mais próximos da área do estudo está localizado no município de Cabrobó (PE), distante cerca de 89 km, e é operado pelo INMET, 2021 (Instituto Nacional de Meteorologia). As temperaturas médias mensais, para o período de 1961 e 2018, oscilam entre 24 °C e 28°C, sendo os meses mais quentes entre setembro e dezembro, e os mais frios entre maio e julho (Figura 04).

Figura 4 **-** Temperaturas médias para o posto meteorológico situado no município de Cabrobó (PE). Linha preta indica o ajuste linear obtido dos dados de temperatura no período de 1961 a 2018.



Fonte: A partir dos dados da ANA (2010).

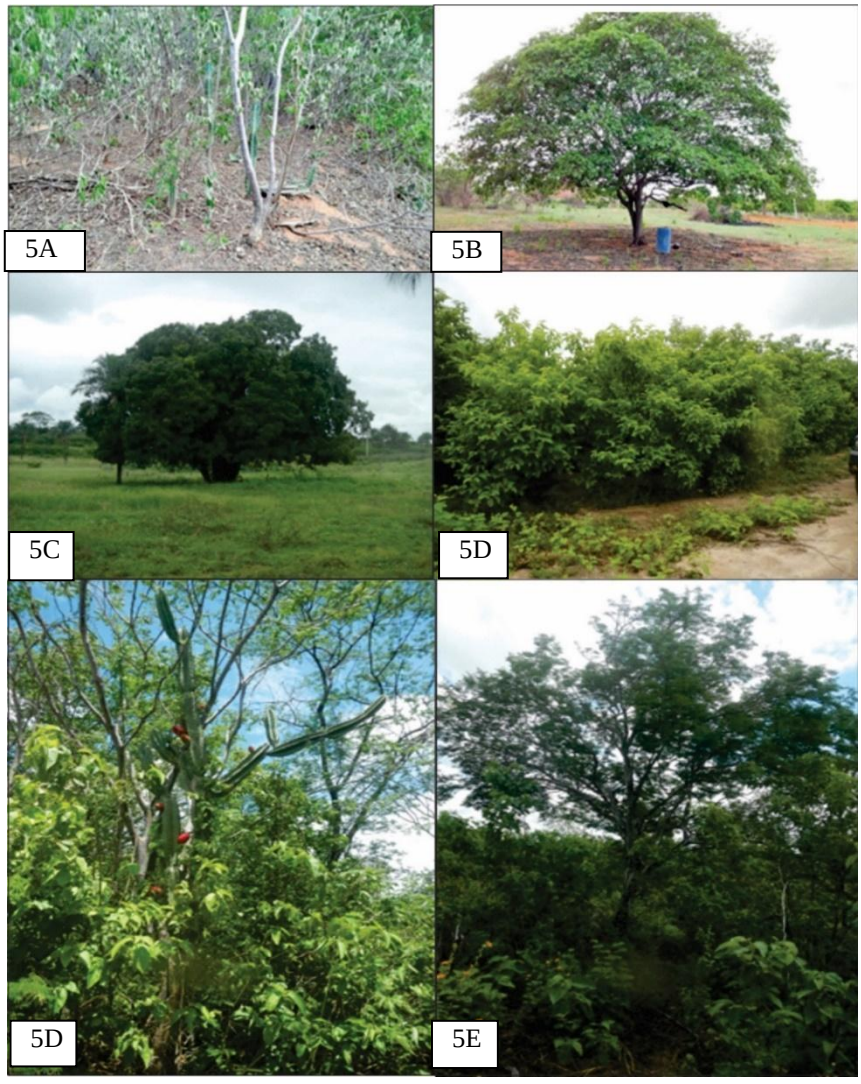
A partir dos dados de temperatura, foi feito um ajuste linear, cuja reta obtida Figura 03, mostra uma tendência de aumento da temperatura média ao longo do período observado. Em 57 anos de observação, houve um aumento médio da temperatura de cerca de 2°C.

3.2 VEGETAÇÃO

A vegetação predominante no município de São José do Belmonte é a caatinga hiperxerófila, formada por espécies vegetais com alta capacidade de retenção de água durante a estação mais quente, quando perdem a folhagem, reduzindo consideravelmente o metabolismo vegetal (SILVA, 2006). Essa vegetação apresenta uma abundância de cactáceas e plantas de porte mais baixo, destacando-se a associação entre a Floresta Estacional Caducifólia Espinhosa (*Caantiga arbórea*) e a

Formação Floresta Arbustiva (*Caantiga arbustiva*), dando como resultado uma Caatinga (Arbustivo-arbórea), densa, em determinados pontos, e esparsa, em outros. Na área da bacia, foram registradas algumas espécies como, o xiquexique (*pilocereusgounelliei*) (Figura 5A), espécie exótica, algaroba (*Prosopisjuliflora*) (Figura 5B), o juá (Ziziphus joazeiro) (Figura 5C), a jurema (*Mimosa sp.*) (Figura 5D), o mandacaru (*Cereus sp.*) (Figura 5E) e que domina a paisagem da caatinga. Já entre as espécies frutíferas, se destacam *Mangifera indica* (manga), e *Cocos nucífera* (coco).

Figura 5 - Na área de estudo a ampla distribuição das espécies como o xiquexique (pilocereusgounelliei) (Figura 5A), algaroba (Prosopisjuliflora) (Figura 5B), o juá (Ziziphus joazeiro) (Figura 5C), a jurema (Mimosa sp.) (Figura 5D), o mandacaru (Cereus sp.) (Figura 5E).



Fonte: A Autora (2022).

3.3 HIDROGRAFIA

A área de estudo é drenada pelo Rio São Cristóvão, que é um dos afluentes do Rio Pajeú pela margem direita. Este rio possui (Figura 5A-D) caráter intermitente e padrão de drenagem do tipo dendrítico, segundo uma orientação geral NW/SE.

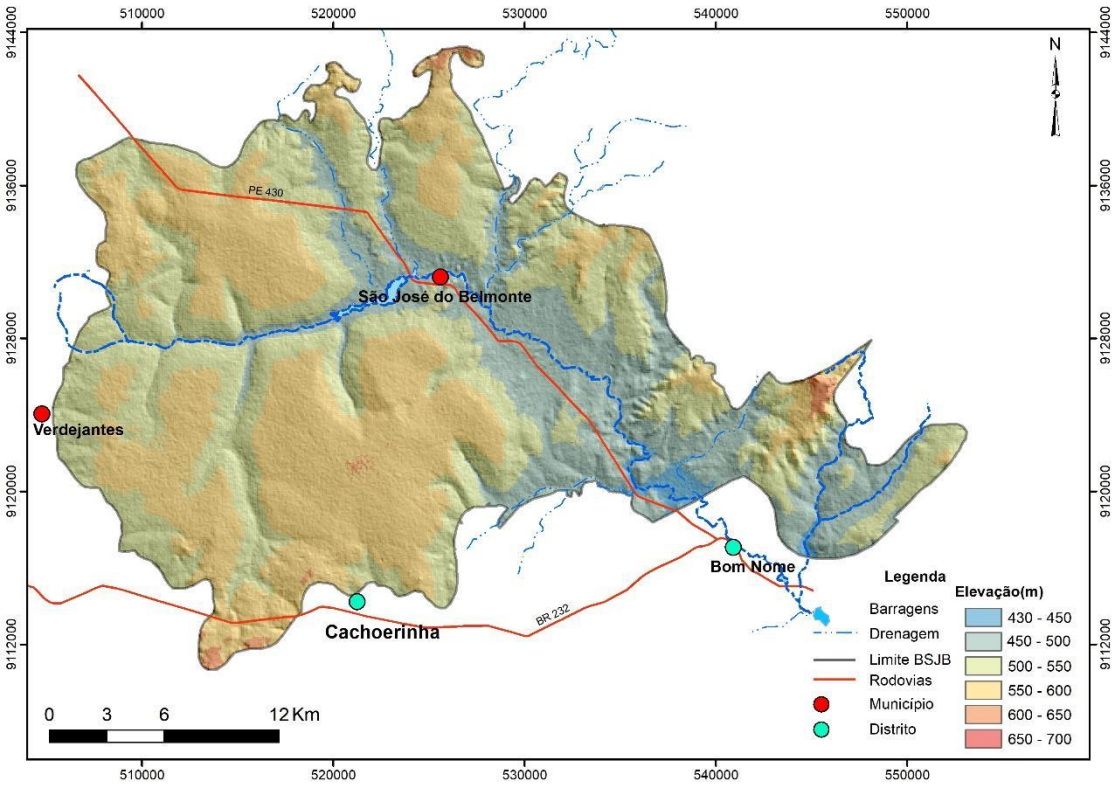
Figura 6 - Aspectos do Rio São Cristovão, em julho/2018 em primeiro plano no período chuvoso (A, B) e no período seco em março de 2019 (C, D).

Fonte: A Autora (2022).

3.4 MORFOLOGIA

O relevo da região apresenta uma paisagem típica do semiárido nordestino, caracterizada por uma superfície de pediplanação, relevo predominantemente suave-ondulado, cortada por vales estreitos, com vertentes dissecadas (CPRM, 2005). As elevações na Bacia de São José do Belmonte oscilam entre 500 e 650 m e, em alguns pontos isolados, podem chegar a 700 m (Figura 07).

Figura 7- Relevo da Bacia Sedimentar de São Jose do Belmonte.



Fonte: A Autora, (2022)

3.5 SOLOS

De acordo com a EMBRAPA (2006), no município de São José do Belmonte é caracterizado por seis classes de solos que são: areia quartzosas distróficas; solos litólicos, latossolos, podzólicos vermelho, e solos aluviais

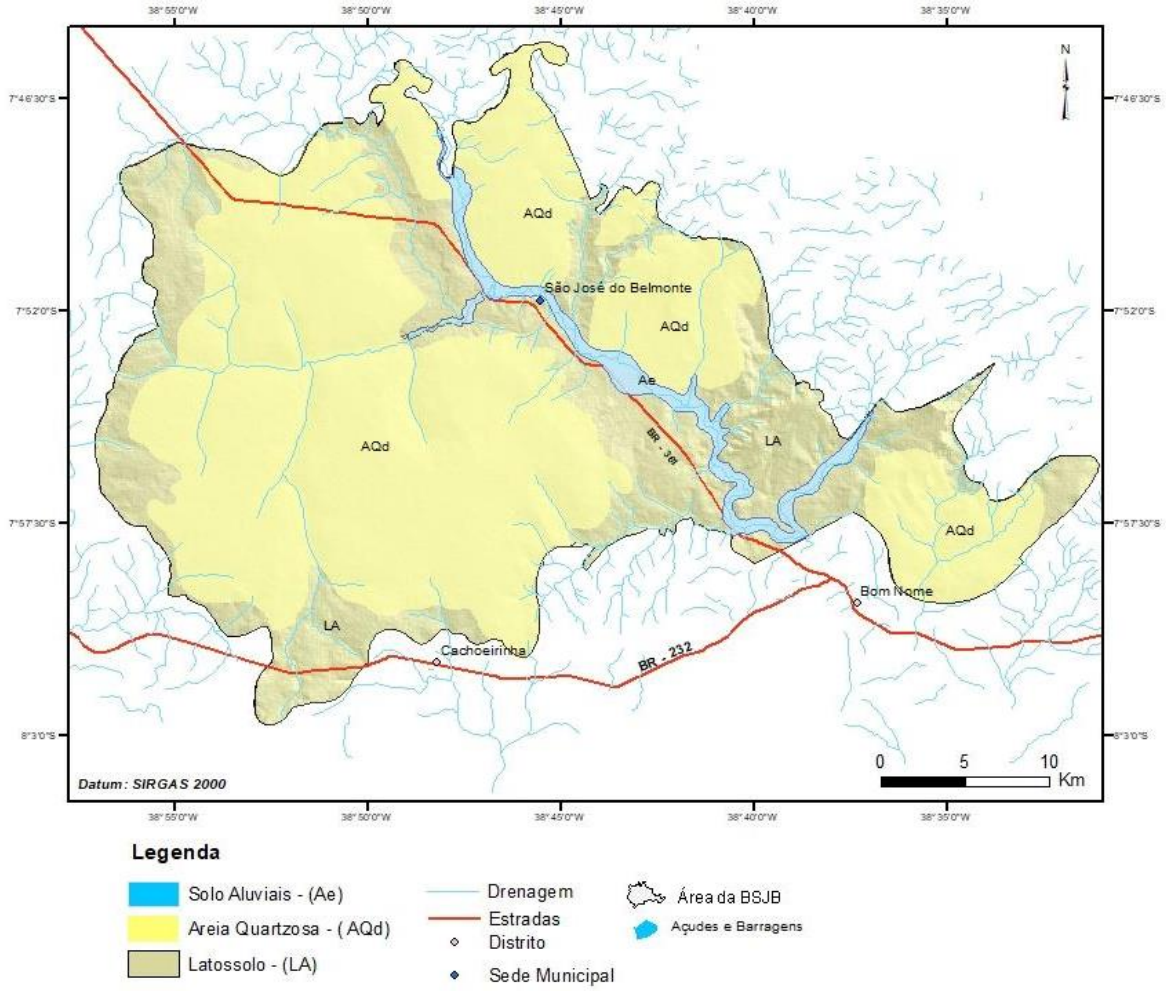
Especificamente na área da bacia predominam os solos do tipo: areia quartzosas distróficas (AQd), latossolos (LA) e solos aluviais (Ae) (Figura 08).

3.5.1 Areias quartzosas

Em geral, é um tipo de solo originado de depósitos arenosos, e são constituídos essencialmente de grãos de quartzo. Podem apresentar textura areia ao longo de pelo menos 2 m de profundidade ou até o contato lítico. São solos profundos a muito profundos, e excessivamente drenados (EMBRAPA, 2006).

Essa classe de solos engloba as areias quartzosas não hidromórficas, descoloridas, podendo apresentar também coloração amarela ou vermelha. A granulação da fração areia é variável e, em algumas situações, o teor máximo de argila chega a 15%, quando o silte está ausente (EMBRAPA, 2006).

Figura 8 - Mapa de solos da Bacia de São Jose do Belmonte.



Fonte: A Autora (2022), base cartográfica da Embrapa e limite da BSSJB (COSTA 2006)

3.5.2 Latossolos

Os latossolos da Bacia de São José do Belmonte são desenvolvidos a partir dos arenitos da FormaçãoTacaratu. Estendem-se ao longo das bordas da referida bacia. Suas principais características são: solos profundos, que variam de fortemente a bem drenados, com predomínio de textura média, ocorrendo também casos de textura argilosa, superfícies aplanadas com relevo plano a suave ondulado (EMBRAPA, 2006).

3.5.3 Solos aluviais

São depósitos de sedimentos diversos, com granulometria e composição heterogênea, onde são constatados, por exemplo, sedimentos argilosos, siltosos, argilo-arenosos, deposições orgânicas, material grosseiro, incluindo seixos. Estão

distribuídos ao longo dos rios e riachos. No Sertão, são usualmente encontrados nas margens do Rio São Francisco, incluindo as ilhas e seus afluentes, onde destacam-se com maior expressão nos rios Pajeú, Brígida, Moxotó, e riachos São Cristóvão, Sítio Novo e São João, entre outros (EMBRAPA, 2006).

3.6 BALANÇO HÍDRICO

O balanço hídrico é uma contabilidade das entradas e saídas de água de um sistema (bacia hidráulica), que pode ser expresso, para um determinado período, pela Equação 1:

$$P - ETR - RS = R + I \qquad (1)$$

Sendo:
P = Precipitação (mm);
R = Escoamento superficial (mm);
ETR = Evapotranspiração real (mm);
I = Infiltração (mm);
RS = Reserva de água do solo (mm).

Ou seja, a precipitação menos a água da reserva do solo, menos a evapotranspiração é o que sobra para escoar e infiltrar. A soma das parcelas R + I é chamada de excedente hídrico (EXC). Dessa forma a equação do balanço hídrico pode ser reescrita pela Equação 2:

$$P - ETR - RS = EXC \qquad (2)$$

Das variáveis listadas, a ETR é a mais difícil de ser medida.Existem vários métodos para fazer sua estimativa. Para o balanço hídrico mensal o método de Thornthwaite é um procedimento bastante comum para a estimativa da ETR.

O Método de Thornthwaite foi desenvolvido com base em dados de evapotranspiração medidos e dados de temperatura média mensal, para dias com 12 horas de brilho solar e mês com 30 dias (THORNTHWAITE; MATHER,1955). A evapotranspiração potencial é calculada pela Equação 3:

$$ETP = F_c . 16. \left(10. \frac{T}{I}\right)^a \quad (3)$$

Sendo:

ETP = Evapotranspiração potencial (mm/mês);

F_c= Fator de correção em função da latitude e mês do ano;

$a = 6{,}75\times10^{-7} \times I^3 - 7{,}71\times10^{-5} \times I^2 + 0{,}01791 \times I + 0{,}492$ (mm/mês);

I = índice anual de calor, correspondente a soma de doze índices mensais.

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_i}{5}\right)^{1{,}514} \quad (4)$$

T = Temperatura média mensal (ºC)

Dessa forma:

P – ETR – RS = EXC;

Se P> ETP, logo ETR= ETP;

Se P<ETP, logo ETR = P.

Admitindo que RS igual a 100 mm se tem as seguintes condições:

Se P-ETP + $RS_a \geq 100$ resulta que RS=100 mm,

ETR=ETP e EXC=P-ETP

Se P-ETP + $RS_a > 0$ resulta que RS = (P-ETP + RS_a); ETR=ETP; EXC=0)

Sendo:

RS_a = O saldo da reserva do solo do mês atual.

A existência de dados de precipitação com séries históricas ininterruptas, é o ideal para estudos do balanço hídrico. Contudo, é comum haver períodos sem informações e registros de precipitação em função de problemas com equipamentos e/ou operador, por exemplo, fato que cria obstáculos para desenvolvimento de estudos hidrológicos.

Como já mencionado no município de São José do Belmonte existem 05 postos pluviométricos: (11, 15, 44, 48 e PCD 591), todos apresentando falhas de registro contínuo de precipitação ao longo da série histórica. Os dados de informação e lacunas estão sumarizados na Tabela 02 abaixo

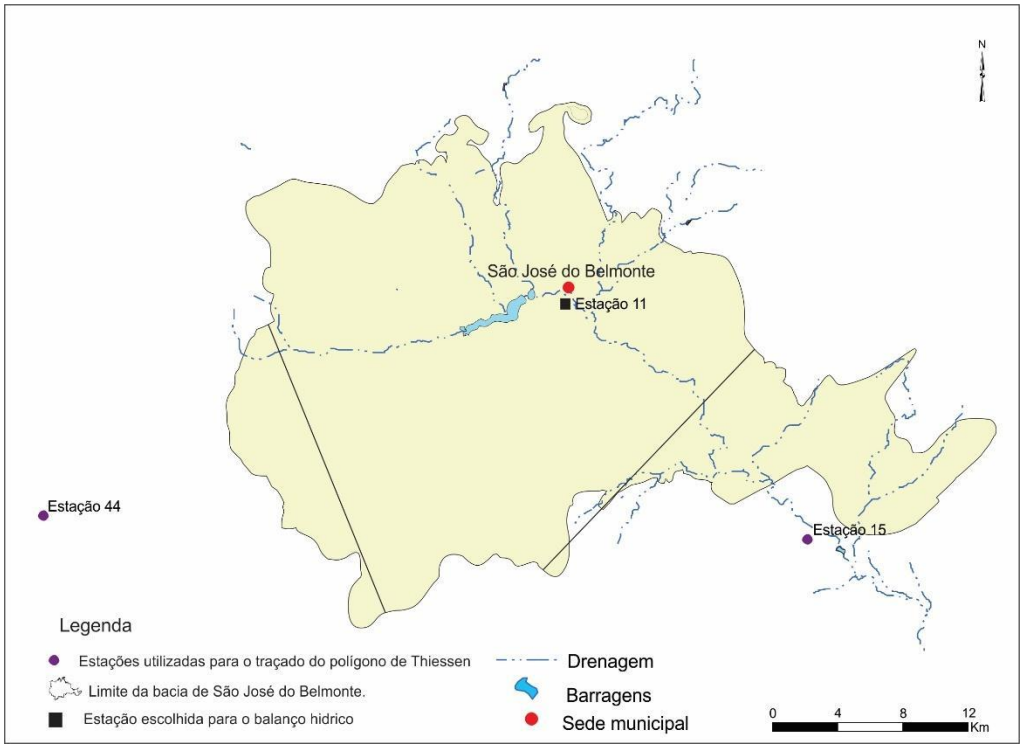
Tabela 2 - Séries históricas dos postos pluviométricos de São José do Belmonte.

Postos pluviométricos	Período inf.(anos)	falhas (anos)	nº de inf.(anos)	nº de Lacunas(anos)
11	1993-2007;2013-2019	2008-2012	22	5
15	1962-1991;1994-2002	1992-1993;2003-2019	39	19
44	1991-1998	1999-2019	8	21
48	1993-1999;2001	2000; 2002-2019	8	19
PCD-591	2010-2013	2014-2019	4	6

Fonte: A Autora (2022).

Como observado na Tabela 02, os postos **48** e **PCD 591** possuem limitações na quantidade e continuidade no tempo. Esses postos apresentam oito anos (1993-2001) e quatro anos (2010-2013) de dados, respectivamente, sendo essa última marcada somente com nove informações de precipitação. Em razão disso, esses dois postos foram descartados da análise. Assim sendo, restaram 03 postos pluviométricos e, a partir delas, foi possível traçar o polígono de Thiessen (Figura 09).

Figura 9 - Polígono de Thiessen da Bacia de São José do Belmonte.



Fonte: A Autora (2022).

Os postos pluviométricos **44 e 15** possuem as maiores séries históricas. Apesar de o grande volume de dados, não há registros de precipitação nos últimos 21 e 19

anos, respectivamente. Como se pode notar no mapa da Figura 08, esses dois postos pluviométricos têm áreas de influência pequenas na Bacia de São José do Belmonte, contabilizando 5,98% de área para o posto 44 e 17,50% de área para o posto 15. Em face do exposto, as estações foram excluídas do balanço hídrico.

Como já aludido, existe uma grande dificuldade na obtenção de registros de séries históricas contínuas por um longo período. Para suprir esse problema é necessário aplicar métodos de preenchimento de falhas, e verificar sua consistência.

3.6.1 Preenchimento de falhas

Segundo Staudt et al. (2007), primeiramente se faz uma análise do tipo de informação disponível para preencher as falhas em dados climáticos, e que os dados de estações próximas são mais eficientes para suprir a falta de dados devido à possível correlação entre essas séries. Leivas et al. (2006) recomendam que para o preenchimento das falhas nas séries históricas sejam selecionadas as estações meteorológicas da mesma região climática e altitude semelhante, caracterizando-a como climaticamente homogênea.

Conforme Oliveira (2010), diversos métodos podem ser empregados no preenchimento de dados pluviométricos, tais como: ponderação regional, regressão linear, séries temporais, entre outros.

3.6.2 Ponderação regional

De acordo com Bertoni e Tucci (2001), o método de ponderação regional é mais comumente utilizado para o preenchimento de séries mensais ou anuais de precipitações. Para o preenchimento das séries históricas, devem ser selecionadas pelo menos três estações de região climatológica semelhantes que possuam, no mínimo, dez anos de dados do posto a ser preenchido. As estações podem ser preenchidas pela Equação 5:

$$Px = \frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n} \quad \frac{N_x}{N_i}.P_i \quad (5)$$

Onde:

P_x: Precipitação mensal ou anual do posto X a ser preenchido (mm);

Pi: Precipitações mensal ou anual nos postos vizinhos no intervalo de tempo referente àquele da precipitação no posto X a determinar (mm);

N_x e N_i: precipitações médias anuais das estações a ter a falha na série preenchida e da vizinha de ordem "i", respectivamente (mm);

n: número de estações vizinhas.

A metodologia não é indicada quando utilizados valores diários, devido à grande variação no tempo e espaço da precipitação.

3.6.3 Regressão linear

Segundo Tucci (2002), a regressão linear simples e regressão linear múltipla são os métodos mais aprimorados para o preenchimento de falhas. O primeiro consiste em utilizar dados de precipitações do posto com falhas (Y) e de um posto vizinho (X) e, a partir disso, verificar a correlação entre elas. Uma vez definida a equação linear (Y = a + bX), as falhas poderão ser preenchidas.

Na regressão linear múltipla, as informações pluviométricas do posto com falhas são correlacionadas com as correspondentes observações de vários postos vizinhos (TUCCI, 2002) (Equação 6).

$$Y = A + BP_1 + CP_2 + \ldots \quad (6)$$

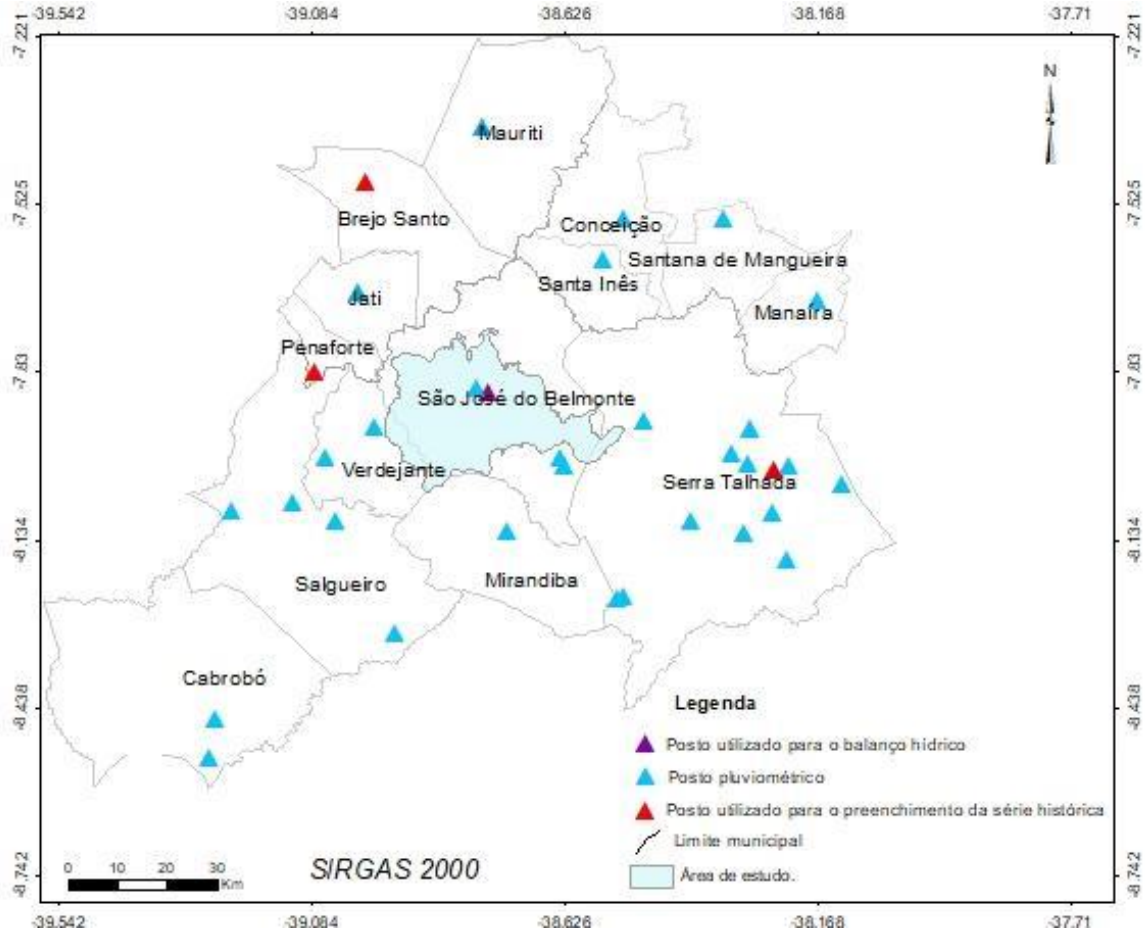
3.6.4 Séries temporais sintéticas

Os modelos de séries temporais são indicados para a previsão de dados futuros, e baseiam-se na distribuição pregressa da série temporal. Desta forma, para ser empregada no preenchimento de falhas, é necessário que a falha seja considerada um evento no tempo futuro, e que antes da falha tenha-se uma série histórica contínua para construção do modelo.

3.6.5 Estações pluviométricas próximas a São José do Belmonte

Foi realizado um levantamento nos bancos de informações da APAC (Agência Pernambucana de Águas e Climas), AESA (Fundação Cearense de Meteorologia e recursos hídricos), FUNCEME, ANA (Agência Nacional das Águas e Saneamento Basico), limites municipais do (IBGE)e INMET, das estações mais próximas ao município de São José do Belmonte. Foram identificadas a existência de 35 estações distribuídas em 13 municípios (Figura 10).

Figura 10 - Distribuição das estações pluviométricas em torno do município de São José do Belmonte



Fonte: A Autora (2022).

Ao analisar os postos vizinhos ao município São José Belmonte é percebido que cerca de 57% não possuem dados pluviométricos no período maior que quinze anos, a exemplo, das estações: **43, 189, 193, 197, 226, 236, 248, 347, 462, 505, 738013, 738020, 739013, 839002, 839003, 839004, 839005, 839032, 839039 e 839048** conforme a (Tabela 03). Observa-se que 11 das 15 estações restantes possuem uma série histórica longa; no entanto, as falhas presentes nestas estações coincidem com a lacuna da estação de São José do Belmonte a ser preenchida. Assim sendo, essas estações foram rejeitadas.

Deste modo, para o preenchimento de falhas na estação São José do Belmonte 11, foram utilizados dados das estações 738006, 739060, 838031 e 13, entendidas como as estações mais próximas e com características climáticas semelhantes.O método aplicado para preenchimento de falhas foi a regressão linear múltipla.

Tabela 3 - Postos vizinhos ao município de São José do Belmonte.

Postos Pluviométricos						
Município	**Latitude**	**Longitude**	**cód.**	**Operador**	**UF**	**Período de informação (anos)**
Salgueiro	-8,073	-39,13	8	EMATER	PE	1958-1992;
Salgueiro	-8,067	-39,117	39	APAC	PE	1993-1998;2013-2014
Salgueiro	-8,098	-39,092	226	APAC	PE	1962-2012
Salgueiro	-8,3	-38,933	347	DNOCS	PE	1931-1999
Salgueiro	-8,079	-39,229	348	APAC	PE	2000;2002;2006-2019
Cabrobó	-8,528	-39,268	7	INMET	PE	1993-2019
Cabrobó	-8,517	-39,333	839004	INMET	PE	1961-1985
Cabrobó	-8,483	-39,3	839039	EMATER	PE	1985
Cabrobó	-8,5	-39,317	839002	APAC	PE	1911-1930;1936-1970;1983
Cabrobó	-8,55	-39,267	839032	CODEVASF	PE	1976
Cabrobó	-8,5	-39,317	839003	ANA	PE	1935-1977
Cabrobó	-8,5	-39,317	839005	SUDENE	PE	1964
Cabrobó	-8,528	-39,268	839048	CEMADEN	PE	2013-2019
Serra Talhada	-8	-38,244	838031	CPRM	PE	1978-2019
Serra Talhada	-7,931	-38,289	12	SUDENE	PE	1958-2019
Serra Talhada	-7,993	-38,294	13	SUDENE	PE	1911-2019
Serra Talhada	-8	-38,3	43	SUDENE	PE	1993-2000
Serra Talhada	-8,032	-38,123	189	SUDENE	PE	1962-2004
Serra Talhada	-8,083	-38,433	236	SUDENE	PE	1962-1994
Serra Talhada	-8,169	-38,224	248	SUDENE	PE	1962-1999
Serra Talhada	-7,977	-38,322	379	APAC	PE	1980;2001-2019
Serra Talhada	-7,998	-38,221	462	SUDENE	PE	2000-2011
Serra Talhada	-7,931	-38,289	485	SUDENE	PE	1999-2019
Serra Talhada	-8,233	-38,517	505	SUDENE	PE	2000-2005
Verdejante	-7,929	-38,969	181	EMATER	PE	1962-2007;2013-2019
Mirandiba	-8,116	-38,727	54	APAC	PE	1962-2007;2010-2019
Mirandiba	-8,121	-38,729	193	EMATER	PE	1962-1995
Mirandiba	-8,24	-38,528	197	CPRM	PE	1962-1997
Santa Inês	-7,625	-38,557	738076	AESA	PB	2004-2018
Conceição	-7,55	-38,517	738020	DNOCS	PB	1911-1993
Manaíra	-7,55	-38,335	738013	DNOCS	PB	1933-1993
Santana de Mangueira	-7,55	-38,335	738079	AESA	PB	1994-2017
Penaforte	-7,828	-39,076	739060	FUNCEME	CE	1981-2019
Jati	-7,683	-39	739013	DNOCS	CE	1934-1985
Brejo Santo	-7,485	-38,984	738006	FUNCEME	CE	1911-2019

Fonte: A Autora (2022).

Para tanto, foram determinados os coeficientes da Equação 7 para cada posto pluviométrico com auxílio da função (*Proj.lin*), ferramenta presente no aplicativo Excel.

Desta forma, as falhas da estação São José do Belmonte -11 foram preenchidas (Tabela 4).

Tabela 4 - Coeficientes angulares da regressão linear múltipla para cada posto.

E	D	C	B	A
0,1	0,30623	0,397398	0,130978	0,619231

Fonte: A Autora (2022).

$$Y = A + B \times P_1 + C \times P_2 + D \times P_3 + E \times P_4 \quad (7)$$

Sendo:

P_1, P_2, P_3 e P_4 = Precipitação mensal nos postos vizinhos em (mm);

B, C, D, E= Coeficiente de cada postos vizinhos;

A= termo independente.

A partir Equação 7 estabelecida, as falhas da Estação 11 foram preenchidas, Tabela 05.

Tabela 5 - Dados mensais de precipitação (mm) da estação São José do Belmonte-11, com o preenchimento das lacunas.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Nov	Dez
1994	81,2	184,6	160,4	52,1	39,4	40,2	25,0	1,7	9,2	3,7	17,4
1995	46,0	145,9	43,4	206,2	69,0	18,0	11,1	1,5	1,7	33,0	6,7
1996	49,0	106,6	148,0	136,5	77,0	4,0	12,0	2,0	1,7	103,0	20,0
1997	8,3	81,0	188,5	154,8	65,8	9,0	13,0	5,0	0,6	54,1	27,0
1998	184,5	22,5	42,0	26,0	4,4	2,5	9,0	0,6	2,0	17,0	25,0
1999	157,6	16,1	196,2	0,8	0,1	3,3	3,9	2,7	26,0	68,8	44,3
2000	34,0	101,4	124,6	169,4	4,2	12,0	4,0	15,5	11,4	1,0	114,5
2001	31,0	68,0	126,2	69,0	9,0	17,0	14,0	0,7	0,8	29,5	3,0
2002	303,0	10,5	131,0	42,5	44,0	10,0	8,3	0,6	3,4	20,6	9,5
2003	264,0	339,0	132,0	144,0	58,0	2,1	6,3	1,7	1,7	5,0	27,8
2004	575,0	210,4	59,5	40,5	13,0	10,0	3,4	7,0	1,7	9,0	30,0
2005	28,0	59,5	256,0	13,0	75,0	36,0	11,0	7,0	1,7	10,0	121,0
2006	2,2	134,0	145,0	200,9	23,0	27,3	34,4	3,5	6,5	16,1	8,0
2007	1,0	153,5	129,1	25,7	41,2	3,0	5,5	1,7	1,7	5,9	5,8
2008	77,3	133,9	297,1	172,3	66,9	7,6	24,6	4,1	3,1	3,7	30,4
2009	52,6	94,3	99,9	213,9	153,1	21,5	12,4	6,2	2,1	25,8	110,9
2010	148,5	52,9	43,4	133,6	10,4	27,8	7,8	0,7	1,0	4,6	64,0
2011	129,4	175,8	147,9	125,9	141,4	3,9	3,3	20,5	0,9	20,8	9,7
2012	47,6	136,6	37,7	14,0	7,5	0,9	6,2	0,8	0,7	18,0	12,0
2013	115,0	21,2	43,2	72,7	33,5	51,8	22,1	0,7	2,5	8,7	89,5
2014	38,1	77,3	180,4	71,7	58,7	1,3	22,8	0,7	0,6	119,4	25,7
2015	85,5	59,0	151,5	76,5	23,5	9,0	74,5	2,0	1,7	0,7	45,5
2016	134,5	18,0	55,0	16,0	46,5	13,0	1,0	1,7	4,1	5,0	16,0
2017	86,0	92,0	120,0	185,5	15,0	44,0	12,0	1,3	1,4	5,0	45,0
2018	82,5	265,5	97,0	144,0	6,5	5,7	1,7	0,6	0,6	66,3	163,5
Mín.	1,0	10,5	37,7	0,8	0,1	0,9	1,0	0,6	0,6	0,7	3,0
Max	575,0	339,0	297,1	213,9	153,1	51,8	74,5	20,5	26,0	119,4	163,5
Média	123,6	115,1	129,3	100,8	45,9	16,1	15,7	4,1	4,3	28,7	45,9

Fonte: A Autora (2022).

Na tabela 5, também são apresentados os valores de precipitações mensais, mínimos, máximos e média, considerando o período de 1994 a 2018. Analisando-se

os valores médios, observa-se que o período chuvoso se inicia no mês de dezembro, se estendendo até abril, ou seja, o ano hidrológico se inicia em dezembro.

O excedente hídrico mensal foi calculado pelo método de Thornthwaite, sendo realizado o cálculo do acúmulo mensal para, em seguida, obter o excedente hídrico anual (Tabela 6). Uma dificuldade encontrada durante o desenvolvimento do balanço hídrico foi o cálculo do *Runoff,* uma vez que não há informação disponível da descarga do Rio São Cristóvão. Dentre os vários métodos existentes para determinação do escoamento superficial como o método racional, método Pruski, curvas de recessão, etc. Neste trabalho optou-se por utilizar uma metodologia mais simples devido à limitação dos dados, é o caso da técnica de Aguiar (1940), que embora antiga, não deixa de ser válida. O escoamento (R), segundo o autor, é calculado por uma equação polinomial de quarta ordem da precipitação anual (H), associada ao conhecimento da precipitação média anual, possibilitando determinação do escoamento superficial anual.

Tabela 6 -Valores do excedente hídrico e infiltração no período de 1994 a 2018.

Ano	Exc(mm)	Infil.(mm)	Ano	Exc(mm)	Infil.(mm)
1994	35,4	0,0	2007	31,1	20,0
1995	89,1	54,0	2008	181,5	92,9
1996	21,2	0,0	2009	116,4	29,3
1997	104,2	65,7	2010	0,0	0,0
1998	2,1	0,0	2011	0,0	0,0
1999	36,7	6,7	2012	0,0	0,0
2000	35,2	0,0	2013	0,0	0,0
2001	0,0	0,0	2014	0,0	0,0
2002	184,2	149,4	2015	0,0	0,0
2003	267,7	125,2	2016	0,0	0,0
2004	509,3	374,6	2017	15,7	0,0
2005	92,3	51,7	2018	142,0	34,5
2006	78,5	40,7			
Mín.				0,0	0,0
Máx.				509,3	374,6
Desvio Padrão					
Média				77,7	41,8

Fonte: A Autora (2022).

Obs: Exc.: Excedente hídrico; Infil: Infiltração

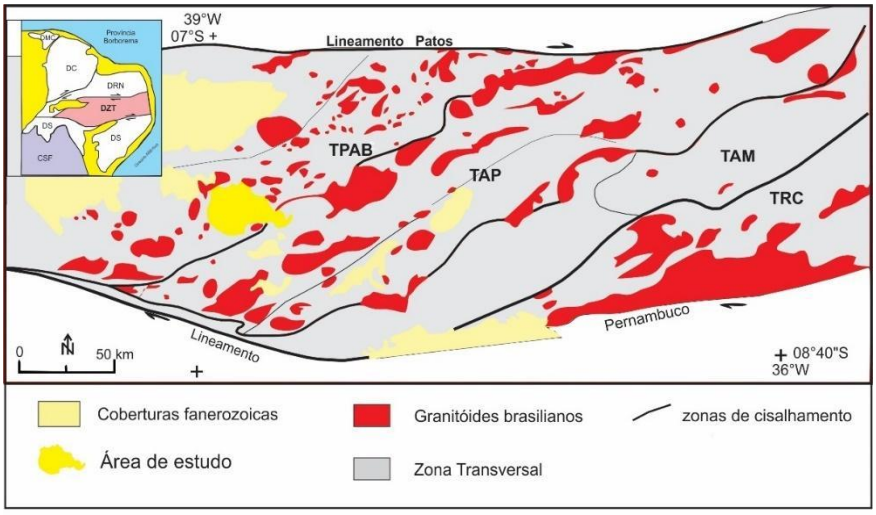
A infiltração é objeto de interesse desse estudo e, de acordo com os dados da Tabela 6, é possível observar que houve três anos consecutivos de muita chuva (2002-2004), sendo o ano de 2004 aquele com a maior taxa de infiltração (374,6 mm/ano)

4 CONTEXTO GEOLÓGICO

A BSSJB está inserida integralmente na Província Borborema (PB), no domínio central do Terreno Piancó - Alto Brígida (VAN SCHUMUS et al., 2011). A província Borborema configura um sistema orogênico complexo, que foi afetado fortemente por eventos de deformação, metamorfismo e magmatismo durante a orogênese Brasiliana-Panafricana (650 – 500 Ma). (BRITO NEVES et al., 2000; NEVES, 2003; VAN SCHUMUS et al., 2011). Esta província pode ser subdividida em três domínios: meridional, central e setentrional.

O Domínio Central é formado por complexos de ortognaisses, migmatitos, sequências supracrustais e rochas plutônicas de composição granítica, com idades desde o Paleoproterozoico ao Neoproterozoico, bem como as coberturas fanerozoica, que são representadas por algumas bacias interiores do Nordeste, caso das bacias do Araripe, Cedro, São José do Belmonte, Mirandiba, Fátima, entre outras (GOMES et al., 2001; SANTOS et al., 2002) (Figura 11).

Figura 11- Mapa simplificado da Zona Transversal: TPAB – Terreno Piancó-Alto Brigida; TAP – Terreno Alto Pajeú; TAM – Terreno Alto Moxotó e TRC – Terreno Rio Capibaribe. Linha tracejada - área de estudo.



Fonte: Modificado de Medeiros (2011).

4.1 EVOLUÇÃO DAS BACIAS INTERIORES

A Bacia Sedimentar de São José do Belmonte (BSSJB) integra o conjunto de bacias interiores do Nordeste que estão inseridas sobre a província estrutural Borborema, formadas a partir de eventos tectônicos responsáveis pelo rifteamento do Supercontinente Gondwana e abertura do Oceano Atlântico (MATOS, 1992).

A BSSJB apresenta duas sequências que representam os estágios da evolução tectônica: Beta, representada pela formação Tacaratu (Siluro-Devoniano), Sin-Rifte I pelas formações Aliança e Sergi (Jurássica) e Zeta.

A tecnossequência Beta coincide com o estágio de Sinéclise, que por sua vez está relacionada ao primeiro ciclo deposicional nas bacias intracratônicas sob condições de estabilidade tectônica. Esta registra um ciclo transgressivo-regressivo completo (PONTE; APPI, 1990; ASSINE, 2007).

Já a sequência Sin-Rifte I é marcada pelo período de estiramento crustal que antecede ao rifteamento, é representada por sedimentos principalmente de origem flúvio lacustre (CHANG et al., 1988).

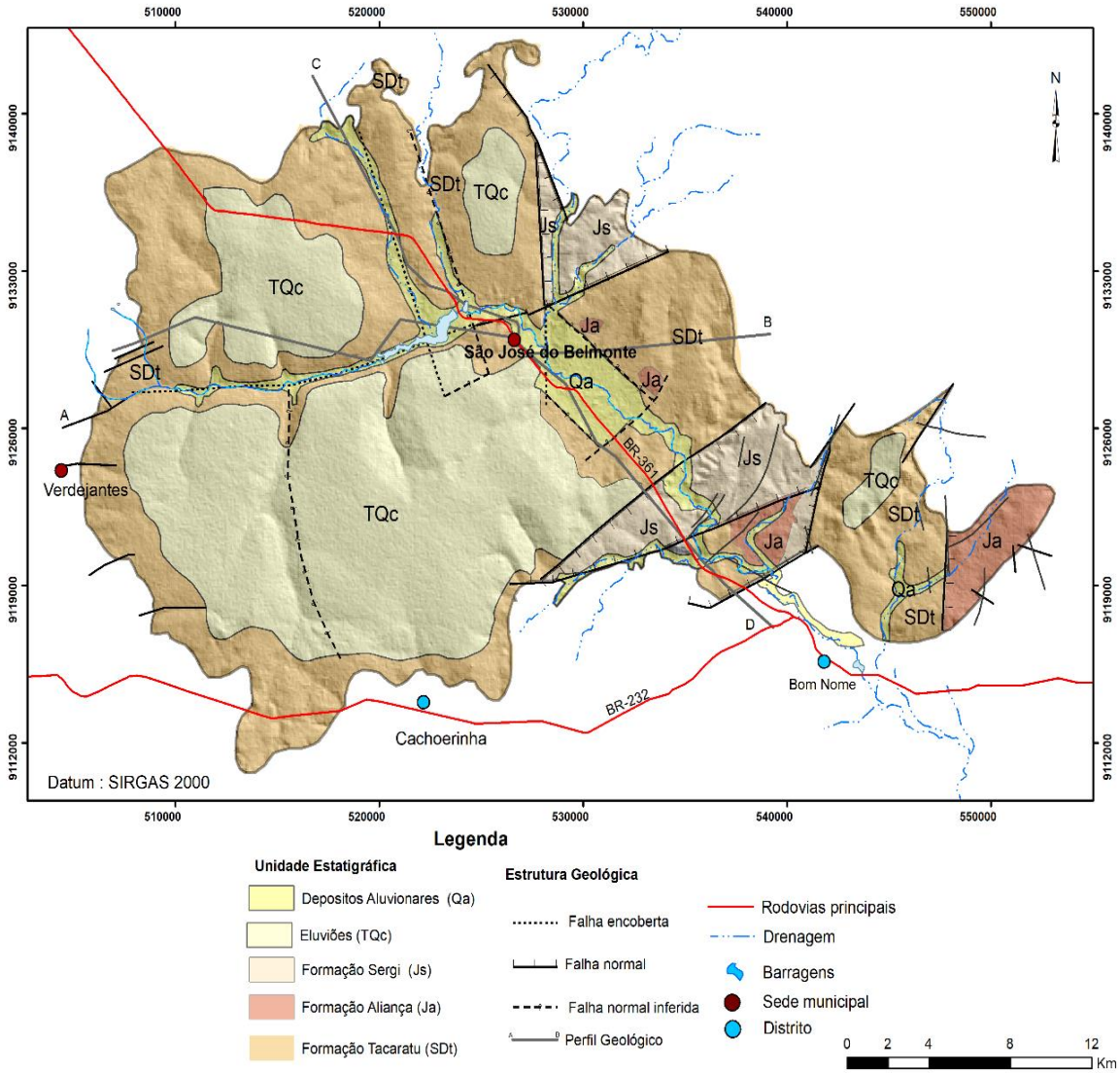
Por fim, a sequência Zeta é definida pelas coberturas terrígenas continentais, representadas pelos depósitos eluviais/coluviais e aluvionares do Cenozóico (PONTE; APPI, 1990; ASSINE, 2007).

Estratigraficamente, a Bacia Sedimentar de São José do Belmonte (BSSJB), assentada sobre o embasamento cristalino pré-cambriano, é constituída pelos sedimentos das formações: Tacaratu, Inajá, Aliança, Sergi e dos depósitos recentes (Figura 12).

4.2 EMBASAMENTO

O embasamento da Bacia de São José do Belmonte é formado por muscovita-biotita gnaisses, quartzitos e metavulcânicas que constituem o complexo São Caetano (SANTOS,1971;VEIGAJR.; FERREIRA,1990), e metapelitos, quartzitos e metavulcânicas que representam o Complexo Riacho Gravatá (CAMPOS NETO et al., 1994), Riacho da Barreira, formação Serra do olho d’água, Santana dos Garrotes, além da suíte calcioalcalina de alto a médio potássio do tipo Conceição e da suíte peralcalina do tipo Triunfo (SIAL, 1986).

Figura 12 - Mapa Geológico da Bacia de São José do Belmonte.



Fonte: Modificado de Costa (2006).

4.3 FORMAÇÃO TACARATU

Essa formação é composta por uma sequência rochosa predominantemente arenosa, tendo destaque arenitos cinza esbranquiçados a róseos avermelhados, de granulação média à conglomerática, com níveis de conglomerados e apresentando intercalações pelíticas, sendo muitas vezes de composição cauliníticas (COSTA et al., 2007; LEITE et al., 2001). Estruturas sedimentares como estratificações cruzadas acanaladas de médio porte, conjuntas com estratificações plano-paralelas, cruzadas tabulares e cruzadas de aspecto festonado ocorrem nesta formação (LEITE et al., 2001).

4.4 FORMAÇÃO ALIANÇA

Essa formação é composta por folhelhos e siltitos argilosos amarronzados a esverdeados, com intercalações de arenitos finos, localmente grossos, calcíferos, intercalados por calcissiltitos esbranquiçados a marrom claro, pouco espessos, lenticulares, fossilíferos e com raros níveis de evaporitos. A formação aliança apresenta estruturas como estratificações plano-paralelas, cruzadas acanaladas de pequeno porte e marcas onduladas (LEITE et al., 2001).

4.5 FORMAÇÃO SERGI

Esta unidade rochosa é composta litologicamente por arenitos de granulação que pode variar de grossa à fina, por vezes conglomeráticos, tendo algumas intercalações de siltitos de coloração creme com tons avermelhados e apresentam estratificações cruzadas acanaladas e são de ambiente lacustre (LEITE et al., 2001).

4.6 COBERTURAS CENOZÓICAS

As coberturas cenozóicas compreendem faixas bastante significativas, representadas por extensas áreas irregulares que se distribuem por toda bacia. As coberturas são, em grande parte, responsáveis pela dificuldade de caracterização das relações de contato entre algumas unidades, como também pela não identificação de estruturamentos importantes, que favoreceriam um melhor entendimento da tectônica de implantação da bacia (ROCHA; LEITE, 1999).

5 GEOLOGIA LOCAL

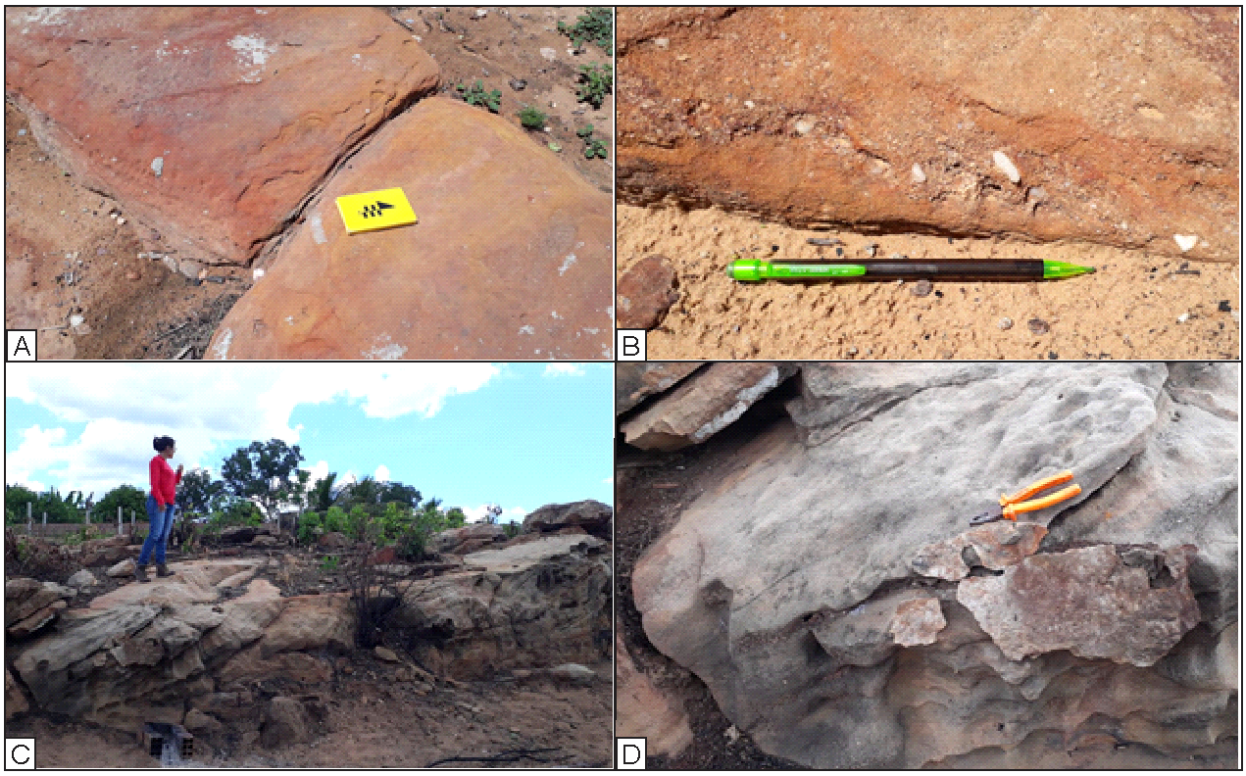
Alguns trabalhos na Bacia de São José do Belmonte sobre mapeamentos geológicos, a exemplo de Carvalho (1993) e Costa (1999, 2006), colaboraram para a compreensão da evolução da referida bacia. Nos trabalhos de campo desenvolvidos ao longo do presente estudo, verificou-se a carência de uma revisão no mapeamento de detalhe, pois existem divergências nas litologias identificadas em contraste com o último mapa proposto no ano de 2006 (COSTA, 2006).

Na área de estudo foram identificadas quatro unidades litoestratigráficas: as formações Tacaratu, Aliança, Sergi e os depósitos eluvionares. O contato entre essas formações ocorre, principalmente, por meio de falhas indicando a intensa atividade tectônica da região. Ainda que o mapeamento de detalhe não seja objeto principal deste trabalho, foi possível fazer algumas alterações no mapa geológico.

5.1 FORMAÇÃO TACARATU

Na área de estudo, a Formação Tacaratu ocorre em grande parte da Bacia Sedimentar de São José do Belmonte, sedimentos da formação Tacaratu, compreendendo arenitos constituídos por quartzo e, subordinadamente, muscovitas e óxidos/hidróxidos de ferro concentrados superficialmente em alguns dos estratos e/ou, eventualmente, disseminados. Os grãos de quartzo apresentam-se subangulosos e subarredondados. São comuns nessa sequência níveis conglomeráticos, de coloração avermelhada, mal selecionados e sustentados pelos grãos da matriz (Figura 13).

Figura 13 - Afloramentos de arenitos da Formação Tacaratu na área de estudo em primeiro plano (A, B) arenitos avermelhados, granulometria média a fina, B arenito com níveis conglomeráticos, C arenitos acinzentados, granulometria média a fina e apresentando estratificação plano paralela.

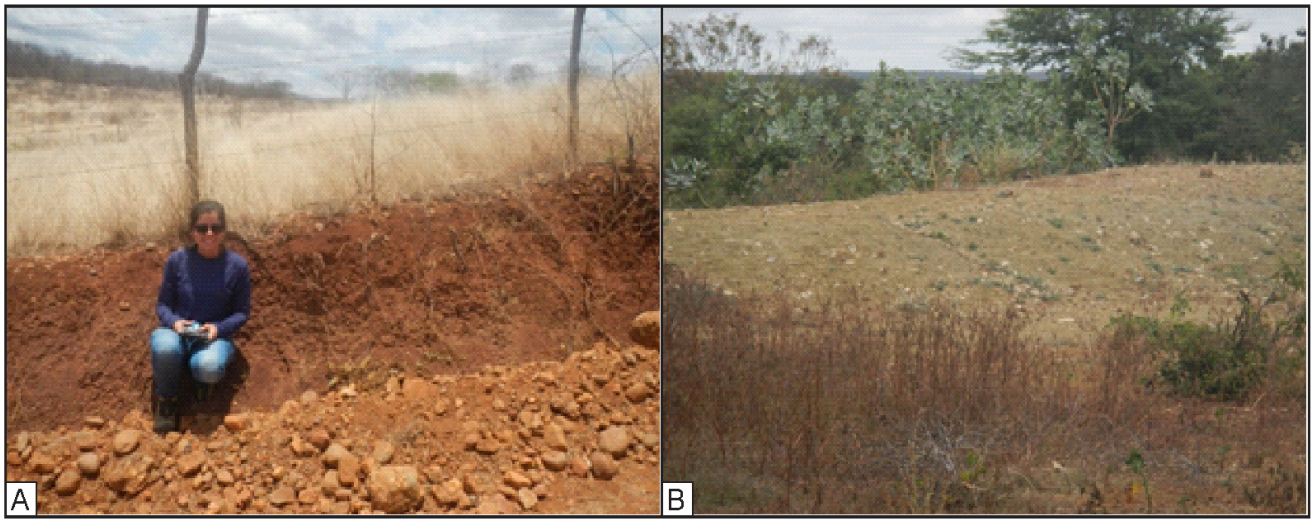


Fonte: A Autora (2022).

5.2 FORMAÇÃO ALIANÇA

A Formação Aliança aflora na porção SE da área de estudo. Morfologicamente, está relacionada com relevo arrasado e ondulado, havendo escassez de afloramentos. Litologicamente, é caracterizada por folhelhos avermelhados e esverdeados, com intercalações de calcarenitos cinza esbranquiçados, fossilíferos e lenticularizados (Figura 14). Em alguns locais, nota-se a presença de uma cobertura arenosa de granulação e espessura variadas.

Figura 14 **-** Afloramentos da Formação Aliança na porção SE da bacia de São Jose do Belmonte.



Fonte: A Autora (2022).

5.3 FORMAÇÃO SERGI

A Formação Sergi tem área de abrangência no setor N e SE da BSSJB. Esta unidade é composta por arenitos micáceos, com granulação média a grossa, mal selecionados. Ainda são comuns nessa sequência níveis conglomeráticos, de coloração avermelhada, mal selecionados e sustentados pelos grãos da matriz. O agente facilitador para diferenciar esta formação da Formação Tacaratu é a presença de madeira silicificada e concreções de silexito, no entanto, não foi encontrado em nenhum dos afloramentos visitados, o que reforça a necessidade da revisão do mapeamento (Figura 15).

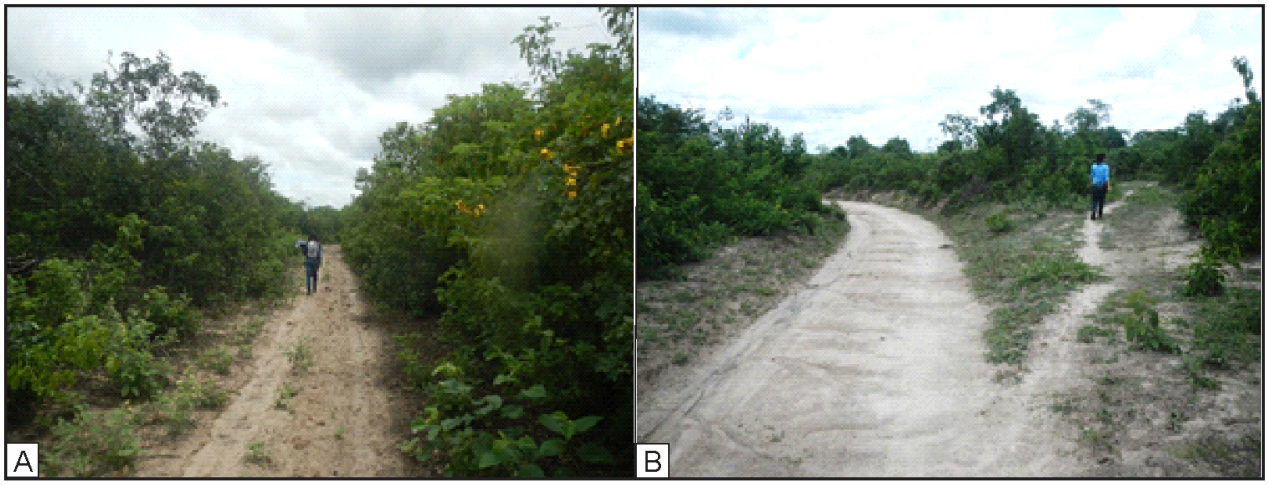
Figura 15 - Afloramentos da Formação Sergi na porção SE da BSSJB.

Fonte: A Autora (2022).

5.4 COBERTURA ARENOSA

Os depósitos eluvionares recobrem uma parte expressiva da área de estudo e ocorrem na porção S/SW. Têm composição predominantemente areno quartozosa e são provenientes do retrabalhamento, principalmente, de litotipos da Formação Tacaratu (Figura 16). Esses depósitos, na sua maioria, dificultam a caracterização dos contatos entre as litologias, bem como na identificação de falhas, tanto em campo quanto em imagens digitais de sensoriamento remoto.

Figura 16 - Coberturas arenosas oriundo do retrabalhamento da Formação Tacaratu.



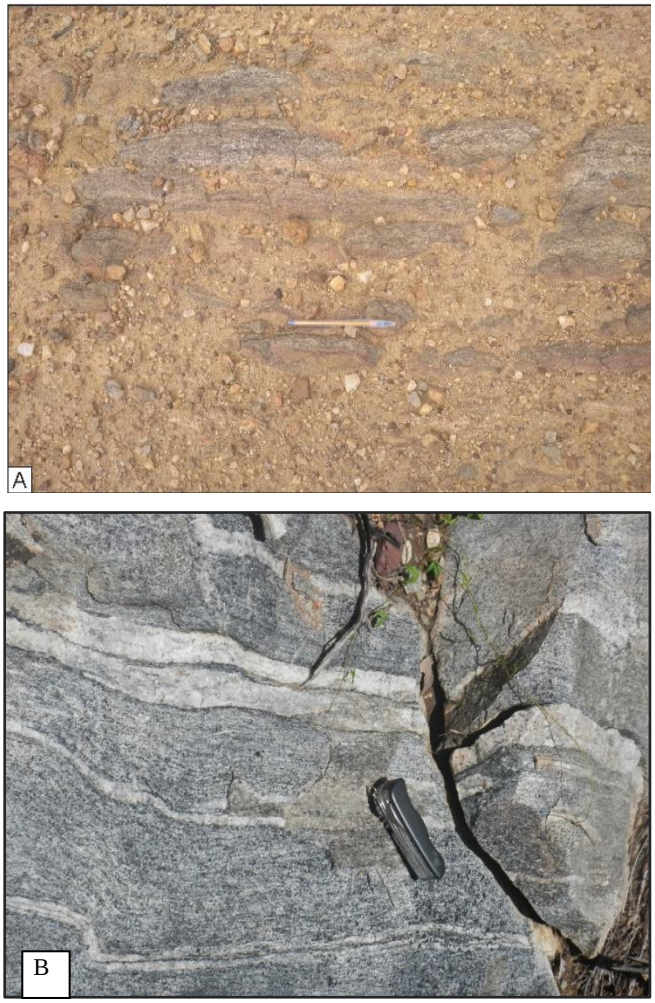
Fonte: A Autora (2022).

6 HIDROGEOLOGIA REGIONAL

Os aquíferos que ocorrem no município de São José do Belmonte compreendem-se em dois domínios, o intersticial e o fissural. Do ponto de vista da acumulação da água, em aquífero do tipo intersticial (poroso) a água preenche o espaço vazio entre os grãos, enquanto no fissural, ocupa o espaço nas fraturas.

O aquífero fissural é representado pelas rochas do Complexo São Caetano, Riacho Gravatá, Riacho da Barreira, formação Serra do olho d'água, Santana dos Garrotes, e pelas suítes calcioalcalina de alto a médio potássio do tipo Conceição e da suíte peralcalina do tipo Triunfo. O contato da bacia no setor leste é entre xistos, e na porção oeste entre gnaisses localmente migmatizados (Figura 17).

Figura 17 - Afloramentos encontrados na borda da BSSJB, rocha xistosa (A) e ortognaisses com diques pegmatíticos (B).



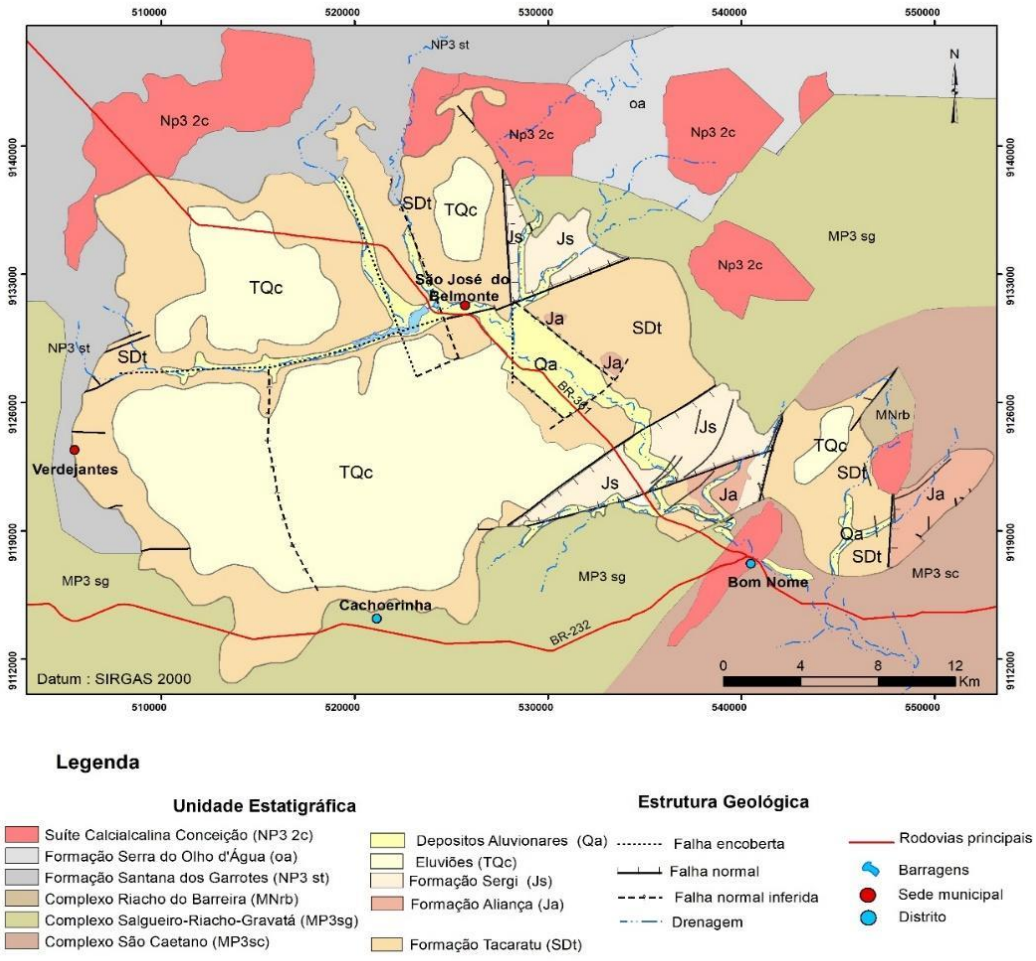
Fonte: A Autora (2022).

De acordo com as características litológicas, os aquíferos fissurais são heterogêneos e anisotrópicos, além de possuírem baixa potencialidade hídrica e porosidade, ficando sua permeabilidade restrita às condições de percolação através dos planos de descontinuidades (REBOUÇAS 1978).

Com relação a qualidade, as águas do aquífero cristalino são bastante salinas, uma vez que, um dos fatores seria a dificuldade na renovação das águas. Quando há evaporação da água, precipita os sais no solo, próximo à superfície, assim, no período chuvoso o sal seria dissolvido e retornando ao aquífero (Cruz; Melo 1974).

Os aquíferos intersticiais são constituídos pelas rochas sedimentares, representados pelos aquíferos Tacaratu, Sergi e coberturas quaternárias (Figura 18).

Figura 18 - Mapa geológico do município de São José do Belmonte.



Fonte: Modificado de Costa (2006) e CPRM (2000).

6.1 HIDROGEOLOGIA LOCAL

O aquífero Tacaratu é a unidade hidrogeológica de maior potencialidade hídrica na BSSJB, cujo comportamento hidrodinâmico é predominantemente de aquífero livre, passando a confinado na porção sudeste da bacia, onde está sotoposto pelos sedimentos argilosos da formação Aliança. O aquífero Sergi, assim como o aquífero Tacaratu, apresenta o comportamento de aquífero livre, no entanto, sua ocorrência é de menor expressão na bacia. Ocorrem também grandes áreas cobertas por depósitos arenosos, mas de baixa relevância hidrogeológica, o qual exerce a função de facilitar a recarga dos aquíferos sotopostos.

6.2 CADASTRAMENTO DE PONTOS D'ÁGUA

Uma etapa básica de qualquer caracterização hidrogeológica é o inventário de pontos d'água, que consiste no levantamento de informações de poços tubulares, poços amazonas e fontes naturais existentes.

No presente trabalho, preliminarmente foi realizado um levantamento no banco de dados da CPRM, denominado de Sistema de Informação de Águas Subterrâneas – SIAGAS e no banco da APAC, para se obter os pontos d'água já cadastrados na área de estudo. A pesquisa indicou a existência de 1493 e 50 poços tubulares, respectivamente. Costa et al., (2006), realizaram um trabalho de caracterização hidrogeológica da bacia de São José do Belmonte, no qual foi verificado um inventário com 822 poços.

Integrando todos os bancos de dados supracitados, existem 2365 poços cadastrados. No entanto, foi feita uma análise para avaliar poços duplicados nos três cadastros. Desta forma, a partir da remoção das duplicidades, restaram 1547 poços, sendo que, deste total, 15 poços são de domínio público, utilizados para abastecimento da população.

Durante todas as etapas de campo, observou-se que poços estavam sendo perfurados ao longo da Bacia de São José do Belmonte e, somados à desatualização dos bancos de dados, admite-se que há uma quantidade de poços superior ao do banco de dados disponível. A atualização do cadastro de todos os poços é uma tarefa que necessita de uma equipe treinada para coleta de informações, carros para deslocamento, entre outros gastos, além do tempo, pois como já exposto, as

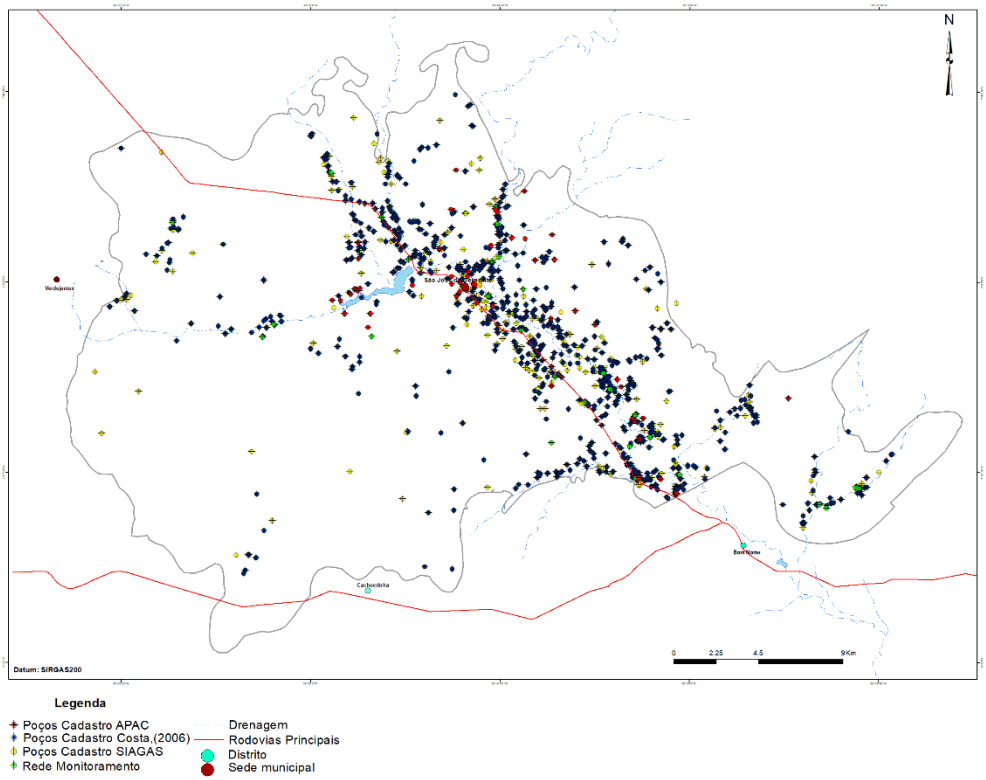
perfurações de novos poços ocorrem com frequência. Todos esses elementos elevam o custo da pesquisa de maneira substancial, tornando o cadastro de todos os poços financeiramente inviável. Ademais, as informações disponíveis são suficientes para elaboração do modelo numérico e desenvolvimento da ferramenta de gestão, que é o principal objetivo da tese.

Nesse contexto, o presente estudo utilizou de 1547 poços oriundos do banco de dados do inventário de Costa et al. (2006) + SIAGAS + APAC (Anexo 01).

Nas duas primeiras etapas de campo, foram selecionados trinta poços, estrategicamente posicionados, para monitoramento dos seus níveis estáticos, a fim de avaliar a evolução do nível e auxiliar a calibração do modelo numérico.

As informações levantadas para cada poço foram as seguintes: coordenadas, localidade, nome do proprietário, vazão informada, regime de bombeamento, profundidade do poço, nível estático, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e temperatura da água. A localização dos poços pode ser observada na Figura 19.

Figura 19 - Mapa de distribuição dos poços dos respectivos bancos de dados mais os poços da rede de monitoramento.



Fonte: A Autora (2022), limite da BSSJB Costa (2006).

6.3 MAPA POTENCIOMÉTRICO

O mapa potenciométrico mostra a distribuição das cargas hidráulicas do aquífero (Equação 8). É por meio dele que se pode estabelecer as direções do fluxo da água subterrânea. É possível também identificar qualitativamente zonas de maior ou menor transmissividade, desde que a potenciometria seja representativa do fluxo natural, bem como calcular a vazão de escoamento natural (VEN), a partir da qual se pode extrair a recarga do aquífero, que representa os recursos renováveis.

A carga hidráulica do aquífero é obtida pela Equação 8:

$$H = Z - NE \qquad (8)$$

Sendo:

H = carga hidráulica (m)

NE = nível estático em relação ao terreno (m)

Z = cota do terreno (m)

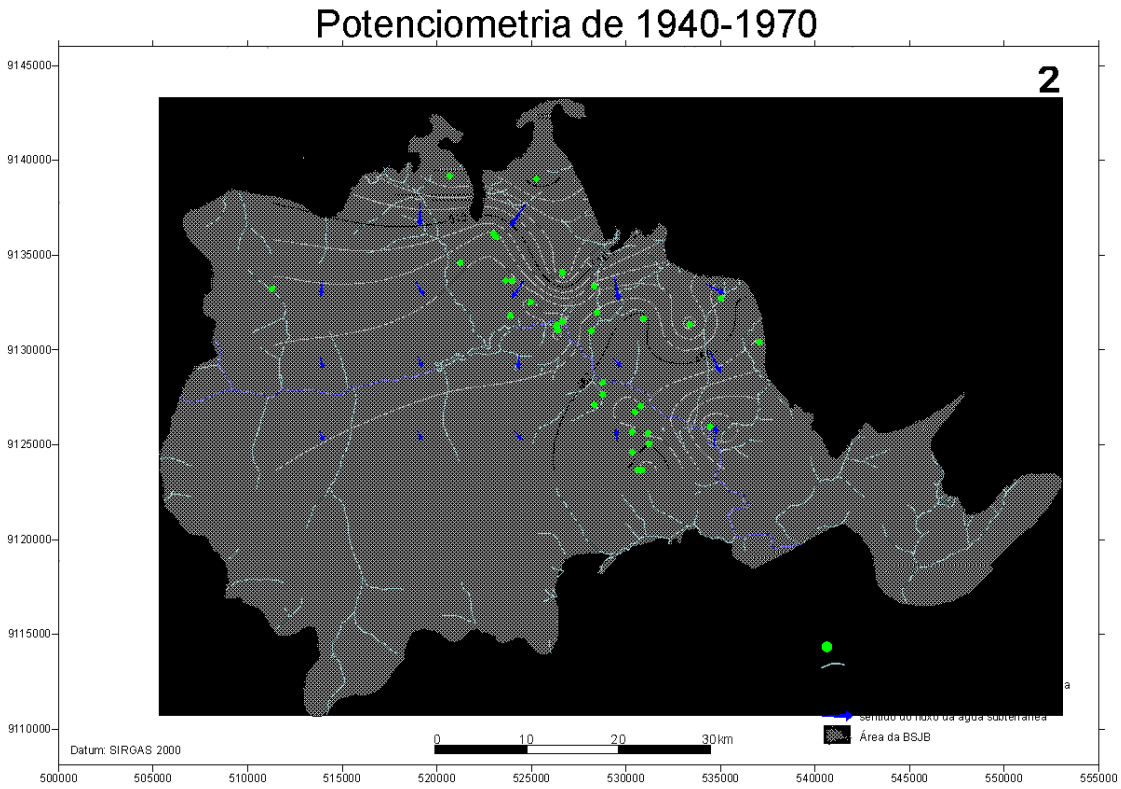
O nível estático é medido com o auxílio de um medidor de nível. Para a obtenção da cota do terreno, seria necessário um nivelamento topográfico, porém, Demetrio et.al. (2006) mostraram que é possível elaborar mapa potenciométrico, de caráter regional ou preliminar, utilizando cotas obtidas a partir de imagens do modelo digital de elevação do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Analogamente, neste trabalho, as cotas altimétricas foram obtidas a partir de imagens do modelo digital do Lidar (Light Detection And Ranging), provenientes do projeto Pernambuco 3D (2016). Optou-se pelo uso destas imagens em função da maior resolução espacial e pixel das mesmas, um metro, frente às do SRTM, 30 m.

A partir dos dados de NE obtidos em 787 poços e suas respectivas cotas, foram calculadas as cargas hidráulicas.

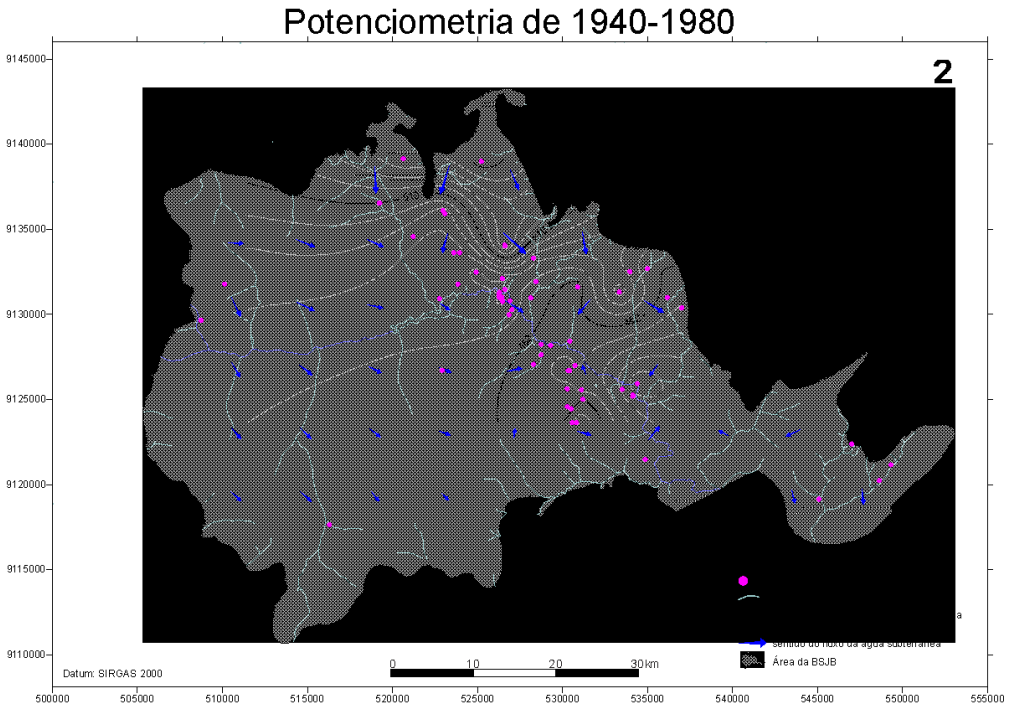
Não há informação sobre em que momento nem em que condição as medidas de NE foram realizadas. Admite-se que essas medidas tenham sido obtidas no momento da construção do poço que, geralmente, é a data informada no cadastro. As primeiras medidas foram realizadas em 1940 e as últimas em 2007. Neste intervalo de tempo, o ideal seria observar a evolução potenciométrica anualmente e assim ter uma percepção da propagação do cone de rebaixamento. Então verificou-se, principalmente no início do período de informação, que não havia poços suficientes

para serem feitos mapas potenciométricos para períodos anuais ou quinquenais. A saída então foi utilizar períodos decenais. Mesmo com esta amplitude de tempo percebeu-se que, entre o período de 1940 a 1970, só existiam trinta e oito poços e, no período de 1940 a 1980, setenta poços. Para verificar as diferenças para estes dois períodos foram confeccionados os respectivos mapas potenciométricos, obtidos por meio da técnica de krigagem simples, com variograma específico para preparação da grade de interpolação das curvas equipotenciais (Figura 20), empregando-se o aplicativo de software Surfer 12.8. Comparando as duas potenciometrias, verificou-se que não houve diferença significativa nas posições das equipotenciais.

Figura 20 - Evolução da potenciometria na Bacia de São José do Belmonte no período de 1940-1970 e 1940 -1980.



Fonte: A Autora (2022).

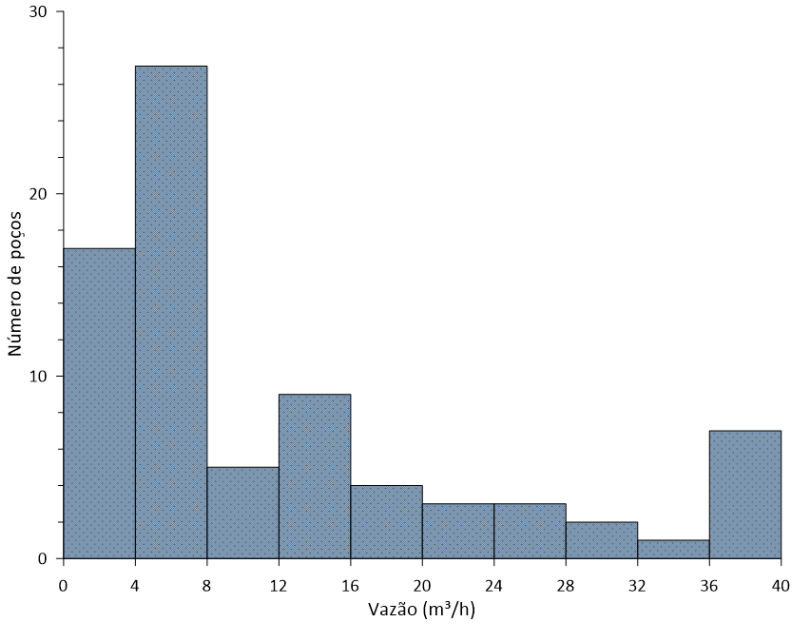


Fonte: A Autora (2022), base cartográfica Sudene, limite da BSSJB Costa (2006).

Como se trata das primeiras medidas registradas de nível estático na Bacia de São José do Belmonte, e como não se constataram diferenças importantes entre as potenciometrias traçadas para os dois períodos a princípio será considerada como potenciometria inicial do aquífero Tacaratu, aquela traçada com os níveis estáticos de 1940 a 1980. Para se usar essa potenciometria como original, é necessário verificar o quanto as descargas dos poços podem ter afetado o traçado da mesma.

Segundo o cadastro geral, existem noventa e cinco poços com o ano de construção no período de 1940-1980. Destes setenta e oito possuem dados de vazão informada. Uma análise estatística simplificada dos dados mostra que as vazões seguem uma distribuição assimétrica pois há concentrações de baixa vazões, sendo 49 poços (62,8%) com vazões inferiores a 10,0 m³/h (Figura 21). A vazão mínima é de 1,0 m³/h, a máxima de 40,0 m³/h, e a mediana é de 8,0 m³/h. Ainda de acordo com esse cadastro, para o mesmo período, observa-se ainda que os poços PG0005, PG0675, PG0884, PG0942, PG0973 e PG1016, possuem informações sobre o regime de funcionamento, e que a média de bombeamento deles são de 8,0 horas/dia.

Figura 21- Histograma distribuição das vazões.



Fonte: A Autora (2022).

Do mesmo modo, os poços visitados durante as etapas de campo operavam em média 3 horas/ dia. Um dos fatores que contribuem para o controle de funcionamento é o custo da energia, além disso, boa parte dos poços visitados, inclusive os poços observados no deslocamento entre os mesmos, tinha como finalidade o uso doméstico e/ou pequena irrigação.

Assim, é lícito admitir que as descargas dos poços tiveram pouca ou nenhuma influência no traçado da potenciometria no período de 1940-1980.

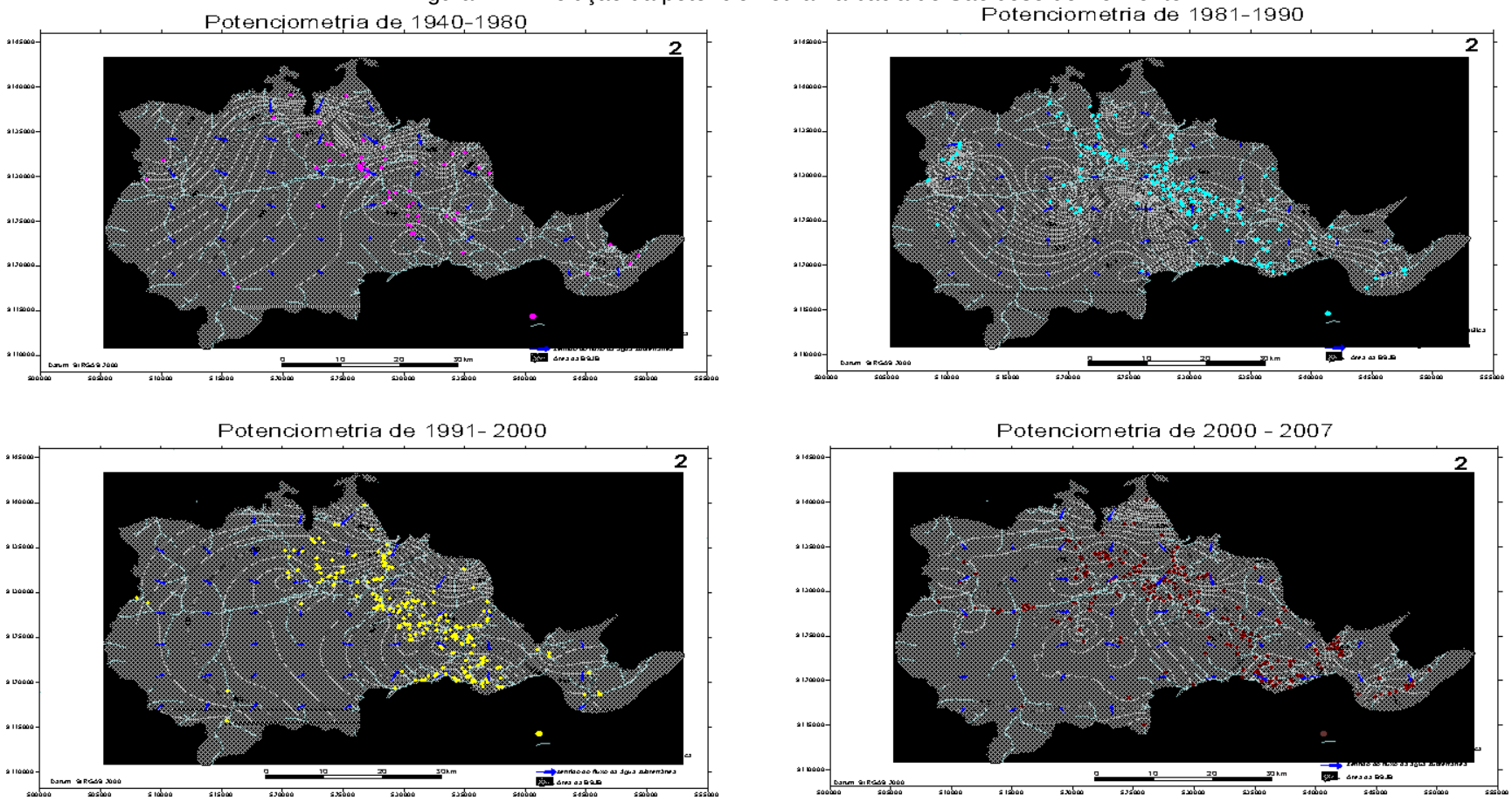
Nos vinte e sete anos restantes, a evolução potenciométrica foi dividida nos períodos de 1981-1990, 1991-2000 e 2001-2007, usando-se dados de 195, 232 e 329 poços respectivamente. O critério adotado para este intervalo de tempo foi que não havia poços suficientes para ser feito anualmente e, quando comparado o período de cinco anos ou dez anos as diferenças são irrelevantes, sendo assim, optou-se pelo intervalo de tempo de dez anos.

Na Figura 22, em todas as potenciometrias apresentadas observa-se que o sentido geral do fluxo da água subterrânea é na direção do Rio São Cristóvão. Desta forma, a potenciometria indica que se trata de um rio efluente, ou seja, o rio deveria ser perene, no entanto, trata-se de um rio intermitente. Duas hipóteses foram levantadas para justificar essa característica. A primeira seria a existência de um sumidouro coincidente com rio, o que é pouco provável. A segunda, é que o aporte

hídrico ao rio estaria sendo drenado pela aluvião, a qual representaria o exutório da bacia, sendo está a hipótese adotada.

Existem zonas de convergência e divergência de fluxo no conjunto de potenciometrias apresentadas, as feições de convergência podem ter sido causadas por efeito de bombeamento ou, de uma forma geral, pela limitação das informações como já mencionado. A existência das zonas de divergência, sem dúvidas, passa pela baixa densidade de informação, pois essas feições estão associadas a um único poço, ou a um pequeno grupo deles. As zonas de convergência de fluxo, mostradas no mapa da Figura 20, são causadas possivelmente pelos impactos dos bombeamentos.

Figura 22 - Evolução da potenciometria na bacia de São José do Belmonte.

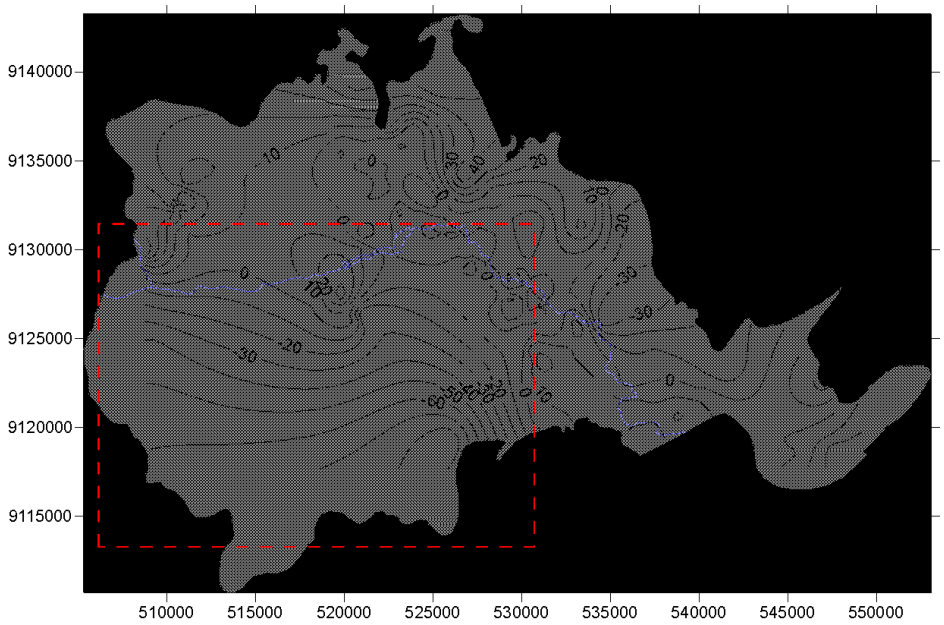


Fonte: A Autora (2022).

A partir dos mapas potenciométricos apresentados é possível compreender as variações de carga hidráulica. Sabe-se que a representatividade do mapa potenciométrico depende, dentre outras variáveis, da quantidade de pontos de observação. Quanto mais pontos, mais representativo será o mapa. Nesse sentido, foi verificado a disposição dos pontos para o período de 1940 a 1980 e 1981 a 1990, chamados de A e B respectivamente, e foi observado que há uma distribuição irregular dos poços em toda a extensão da bacia de São José do Belmonte. Nota-se que há um número maior de poços na porção próximo ao Rio São Cristóvão em relação à porção sudoeste (Figura 22).

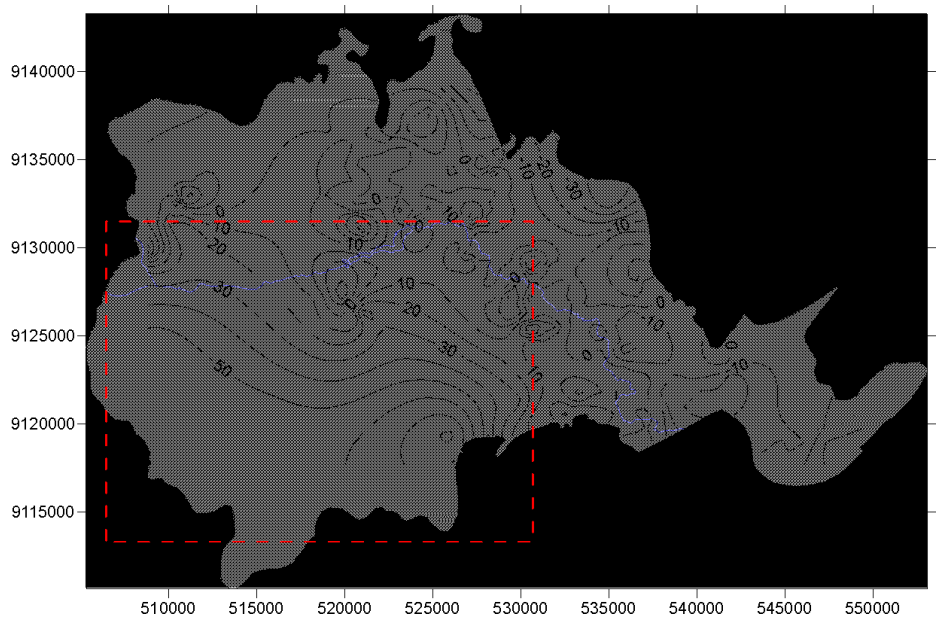
Assim, ao realizar a diferença entre as potenciometrias dos períodos A e B, a variação de nível foi 50 a -85 m (Figura 23). Do mesmo modo, verificou-se a diferença entre as potenciometrias para o período de 1981 a 1990 e 1991 a 2000, denominadas de B e C respectivamente. A fim de compreender essa variação de carga hidráulica, analisou-se uma mesma área, aqui denominada de setor 01 (Figuras 23 e 24). É possível observar neste setor que as diferenças de carga hidráulica para a diferença entre as potenciometrias A e B chegaram a -85 m, já a diferença entre as potenciometrias B e C atingiu 80 m, ou seja, houve uma recuperação da superfície potenciométrica na mesma proporção.

Figura 23 - Variação das potenciometria entre os períodos de (1940 e 1980) – (1981 a 1990) para o setor 01.



Fonte: A Autora (2022).

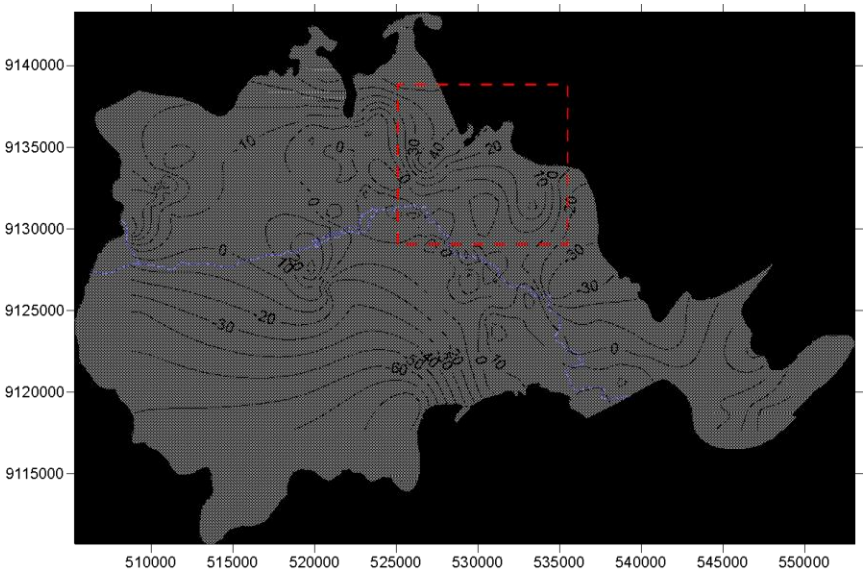
Figura 24 - Variação das potenciometria entre os períodos de (1981 a 1990) – (1991a 2000) para o setor 01.



Fonte: A Autora (2022), limite da BSSJB Costa (2006)

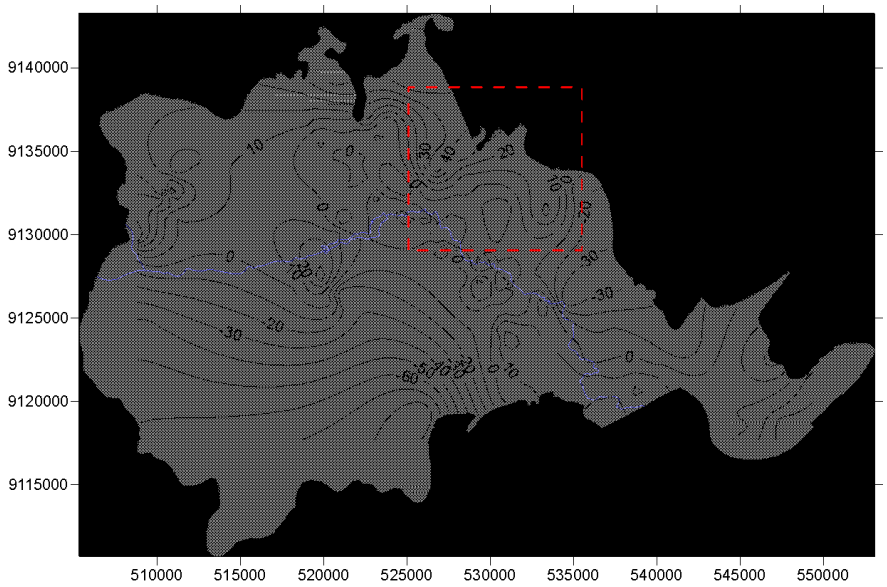
De maneira análoga, se fez análise em outro setor (02) da bacia para o mesmo período abordado. Na Figura 25 e 26, a diferença entre as potenciometrias A e B apresentaram variações de carga hidráulica positivas de 40 m, já para o período B e C ocorreu justamente o contrário, houve um rebaixamento da superfície potenciométrica alcançando variações de carga hidráulica de -40 m.

Figura 25 - Variação das potenciometria entre os períodos de (1940 e 1980) – (1981 a 1990).



Fonte: A Autora (2022), limite da BSSJB Costa (2006).

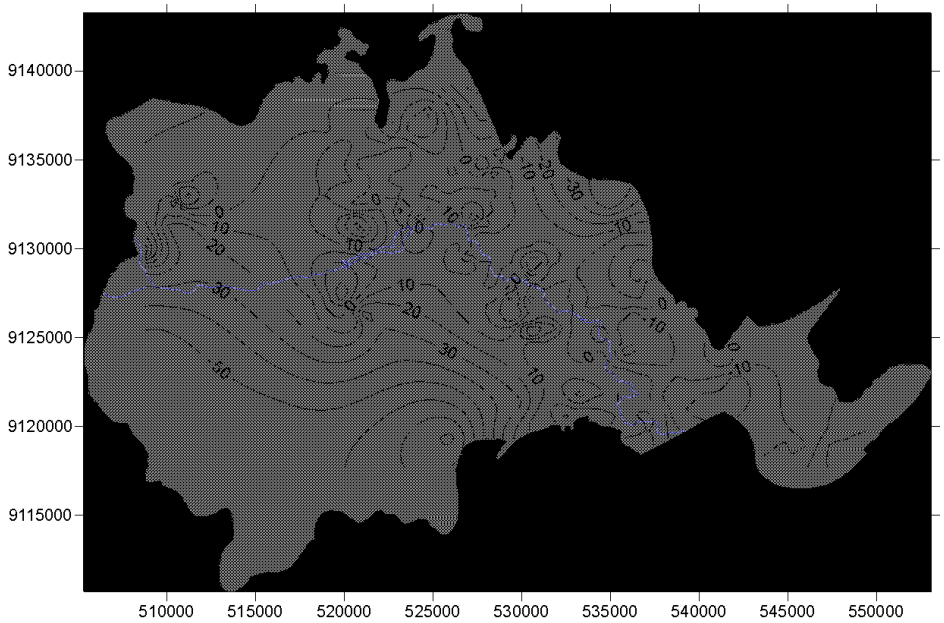
Figura 26 **-** Variação das potenciometria entre os períodos de (1981 a 1990) e (1991 a 2000).



Fonte: A Autora (2022), limite da BSSJB Costa (2006).

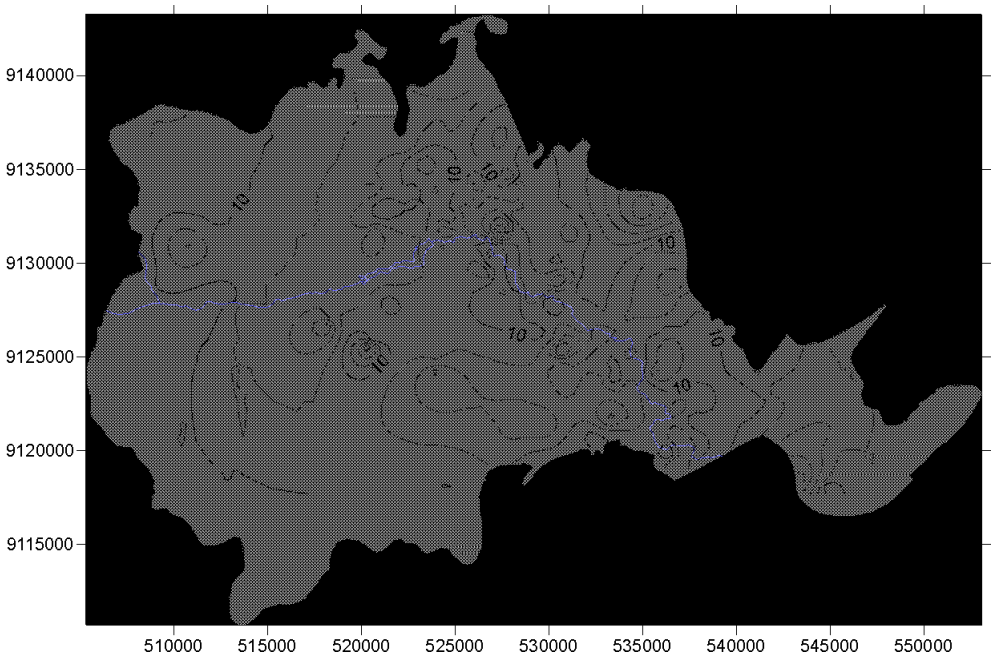
Assim também, foram analisadas as variações dos níveis entre o período de [(1981 a 1990) – (1991 a 2000)] e [(1991 a 2000) – (2001 a 2007)]. No primeiro período verificou-se que no setor 03 houve um rebaixamento chegando à diferença de carga hidráulicas de até -40m. Para o último período houve uma recuperação desses níveis na mesma proporção, conforme observa-se nas Figuras 27 e 28.

Figura 27 - Variação das potenciometria entre os períodos de (1981 a 1990) e (1991 a 2000).



Fonte: A Autora (2022), limite da BSSJB Costa (2006).

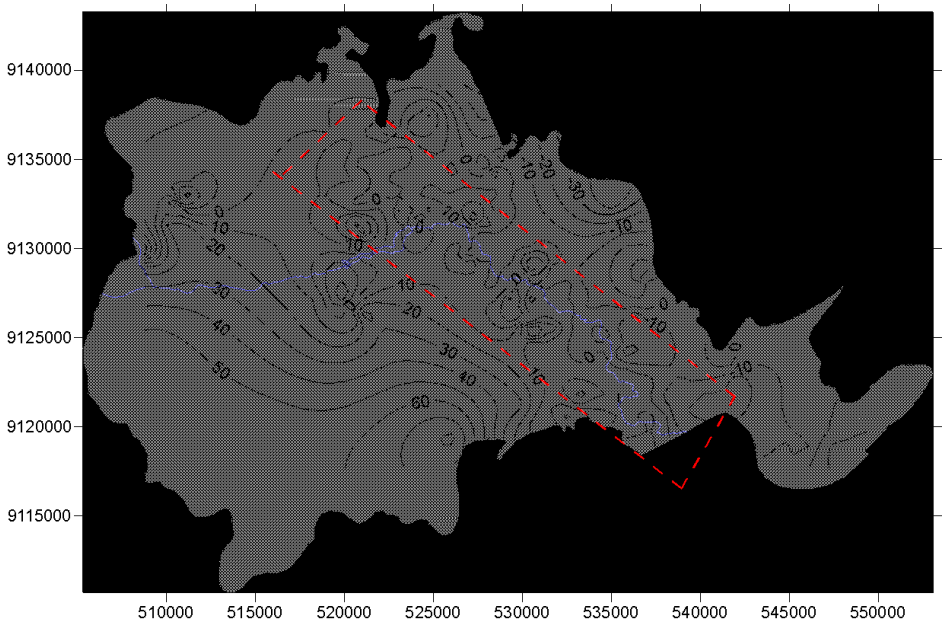
Figura 28 - Variação das potenciometria entre os períodos de (1991 a 2000) e (2001 a 2007).



Fonte: A Autora (2022), limite da BSSJB Costa (2006).

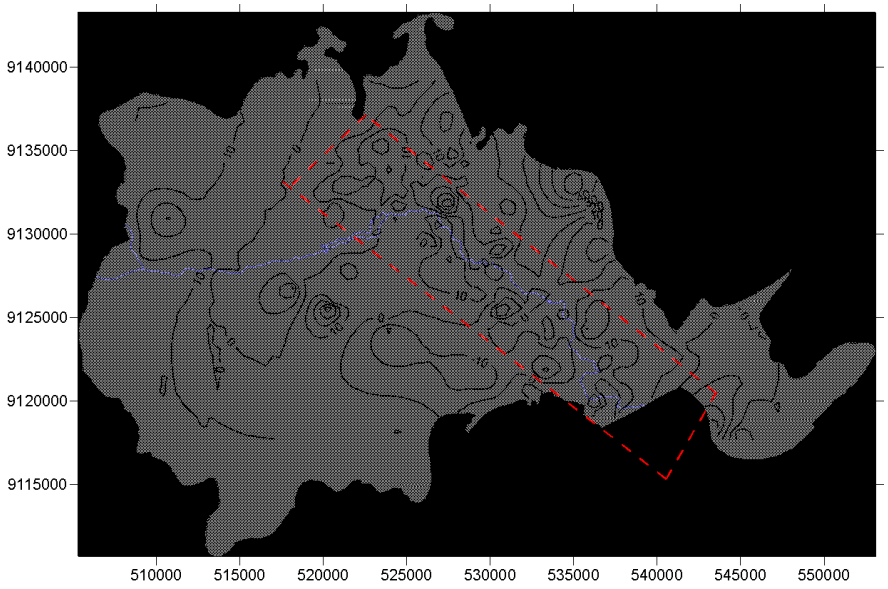
Além disso, outro setor que merece destaque é nas proximidades ao Rio São Cristóvão, que para o período B e C, C e D não apresenta variações significativas de carga hidráulica (Figura 29 e 30).

Figura 29 - Variação das potenciometria entre os períodos de (1981 a 1990) e (1991 a 2000) próximo ao Rio São Cristóvão**.**



Fonte: A Autora (2022), limite da BSSJB Costa (2006).

Figura 30 - Variação das potenciometria entre os períodos de (1991 a 2000) e (2001 a 2007) próximos ao Rio São Cristóvão.



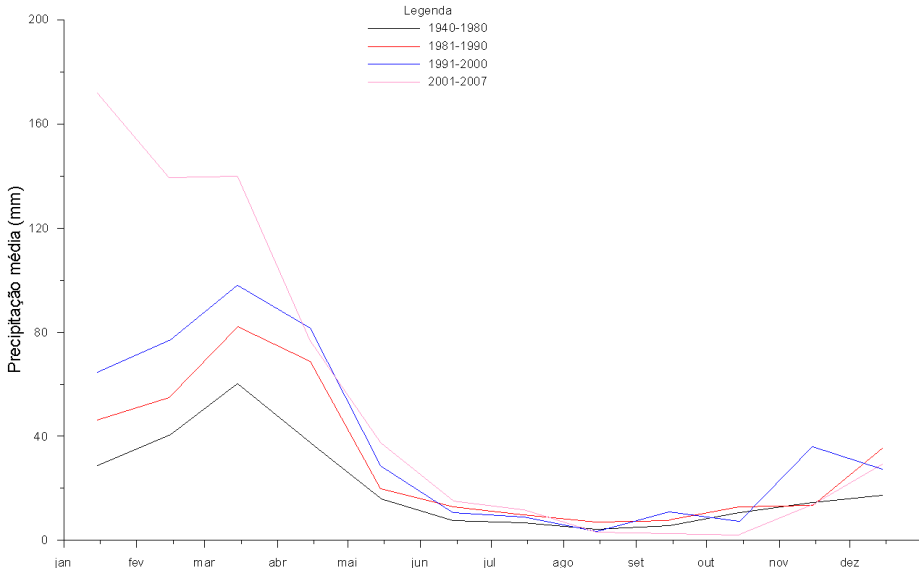
Fonte: A Autora (2022), limite da BSSJB Costa (2006).

Para tentar compreender esses comportamentos distintos, foram analisadas as precipitações que ocorreram na Bacia de São José do Belmonte e, como já exposto em capítulos anteriores, a estação 11 do município de SJB exerce uma área de maior influência na bacia. No entanto, esse posto não apresenta dados de 1940 a 1993. Para sanar esse problema usou-se os dados de duas estações vizinhas e foi empregada o método de regressão múltipla para o preenchimento dessa lacuna. Assim, para facilitar o entendimento, as precipitações foram separadas de acordo com as potenciometrias, ou seja, em quatro períodos: 1940-1980; 1981-1990; 1991-2000; 2001-2007.

Ao analisar a precipitação média mensal (PMM) percebe-se que entre junho e dezembro não há variações significativas da PMM entre os períodos observados. Todavia, de janeiro a maio as PMM foram crescentes, do período mais antigo para o mais novo. É nítido o aumento das precipitações anuais, principalmente nas décadas de 1980 a 2000, corroborando os aumentos consecutivos das PMM entre os períodos de janeiro a maio.

No gráfico da Figura 31 é mostrada a variação da precipitação média mensal (PMM) para os quatro períodos mencionados:

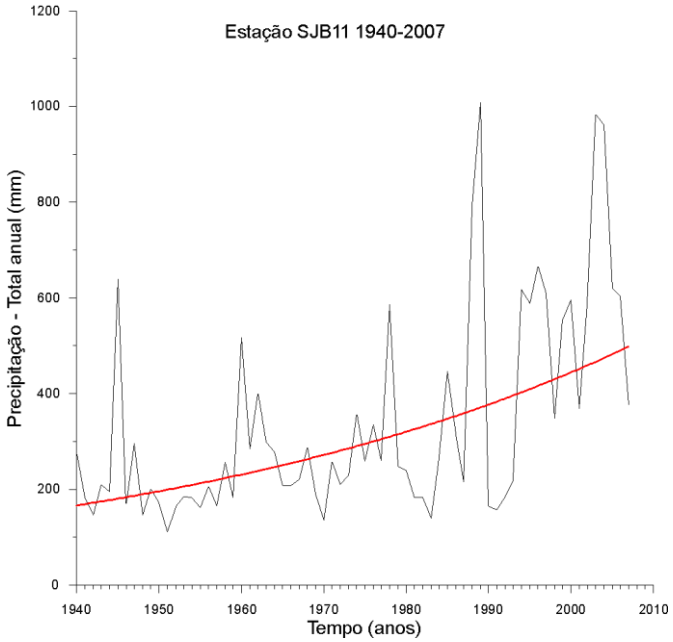
Figura 31 - Oscilação da precipitação média mensal para cada período**.**



Fonte: A Autora (2022).

Assim sendo, não é possível explicar oscilações na potenciometria por variação da precipitação, uma vez que, se as variações da potenciometria fossem devidas exclusivamente pela precipitação, implicaria apenas na elevação dos níveis ao longo do período analisado de 1940 a 2007 (Figura 32).

Figura 32 - Variação da precipitação total anual no período de 1940 a 2007 do posto 11 em São José do Belmonte.



Fonte: A Autora (2022).

Outro fator que pode explicar as oscilações potenciométricas seria o bombeamento dos poços, uma vez que, afeta diretamente a potenciometria. Ao analisar os poços do cadastro percebeu-se que tinham 45 poços obstruídos, 171 poços sem equipamento, 56 poços parados, 86 não instalados, 25 poços fechados e 6 poços abandonados, restando 1.162 poços ativos para o período de 1940 a 2007. Desse total de poços ativos 518 possuem informação de vazão, 698 possuem informação do ano de perfuração e há apenas 132 com informação do regime de funcionamento. Na Tabela 07, observa-se o número de poços construídos em diferentes épocas e as respectivas frequências observadas. Para completar os dados de regime de funcionamento foram usadas as médias dos dados disponíveis de acordo com períodos analisados.

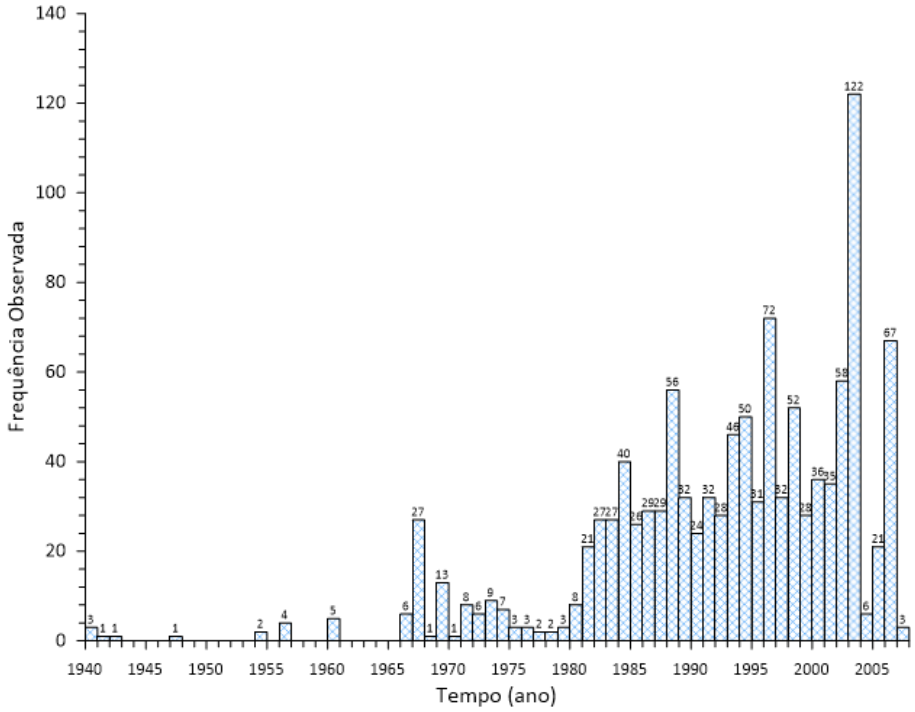
Tabela 7 - Variação da quantidade de poços construídos.

Intervalo de tempo	Quantidade de poços ativos	Frequência observada (poços/ano)
1940 -1980	79	11,53
1981-1990	202	29,48
1991-2000	254	37,08
2001-2007	150	21,89

Fonte: A Autora (2022).

Por fim, para sanar a falta de informação do ano de construção, foi feito um histograma dos dados existentes (Figura 33). Definida a frequência observada e a frequência relativa, esta última foi utilizada para distribuir os poços sem data de construção. Assim, os poços sem data de construção foram distribuídos em cada período considerado, conforme a frequência observada da tabela 07, por exemplo, 11,53% dos poços sem data de construção foram sorteados e alocados no período de 1940 a 1980 e assim sucessivamente. Esse mesmo procedimento foi adotado para os poços sem informação da vazão.

Figura 33 - Histogramas do ano de perfuração e a quantidade de poços para o período de 1940 a 2007.



Fonte: A Autora (2022).

Com base nas informações da vazão de cada poço e do regime de funcionamento dele, foi calculada a descarga anual. Assim, para obter a descarga diária basta dividir o resultado da vazão anual por 365, tem-se o valor da descarga diária. De posse da informação da data de perfuração foi calculada o tempo, usada para calcular o volume de água bombeado do aquífero por aquele poço durante o período de interesse, conforme a Tabela 08.

Tabela 8 - Relação descarga e volume por período.

Período	Volume (m^3)	Descarga média (m^3/ano)
1940-1980	1845294,0	45007,17
1981-1990	2810664,6	281066,46
1991-2000	5728903,1	572890,31
2001-2007	4088721,2	584103,03

Fonte: A Autora (2022).

Pode-se perceber que o volume de água explotado do aquífero para cada período é crescente, apenas entre 2000 e 2007, aparentemente há uma diminuição desse volume, mas não foi avaliado dentro de um período de 10 anos como os dois períodos anteriores. Já avaliando pela vazão média anual foi sempre crescente. Como demostrado, o volume explotado período não permitem estabelecer nenhuma hipótese para essas variações de níveis.

7 ENSAIOS DE BOMBEAMENTO

O Ensaio de bombeamento, engloba o teste de Produção e teste de aquífero. O primeiro é utilizado para determinar a capacidade de produção de água do poço e o segundo as características hidráulicas de um aquífero.

7.1 ESTUDO HIDROGEOLÓGICO -1999

Costa et al. (1999), no âmbito do estudo hidrogeológico, realizaram 20 testes de produção com a finalidade de determinar parâmetros hidrodinâmicos na Bacia de São José do Belmonte. No entanto, com base na análise feita a partir das fichas de campo (Anexo A), percebe-se que os testes foram realizados com vazão variável, e para interpretação foi utilizado o método de Cooper & Jacob (1946) com a aplicação da Equação 9:

$$T = \frac{0{,}183 * Q}{\Delta s} \quad (9)$$

Sendo:

T = Transmissividade (L^2/T);

Q = Vazão constante (L^3/T);

Δsw = Variação do rebaixamento num ciclo logaritmo.

De acordo com as condições de contorno estabelecidas para o desenvolvimento da Equação 9 a vazão tem que ser constantemente variável. Além do mais, as informações contidas no **quadro I.4.3.1**, denominado de **parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos nos poços testados**, apresentado no estudo supracitado, são conflitantes com os dados das fichas de campo apresentadas no mesmo estudo.

Para aplicar o método de Cooper & Jacob em casos de vazão variada, deve-se fazer o uso da vazão especifica a fim de minimizar os impactos dessa variação, assim a equação deveria ser desenvolvida a partir da seguinte Equação 10:

$$sw = \frac{0{,}183.Q}{T} \, log \, log \left(\frac{2{,}25Tt}{r^2 S}\right) \quad (10)$$

Sendo:

T = Transmissividade (L^2/T);

Q =Vazão constante (L^3/T);

sw = rebaixamento (L);

t = tempo(T);

S = Coeficiente de Armazenamento.

Passando a vazão para o lado esquerdo da equação:

$$\frac{sw}{Q} = \frac{0{,}183}{T} log\ log\ \left(\frac{2{,}25Tt}{r^2S}\right) = yi \quad (11)$$

Sendo:

yi = a vazão específica. ($T.L^{-2}$)

Separando o tempo do logaritmo, tem-se:

$$yi = \frac{0{,}183}{T} log\ log\ \left(\frac{2{,}25Tt}{r^2S}\right) = \frac{0{,}183}{T}\ log\ \left(\frac{2{,}25T}{r^2S}\right) + \frac{0{,}183}{T} log\ log\ (t) \quad (12)$$

A Equação 12 permite a obtenção da reta logarítmica da vazão específica em função do tempo, sendo 0,183/T o coeficiente angular dessa reta. Este coeficiente também pode ser calculado pela razão entre a variação da vazão específica e a respectiva variação do tempo, assim:

$$\frac{0{,}183}{T} = \frac{yi_2 - yi_1}{log\ (t_2) - log\ (t_1)} = \frac{\Delta yi}{\frac{log\ (t_2)}{log\ (t_1)}} \quad (12)$$

Para um ciclo logaritmo:

$$\frac{0{,}183}{T} = \Delta yi \text{ ou } T = \frac{0{,}183}{\Delta yi} \quad (13)$$

Na presente tese, fez-se uma reanalise dos testes de produção, uma vez que no estudo Costa et al. (1999), foi empregada uma metodologia para vazão constante em ensaios de bombeamento com vazão variada. Assim, utilizou-se a Equação 13 para atenuar os efeitos da variação de vazão e dessa forma determinar dezenove valores de transmissividade e condutividade hidráulica do aquífero Tacaratu, apresentados na Tabela 09. Além desses valores também foram acrescidos aqueles apresentados no trabalho de Costa, *op.cit*. Ainda que, os valores apresentados pelos autores, sejam compatíveis com as transmissividades conhecidas do aquífero, a rigor a metodologia aplicada foi considerada inadequada como já exposto, assim, os parâmetros hidrogeológicos adotados nesse estudo, são aqueles em que utilizaram a capacidade específica.

Tabela 9 - Comparação dos valores de transmissividade e condutividade hidráulica

Poço	UTM E (m)	UTM N (m)	TCosta(m²/s)	T (m²/s)	K(m/s)	K Costa (m/s)
PG0002	511024,3	9133785,2	2,28E-04	6,95E-04	4,96E-06	1,06E-05
PG0045	528083,0	9131447,0	2,32E-04	2,27E-04	9,29E-07	
PG0674	536742,9	9127445,9	3,39E-04	2,86E-04	2,45E-06	6,86E-06
PG0736	530252,9	9129446,7	3,67E-04	9,41E-04	3,63E-06	3,10E-06
PG0757	509584,6	9131912,3	5,83E-04	2,29E-04	2,49E-06	2,53E-05
PG0761	547757,1	9119052,0	1,80E-04	1,20E-03	1,23E-05	2,95E-06
PG0767	536645,3	9120290,7	8,90E-04	1,20E-04	5,77E-07	1,12E-05
PG0772	535665,6	9120230,1	6,10E-06	6,44E-05	6,25E-07	1,13E-07
PG0836	522966,7	9132399,0	1,15E-03	1,29E-04	6,49E-07	1,82E-05
PG0856	537549,0	9124604,0	5,32E-04	6,48E-04	3,73E-06	1,15E-05
PG0912	523034,0	9132653,0	2,10E-03	6,09E-04	3,24E-06	2,23E-05
PG1018	527309,0	9129384,0	3,87E-04	9,60E-04	2,90E-06	4,03E-06
PG1030	526149,9	9129664,2	2,68E-03	2,37E-04	7,69E-07	1,06E-05
PG1092	526021,5	9119376,7	1,66E-04	4,32E-04	4,59E-06	2,06E-06
PG1115	535422,7	9122871,3	3,90E-04	1,06E-03	4,50E-06	6,12E-06
PG1165	546073,2	9118900,2	5,29E-05	3,80E-04	2,86E-06	8,64E-07
PG1226	521038,0	9133566,8	1,82E-04	1,90E-03	1,05E-05	4,05E-06

Fonte: A Autora (2022).

Em alguns trabalhos, como Manoel Filho (1996), Correia (2010) e Diniz & Michaluate (2002), foi empregado com sucesso o método de **capacidade específica fractal** para ensaios de bombeamento realizados com vazão variada, ainda que a metodologia desenvolvida tenha como principal alvo aquíferos fissurais, mas que pode ser aplicada em aquífero poroso sem nenhum prejuízo. Dessa forma, a capacidade especifica fractal é mais uma maneira de determinar parâmetros hidrodinâmicos em ensaios sem a vazão constante.

7.1.1 Capacidade específica fractal

O método empregado foi desenvolvido por Manoel Filho (1996), denominado de **capacidade específica fracta**l (y*), a partir do qual calcula-se a descarga fractal constante Q*, possibilitando aplicar métodos convencionais para determinação da transmissividade e condutividade hidráulica.

A análise dos dados de bombeamento por meio da **y*,** envolve as seguintes etapas:

Determinação da yi pela seguinte expressão: Q/sw

1. Construção de uma curva de yi, versus rebaixamento (sw), em escala bi-log e posterior ajuste da mesma por meio da lei de potência do tipo

$y^*=Q^*s^{-D}$, sendo D a dimensão fractal do fluxo e Q* a descarga fractal uniforme.

2. Construção da curva de capacidade específica fractal em relação ao tempo, ou rebaixamento fractal versus o tempo, em escala bi-log.
3. Realização da superposição da curva do item anterior com a curva teórica de Theis.
4. Determinação da transmissividade pela Equação 14:

$$T = \frac{1}{4\pi\frac{Sw^{-D}}{Q*}} W(u) \quad (14)$$

Sendo:

Sw^{-D} = rebaixamento fractal (L^D);
Q^* = descarga fractal ($L^{2+D}\ T^{-1}$);
T = Transmissividade (L^2T^{-1});
W (u) = função de Theis.

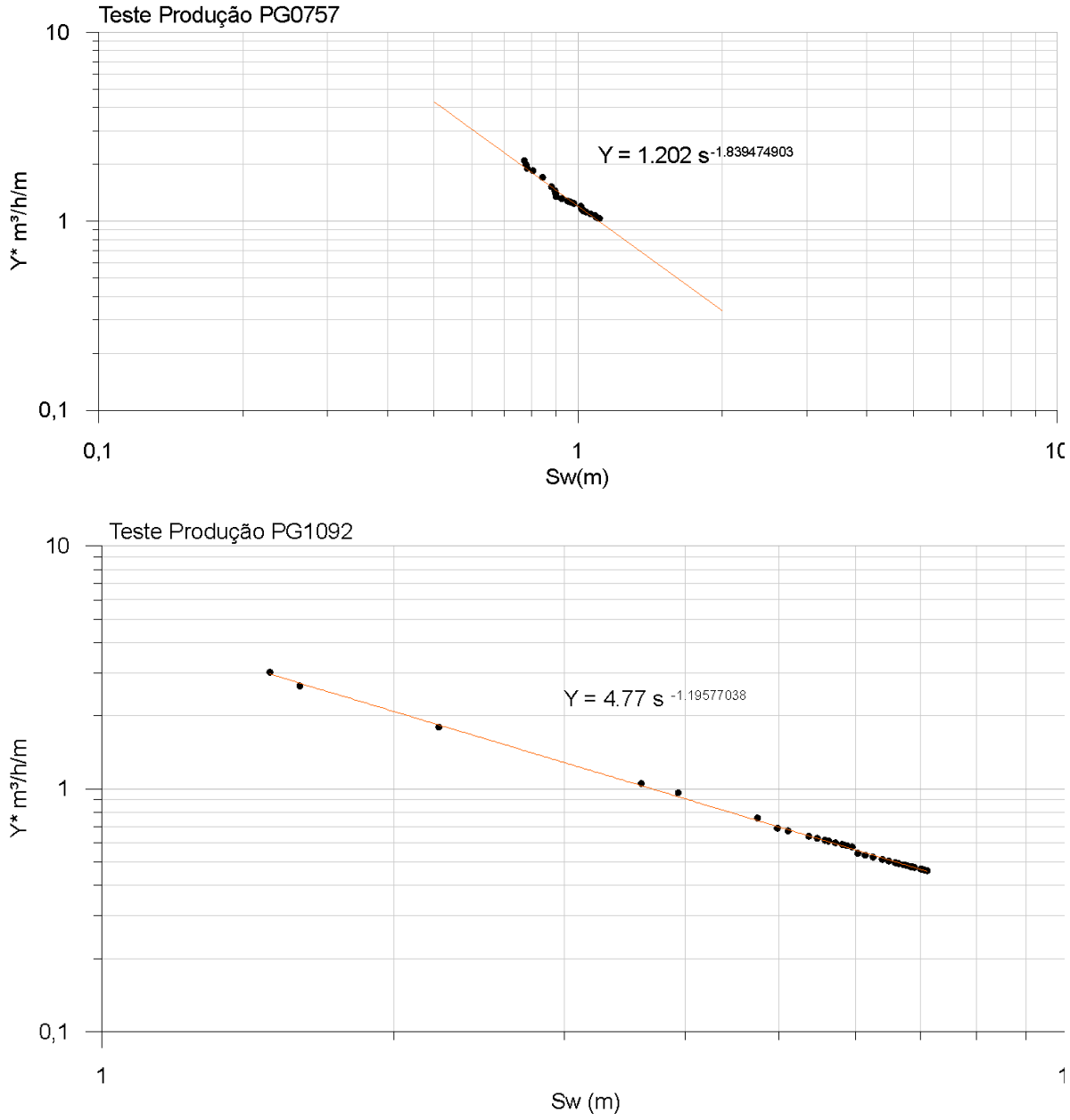
1. Determinação da condutividade hidráulica pela expressão: K = T/b

Sendo:

T = Transmissividade (L^2T^{-1});
b = espessura do aquífero (m).

Foram construídas as curvas y* *versus* rebaixamento sw, em escalas bi-log sendo as curvas ajustadas a uma lei de potência do tipo $y^*= Q^*s^{-D}$. Nos poços PG0002, 15, PG0045, PG0772, PG0836, 77, 264, PG0767, PG1018, PG1340, PG0736, PG1226, PG0761 e PG1050 não foi possível aplicar a metodologia, pois a evolução das curvas, rebaixamento *versus* o tempo, foram anômalas, não conseguindo-se o ajuste fractal satisfatório. Além disso os poços 15, 77 e 264 não apresentam coordenadas. A Figura 34 mostra o ajuste à lei de potência para os poços PG0757 e PG1092. Os gráficos para os demais poços são apresentados no Anexo B.

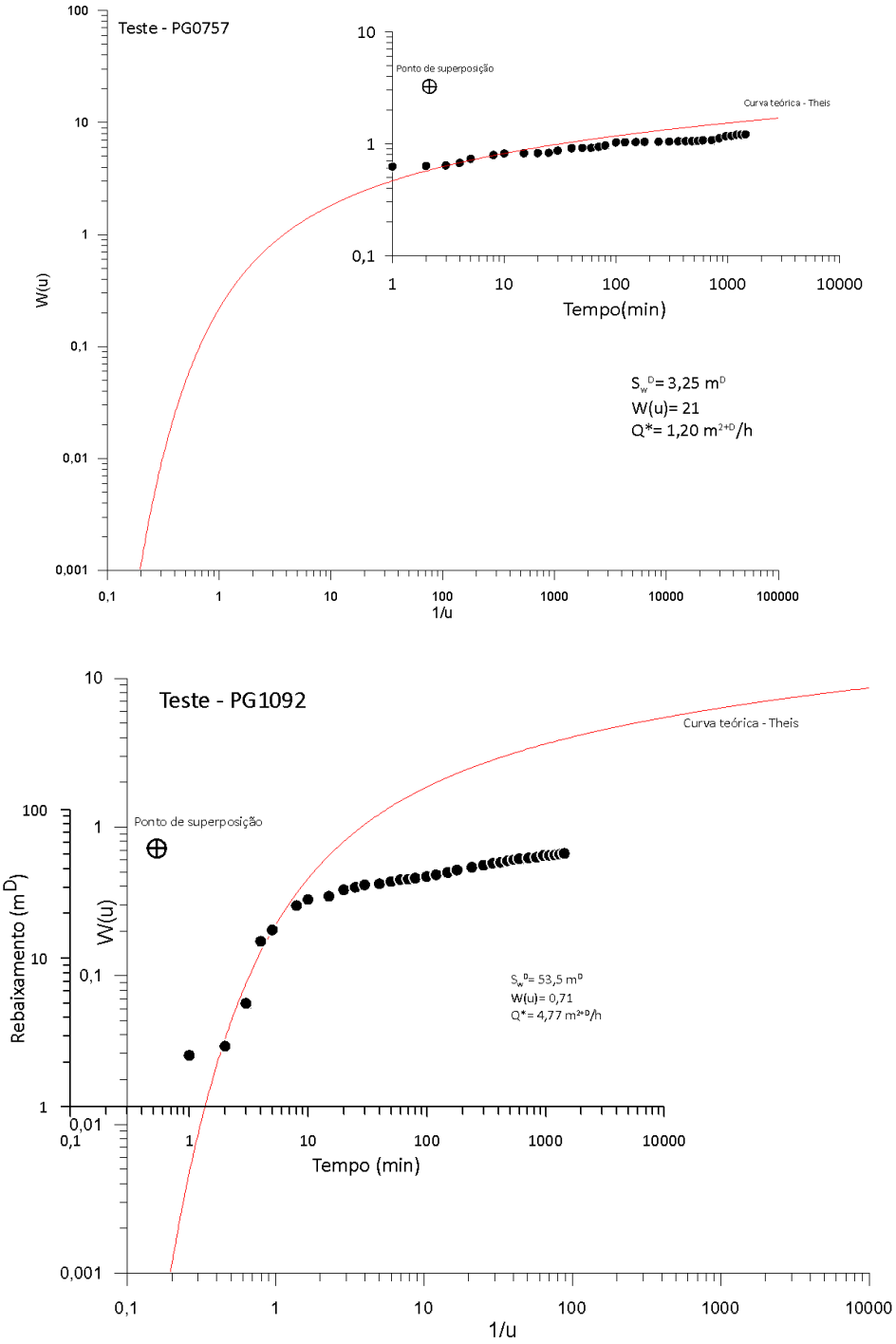
Figura 34 - Curvas de capacidade específica versus rebaixamento ajustadas a uma lei de potência para os poços, PG0757 e PG1092.



Fonte: A Autora (2022).

A Figura 35 mostra as curvas rebaixamento *versus* tempo nos dois poços de bombeamento, utilizadas para a determinação da transmissividade. Os gráficos para os demais poços são apresentados no Anexo C.

Figura 35 - Curvas rebaixamento x tempo utilizando o método de Theis para os poços PG0757 e PG1092.



Fonte: A Autora (2022).

Os valores encontrados de transmissividade, condutividade hidráulica, bem como a descarga fractal constante, estão sumarizados na Tabela 10.

A partir da reanalise dos 22 testes de produção pelo método de capacidade específica fractal, chegou-se à determinação de sete valores de transmissividade do

aquífero Tacaratu apresentados na Tabela 10. Além desses valores, também foram acrescidos aqueles apresentados no trabalho de Costa et al. (1999). Apesar da metodologia utilizada por estes autores ter sido considerada imprópria, os valores apresentados são compatíveis com as transmissividades conhecidas do aquífero.

Tabela 10 - Valores obtidos da descarga fractal, transmissividade e condutividade hidráulica.

Poço	UTME (m)	UTM N (m)	Q*	T (m²/s)	K(m/s)
PG0674	536743,0	9127446,0	31,49	$5,74 \times 10^{-04}$	$4,07 \times 10^{-06}$
PG0757	509584,6	9131912,3	1,20	$4,17 \times 10^{-04}$	$1,9 \times 10^{-06}$
PG0856	537549,0	9124604,0	1,34	$5,25 \times 10^{-04}$	$6,67 \times 10^{-07}$
PG1030	526149,9	9129664,2	52,53	$2,34 \times 10^{-04}$	$4,54 \times 10^{-06}$
PG1092	526021,5	9119377,0	4,77		
PG1115	535423,0	9122871,0	32,91	$2,34 \times 10^{-04}$	$9,92 \times 10^{-07}$
PG1165	546073,0	9118900,0	16,07	$6,88 \times 10^{-04}$	$5,17 \times 10^{-06}$

Fonte: A Autora (2022).

Obs.: Q* = Vazão fractal

7.2 ENSAIOS DE BOMBEAMENTO DA COMPESA

A COMPESA é responsável pelo abastecimento do município de São Jose do Belmonte e os distritos de Carmo, Bom Nome e Jatobá. Foram construídos 07 poços em São José do Belmonte (SJB) e 03 poços em Bom Nome, sendo que atualmente operam 06 em BSSJB e 01 em Bom Nome. Dos 10 poços construídos, 07 apresentam informação de ensaios de bombeamento, conforme a Tabela 11, a seguir:

Tabela 11 - Poços de abastecimento com informação de ensaios de bombeamento.

Poço	Referência COMPESA	Ano	Teste produção	Teste aquífero	UTME(m)	UTMN(m)	Localidade
PG1015	P-01	1981	x		526949,0	9130845,0	SJB
PG1016	P-02	1981		x	527067,0	9130320,0	SJB

PG1021	P-03	1981		x	526303,7	9131046,0	SJB
PG0106	P-04	1998	x		526030,0	9134240,0	SJB
PG1170	P-01	1981	x		545365,0	9118550,0	Bom Nome
PG1171	P-02	1981	x		545374,0	9118569,0	Bom Nome
PG0014	P-03	1981	x		544600,0	9117550,0	Bom Nome

Fonte: A Autora (2022).

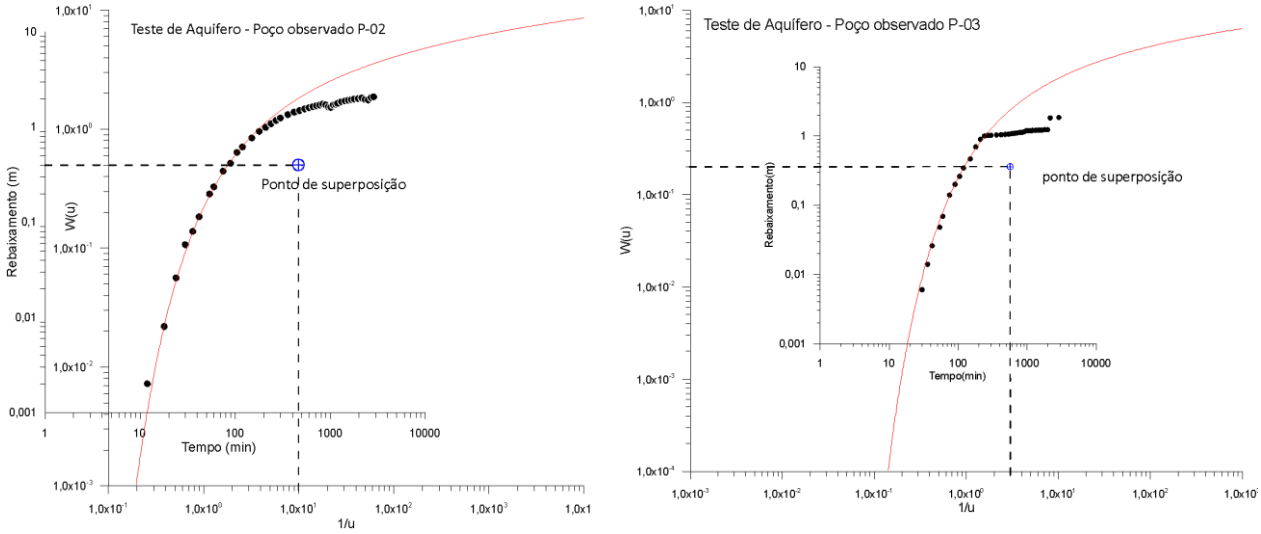
7.2.1 Teste de Aquífero

O teste de aquífero é de suma importância para a compreensão hidráulica do aquífero e determinação dos parâmetros hidrogeológicos como transmissividade, condutividade hidráulica e coeficiente de armazenamento. Apesar de fundamental importância, geralmente se dispõe de poucos testes de aquíferos nos estudos hidrogeológicos, seja por conta dos custos ou por outras razões. Embora haja grande quantidade de poços, no presente trabalho só se dispõe de dois testes de aquíferos realizados pela Compesa.

A Compesa realizou um teste misto Aquífero/ Produção, que foi executado em 3 etapas sucessivas, ou seja, com recuperação entre as etapas de bombeamento, as duas etapas com duração de 8 horas e a última de 48 horas, sendo que o poço bombeado ficou há uma distância de 360 m do poço observado. O método volumétrico foi empregado para medição e controle da vazão. Ainda que esse método apresente dificuldades para o controle da vazão, quando se observam as fichas de campo (Anexo E), percebe-se que a variação de vazão foi de 5,5 %, ou seja, houve variação pequena que fica próxima a uma vazão constante.

Para a determinação dos parâmetros hidrogeológicos foi utilizada a etapa de duração de 48 horas, sendo aplicado o método de Theis (1935). A Figura 36 mostra as curvas dos poços observados.

Figura 36- Curva rebaixamento versus tempo para determinação dos parâmetros hidrogeológicos a partir do método de Theis para os poços PG1016 e PG1021.



Fonte: A Autora (2022).

Os valores dos parâmetros hidrogeológicos: Transmissividade, condutividade hidráulica e coeficiente de armazenamento nos poços PG1016 e PG1021 estão sintetizados na Tabela 12:

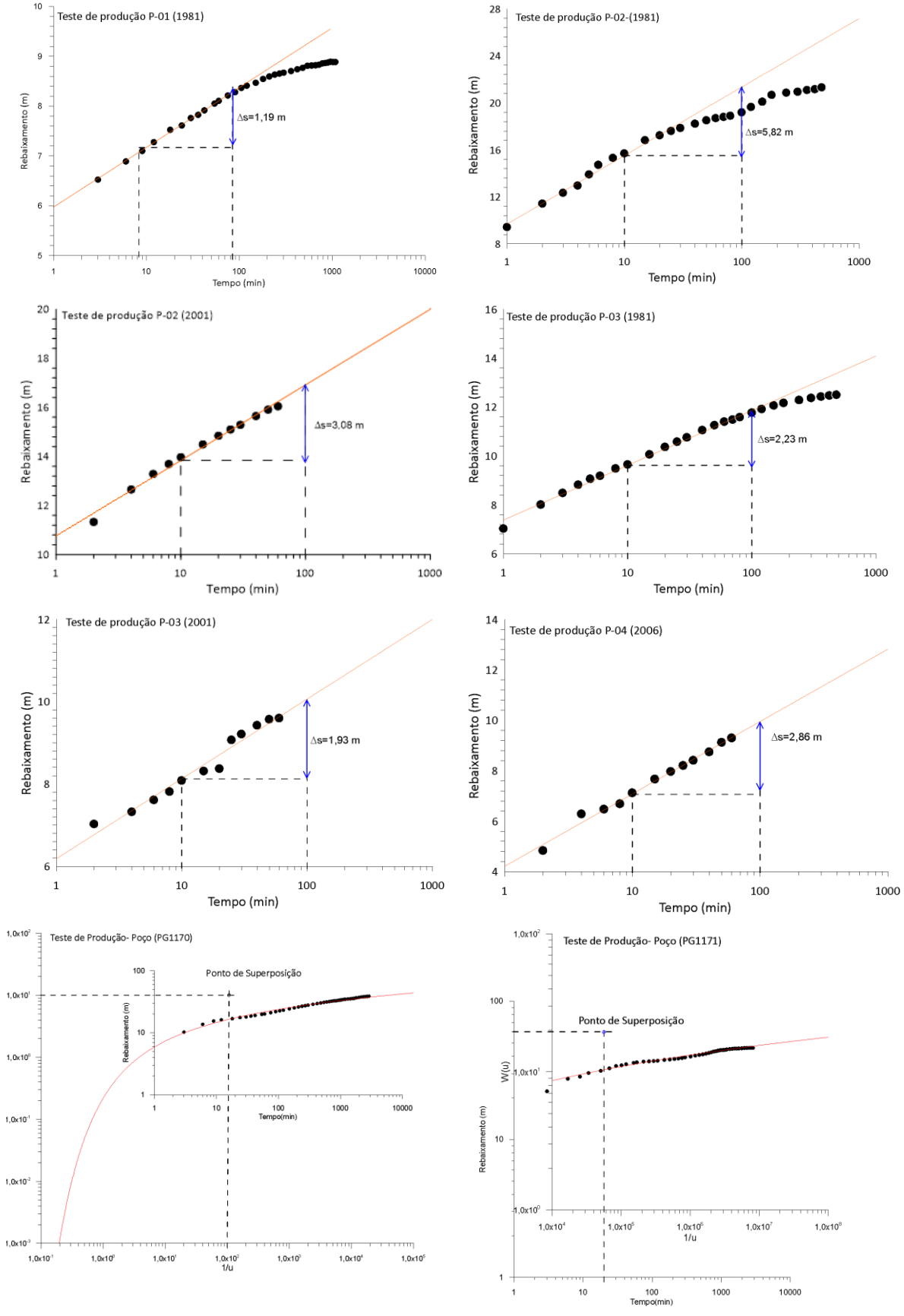
Tabela 12 - Resumo dos dados obtidos com o teste de aquífero.

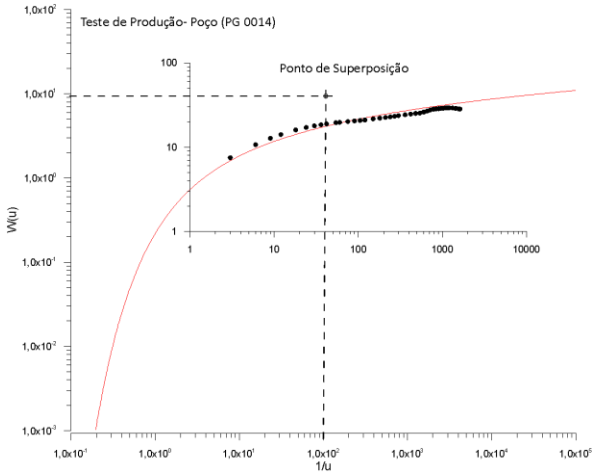
Parâmetro hidrogeológico	teste de aquífero		Média
	PG1016	PG1021	
T (m²/s)	7,45 x 10^{-4}	5,28 x 10^{-4}	6,37 x 10^{-4}
K (m/s)	2,18 x 10^{-6}	1,56x 10^{-6}	1,82 x 10^{-6}
S	1,49 x 10^{-4}	1,82 x 10^{-4}	1,66 x 10^{-4}

Fonte: A Autora (2022).

Em face da escassez de testes de aquífero, uma saída para aumentar o número de parâmetros calculados foi utilizar as primeiras etapas dos testes de produção nos poços. Isso é possível desde que o poço seja totalmente penetrante para a determinação da transmissividade e a condutividade hidráulica. Dos poços utilizados, apenas um é totalmente penetrante; mesmo assim, os demais poços foram utilizados. A implicação desta posição é que as transmissividades calculadas serão menores do que a realidade (CROUCH,1991), mas fundamentais para definir a ordem de grandeza das transmissividades reais do aquífero. A Figura 37 apresenta as curvas rebaixamento *versus* o tempo utilizando o método Cooper& Jacob (1946) e Theis (1935).

Figura 37 - Determinação de T e K no próprio poço bombeando - Método de Jacob.





Fonte: A Autora (2022).

Na Figura 36 e 37, é possível observar feições de recarga nas curvas dos testes de produção e de aquífero dos poços PG1016 e PG1021, as quais, provavelmente, são decorrentes da variação de vazão.

As transmissividades determinadas a partir da primeira etapa de bombeamento foram sintetizadas na Tabela 12 a seguir:

Tabela 13 - Parâmetros hidrogeológicos determinados a partir da primeira etapa dos testes de produção.

Poço	Ano	T(m²/s)	K(m/s)
PG1015	1981	$8{,}49 \times 10^{-4}$	$4{,}64 \times 10^{-6}$
PG1016	1981	$7{,}45 \times 10^{-4}$	$4{,}48 \times 10^{-6}$
PG1016	2001	$2{,}57 \times 10^{-4}$	$1{,}54 \times 10^{-6}$
PG1021	1981	$5{,}28 \times 10^{-4}$	$2{,}67 \times 10^{-6}$
PG1021	2001	$5{,}25 \times 10^{-4}$	$2{,}66 \times 10^{-6}$
PG0106	2006	$1{,}43 \times 10^{-4}$	$4{,}56 \times 10^{-7}$
PG1170	1981	$2{,}05 \times 10^{-5}$	$6{,}94 \times 10^{-8}$
PG1171	1981	$1{,}29 \times 10^{-5}$	$4{,}38 \times 10^{-8}$
PG0014	1981	$3{,}45 \times 10^{-5}$	$1{,}14 \times 10^{-7}$

Fonte: A Autora (2022).

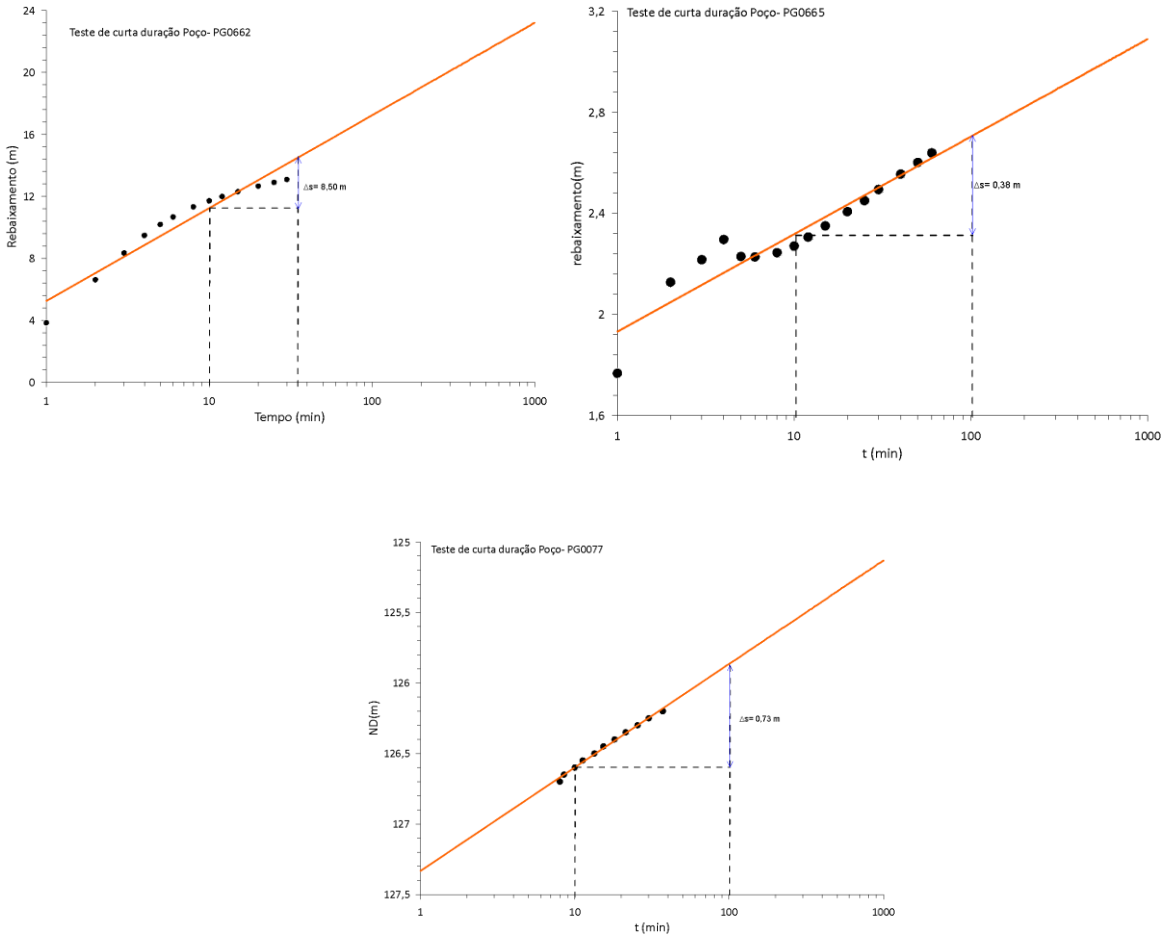
7.2.3 Ensaios de bombeamento de curta duração na BSSJB

Ao longo das atividades de campo foram realizados dois testes de produção e um acompanhamento de recuperação com duração de 30 min para cada poço. Apesar do pequeno intervalo de tempo do bombeamento e os poços serem parcialmente penetrantes, é possível determinar os parâmetros de transmissividade e condutividade hidráulica que, embora sejam menores, são indispensáveis para definir

a ordem de grandeza dos parâmetros reais do aquífero. Testes de longa duração são recomendados para avaliar, além dos parâmetros hidrodinâmicos, o comportamento hidráulico do aquífero.

Para a medição da vazão foi utilizado o medidor de vazão portátil do tipo ultrassom modelo Portaflow 330 da Micronics. Os dados da tabela de campo estão no Anexo D. A Figura 38 apresenta as curvas rebaixamento x tempo utilizando o método Cooper & Jacob (1946).

Figura 38 - Determinação de T e K no próprio poço bombeando - Método de Jacob.



Fonte: A Autora (2022).

Transmissividades e condutividades hidráulica determinadas a partir de ensaios de curta duração apresentadas na Tabela 13:

Tabela 14 - Resumo dos valores dos parâmetros hidrogeológicos

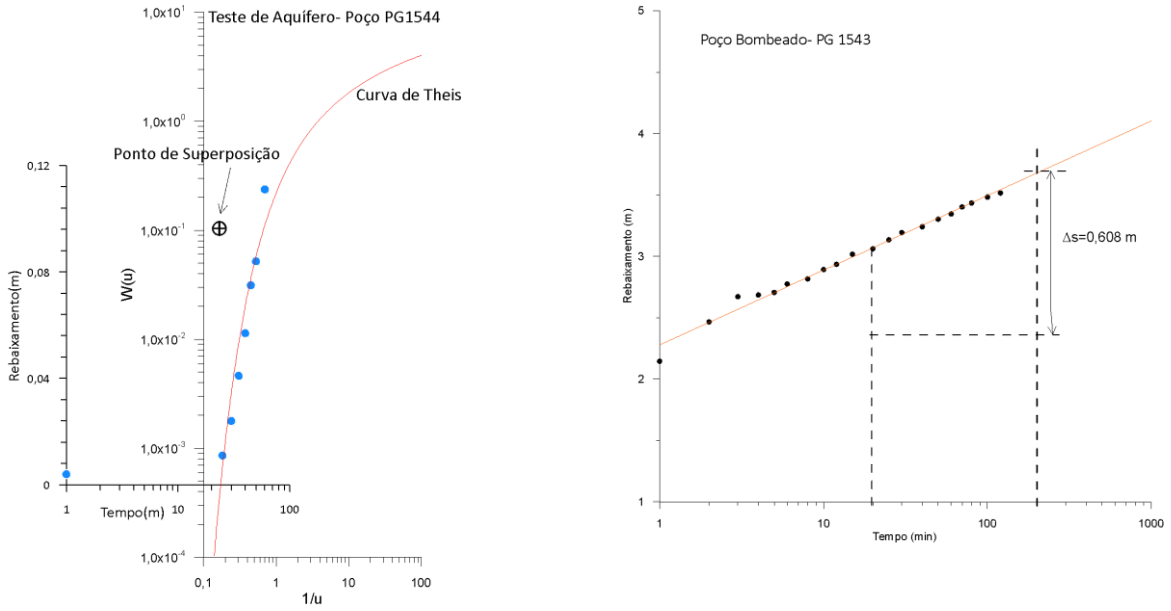
Poço	Localidade	T(m²/s)	K(m/s)
PG0662	Mata Redonda	5,25 x 10^{-4}	2,08 x 10^{-6}
PG0655	Canetas	3,88 x 10^{-4}	1,59 x 10^{-6}
PG0077	Baixa Redonda	1,66 x 10^{-4}	6,78 x 10^{-7}

Fonte: A Autora (2022).

7.2.4 Ensaio de curta duração e teste de aquífero – Fonte Belmonte

O empreendimento de água mineral está situado na localidade de Jurema, e encontra-se na fase processual de pesquisa mineral junto a Agência Nacional de Mineração. A água mineral tem três poços tubulares, denominados de Jurema (PG1543), Juazeiro I (PG1544) e Juazeiro II (PG1545), com profundidade final de 160, 150 e 150 metros, respectivamente. Em janeiro de 2019 foi realizado um ensaio de curta duração, apenas para uma avaliação preliminar, pois a rede elétrica estava sendo implementada. O teste foi realizado com duração 02 horas, sendo que o poço bombeado (Jurema) ficou há uma distância de 270 m do poço observado (Juazeiro I). O escoadouro de orifício circular foi empregado para medição e controle da vazão. Foram utilizados os dados do poço observado e bombeado, aplicou-se o método de Theis e Cooper & Jacob (Figura 39).

Figura 39 - Curva de rebaixamento versus tempo pelo método de Theis e Jacob para a determinação dos parâmetros hidrogeológicos nos poços PG1544 e PG1543.

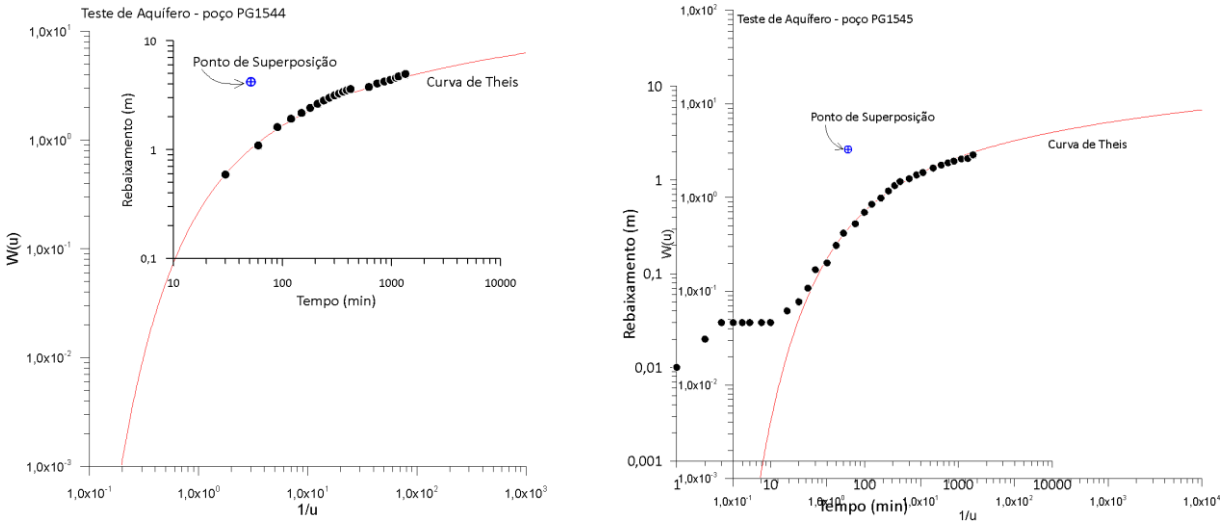


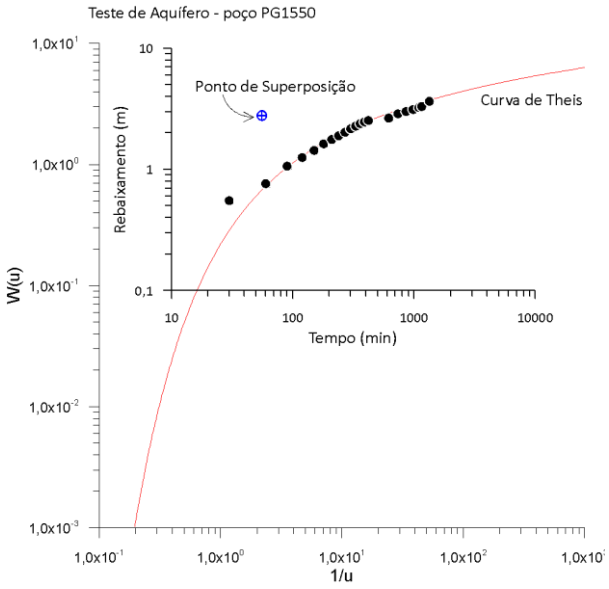
Fonte: A Autora (2022).

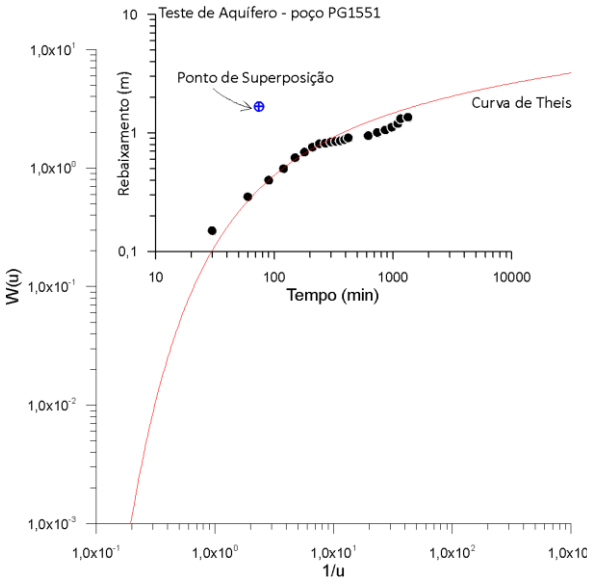
Em julho de 2020, a Fonte Belmonte realizou um teste de aquífero, acompanhado pela autora, com duração de 24 horas, sendo o poço bombeado o PG1544 e PG1543, PG1545, PG1550, PG1551, PG1552 e PG1553 como poços de observação, a distância do poço bombeado para os demais poços são de 176,92, 215,91, 135,25, 235,98 e 253,02 metros, respectivamente.

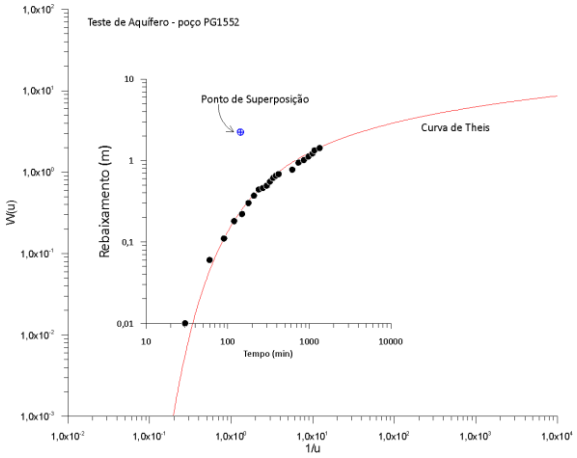
Para medir e regular, bem como para registrar as vazões durante o teste, foi utilizado o escoador de orifício circular. Os níveis dinâmicos foram observados sistematicamente nos poços PG1543 e PG1544. A partir dos 36 minutos de bombeamento também foram observados os poços PG1550, PG1551, PG1552 e PG1553, pois se dispunha de apenas três medidores de nível. A partir das curvas rebaixamento versus tempo foi possível determinar os parâmetros hidrodinâmicos (Figura 40). No Anexo F, são apresentadas as tabelas com todas as informações obtidas durante o teste de aquífero.

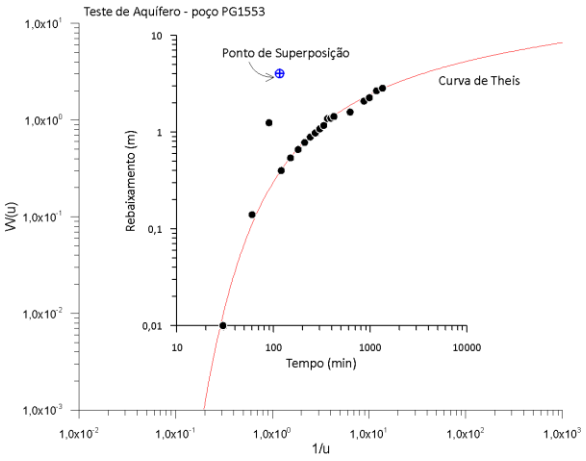
Figura40 - Determinação dos parâmetros hidrogeológicos pelo método de Theis.

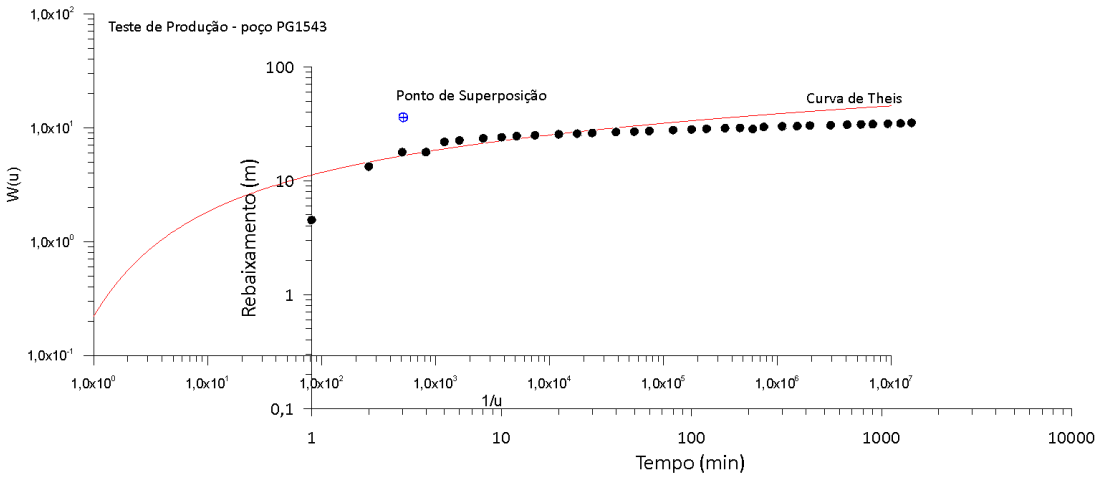












Fonte: A Autora (2022).

A feição de recarga observada na curva do poço PG1543, muito provavelmente, deve-se a perdas de carga referente ao próprio poço, do que a uma recarga física propriamente dita. Se fosse uma recarga, com certeza também apareceria na curva dos demais poços. Os valores dos parâmetros, estão sintetizados na Tabela 14.

Tabela 15 - Determinação parâmetros hidrodinâmicos - Fonte Belmonte.

Poços	**Parâmetros hidrogeológicos**				
	T_{2019} (m²/s)	T_{2020} (m²/s)	K (m/s)	S_{2019}	S_{2020}
PG1543	$4{,}53 \times 10^{-4}$	$1{,}32 \times 10^{-4}$	$3{,}97 \times 10^{-7}$		
PG1544	$1{,}38 \times 10^{-4}$	$3{,}15 \times 10^{-4}$	$1{,}14 \times 10^{-6}$	$1{,}16 \times 10^{-6}$	$2{,}77 \times 10^{-5}$
PG1545		$5{,}97 \times 10^{-4}$	$1{,}89 \times 10^{-6}$		$1{,}80 \times 10^{-4}$
PG1550		$3{,}52 \times 10^{-4}$	$1{,}17 \times 10^{-6}$		$1{,}17 \times 10^{-4}$
PG1551		$7{,}41 \times 10^{-4}$	$2{,}00 \times 10^{-6}$		$1{,}01 \times 10^{-4}$
PG1552		$5{,}34 \times 10^{-4}$	$1{,}99 \times 10^{-6}$		$2{,}78 \times 10^{-4}$
PG1553		$2{,}88 \times 10^{-4}$	$8{,}18 \times 10^{-7}$		$1{,}05 \times 10^{-3}$
Média	$2{,}96 \times 10^{-4}$	$4{,}23 \times 10^{-4}$	$1{,}35 \times 10^{-6}$	$1{,}16 \times 10^{-6}$	$2{,}93 \times 10^{-4}$

Fonte: A Autora (2022).

Como já mencionado, não foi possível observar todos os poços sistematicamente durante o teste, foi feita uma leitura dos níveis estáticos em todos os poços antes do bombeamento e o nível dinâmico após 24 horas de bombeamento, cujos resultados são apresentados na Tabela 15:

Tabela 16 - Medidas de nível antes e durante o teste de aquífero – Fonte Cristalina julho 2020.

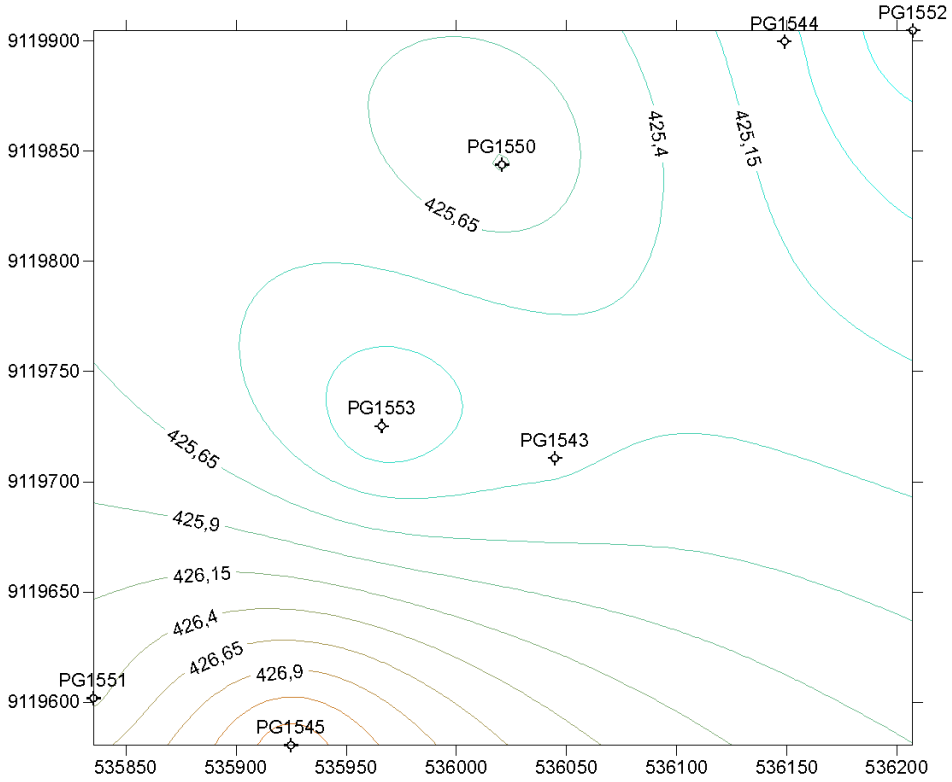
Poço	UTME(m)	UTM N (m)	Cota	NE (m)	ND 24h(m)	h0h(m)	h 24h(m)	sw24h
PG1552	536207,07	9119904,73	444,27	19,82	21,24	424,453	423,03	1,42
PG1544	536148,87	9119899,83	445,45	20,48	25,44	424,969	420,01	4,96
PG1550	536020,61	9119843,84	448,10	22,17	25,81	425,927	422,29	3,64
PG1553	535966,08	9119725,32	453,58	28,68	31,52	424,897	422,06	2,84
PG1543	536044,64	9119710,74	452,89	27,56	33,99	425,334	418,90	32,14
PG1545	535924,89	9119580,51	459,80	32,19	59,70	427,61	400,10	1,85
PG1551	535835,28	9119601,84	463,11	36,76	38,12	426,35	424,99	1,36

Fonte: A Autora (2022).

Obs.:NE= nível estático antes do bombeamento do PG1543; ND24h= nível dinâmico após 24 horas de bombeamento; h0h=carga hidráulica antes do bombeamento do PG1543; h24h= carga hidráulica após 24 horas de bombeamento; sw24h=rebaixamento após 24 horas de bombeamento.

A partir dos dados da Tabela 16, foi possível elaborar o mapa potenciométrico antes do bombeamento do PG1543 e o mapa de rebaixamento para após 24 horas de bombeamento (Figura 41).

Figura 41 - Potenciometria na área da Fonte Cristalina – antes do bombeamento julho/2020.



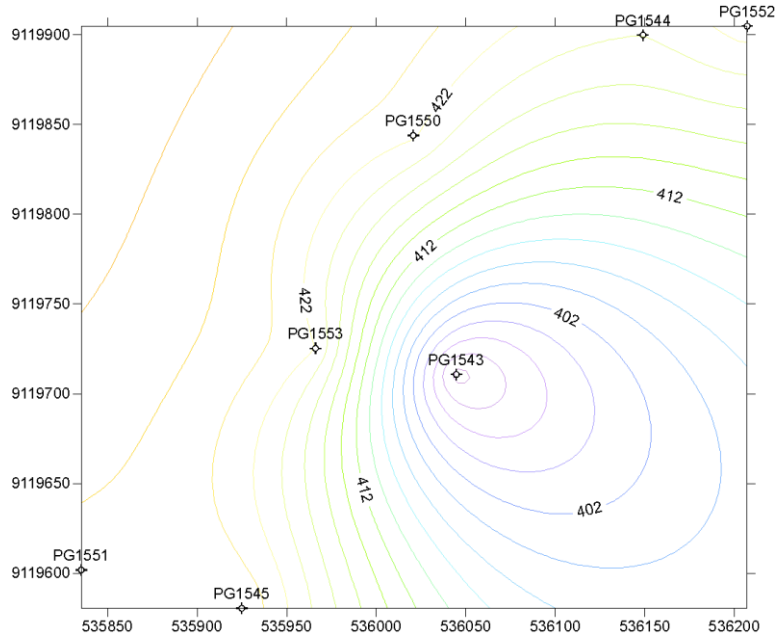
Fonte: A Autora (2022).

Uma das hipóteses para tentar explicar a deformação do cone de rebaixamento, é que o fluxo no aquífero real, sob efeito de bombeamento, os cones de rebaixamento terão feição assimétrica (CUSTODIA; LLAMAS 1983). No mapa de rebaixamento para 24 horas de bombeamento do poço PG1543, apresentado na Figura 42, mostra um cone alongado, com eixo principal na direção noroeste-sudeste, com os maiores rebaixamentos, como esperado, no entorno do poço bombeado. A noroeste do poço PG1543 os gradientes são maiores e diminuem para sudeste.

Comparando-se a potenciometria antes do bombeamento e após 24 horas de bombeamento, verifica-se que as direções principais de fluxo são conflitantes. Uma vez que o sentido geral do fluxo é para norte-nordeste, no mapa potenciométrico, após 24 horas de bombeamento, o sentido de noroeste para sudeste (Figura 43). Os dados

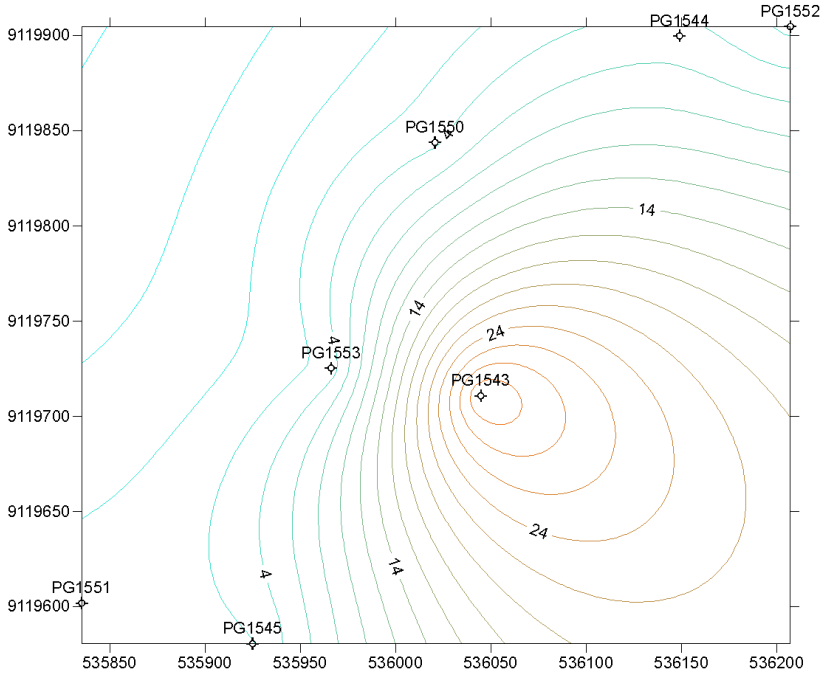
disponíveis não permitem estabelecer uma hipótese para explicar tal fato, mas uma possibilidade seria uma anisotropia/heterogeneidade do aquífero.

Figura 42 - Potenciometria apos 24h de bombeamento – julho 2020.



Fonte: A Autora (2022).

Figura 43 - Rebaixamento após 24 h de bombeamento.



Fonte: A Autora (2022).

Ainda mais, o desenho do cone de rebaixamento é influenciado diretamente pela disposição dos poços, nesse caso observa-se que os poços estão distribuídos, aproximadamente, ao longo de uma linha, de direção sudoeste-nordeste. Se houvesse uma melhor distribuição, e uma maior quantidade, dos poços na área, com certeza o traçado do cone de rebaixamento seria diferente.

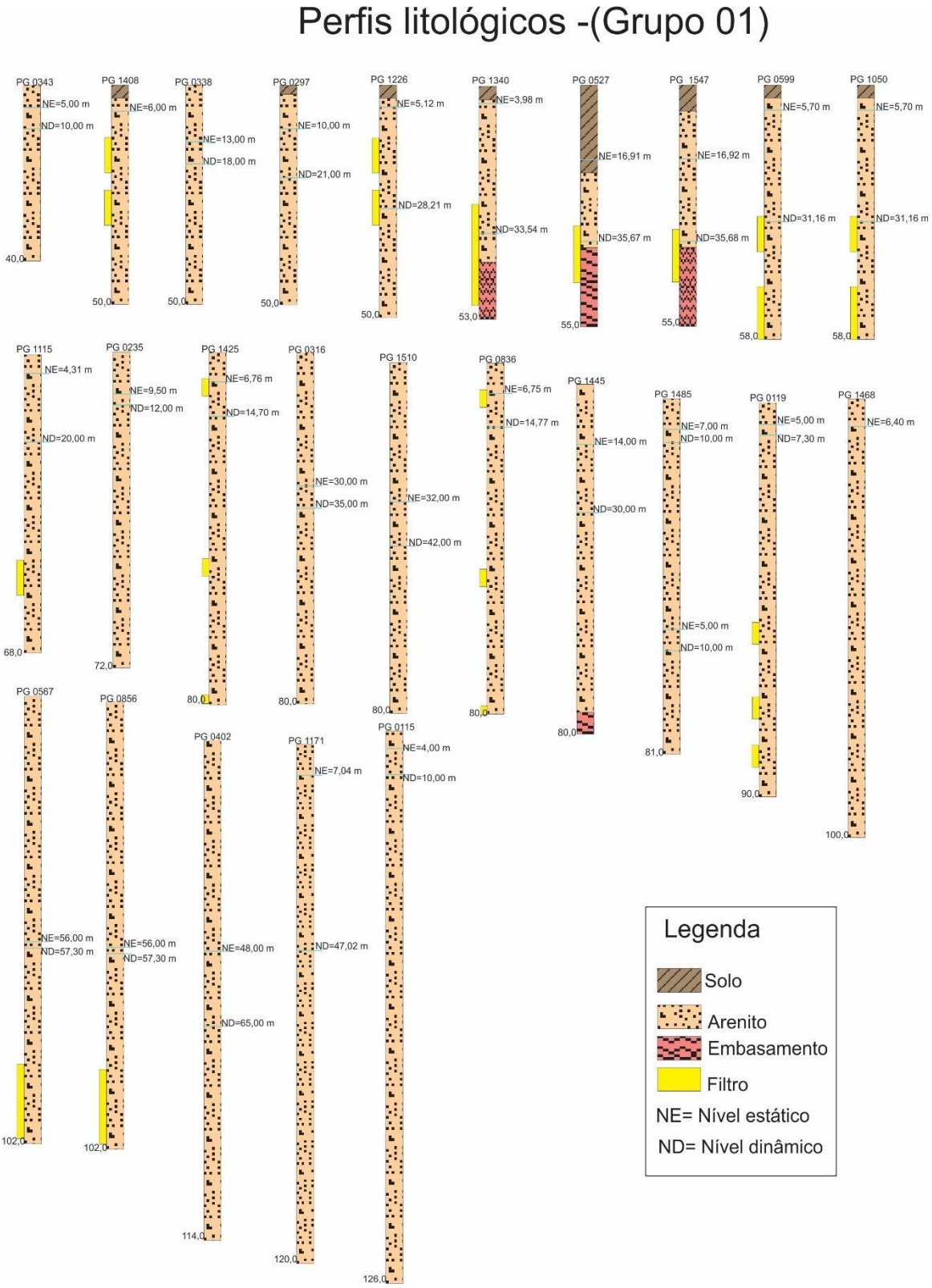
Através dos ensaios de bombeamento realizados em 36 poços tubulares, o valor médio da transmissividade foi de 6,04 x 10^{-4} m^2/s, variando entre 1,06 x 10^{-3} m^2/s e 6,44 x 10^{-5} m^2/s. O coeficiente de armazenamento é de 2,32x10^{-4}, enquanto a condutividade hidráulica média foi de 2,51x10^{-6} m/s.

7.3 DEFINIÇÃO DO TIPO AQUÍFERO

A evolução das curvas rebaixamento *versus* tempo são de fundamental importância na compressão da hidráulica do aquífero. No entanto, os testes de longa duração abordados nesse trabalho, quase em sua totalidade, foram realizados com vazão variada, inclusive os ensaios de bombeamento executados pela Compesa, mesmo registrado nas fichas de campo com vazão constante, foi verificado que a vazão foi medida e controlada pelo método volumétrico, o que é impossível mantê-la constante do início ao fim do teste.

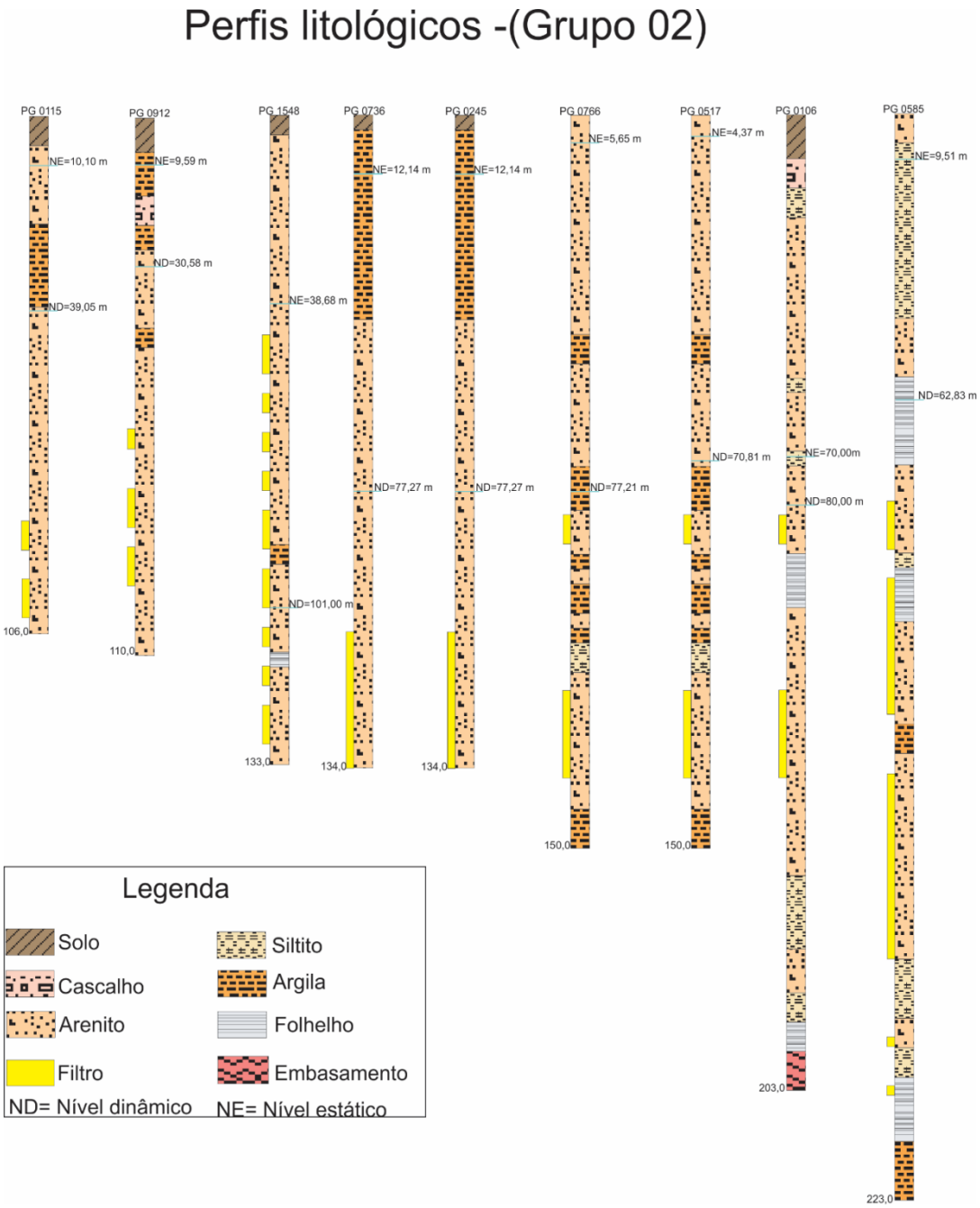
Os perfis construtivos e litológicos, associados ao posicionamento de níveis estáticos e dinâmicos, além da posição dos filtros, são oriundos do banco de dados, a partir dessas informações é possível inferir o comportamento hidráulico do aquífero (Figura 44 ,45, 46 e 47). Neste sentido, ao analisar os 58 perfis disponíveis, observa-se três grupos: No primeiro o perfil litológico apresenta uma única camada arenosa; no segundo grupo existe uma camada, acima do pacote arenoso, uma camada síltica ou argilosa, mas que os níveis dinâmicos ultrapassam esta camada. Assim, para esses dois grupos o aquífero tem caráter livre. O terceiro grupo apresenta perfis litológicos com mais de uma intercalação argilosa. Nestes casos, entre os níveis dinâmicos e a zona filtrante existe pelo menos uma camada argilosa, o que pode conferir um caráter confinado ao aquífero, a exemplo do poço PG1544, cujo teste de aquífero revelou um coeficiente de armazenamento 9,01 x 10^{-5}, típico de aquífero confinado. A partir dessa análise, verificou-se que o aquífero é predominantemente de caráter livre e localmente confinado.

Figura 44 - Poços com perfis litológicos com uma única camada arenosa.



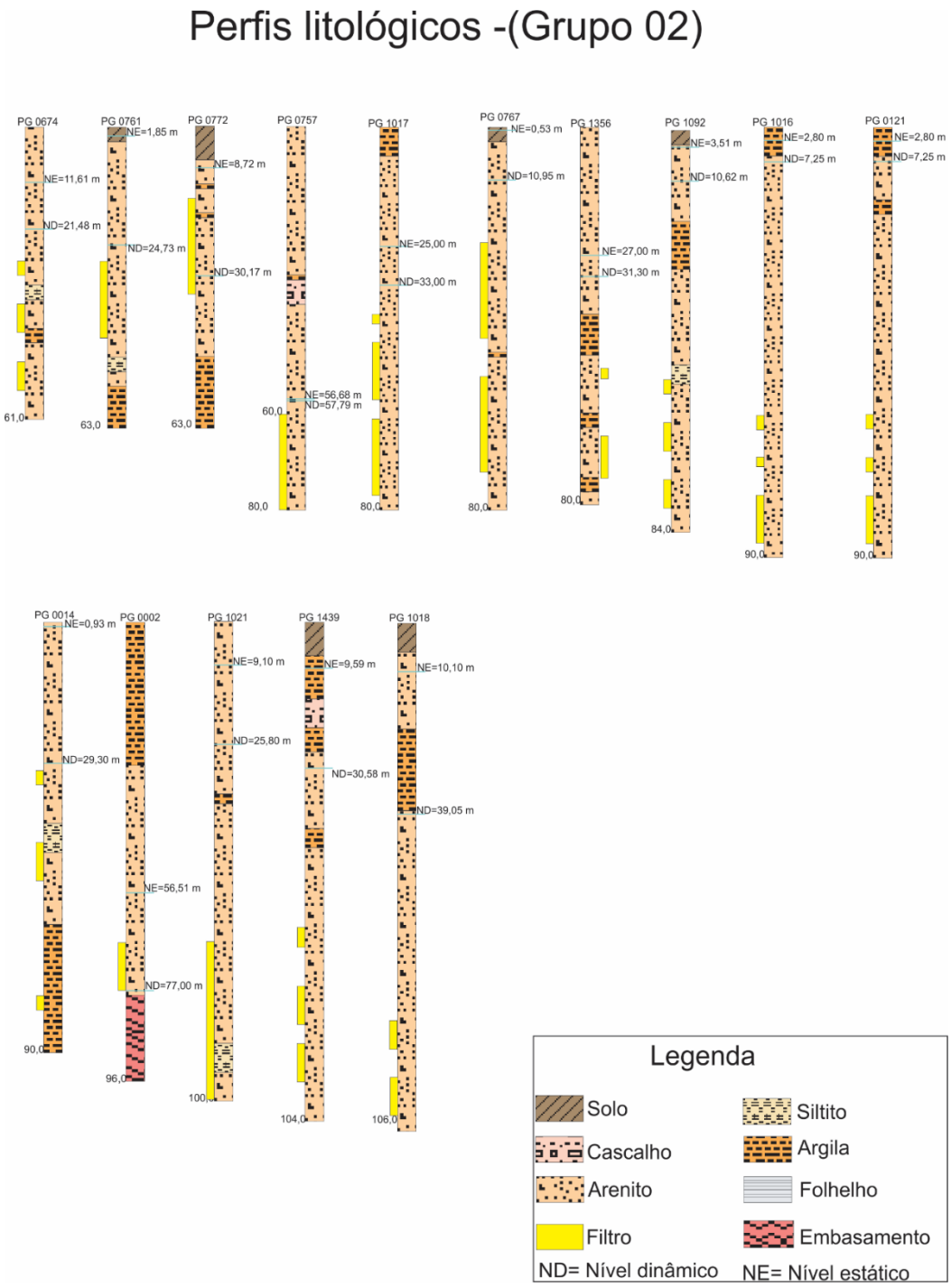
Fonte: A Autora (2022)., informações provenientes do SIAGAS e Costa (1999).

Figura 45 - Perfis litológicos apresentando pelo menos uma camada argilosa ou síltica.



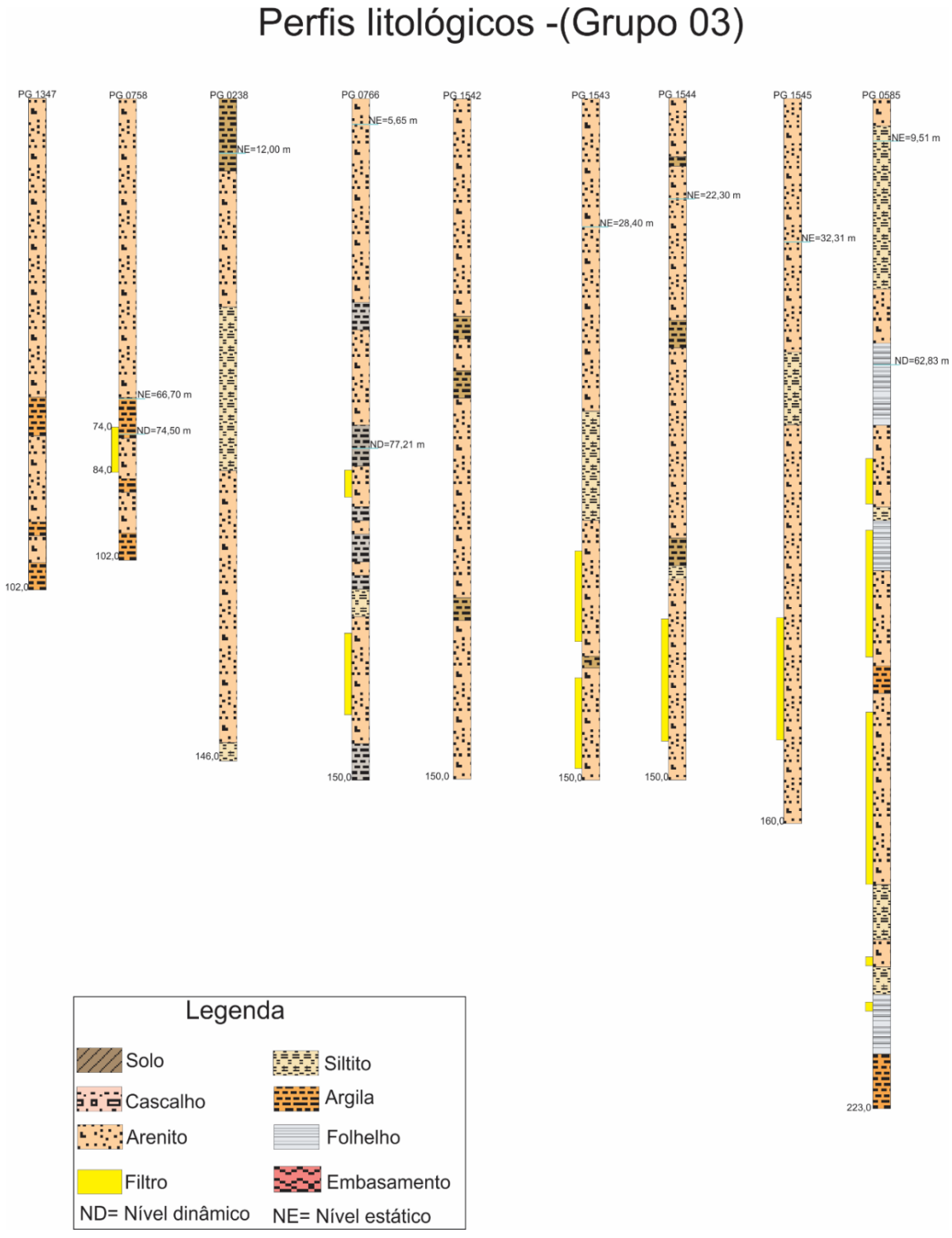
Fonte: A Autora (2022)., informações provenientes do SIAGAS e Costa (1999).

Figura 46 - Perfis litológicos apresentando pelo menos uma camada argilosa ou síltica (continuação).



Fonte: A Autora (2022), informações provenientes do SIAGAS e Costa (1999).

Figura 47 - Poços com pelo menos uma camada argilosa ou síltica e que os níveis dinâmicos não ultrapassam os estratos impermeáveis.

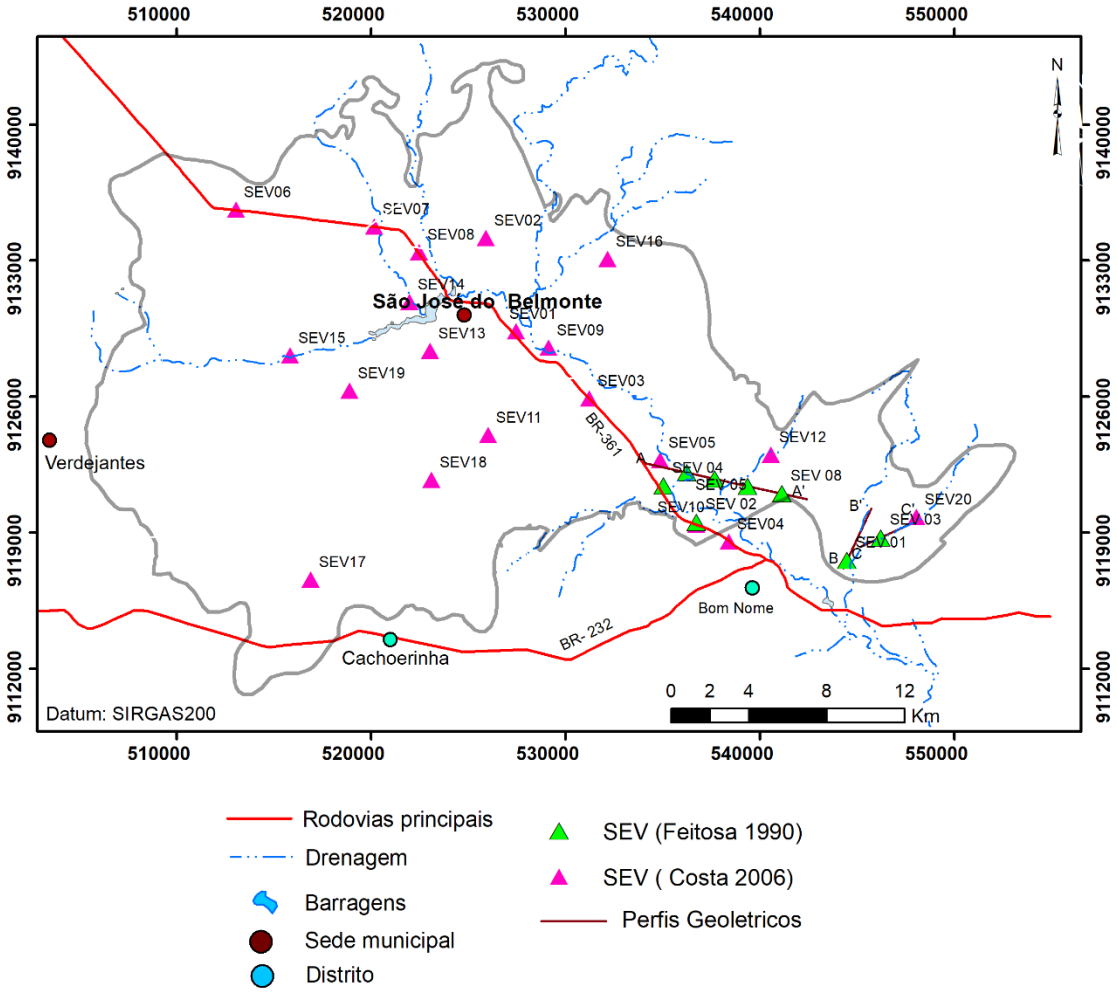


Fonte: A Autora (2022), informações provenientes do SIAGAS e Costa (1999).

8 GEOFÍSICA

No estudo hidrogeológico de Costa (2006) no capítulo anterior, foram realizadas vinte sondagens elétricas verticais na BSSJB (Fig. 48), com comprimentos de linha AB de envio de corrente que variaram de 1800(AB/2 = 900m) e 1200(AB/2 = 600m). Neste trabalho, observou-se que não há nenhum texto do estudo geofísico, tampouco discussões sobre as sondagens, apenas foi apresentada uma Tabela com os resultados obtidos desse estudo.

Figura 48 - Distribuição das SEVs ao longo da BSJB.



Fonte: A Autora (2022), base cartográfica Sudene, limite da BSSJB Costa (2006).

Feitosa (1990), fez uma reanálise das sondagens elétricas verticais desenvolvidas no estudo hidrogeológico de Costa (2006). Nessa avaliação, foram feitas as seguintes considerações:

- As medições elétricas analisadas têm boa precisão.
- Costa, et al. (2006) não conseguiram uma caracterização tectono-estrutural satisfatória e confiável na Bacia de São José do Belmonte. Essa caracterização só é possível de alcançar com a realização de perfis lateral de resistividade.
- As SEVs apresentadas em Costa, et al. (2006) estão a demandar uma reinterpretação, em especial no que diz respeito às profundidades do embasamento cristalino apresentadas.
- Para caracterização da Bacia de São José do Belmonte, a técnica da sondagem elétrica vertical é muito eficiente na detecção e definição de descontinuidades horizontais, isto é, contatos horizontais entre diferentes litologias manifestadas eletricamente. As SEVs, portanto, não se aplicam à detecção de descontinuidades verticais (*e.g.* falhamentos). Deve-se esperar delas uma compreensão da sequência elétrica vertical e sua correlação com a sequência geológica da bacia. Esse conhecimento deverá permitir a seleção de uma linha AB de emissão de corrente para a realização de perfis de resistividade. No caso em estudo, são recomendadas seis SEVs com AB de 4.000 metros ou maior, distribuídas adequadamente na área de estudo e coincidentes com poços de perfil litológico conhecido. O objetivo dessas SEVs é, essencialmente, a obtenção da manifestação elétrica do embasamento cristalino.

De acordo com afirmativa de Feitosa (1990) de que “as medições elétricas têm boa precisão”, foi realizada uma nova análise, dessa vez, usando as informações de profundidades de poços e perfis litológicos próximos às SEVs, visto que essas informações não estavam disponíveis no trabalho do Costa, op. cit. Sendo assim, as curvas dos perfis geofísicos foram reexaminadas com auxílio do *software* gratuito IPI2WIN, e os ajustes das curvas foram considerados satisfatórios quando apresentavam inferior a 5,0%. Com isso, estimou-se a profundidade do embasamento obtida nessas 20 SEVs (Tabela 16).

Tabela 17 - Estimativa da profundidade do embasamento.

SEV's	UTME(m)	UTMN (m)	Profundidade do embasamento (m)
SEV 01	527500	9129401	350
SEV 02	525951	9134207	280
SEV 03	531264	9125951	280
SEV 04	538432	9118585	0
SEV 05	534915	9122773	250
SEV 06	513090	9135651	200
SEV 07	520205	9134788	-
SEV 08	522509	9133472	-
SEV 09	529164	9128555	250
SEV 10	536772	9119448	250
SEV 11	526059	9124067	200
SEV 12	540600	9123038	-
SEV 13	523078	9128393	300
SEV 14	522012	9130908	-
SEV 15	515876	9128143	250
SEV 16	532209	9133129	250
SEV 17	516933	9116624	240
SEV 18	523150	9121749	200
SEV 19	518930	9126336	350
SEV 20	548083	9119856	140

Fonte: A Autora (2022). Obs. (-) não foi possível estimar a profundidade do cristalino.

8.1 MÉTODO MAGNETOMÉTRICO

O método da magnetometria se ampara na medição do campo magnético terrestre. É uma técnica bastante utilizada em mapeamento geológico, com base nas propriedades magnéticas das rochas. O campo dipolar geomagnético é produzido em face da movimentação dos fluidos compostos por ferro, níquel e outros elementos que compõem o núcleo externo da Terra Reeves (2005). O campo magnético terrestre varia com o tempo, e existem variações lentas ou seculares, variações diurnas, com um período de 24 h e uma variação de 30 nT que varia em função da latitude e sazonalidade e que, provavelmente, devem ser controladas pela ação de ventos solares sob correntes ionosféricas. Além disso, há variações ocasionadas por tempestades magnéticas (distúrbios transientes com amplitude acima de 1000 nT) e a variações lunares (variações cíclicas por todo o mês, sendo associadas à interação ionosfera-Lua) Telford et al. (1990).

Para estudos geológicos crustais, as medidas do campo magnético total devem ser suprimidas de um modelo matemático calculado para a data, declinação, inclinação e interesse à investigações geológicas crustais.

O resultado compreende o campo magnético anômalo, referindo-se à porção superior da crosta terrestre. O magnetismo das rochas ocorre em função do conteúdo mineral magnético, da influência do atual campo magnético e da remanescência (adquirida ao longo do tempo da cristalização da rocha) Telford et al. (1990).

A susceptibilidade magnética (k) indica o grau de magnetização a ser induzida em determinado material uma vez exposto a um campo magnético, conforme mostrado na Equação 15.

$$M = k.\ G \quad (15)$$

onde M é a intensidade da magnetização, k é a susceptibilidade magnética, e G é o campo magnético.

Os materiais são divididos em dois grupos:

Diamagnéticos: marcado por átomos com elétrons orbitais orientados em oposição ao campo externo. Apresentam uma susceptibilidade magnética negativa.

Paramagnéticos: os elétrons orbitais estão incompletos, e cada átomo tem momento magnético devido ao desemparelhamento dos spins; sendo assim, o material apresenta uma susceptibilidade positiva.

8.2 REDUÇÃO DE DADOS MAGNÉTICOS PARA CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL E ESTIMATIVA DA PROFUNDIDADE

8.2.1 Derivada Vertical

Enfatização de feições de curto comprimento de onda. A primeira derivada vertical enfatiza feições próximas à superfície. Pode ser medida com gradiômetro ou derivada a partir dos dados corrigidos. A segunda derivada vertical enfatiza contornos e zonas-alvo. Matematicamente, a derivada vertical é calculada através do produto do espectro da amplitude pelo fato $\frac{1}{n}\left[(u^2+v^2)^{1/2}\right]^n$, onde n é a ordem da derivada vertical. Neste sentido, o presente estudo focou no cálculo da derivada vertical de ordem 1 (n = 1) do campo magnético anômalo que, por sua vez, é fisicamente equivalente à

medida obtida do campo magnético simultaneamente em dois pontos verticalmente separados por uma distância h, subtraindo-se estes dois valores e dividindo este resultado pela separação espacial vertical dos pontos medidos (MILLIGAN; GUNN 1997).

A derivada vertical normalmente é aplicada aos dados de campos potenciais para realçar fontes geológicas rasas, como contatos, falhas e corpos magnéticos.

8.2.2 Sinal Analítico

O sinal analítico é baseado na combinação de gradientes horizontais e verticais de uma anomalia magnética, sendo independente da direção de magnetização da fonte e da direção do campo magnético terrestre (BLAKELY 1996, NABIGHIAN *et al.* 2005).

Quando aplicadas aos dados magnéticos de campo total anômalo, as respostas de sinal analítico ressaltam os limites na superfície dos corpos geológicos, fornecendo os limites geométricos do corpo magnético anômalo (NABIGHIAN 1972, 1974, ROEST *ET AL.* 1992, MILLIGAN; GUNN 1997). O cálculo da amplitude do sinal analítico (ASA) é expresso pela Equação 13.

$$|ASA| = \sqrt{\left[\left(\frac{\partial G}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial G}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial G}{\partial z}\right)^2\right]}, \quad (16)$$

Onde $\frac{\partial G}{\partial z}$ é a primeira derivada vertical do campo magnético anômalo.

8.2.3 Derivada tilt

A derivada *tilt* é determinada a partir do arcotangente da razão da derivada vertical pela amplitude da derivada horizontal total (Equação 17) (MILLER; SINGH,1994; VERDUZCO, 2004). O filtro da derivada *tilt* realça as fontes magnéticas em diferentes amplitudes e profundidades.

$$\theta = \left[\frac{\frac{\partial G}{\partial z}}{\sqrt{\left(\frac{\partial G}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial G}{\partial y}\right)^2}} \right] \quad (17)$$

8.2.4 Deconvolução de Euller

A Deconvolução de Euler permite estimar a profundidade média do topo de fontes ou corpos magnéticos presentes numa área. A técnica é baseada na relação de homogeneidade de Euler, podendo ser empregada em diversas estruturas geológicas, como por exemplo, falhas, contatos magnéticos, entre outros (THOMPSON, 1982).

Estas estruturas são identificadas por um parâmetro conhecido como índice estrutural, o qual refere-se a natureza da anomalia estudada. É calculada de acordo com a Equação 18.

$$(x - x_0)\frac{\partial(T-B}{\partial x} + (y - y_0)\frac{\partial(T-B)}{\partial y} + (z - z_0)\frac{\partial(T-B)}{\partial z} = N\,(T - B) \quad (18)$$

onde N é o índice estrutural.

O índice estrutural relaciona-se com a distância entre a fonte magnética e o ponto de medida, e pode delinear com *pipes* e diferentes tipos de estruturas lineares (REID 1990). Os índices estruturais são apresentados na Tabela 17.

Tabela 18- Índices estruturais e possibilidade de detecção de tipo de fonte magnética.

Índice	Fonte anômala
0	Contato
0,5	Falhas
1	Diques
2	Chaminé
3	Esfera ou dipolo

Fonte: Reid (1990).

Assim, os índices 0, 0,5 e 1 aparecem como os mais indicados para a caracterização de alvos lineares como contatos geológicos, e falhas e zonas de

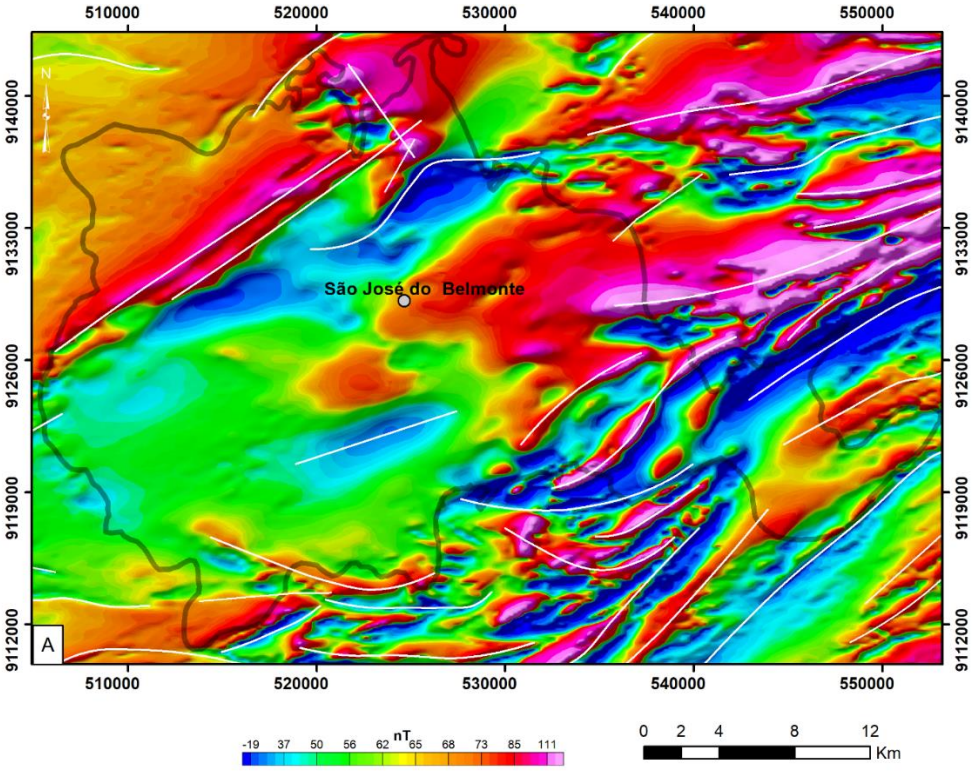
cisalhamento, tendo potencial aplicativo na caracterização de bacias sedimentares e visualização de *trends* do embasamento cristalino.

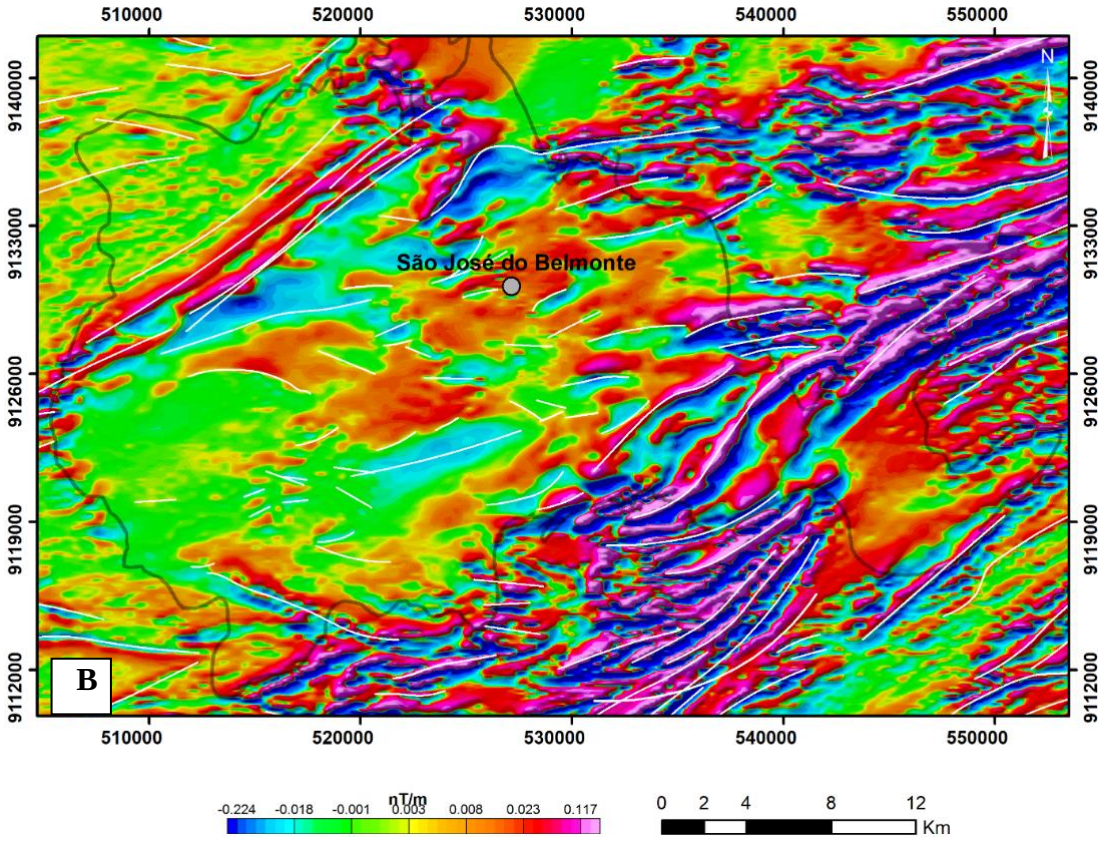
8.2.5 Resultados

Nos mapas de campo anômalo magnético (CMA) e da primeira derivada vertical, observa-se que o *trend* principal é na direção NE-SW. No CMA, os altos magnéticos com intensidade maior que 68 nT são divididos por domínios com intensidades moderadas a baixas que, por sua vez, apresentam amplitudes menores que 30 nT. As regiões com anomalias magnéticas com assinaturas de alta intensidade exibem grande extensão fora da BSJB, e estão relacionadas com estruturas magnéticas do embasamento aflorante, e constituem diferentes blocos crustais da Província Borborema.

Este mesmo padrão é observado no mapa da primeira derivada vertical (Figura 49), sendo possível visualizar detalhes de estruturas lineares extensas que afetam o embasamento aflorante da Província Borborema e que também ocorrem na porção interna da bacia, de forma mais atenuada

Figura 49 - Mapa do campo magnético anômalo (A) e da primeira derivada vertical (B).

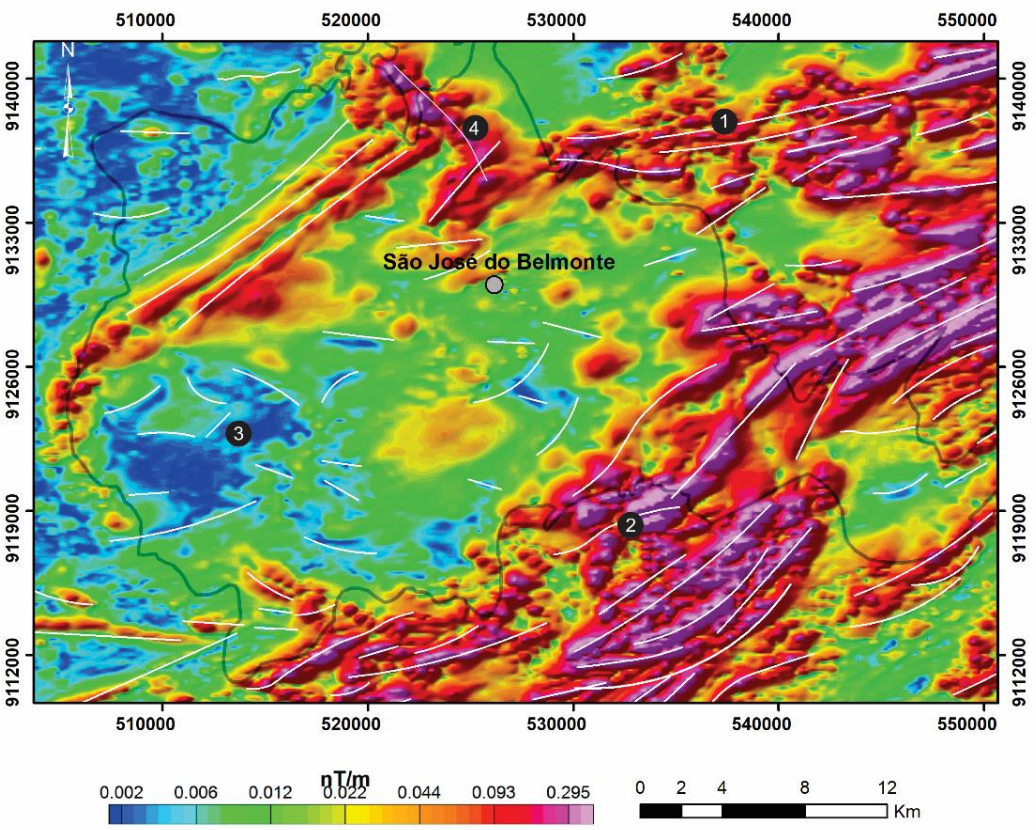




Fonte: A Autora (2022).base CPRM (2010).

O mapa de amplitude do sinal analítico também realça o *trend* estrutural NE-SW da bacia, com destaque a estruturas como bordas de falha da bacia e o Gráben Arrudeiro, marcados por altos gradientes, que possuem assinatura similar às das estruturas lineares a curvilineares que afetam o embasamento exposto da Província Borborema, caso de zonas de cisalhamento (Figura 50). A porção central da Bacia São José do Belmonte é marcada por respostas medianas de gradientes (~0 a 0,09 nT/m) devido à atenuação do sinal pelo espesso pacote sedimentar. Todavia, ainda é possível observar *trends* estruturais com direção NE-SW.

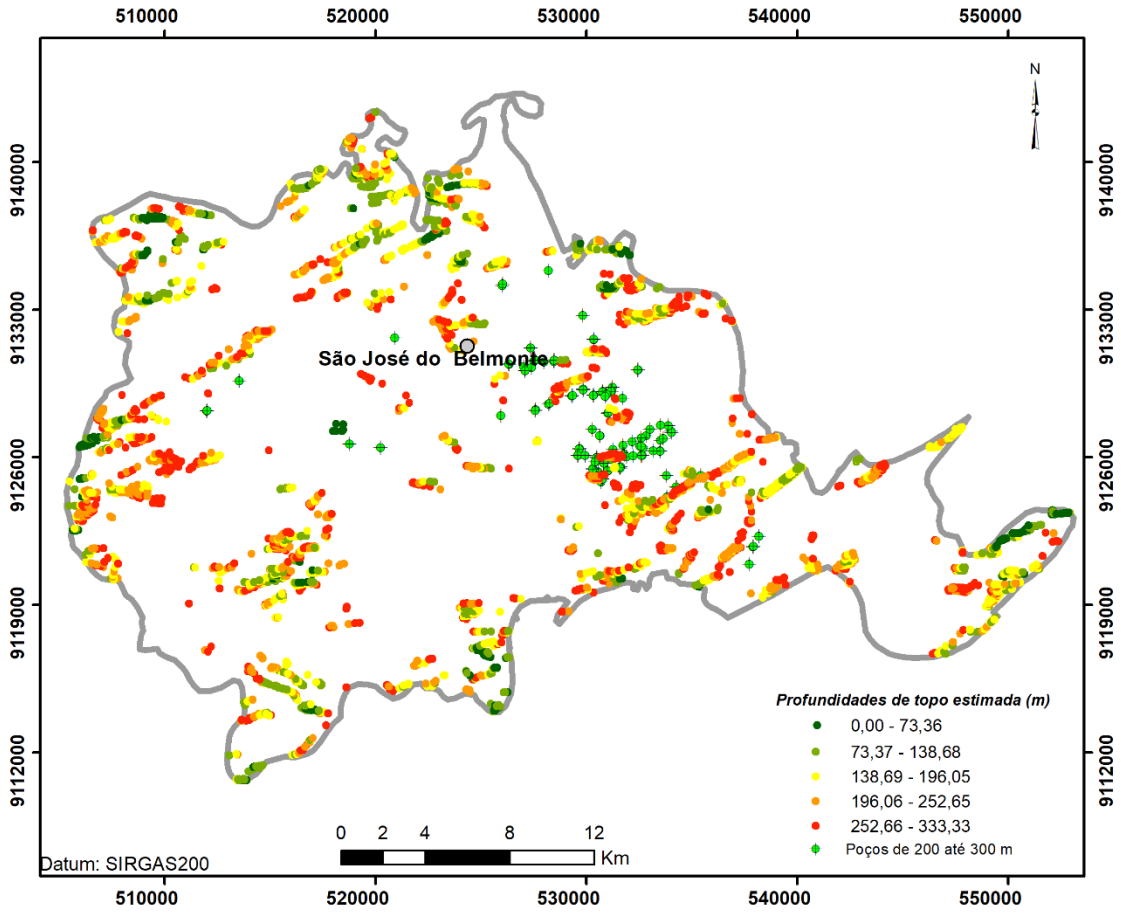
Figura 50 - Mapa de amplitude do sinal analítico e indicação de quatro feições geológicas: 1 alto estrutural, 2- zona de cisalhamento, 3- baixo estrutural e 4 -Gráben Arrudeiro**.**



Fonte: A Autora (2022), base CPRM (2010).

A estimativa de profundidade de topos magnéticos por meio do uso da deconvolução de Euler permite analisar tanto o *trend* geral da bacia como locais onde tendem a ocorrer as maiores espessuras de pacotes sedimentares. Para as soluções geradas a partir do emprego de índice estrutural 1, janela 7 e tolerância de 15 (Figura 51), observa-se que, nos contornos da área da bacia, predominam, estatisticamente, soluções da ordem de profundidade de topo de estruturas entre 0 e 200 m, enquanto no interior da bacia, ocorrem variações destas estimativas e maior quantidade de soluções superiores a 300 m. Utilizou-se de 112 poços com profundidade entre 200 e 300 para corroborar com as soluções encontradas.

Figura 51 - Imagem com soluções de Deconvolução de Euler para as seguintes configurações janela 7 índices estrutural de 1, associados aos poços profundos da BSSJB.



Fonte: A Autora (2022), base CPRM (2010).

9 MODELO CONCEITUAL E NUMÉRICO DA BSJB

Os modelos, em linhas gerais, são simplificações da realidade, mas ao mesmo tempo, são ferramentas importantes nas mais diversas áreas de atividades, como por exemplo, análise do comportamento hidráulico do aquífero. Assim, o emprego de modelos oferece uma das melhores maneiras de fazer previsões sobre as consequências das ações que serão realizadas sobre os recursos hídricos subterrâneo (CABRAL; DEMETRIO 2008).

Os modelos podem ser de diversas naturezas, como por exemplo, os de escala reduzida, como os tanques de areia, analógicos que incluem os tipos Hele Shaw, (fluido viscoso) e os modelos elétricos, usados na década de 60 para simular o fluxo subterrâneo em um meio poroso, tomando por base as similaridades entre as leis de Darcy e Ohm (SKIBITZKE, 1961; COLLINS; GELHAR, 1971). Os modelos matemáticos usam as equações que descrevem o movimento da água subterrânea em meio poroso. Esses modelos podem ser de dois tipos: *a)* os analíticos que necessitam de condições restritivas para aplicá-los, mas que usam equações simples, como, por exemplo, a equação de Theis e *b)* os numéricos são muito mais versáteis, que partem diretamente da equação diferencial do fluxo subterrâneo (WANG; ANDERSON,1982).

Assim sendo, para o desenvolvimento de um modelo numérico mais representativo, ou seja, mais próximo do aquífero real, é indispensável um modelo conceitual, pois muitos aspectos do modelo conceitual não conseguem ser representados no modelo numérico, uma vez que os aquíferos reais podem ser bastante complexos (WAGENER, et al. 2007), sendo simplificados de acordo com a finalidade e com análise da base de dados disponíveis. O modelo conceitual inclui características hidráulicas do aquífero, posição da superfície freática, entre outros elementos. Estas informações devem fornecer respostas as questões do fluxo da água no aquífero (BEAR; CHENG,2010).

Existem diversos métodos numéricos tais como: diferenças finitas, elementos finitos, volumes finitos, elementos de fronteiras, entre outros. Sendo as diferenças finitas e elementos finitos que são amplamente empregados para solução de problemas de fluxo. Dentre as opções de programas desenvolvidos para elaboração de modelos numéricos de fluxo, o *Modflow* é o mais utilizado (KASHAIGILI et al., 2003;

PALMA; BENTLEY 2007). Buscando facilitar o pré e pós processamento dos arquivos de alimentação de dados e de resultados, há vários *softwares* para esse fim como o *GMS*, *Visual Modflow*, *Groundwater* Vistas, ModelMuse etc. No modelo aqui desenvolvido foi utilizado o ModelMuse versão 3.0 do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS).

O MODFLOW é um *software* para a modelação matemática do fluxo subterrâneo, em diferenças finitas, tridimensional, desenvolvido no IGMC – International Groundwater Modeling Center por McDonald & Harbough e posteriormente passou para U.S.G.S. O programa é desenvolvido numa estrutura modular, consistindo em um programa principal e uma série de módulos chamados de pacotes. Cada módulo representa uma situação hidrogeológica específica, tais como: simular os efeitos de um rio, o bombeamento de um poço, galerias drenantes, recarga por chuva e evapotranspiração. Ao dividir o módulo em vários módulos, os usuários podem examinar cada aspecto hidrogeológico independentemente, o que facilita o manuseio do aplicativo (CARVALHO,1997).

O fluxo subterrâneo em um aquífero é simulado pela aproximação em diferenças finitas, cujos nós podem ser centrados ou nos vértices nas células da área discretizada. Os aquíferos podem ser simulados como confinados, não confinados (livres), ou uma combinação de ambos e o regime hidráulico pode ser escolhido entre o permanente e o transitório.

A equação que rege o fluxo de água subterrânea através de um meio poroso é obtida pela combinação matemática da equação da continuidade e a lei de Darcy, e pode ser escrita na forma de derivadas parciais conforme Equação 19:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(K_{xx}\frac{\partial h}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(K_{yy}\frac{\partial h}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(K_{zz}\frac{\partial h}{\partial z}\right)-W=S_s\frac{\partial h}{\partial t} \quad (19)$$

Sendo:

x,y,z - São as coordenadas cartesianas;

K_{xx},K_{yy},K_{zz} - Condutividade hidráulica nas três dimensões principais;

h - Carga hidráulica;

W - Fluxo por unidade de volume, pode ser tanto um aporte como uma retirada d'água;

S_s - Coeficiente de armazenamento específico do aquífero;

t - Tempo.

Os termos S_s, K_{xx}, K_{yy}, K_{zz} são funções do espaço, enquanto h e W podem ser funções do espaço e do tempo, se forem consideradas as condições de não equilíbrio.

A partir da equação diferencial, utilizando o método de diferenças finitas, chega-se à Equação 20 utilizada pelo MODFLOW:

$$CR_{i,j-1/2,k}(h_{i,j-1,k} - h_{i,j,k}) + CR_{i,j+1/2,k}(h_{i,j+1,k} - h_{i,j,k}) + CC_{i-1/2,j,k}(h_{i-1,j,k} - h_{i,j,k}) + CC_{i+1/2,j,k}(h_{i+1,j,k} - h_{i,j,k}) + CV_{i,j,k-1/2}(h_{i,j,k-1} - h_{i,j,k}) + CV_{i,j,k+1/2}(h_{i,j,k+1} - h_{i,j,k}) + P_{i,j,k}h_{i,j,k} + Q_{i,j,k} = Ss_{i,j,k}(\otimes r_j \otimes c_i \otimes v_k) \otimes h_{i,j,k} / \otimes t \quad (20)$$

Sendo:

$CRIV_{i,j,k,2}$ é a condutância do leito do rio na célula i,j,k;

$R_{i,j,k}$ é a carga hidráulica do rio;

$\frac{\Delta h_{i,j,k}}{\Delta t}$ é uma aproximação para a variação de carga em relação ao tempo;

$Ss_{i,j,k}$ é o coeficiente de armazenamento específico;

$\otimes r_j \otimes c_i \otimes v_k$ é o volume da célula i,j,k.

A condutância é o produto entre a condutividade hidráulica e a área transversal ao fluxo, dividido por um comprimento, neste caso, a distância entre os nós Equação 21.

$$CR = K.A / \otimes x \quad (21)$$

9.1 MODELO CONCEITUAL DA BSSJB

O modelo conceitual de um aquífero é uma etapa fundamental que antecede a elaboração do modelo numérico de fluxo subterrâneo. Apesar de simplificado, deve ser uma representação válida do aquífero modelado, caso contrário pode-se chegar a resultados do modelo numérico totalmente dissociados da realidade (ANDERSON; WOESSNER, 1992).

De acordo com Bredehoeft (2005), para se elaborar um modelo conceitual é importante definir as seguintes informações do aquífero:

Geometria do aquífero, definida a partir dos mapas geológicos, perfis de poços e, quando disponível, levantamentos geofísicos;

As condições de contorno definidas pela infiltração, relação do aquífero com rios, lagos, relação do limite do aquífero, ou da área modelada, com a parte externa;

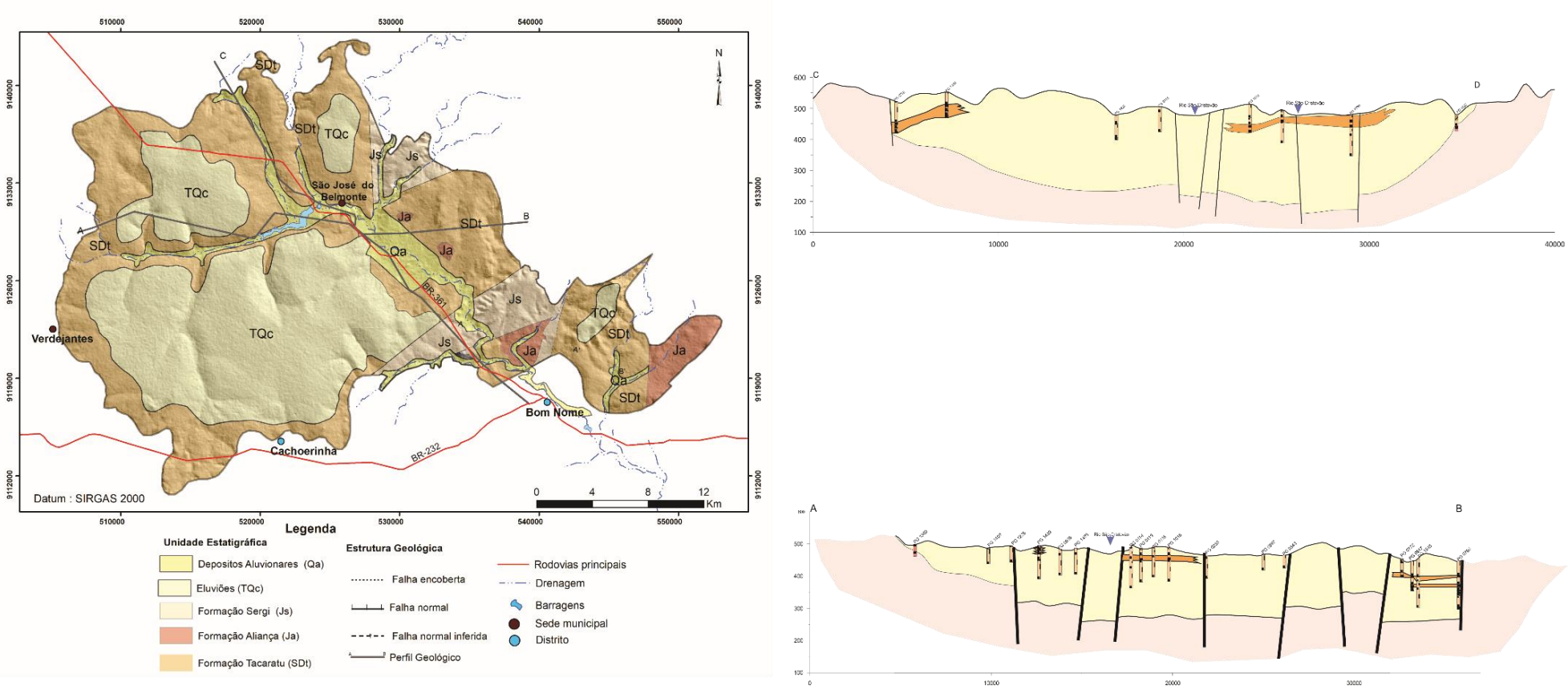
Direção do fluxo;

- Comportamento hidráulico;
- A existência de poços de bombeamento;
- Parâmetros hidrogeológicos como transmissividade, condutividade hidráulica, coeficiente de armazenamento.

9.2 GEOMETRIA DO AQUÍFERO

Para definição da geometria do aquífero foram usados o mapa geológico da área, conforme apresentado na Figura 53, as informações do levantamento geofísico por eletrorresistividade e eletromagnético (Feitosa, 1990; Costa et al., 2006), profundidade dos poços e perfis litológicos dos poços (Figuras 44 a 47 apresentadas no item 6.4). Apesar do grande número de poços na bacia, 1547 poços cadastrados, apenas seis poços atingiram o embasamento cristalino.

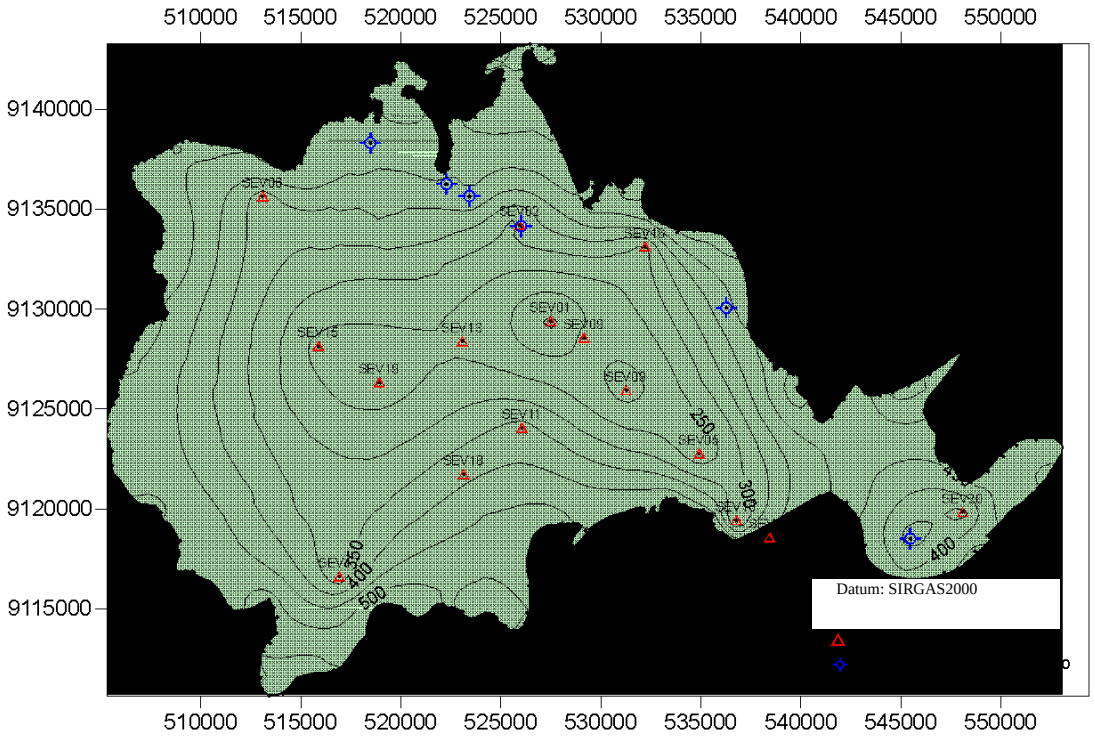
Figura 52 - Perfis Geológico da BSSJB.



Fonte: A Autora (2022).

Para elaboração da superfície do cristalino, utilizou-se a informação da profundidade dos poços que atingiram o embasamento, juntamente com a profundidade inferida pelas 16 SEVs, além disso, considerou como premissa que na borda da bacia e no cristalino aflorante a profundidade do cristalino seria zero, ou seja, superfície do embasamento cristalino é igual à superfície do terreno. Como isto é uma condição do contorno do problema, foram atribuídos pontos de espessura zero (pontos pretos) ao longo da borda da bacia e no cristalino aflorante, tal como mostrado na Figura 53, para garantir um traçado mais fidedigno com a realidade da superfície do embasamento.

Figura 53 - Primeira aproximação da superfície do embasamento cristalino.



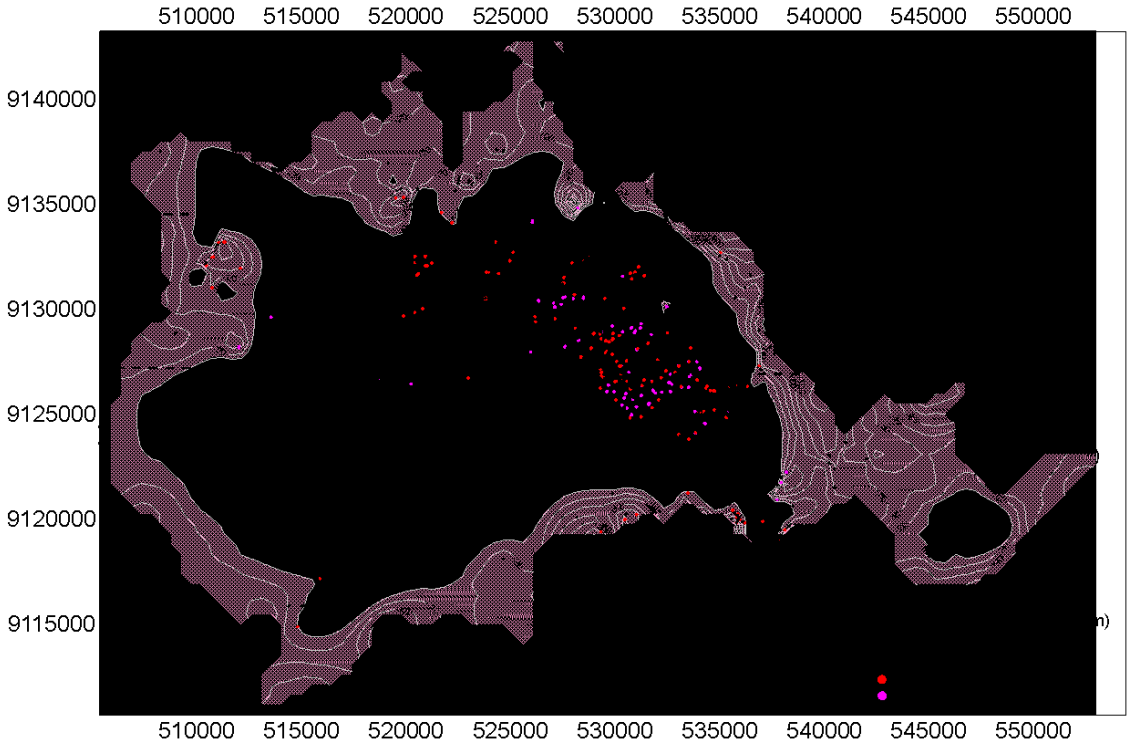
Fonte: A Autora (2022),limite da BSSJB, Costa (2006).

Para se obter a cota do embasamento no interior da bacia foram determinadas as cotas da superfície do terreno a partir das imagens do *Lidar,* oriundas do projeto PE3D. Cota do terreno menos a profundidade do cristalino, em cada ponto, se tem a cota do embasamento cristalino. Zc=Zs-P, sendo Zc cota do embasamento cristalino, Zs cota da superfície do terreno e P profundidade do embasamento cristalino.

Com base na informação de 1373 poços com dados de profundidade, foi traçada a superfície da base desses poços (superfície profundidade dos poços).

Então, comparou-se esta superfície e a superfície do cristalino, Figura 53, onde a superfície da base dos poços estivessem abaixo da superfície do cristalino haveria uma incoerência, pois como o poço não atingiu o cristalino, consequentemente a superfície do cristalino teria que estar abaixo da superfície de profundidade dos poços. Para corrigir essas distorções, no local desses poços, foi atribuída uma profundidade de cristalino, baseada nas informações já discutidas (Figura 54).

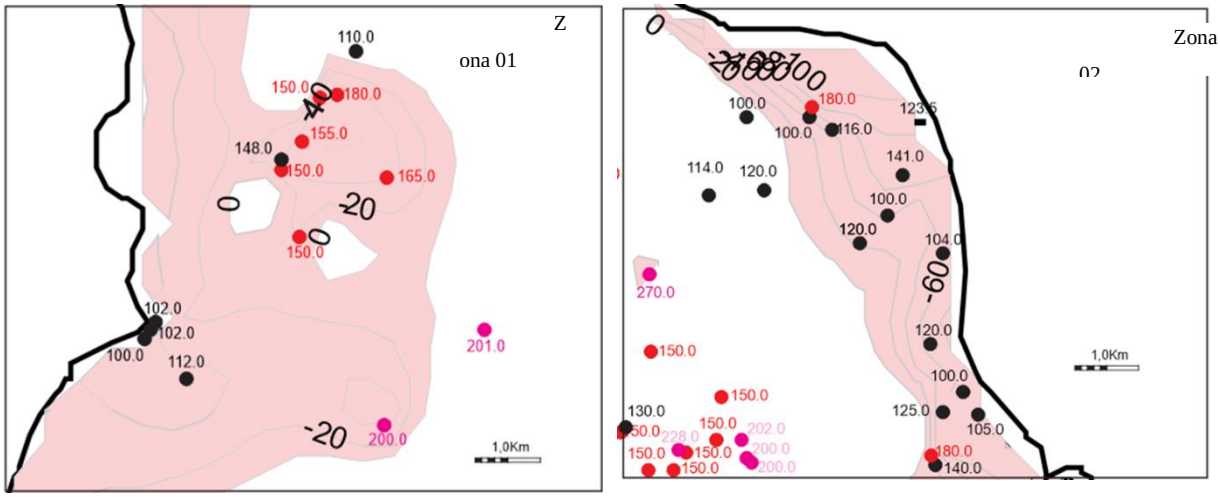
Figura 54 - Mapa com a localização dos poços e suas profundidades.



Fonte: A Autora (2022), limite da BSSJB, Costa (20(

Para destacar na Figura 54, as zonas negativas foram apresentadas na cor rosa, que basicamente se restringem a borda da bacia, onde a quantidade de informação é mais escassa. Pelo que se apresenta na Figura 54, os sedimentos da bacia não vão aumentando de espessura suavemente. Como se pode perceber na Figura 55, detalhes das zonas 01 e 02, respectivamente, poços a 100,0 metros da borda da bacia com até 120,0 metros de profundidade sem atingir o embasamento cristalino.

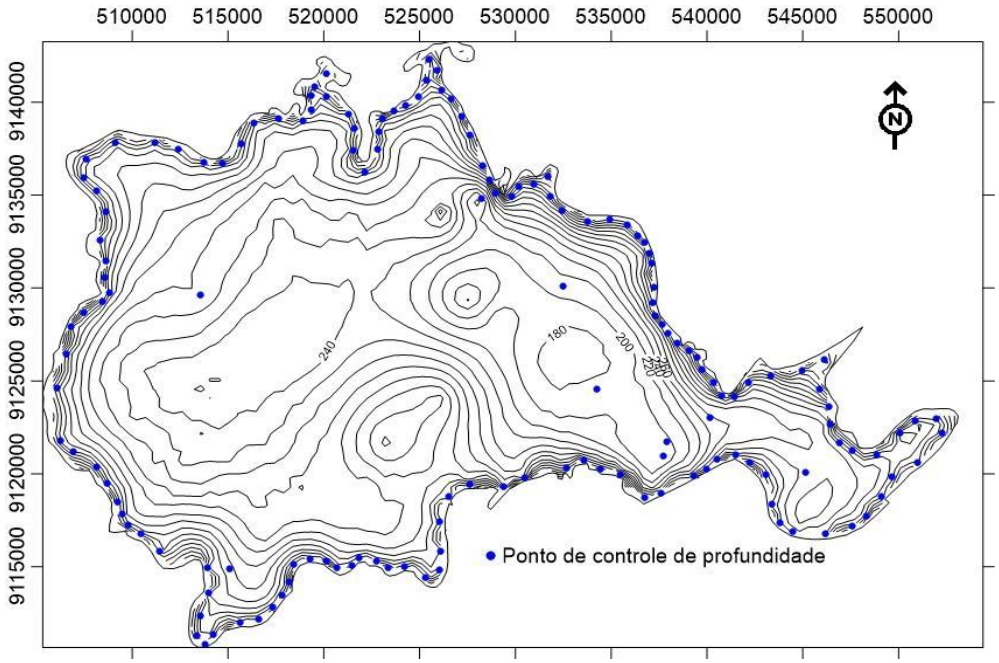
Figura 55 - Detalhamento para zona 01 e 02 conforme a figura anterior.



Fonte: A Autora (2022).

Essas altas profundidades próximas a borda da bacia podem ser indicativas de que se trata de borda de falha. Diante dessas constatações, foram inseridos na planilha de dados um conjunto de pontos acompanhando a borda, e um pouco mais para o interior da bacia, indicando prováveis profundidades do embasamento cristalino. A partir das cotas desses pontos, obtidas nas imagens do PE3D, foram calculadas as cotas do topo do cristalino em cada ponto. Após o processamento dos dados foi obtido o mapa da Figura 56, que representa a superfície do embasamento cristalino adotada nesse trabalho.

Figura 56- Superfície do embasamento cristalino.



Fonte: A Autora (2022), limite da BSSJB, Costa (2006).

Os pontos azuis do mapa são os locais onde foram indicadas profundidades para correção do efeito da borda da bacia. Onde havia suporte de informação de poço, foram indicados valores com base nessas informações, onde não havia esse suporte foi estimada profundidade de 140,0 m, com base na discussão do item anterior.

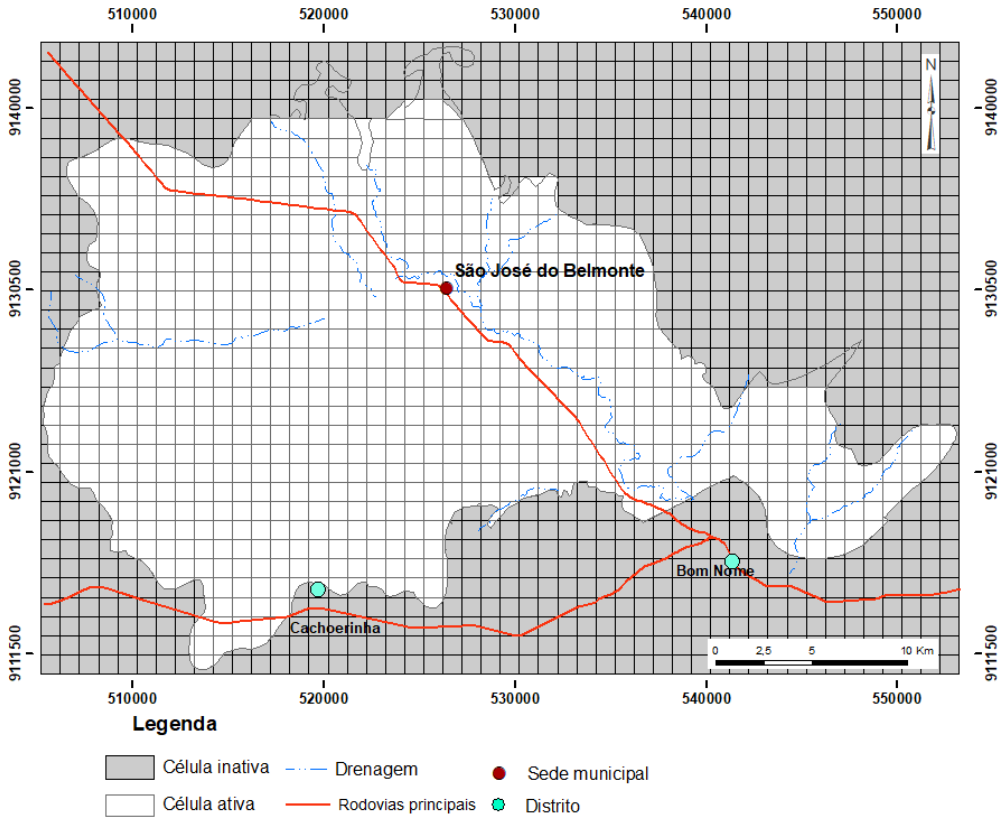
9.3 DISCRETIZAÇÃO ESPACIAL

Os modelos numéricos possuem funções definidas apenas para determinados pontos do modelo, a seleção de pontos é realizada aleatoriamente em posição, bem como, em quantidade. Esta ação denomina-se discretizar, e cada ponto escolhido é chamado de nó. Cada nó representa uma parte limitada do aquífero a ser modelado, portanto os parâmetros do aquífero atribuídos ao nó são considerados constantes para a área que representa. Em hidrogeologia, o modelo numérico de diferenças finitas visa calcular o valor da carga hidráulica em cada nó (ANDERSON, 2015). Assim, cada prisma do aquífero formado pela malha de discretização é nominada de célula, e cada célula está associada a um nó.

A área de estudo foi dividida em uma malha com 33 linhas e em 49 colunas, cada célula um tamanho de 1000,0 m x 1000,0 m. Na Figura 57 é mostrado o mapa com a discretização da área. As células de cor cinza, inativas correspondem às áreas onde não há sedimentos (cristalino) e as células ativas, de cor branca, corresponde onde há meio poroso (aquífero).

Nota-se, conforme é apresentado na Figura 57, que as células ativas do modelo não correspondem fielmente ao limite da área da BSSJB, como por exemplo, na parte norte da bacia que apresenta um contorno estreito, assim do ponto de vista da modelagem e prevendo as possíveis inconsistências numéricas houve uma pequena adaptação dessas áreas ao limite da bacia.

Figura 57 - Discretização da área modelada para a BSSJB.



Fonte: A Autora (2022), base cartográfica Sudene, limite da BSSJB Costa (2006).

9.4 CONDIÇÕES DE CONTORNO

Além da necessidade do conhecimento da geometria do aquífero, é indispensável que sejam definidos os tipos de limites do modelo, ou seja, as condições de contorno, a Figura 58, mostra diferentes tipos de limite de um aquífero.

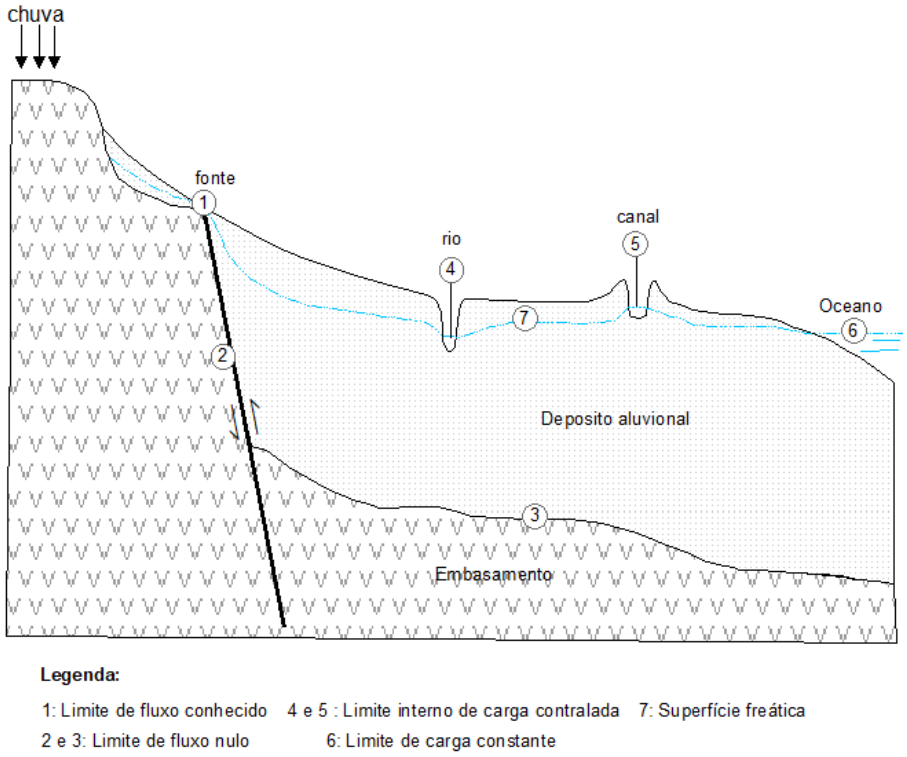
De acordo com Anderson e Woessner (1992), as condições de contorno são classificadas em três tipos:

- Limite de fluxo conhecido (condição de Dirichlet) - pode ser fluxo nulo ou diferente de zero. Neste último caso, o fluxo é dito positivo quando é um aporte para o aquífero, sendo dito negativo em caso contrário.
- Limite de carga conhecida (condição de Neumann) – são aqueles em que se conhece a carga hidráulica, que pode variar ou não com o tempo. Quando não há variação com o tempo o limite é dito de carga constante, o contrário, é limite de carga variável. O primeiro caso pode ser exemplificado com oceanos, lagos e grandes rios, nos quais a carga hidráulica não é

afetada pelas solicitações ocorridas nos reservatórios de água subterrânea.

- Limite de carga variada: (Condição de Cauchy) -É o limite cujo fluxo de água através de uma fronteira, a partir do gradiente o cálculo é com base na diferença entre uma carga hidráulica especificada fora do limite do aquífero e a carga hidráulica do aquífero. Essa condição, é comumente utilizada para definir a drenança de um corpo superficial.

Figura 58 - Diferentes tipos de condições de contorno.



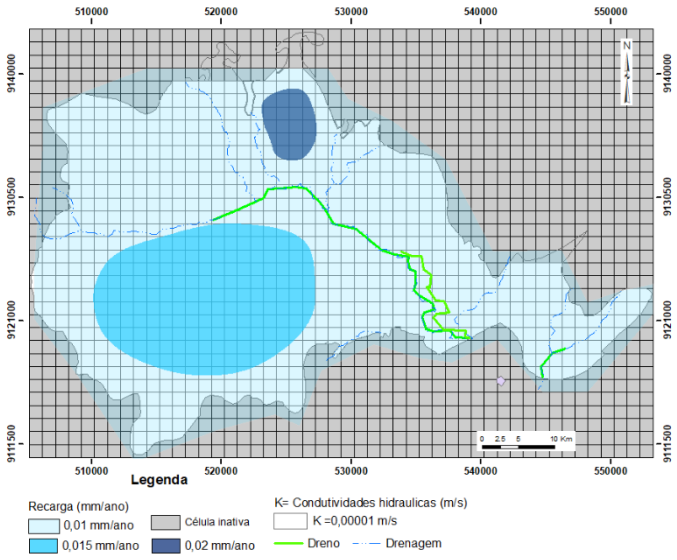
Fonte: Modificado de Boonstra & Rider (1981).

Na área de estudo foram definidas três condições de contorno, o limite de fluxo nulo, representado pelo contato entre a bacia e o embasamento cristalino. A condição recarga (tipo 1) foi quantificada como uma parcela do excedente hídrico obtido pelo balanço hídrico da bacia. As áreas mais elevadas, onde há ocorrências de coberturas arenosas dispostas diretamente sobre o aquífero Tacaratu, constituindo uma zona de recarga diferenciada do restante da bacia sendo assim, há uma variação na distribuição da infiltração, cujos valores para recarga geral da bacia ficou de 0,01

mm/ano, e nas zonas diferenciadas os valores determinados são 0,015 mm/ano, e 0,02 mm/ano (Figura 59). Se comparado esses valores, aqui apresentados, com o valor encontrado no balanço hídrico, que foi 41,8 mm/ano, o que representa uma diferença de mais de 4 vezes. No entanto, o valor médio 11,42 mm, adotado no modelo, é recorrente nos modelos realizados em outros aquíferos no semiárido nordestino, por exemplo, aquífero Cabeças (DEMETRIO,1990); sistema aquífero Tacaratu-Inajá (CPRM, 2010). Além do mais, se fosse utilizada a infiltração do balanço hídrico o modelo não calibraria e a BSSJB seria uma grande lagoa. Essa discrepância entre o balanço hídrico e a recarga utilizada no modelo atribui-se ao fato de não se ter um posto fluviógrafo no rio São Cristovão no domínio da BSSJB permitindo separar o escoamento superficial do excedente hídrico. Como descrito, para se calcular a infiltração foi utilizada a equação de (AGUIAR, 1940) com suas limitações. Já o modelo utiliza a recarga mais próxima do que efetivamente ocorreu.

Por fim, considerada a condição de contorno, representada pelo rio São Cristovão, que foi estabelecido a condição de dreno, pois, trata-se de um rio intermitente. A condutância empregada para o dreno foi de acordo com a condutividade hidráulica de uma areia siltosa a encontrada no leito do rio, esse tipo de material conforme Freeze & Cherry (1979), apresenta uma condutividade entre 10^{-4} – 10^{-6} m/s.

Figura 59 - Distribuição da recarga na área modelada.



Fonte: A Autora (2022).

9.5 DIREÇÃO DO FLUXO

Como já discutido no item 5.3, foi considerada como potenciometria original do aquífero Tacaratu aquela traçada com os níveis estáticos de 1940 a 1980. O sentido geral do fluxo da água subterrânea é na direção do Rio São Cristóvão. A existência de zonas de convergência e divergência, a primeira possivelmente ligadas aos impactos dos bombeamentos ou a qualidade das informações, a segunda se deve a baixa densidade de informação, pois essas feições estão associadas a um único poço, ou um pequeno grupo deles.

9.6 PARÂMETROS HIDROGEOLÓGICOS

Os parâmetros hidrogeológicos adotados foram aqueles apontados como representativos nos testes de aquíferos e produção realizados. A condutividade hidráulica, pelo método de Cooper Jacob, foi determinada em 2,56 $x10^{-6}$ m/s (valor médio), que foi usado como valor de partida da atual modelagem.

Na análise feita no item 6.4 foi discorrido sobre a compreensão do comportamento hidráulico do aquífero, a partir dos ensaios de bombeamento e dos perfis litológicos, posicionamento do nível estático e dinâmico percebeu-se que a maioria se enquadrava em aquífero livre. Também uma parcela dos perfis litológicos apresenta, pelo menos, uma camada argilosa, o que pode conferir um caráter confinado ao aquífero. Como os dados não permitem uma caracterização hidráulica definitiva, e como a modelagem é uma simplificação da realidade o modelo desenvolvido será considerado uma única camada e hidraulicamente livre, pois, é a característica predominante dos dados analisados. Contudo, há indícios que o aquífero deva ser multicamada, hidraulicamente livre com zonas confinadas.

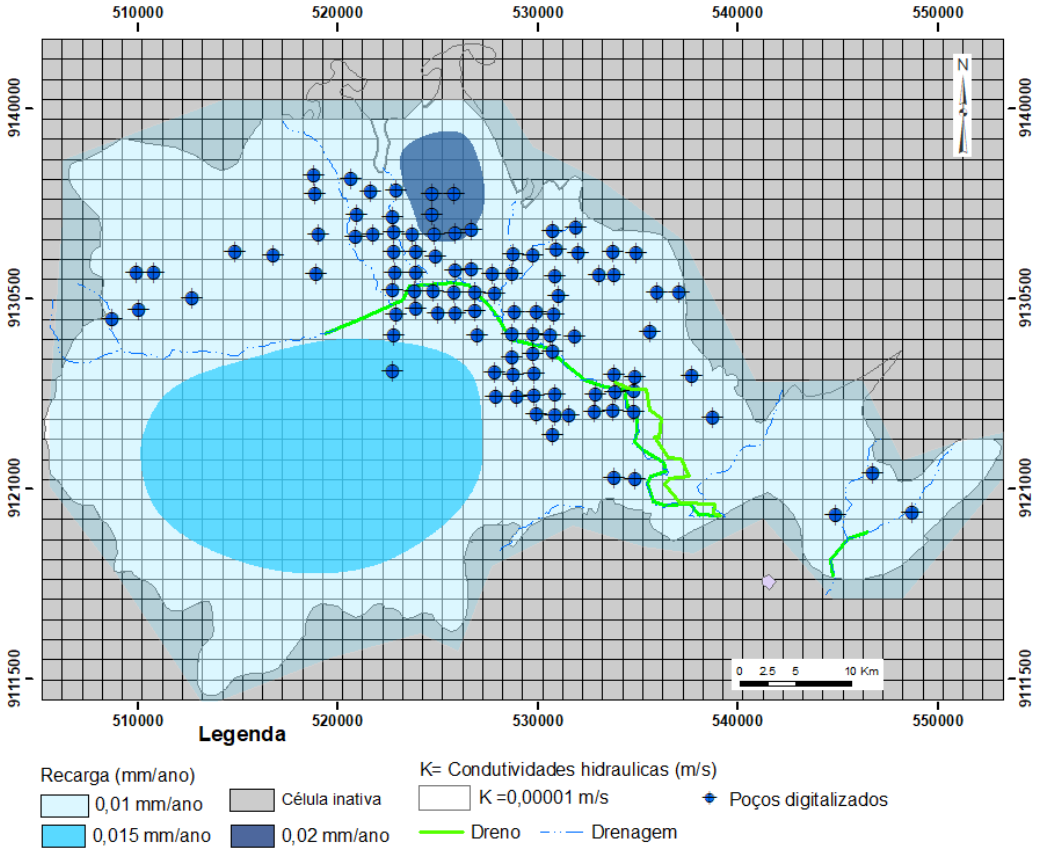
9.7 CALIBRAÇÃO

Após definir a geometria do modelo, os parâmetros hidrodinâmicos e as condições de contorno, o passo seguinte é elaborar o modelo numérico para reproduzir, com aproximação satisfatória, o modelo conceitual. Para tanto, é necessário que este modelo numérico esteja calibrado (DEMETRIO, 2018).

A calibração, consistiu em reproduzir a potenciometria original, aquela representada para o período de 1940 a 1980. Para a elaboração desta potenciometria se disponha de 70 poços com dados de NE, consequentemente, valores de cargas hidráulicas do aquífero. Seria possível utilizar esses poços para comparar a carga hidráulica observada com as cargas calculadas e cálculo da raiz média quadrática normalizada (NRMS), no entanto, observou-se que poços próximos, dentro de uma mesma célula, apresentavam variações significativas de carga hidráulica, como por exemplo, entre os poços PG0112 e PG0114, cuja diferença entre as cargas hidráulica é de 30,78 m. Usando esses dois poços para comparar com a carga calculada no centro da célula, a diferença também seria importante, o que iria influenciar fortemente no cálculo do NRMS. Com objetivo de minimizar essas variações, julgou-se, mas conveniente utilizar poços observados *digitalizados*[1] a partir do mapa potenciométrico, ao invés dos poços observados reais, utilizado para o traçado da potenciometria, pois no traçado da isolinhas desse mapa, as diferenças entre as cargas hidráulicas nos poços de observação foram suavizadas devido aos processos estatísticos de interpolação. A partir de um *software* específico foram digitalizados 100 poços, distribuídos ao longo da bacia sedimentar, de forma que cada poço ficasse, aproximadamente, centrado na célula, e apenas um poço por célula, conforme mostrado no mapa da Figura 60.

[1] Poços digitalizados são pontos selecionados a partir do mapa potenciométrico, sendo extraídos de cada um deles as coordenadas e a carga hidráulica.

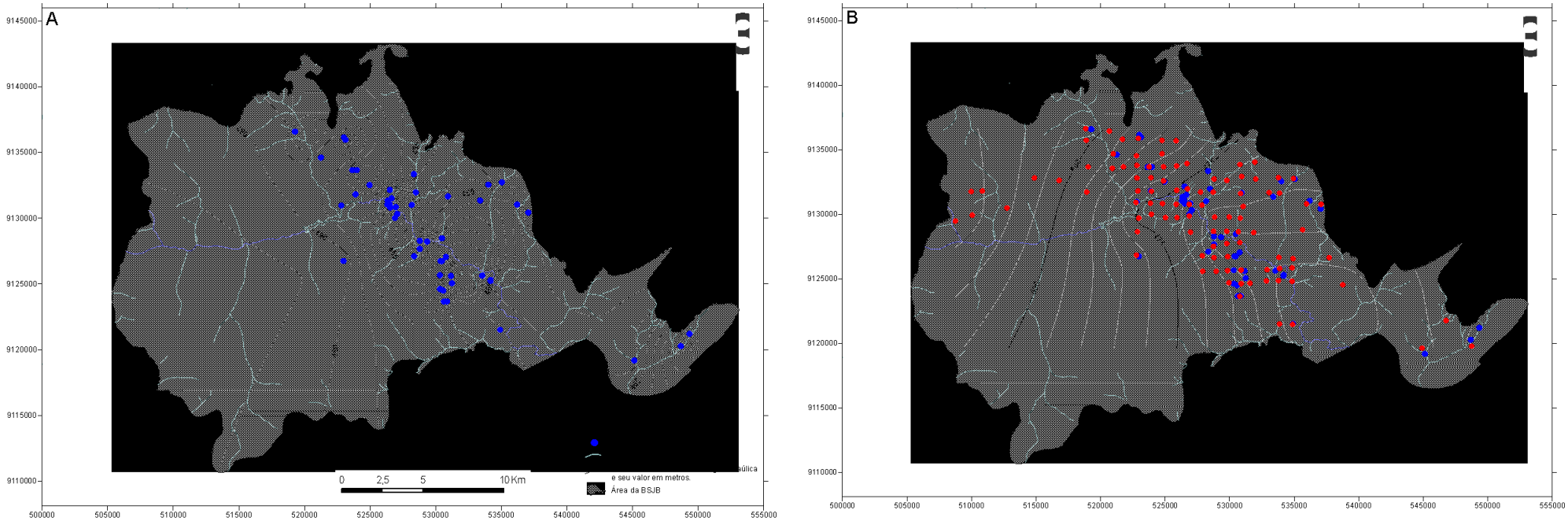
Figura 60 - Distribuição dos poços digitalizados ao longo da BSSJB.



Fonte: A Autora (2022).

A calibração foi realizada em regime de fluxo permanente, através de uma série de simulações empregou-se o método de tentativa erro, variando-se os parâmetros hidrodinâmicos, infiltrações, de modo a reproduzir a potenciometria inicial conhecida. Quando esta reprodução é satisfatória, o modelo é dito então calibrado. Na Figura 61, é apresentada a potenciometria observada e a calculada pelo modelo.

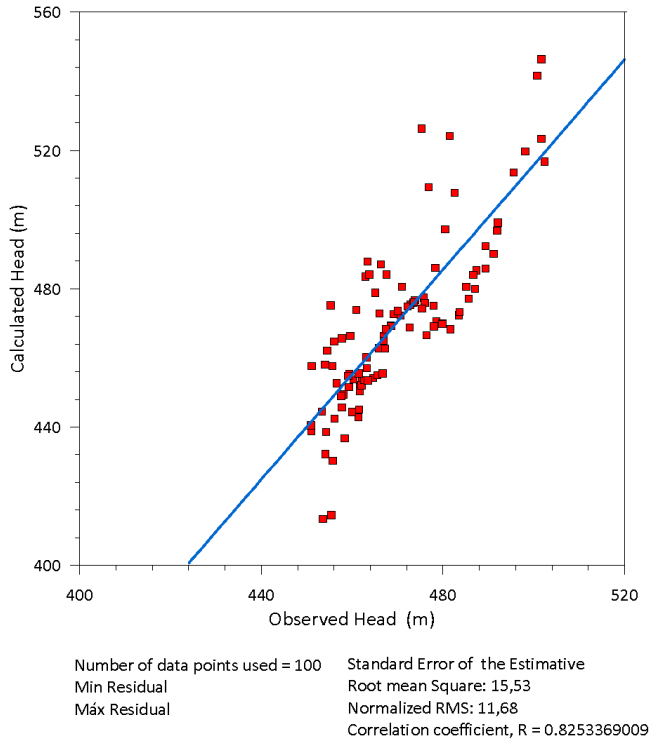
Figura 61 - Comparação das potenciometrias observada (A) e a potenciometria reproduzida pelo modelo (B).



Fonte: A Autora (2022).

A calibração foi realizada comparando os dados das cargas hidráulicas observadas com aquelas calculadas pelo modelo, a diferença entre elas é chamada de resíduo Figura 62. Assim, o cálculo estatístico comumente utilizado como critério de avaliação da qualidade da calibração (ASTM, 2008) é o (NRMS) que é igual ao RMS dividido pela amplitude das cargas hidráulicas observadas e é expresso em percentagem %.

Figura 62 - Relação entre as cargas calculadas x cargas observadas.



Fonte: A Autora (2022).

O gráfico da Figura 62 mostra que o NRMS foi de 11,68%. Em geral, são considerados modelos bem calibrados aqueles cujo valor do NRMS é inferior a 10%, (ASTM, 2008). No entanto, (SILVER, 2012; FIENEN,2013) afirma que a modelagem, envolve outros fatores não só o NRMS. Considerando a limitação dos dados admitiu-se o valor de 11,68 % como satisfatório para o atual nível de conhecimento do problema. Além do mais os mapas apresentados na Figura 61 mostram grande semelhança entre eles, O que mostra que o modelo reproduz de forma satisfatória a potenciometria observada.

9.8 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A análise de sensibilidade tem a finalidade de indicar as incertezas do modelo calibrado oriundos das estimativas feitas para os parâmetros hidráulicos, condições de contorno, entre outros (ANDERSON; WOESSNER 1992). Essa análise baseia-se em variar os valores dos parâmetros hidráulicos, tal como, condutividade hidráulica e das condições de contorno (condutância do dreno e a recarga), para aferir o respectivo efeito nas cargas hidráulicas calculadas. Dessa forma, identificam-se os parâmetros mais sensíveis e seus efeitos no modelo calibrado (IRITANI,1998).

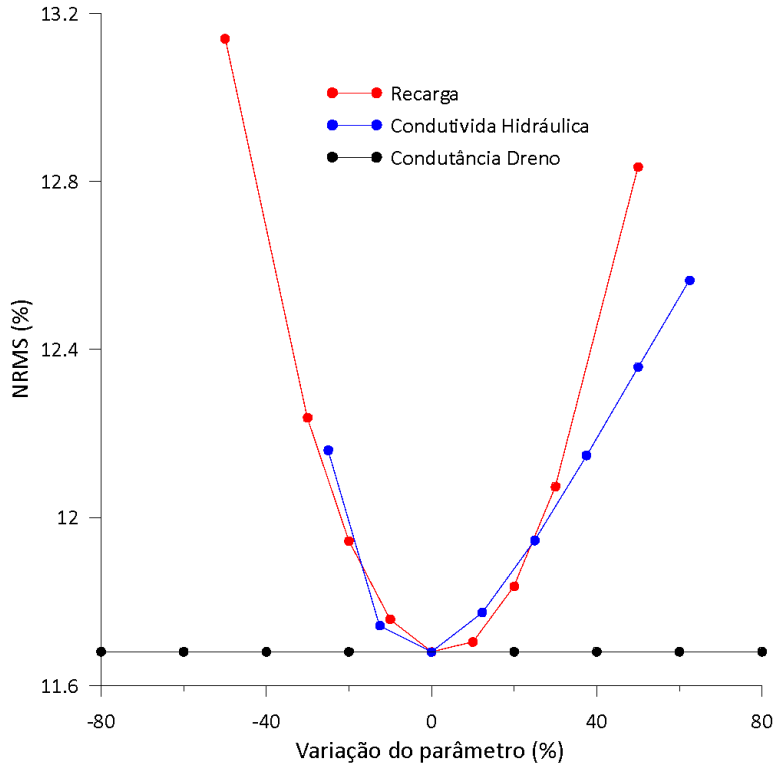
Para avaliar a sensibilidade da condutividade hidráulica foram feitas simulações aumentando e diminuindo o valor utilizado (1,0 x10^{-4} m/s), em ±10%, ±20%, ±30% e ±50%. Analogamente, se fez simulações para a recarga e a condutância do dreno. Como o NRMS é um dos parâmetros para aferir a qualidade da resposta do modelo, apresenta-se na Tabela 18 e no gráfico da Figura 63 a variação dos parâmetros e os respectivos NRMS respectivamente:

Tabela 19 - Respostas do modelo às variações dos parâmetros analisados.

Parâmetros	Variação (%)	NRMS(%)
Recarga (mm/ano)	0	11.68
	10	11.70
	20	11.84
	30	12.07
	50	12.83
	-10	11.76
	-20	11.94
	-30	12.24
	-50	13.14
Condutividade (m/s)	0	11.25
	10	11.45
	20	12.35
	30	12.56
	50	12.76
	-10	11.77
	-20	11.67
	-30	11.74
Condutância do dreno (m²/s)	0	11.68
	10	11.68
	20	11.68
	30	11.68
	50	11.68
	-10	11.68
	-20	11.68
	-30	11.68

Fonte: A Autora (2022).

Figura 63 - Relação entre o NRMS e a condutividade hidráulica e a recarga.



Fonte: A Autora (2022).

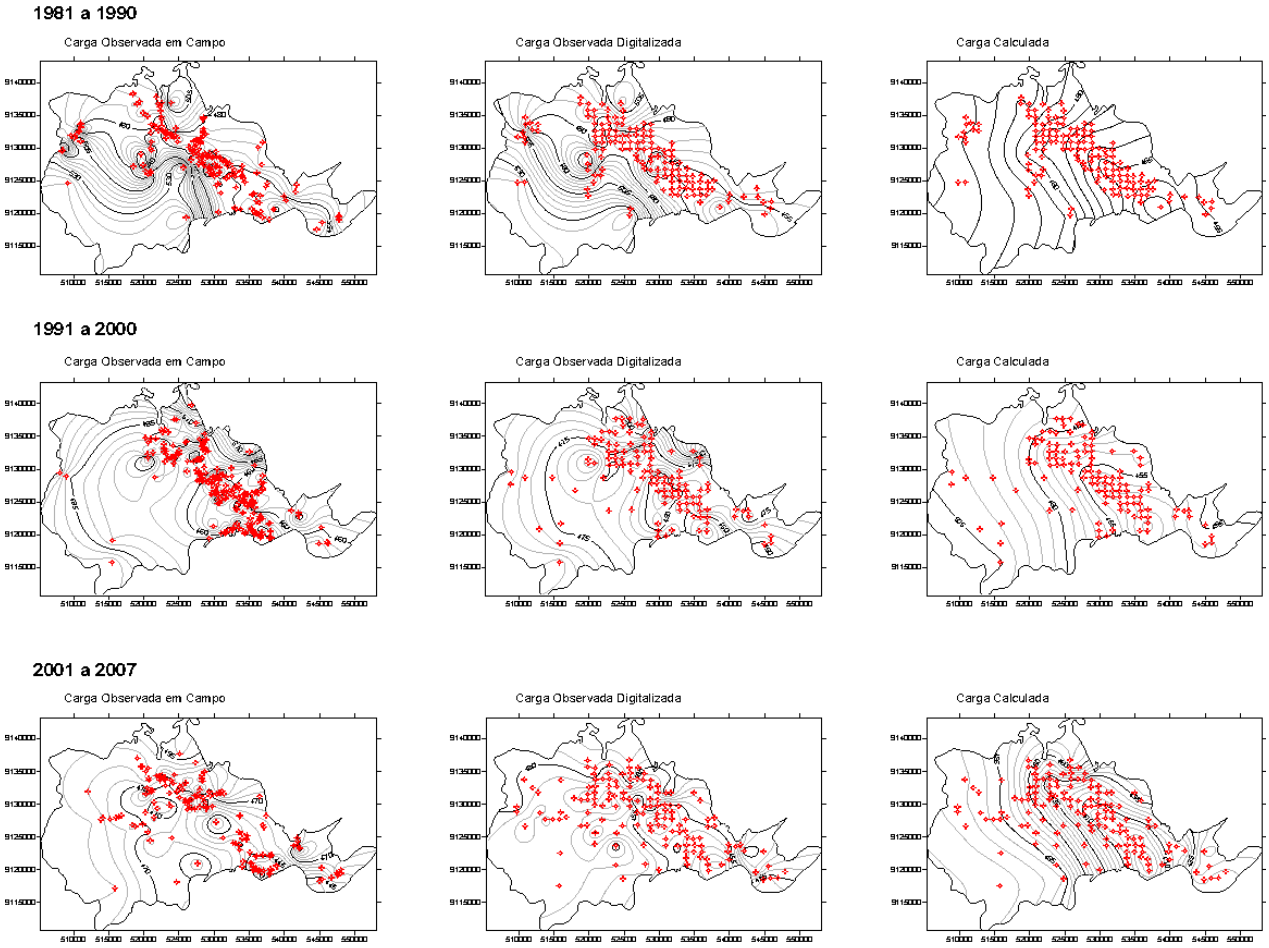
Assim é possível observar de acordo com a Tabela 18 e a figura 63, que o modelo desenvolvido é um pouco mais sensível em relação aos valores de recarga do aquífero bem como a condutividade hidráulica. Verificou- se que os valores atribuídos a condutância do dreno não apresentam sensibilidade e por sua vez não apresentaram grandes impactos ao modelo matemático.

9.9 VALIDAÇÃO

A validação do modelo é o processo de avaliação que testa os diferentes aspectos do modelo com a finalidade de refinar, melhorar e construir confiança nas previsões do modelo de tal forma que permita uma tomada de decisão sólida. Isto é, a validação consiste no processo de certificação do modelo quando à representatividade dos processos abordados (BEAR; CHENG, 2010).

Foram realizadas várias simulações tentando reproduzir as potenciometrias de 1981 a 1990, 1991 a 2000 e 2001 a 2007. Aqui foram observados os mesmos problemas da calibração, ou seja, vários poços em uma mesma célula com cargas hidráulicas bem discrepantes. Sendo assim, utilizou-se a mesma técnica da digitalização de pontos para obtenção de cargas hidráulicas representativas. Comparando-se os mapas com carga obtidas em campo com as cargas digitalizadas não há grandes diferenças como esperado. (Figura 64).

Figura 64 - Comparação das cargas digitalizadas, observadas e calculadas.



Fonte: A Autora (2022).

No período de 1981 a 1990 foram utilizados 311 poços de bombeamento e inseridos de acordo com ano de perfuração. Foram acrescidos 407 poços para o período de 1991 a 2000 e 312 poços para o período 2001 a 2007, totalizando 1030 poços. Os poços foram inseridos no modelo ano a ano, o que obrigou a discretizar o tempo em 27 stress períodos, abrangendo todo período simulado, isto é, de 1981 a 2007. Como dito anteriormente, os poços sem informação de vazão foram completados conforme a metodologia já descrita.

Validação 1981 a 1990: Comparando o mapa das cargas digitalizadas observadas e carga calculada é possível perceber que este último não consegue reproduzir algumas feições localizadas, observadas no mapa das cargas observadas, que se atribui as limitações dos dados, que o modelo numérico, devido as suas simplificações naturais, não consegue reproduzir. Apesar dessas divergências o NRMS foi de 10,95%, inferior ao da calibração.

Validação 1991 a 2000: Tal como no período anterior, as feições localizadas no mapa das cargas observadas não foram reproduzidas no mapa das cargas calculadas. No presente caso NRMS foi de 15,40%.

Validação 2001 a 2007: Neste último período os problemas das feições localizadas persistiram e o NRMS ainda foi maior, chegando a 22,04%.

A validação dos três períodos mostra que feições localizadas, observada nos mapas potenciométricos, não conseguem ser reproduzidas pelo modelo, para tanto seriam necessárias mais informações, principalmente de perfis litológicos, para se entender possíveis variações laterais do aquífero, tanto no tocante às modificações das características hidráulicas do aquífero, quanto às variações de espessura. Com base nas informações disponíveis foram feitas tentativas para se reproduzir essas feições, porém não se conseguiu nada dentro do razoável. A degradação do NRMS com o passar do tempo mostra que o modelo se afasta da realidade dos dados disponível, mas, apesar dessa degradação, os mapas potenciométricos e observados (Figura 65) guardam, nas linhas gerais, semelhanças. Assim, na falta de informações mais detalhadas, e na impossibilidade da realização de um cadastro de poços rigoroso, o modelo ora apresentado, será considerado validado para os objetivos do trabalho.

10 MODELO DE GESTÃO

10.1 GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A água é um recurso fundamental no desenvolvimento humano e econômico, e seu uso indiscriminado vem aumentando exponencialmente. A preocupação com a utilização desse recurso em escala mundial iniciou-se na metade do século XX, quando passou a ter relevância na esfera política. A superexplotação dos recursos hídricos pode vir a reduzir a disponibilidade hídrica para a atual e as futuras gerações. Assim, o gerenciamento da água subterrânea é uma tarefa bastante desafiadora e, para algumas partes do mundo, já é um problema. O grande questionamento acerca desse desafio é: como gerenciar este recurso crucial de uma forma aceitável, que considere a sustentabilidade do recurso para as futuras gerações? Neste sentido, práticas de gestão ganham maior importância, embora existam diversos procedimentos de gerenciamento de aquífero, assim como diferentes abordagens, incluindo o uso da modelagem numérica como uma ferramenta significativa na compreensão do comportamento hidráulico, que tem a função de apoio na prática de gestão. Sabe-se que é quase impossível definir uma estratégia única, pois cada região requer uma condição especial uma vez que, há diferentes problemas do ponto de vista quantitativo como os excessos de bombeamento, e qualitativo com relação a contaminação dos aquíferos (SEN, 2008).

A elaboração de planos de gestão de águas subterrâneas requer um esforço e deve considerar inúmeros aspectos como: hidrologia, geomorfologia, clima, economia, aumento da população, geologia, geofísica, hidroquímica, hidrogeologia e ter conhecimento da reserva total desse aquífero. Os problemas de gestão em recursos hídricos não estão restritos apenas a superexplotação ou contaminação de aquíferos, mas também do ponto de vista gerencial, isto é, falta de capacidade técnica por parte dos gestores, associados a falta de investimento e arranjos instituições deficientes que não se conversam, até mesmo a ausência de regulamentos, e sem esquecer da falta de conscientização por partes dos usuários (SEN, et al., 2013).

As regras e regulamentos devem ser baseados em conhecimento local e em experiências apoiadas em informação científica, e o planejamento de gestão deve incluir um banco de dados que reúna informação não só das práticas de exploração, bem como séries históricas hidrológicas à integração de todos os dados, sejam eles

numéricos, que devem ser revisados e apreciados para assim traçar objetivos na gestão, como por exemplo, assegurar que o volume explotado não exceda a recarga natural ou ainda definir uma reserva crítica, isto é, deixar uma quantidade de água razoável que supra a necessidade da população em caso de emergência.

10.2 GESTÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM ALGUMAS PARTES DO MUNDO

10.2.1 Estados Unidos

Em todo o país a água subterrânea tem sido usada amplamente no abastecimento humano, irrigação, indústria, entre outros. O uso desordenado torna o gerenciamento uma tarefa bastante desafiadora. Nos Estados Unidos a dependência por água subterrânea varia de acordo com a região, estados mais ocidentais, que são mais secos, dependem quase exclusivamente das águas subterrâneas ao contrário dos estados mais a leste que tem acesso aos recursos hídricos superficiais.

A gestão das águas subterrâneas ocorre de forma descentralizada, e reflete o Estado ou a região. É apoiada nos regulamentos e leis de uso. As tomadas de decisão podem envolver diferentes níveis jurisdicionais, que estabelecem a formulação de estratégias e o responsável por executá-las (RICHTER, 2010).

Uma gestão é eficiente quando considera principalmente o monitoramento quantitativo e qualitativo dos aquíferos. Nessa perspectiva, a maioria dos aquíferos não há nenhum tipo de monitoramento, ou até mesmo foram mapeados, modelados. Aquisição desse tipo de conhecimento requer recurso financeiro e capacitação pela equipe técnica, isto é, o gerenciamento das águas subterrâneas compreende não só a implementação de leis ou tomadas de decisão, olhando o futuro com o crescimento populacional, urbanização, mudanças climáticas, terá um impacto ainda maior no recurso hídrico existente, e exigem uma transformação nas instituições de gestão da (Governo dos EUA Accountability Office 2003; BREKKE et al., 2004).

A integração das águas superficiais e subterrâneas vem sendo discutida a mais de 40 anos, na política das águas nos Estados Unidos, hoje as agências nos níveis estaduais e federal, bem como outras organizações de gestão adotam esse tipo de abordagem de integração das águas em todo país, embora que na pratica muitas vezes não se concretizou. O governo federal assumiu a liderança na definição de

padrões de qualidade da água, mas adiou para implementar padrões de retirada de água bem como o uso (LESHY, 2008; GETCHES, 2009).

Em suma, cada estado tem autonomia e autoridade sobre a regulação das águas subterrâneas. Estes por sua vez estão em diferentes estágios de desenvolvimento de gestão, diferem, por exemplo, nas leis que definem a qualidade da água e nas condições de outorga de vazão. Essa atuação separada de algumas agências, sem troca de informações entre elas, pode levar a uma gestão ineficiente.

10.2.2 Austrália

A gestão das águas subterrâneas na Austrália foi fortemente influenciada na trajetória da reforma das águas superficiais. Os princípios para a governança da água na Austrália estão contidos nos acordos do Conselho do Governo Australiano (COAG) de 1994 e 2004 sobre reforma da água. O Acordo Intergovernamental de 2004 sobre uma National Water Initiative (NWI), incluiu o estabelecimento de direitos de acesso seguro à água, planejamento com provisão para resultados de benefícios ambientais. Na seção 23 do NWI, leva em consideração a conectividade entre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos sendo gerenciados como um único recurso. As águas superficiais e subterrâneas para consumo humano e o meio ambiente são geridas dentro desta estrutura, mas a qualidade da água é gerida separadamente.

De acordo com o sistema federal de governo da Austrália, o direito primário de possuir ou controlar e usar a água pertence aos Estados e Territórios (LUCY, 2008). Estes promulgaram legislação “espelho” para incorporar o NWI nas leis e regulamentos estaduais. O acordo Murray-Darling Basin de 1992 estabeleceu um limite para o uso de água de superfície (MDBC,2006) e incluiu uma fórmula para alocar água entre as jurisdições do MDB, mas não havia limite semelhante para a retirada de água subterrânea, que continuou a se expandir por mais uma década.

A qualidade da água subterrânea não é incluída como um objetivo ou elemento central no NWI. A qualidade da água está sujeita a acordos separados entre os governos australianos, incluindo o Plano de Ação Nacional para Salinidade e Qualidade da Água e a Estratégia Nacional de Gestão da Qualidade da Água (NWQMS). O NWQMS contém padrões detalhados para a água que deve ser usada para fins específicos de consumo humano, que estão incluídos na legislação estadual,

mas o monitoramento da qualidade da água subterrânea é geralmente pobre (GEOSCIENCE AUSTRALIA, 2010).

Sob o NWI, a Austrália adotou uma estrutura de direitos de água que são completamente transparentes e definidos, sempre que possível, são monitorados e fiscalizados (NWC, 2009). Existem vários níveis de responsabilidade democrática para a gestão das águas subterrâneas, que tem como objetivo estabelecer planos de gestão de águas subterrâneas e monitorar e fazer cumprir esses planos. O NWI prevê ainda que os governos envolvam os usuários de água e outras partes interessadas no planejamento da água e em outros processos de reforma, a fim de melhorar a certeza e a confiança, a transparência e o compartilhamento de informações (BOWMER, 2003).

A disponibilidade de água subterrânea é frequentemente definida de acordo com a proporção de recarga de longo prazo que pode ser extraída sem comprometer a integridade da fonte de água e dos ecossistemas e comunidades que dependem dela. Em alguns sistemas de águas subterrâneas superexplotado as autoridades controlam o direito ao uso sem comprometer o abastecimento dos usuários (NWC, 2006).

Em síntese a gestão apresenta uma regulamentação abrangente levando em consideração a integração dos recursos superficiais e subterrâneos. Além disso, os planos de água definem limite para o uso sustentável afim de não comprometer o aquífero, por outro lado a qualidade das águas não é uma prioridade, tornando uma preocupação futura.

10.2.3 União Europeia

Em 23 de outubro de 2000, A União Europeia (UE) lançou "*DIRECTIVE 2000/60/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL*", estabelecendo um conjunto de diretrizes para a comunidade europeia em relação a política de água, o WFD. O objetivo foi garantir o abastecimento de água limpa e promover o uso sustentável da água. O WFD é um conjunto de normas para a gestão integrada dos recursos hídricos nos países da comunidade europeia.

O WFD, no seu Artigo 4.1 (b) (i e ii), estabelece que os Estados-Membros implementem medidas necessárias para prevenir ou limitar a contaminação das águas subterrâneas. Garantir o equilíbrio entre a captação e recarga. Desenvolver estudos

caracterizar os aquíferos, identificar os aquíferos com potenciais de contaminação. Estabelecer padrões de qualidade para as águas subterrâneas e a implementação de redes de monitoramento.

No entanto, existem grandes diferenças entre os Estados-Membros na aplicação das normas da UE. Em mais de 50% dos países correm o risco de não atender as normas estabelecidas no WFD, devido ao bombeamento excessivo e à poluição (EASAC, 2010).

Na UE o direito ao uso da água é geralmente concedido pelas autoridades públicas por meio de licenças e autorizações. A outorga é realizada por diferentes autoridades e agências em diferentes níveis. A autorização para bombear água subterrânea é geralmente concedida por meio de licenças que se referem à quantidade de água captada e / ou capacidade de bombeamento. As licenças são emitidas por vários períodos de tempo em diferentes estados. Em alguns estados, incluindo França, Alemanha e Reino Unido, os impactos ambientais são considerados ao conceder licenças.

As autoridades nacionais têm poderes para restringir as captações durante períodos de escassez de água ou seca. Alguns países como Holanda, Espanha e França determinam restrições ao bombeamento de acordo com uma hierarquia de usuários de água. A prioridade também pode ser dada a setores específicos, ou às vezes dentro de setores, por exemplo, para culturas específicas (COMISSÃO EUROPEIA, 2012).

Além disso, o WFD define um “bom estado quantitativo” para as águas subterrâneas, o que implica a obrigação de garantir um equilíbrio entre a recarga (natural) e a captação ao longo de um ciclo de gestão de bacia hidrográfica. No entanto, a implementação do programa de ação que seguiu a diretriz de águas subterrâneas concentrou-se nas questões de qualidade da água ao invés de na captação.

A regulação da água subterrânea não acompanhou o rápido crescimento dos usuários e dos volumes explotados. Os Estados membros usam diferentes combinações de instrumentos para gerir os recursos hídricos subterrâneos. Em muitas partes da UE existem regimes de proteção das águas subterrâneas, incluindo o licenciamento de poços. No entanto, em muitos dos países do sul da Europa, o número de usuários não licenciados está crescendo consideravelmente (EASAC, 2010).

A eficácia do WFD está sendo reduzida pela implementação lenta devido aos diferentes graus de ambição e coesão dos esforços dos Estados membros (LIEFFERINK et al., 2011) e aos desafios técnicos, incluindo o processamento de informações (HERING et al., 2010). No sul da Europa, onde a dependência econômica e social das águas subterrâneas tem precedência sobre as considerações ecológicas, um difícil equilíbrio deve ser encontrado entre os benefícios sociais do consumo atual e os benefícios sociais e ecológicos mais amplos da conservação de ecossistemas dependentes de água (EASAC, 2010). Os mercados europeus de água em termos de qualidade ou quantidade não estão bem desenvolvidos, refletindo a ênfase europeia na alocação administrativa da água e nas regulamentações sobre a qualidade da água. Essas instituições podem ser relativamente eficientes para as condições europeias, mas há oportunidades para mercados que podem fornecer maiores quantidades de água mais limpa a custos mais baixos (ZETLAND, 2011).

Os Estados Membros desenvolveram documentos de orientação sobre monitoramento de águas subterrâneas e áreas protegidas de águas subterrâneas e está desenvolvendo orientações sobre conformidade e impactos do uso da terra nas águas subterrâneas. A capacidade de monitoramento varia substancialmente entre os estados membros da UE e entre as regiões dentro dos países. A cobertura em toda a UE e séries de longo prazo de dados sobre a qualidade da água não estão disponíveis, e a análise da quantidade de água é insuficiente em muitos planos de bacias hidrográficas - apenas 25% dos planos incluem cenários de disponibilidade de água e menos de 20% avaliam a incerteza dos dados.

Na prática, a gestão na UE enfrenta desafios comuns de governança das águas subterrâneas. Em primeiro lugar, a eficácia da implementação de políticas e planos variam substancialmente dentro das regiões. Outro ponto não menos importante é a lacuna substancial de conhecimento como, por exemplo, caracterização dos aquíferos e seu monitoramento.

10.3 GESTÃO NO BRASIL

10.3.1 Legislação no Brasil

No Brasil foi sancionado o Código de Água (1934) que considerava a água como bem imóvel, associada à propriedade da terra. A concessão era solicitada, estritamente, em terrenos de domínio público.

A Constituição Federal (1988), fez algumas considerações com relação às águas subterrâneas, que passou a ser um bem de propriedade dos Estados e Distrito Federal. Definiu também que os bens da união são:

> Os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros Países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais.

Outro divisor para a gestão das águas foi a criação da Lei Federal nº 9.433/97, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. A lei preconiza as principais ferramentas de planejamento, gestão, coordenação e controle dos recursos hídricos no país. Seu principal objetivo é garantir que as águas tanto superficiais quanto subterrâneas possam ser utilizadas de forma racional.

Em 1999, foi apresentado um Projeto de Lei 1.616, ainda em trâmite, sobre gestão e a organização institucional do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, previsto na Constituição e originado pela Lei 9.433. Esse projeto de lei prevê a outorga do direito de uso de águas subterrâneas subjacentes a mais de um Estado, estará sujeita a sanções disciplinares pelos Estados após avaliação das respectivas reservas exploráveis, devendo os mesmos fornecerem outorgas dentro de limites por eles acordados.

10.3.2 Leis especiais para águas subterrâneas

No Brasil, o arcabouço legal para a gestão da água teve início com o código das Águas em 1934, em que as águas superficiais e subterrâneas encontraram suporte das normas sobre o controle, proteção, utilização racional e obrigação dos usuários (FREIRE, 2002). Estas diretrizes podem ser definidas pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos, através da Resolução n° 15 de 11 de janeiro de 2001 para o gerenciamento das águas subterrâneas, apresentadas a seguir:

> Art. 2° Na formulação de diretrizes para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos deverá ser considerada a interdependência das águas superficiais, subterrâneas e meteóricas.

> Art. 3° Na implementação dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos deverão ser incorporadas medidas que assegurem a promoção da gestão integrada das águas superficiais, subterrâneas e meteóricas, observadas as seguintes diretrizes:
>
> I - Nos Planos de Recursos Hídricos deverão constar, no mínimo, os dados e informações necessários ao gerenciamento integrado das águas, em atendimento ao art. 7° da Lei n° 9.433, de 8 de janeiro de 1997;
>
> II - O enquadramento dos corpos de água subterrânea em classes dar-se-á segundo as características hidrogeológicas dos aquíferos e os seus respectivos usos preponderantes, a serem especificamente definidos;
>
> III - Nas outorgas de direito de uso de águas subterrâneas deverão ser considerados critérios que assegurem a gestão integrada das águas, visando evitar o comprometimento qualitativo e quantitativo dos aquíferos e dos corpos de água superficiais a eles interligados;
>
> IV - A cobrança pelo uso dos recursos hídricos subterrâneos deverá obedecer a critérios estabelecidos em legislação específica.

A resolução n° 396 de 3 de abril de 2008, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, integrou as Políticas Nacionais de Gestão Ambiental, Gestão de Recursos Hídricos e de uso e ocupação do solo, a fim de garantir as funções social, econômica e ambiental das águas subterrâneas, em atendimento ao artigo 3 e classificou as águas subterrâneas em:

> I - Classe Especial: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses destinadas à preservação de ecossistemas em unidades de conservação de proteção integral e as que contribuam diretamente para os trechos de corpos de água superficial enquadrados como classe especial;
>
> II - Classe 1: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que não exigem tratamento para quaisquer usos preponderantes devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;
>
> III - Classe 2: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;
>
> IV - Classe 3: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, para as quais não é necessário o tratamento em função dessas alterações, mas que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;
>
> V - Classe 4: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que somente possam ser utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo;
>
> VI - Classe 5: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, que possam estar com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, destinadas a atividades que não têm requisitos de qualidade para uso.

10.3.3 Leis Estaduais

As vinte e sete unidades federativas (UF) do Brasil possuem políticas estaduais de recursos hídricos. São presentes em todos, decretos, resoluções voltadas às águas subterrâneas. O instrumento de outorga dos direitos de uso de recursos hídricos foi

regulado em todas as UFs, mas apesar dos preceitos da lei, apenas treze legislam especificamente sobre as águas subterrâneas: São Paulo, Minas Gerais, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Alagoas, Pernambuco, Maranhão e Pará. Nas demais UFs foram criados leis, decretos, regulamentos e portarias voltados para as águas superficiais, que juntamente com a PERH, são utilizados na gestão.

As leis estaduais têm como principal objetivo gerenciar o uso e prevenir condições como a exaustão, super bombeamentos, entre outros. O estado de São Paulo foi o precursor em legislar especificamente sobre a preservação das águas subterrâneas, nos idos de 1988, com a Lei n. º 6.134, de 02/06/1988 – antes da atual Constituição Federal – a qual foi regulamentada pelo Decreto de n. 32.955, de 07/02/1991.

> Artigo 4.º - Incluem-se no gerenciamento das águas subterrâneas as ações correspondentes: I - à avaliação dos recursos hídricos subterrâneos e ao planejamento do seu aproveitamento racional; II - à outorga e fiscalização dos direitos de uso dessas águas e III - à aplicação de medidas relativas à conservação dos recursos hídricos subterrâneos.

De modo geral, a legislação estadual das demais unidades federativas são fundamentadas nesses preceitos descritos acima, além disso, verificou-se que o processo de solicitação de outorga é bastante semelhante em todo o Brasil pois os usuários precisam apresentar informação da localização, aquífero explotado, profundidade do poço, teste de bombeamento, análise física, química, vazão, entre outros. Esses dados permitem aos órgãos gestores avaliarem se as condições encontradas do ponto de vista qualitativo e quantitativo são válidas para deferir ou não o processo. O que difere de um estado para outro são os critérios de isenção do processo de outorga, que em sua grande maioria prevalece isento, com captações com vazão de até 5m³/dia, com exceção dos estados São Paulo com vazão menor que 15m³/dia, Goiás 16 m³/dia Minas Gerais 10 m³/dia, Rio Grande do Sul, com 2 m³/dia, Roraima com 15 m³/dia, Tocantins com vazão 21,6 m³/h, Paraná com vazão de até 1,8 m³/h, Espírito Santo 1,8 m³/h.

A lei estadual 11.427/97 de Pernambuco também é apoiada na conservação e proteção das águas subterrâneas, que implicam no seu uso racional, na aplicação de medidas de controle à poluição, para assegurar a disponibilidade do recurso para a atual e para as futuras gerações. Para tanto, uma das funções fundamentais desempenhadas pelo órgão gestor:

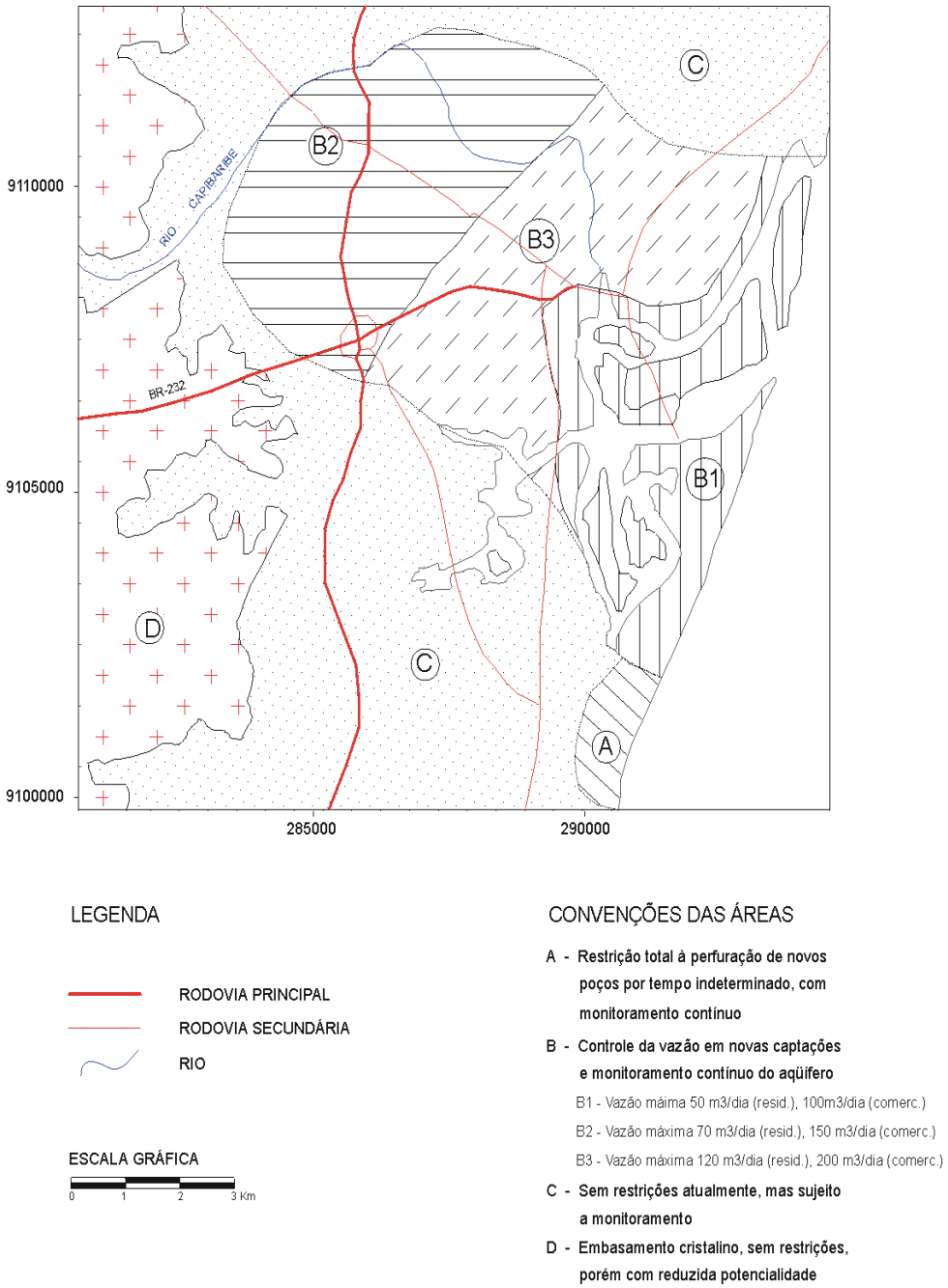
> I - Avaliar as potencialidades e disponibilidades de águas subterrâneas, bem como planejar o seu aproveitamento racional;
> II - Implantar uma "base de dados" com cadastramento de todas as obras de captação de águas subterrâneas no Estado de Pernambuco, mantendo-o permanentemente atualizado;
> III - Conceder outorga para uso das águas subterrâneas;
> IV - Fiscalizar as obras de captação;
> V - Monitorar a exploração e controle dos recursos hídricos subterrâneos. (Art. 21.??)

Estão isentos de outorga as captações de águas subterrâneas destinadas exclusivamente ao usuário doméstico ou rural, que se enquadrem em dos seguintes casos: I - poço tubular ou amazonas com profundidade inferior a 20 metros; II - poço tubular ou amazonas com vazão de até 5 m³/dia; III - os poços incluídos em pesquisa, com caráter exclusivo de estudo.

Além da legislação que norteia o gerenciamento dos recursos hídricos existem duas resoluções, CRH nº 04 / 2003 e CRH n° 02, de 14 de março de 2020 que são os principais instrumentos de gestão das águas subterrâneas na Região Metropolitana do Recife (RMR), e na Bacia do Jatobá respectivamente. A primeira resolução é fundamentada no "*Estudos Sobre a Disponibilidade e Vulnerabilidade dos Recursos Hídricos Subterrâneos da Região Metropolitana do Recife"*, conhecido como **HIDROREC I,** e sua última atualização desse estudo foi no ano de 2017, trata-se da terceira edição chamada de HIDROREC III. A segunda resolução tem como base o estudo *"Estudo Hidrogeológico da Bacia Sedimentar do Jatobá-2010".*

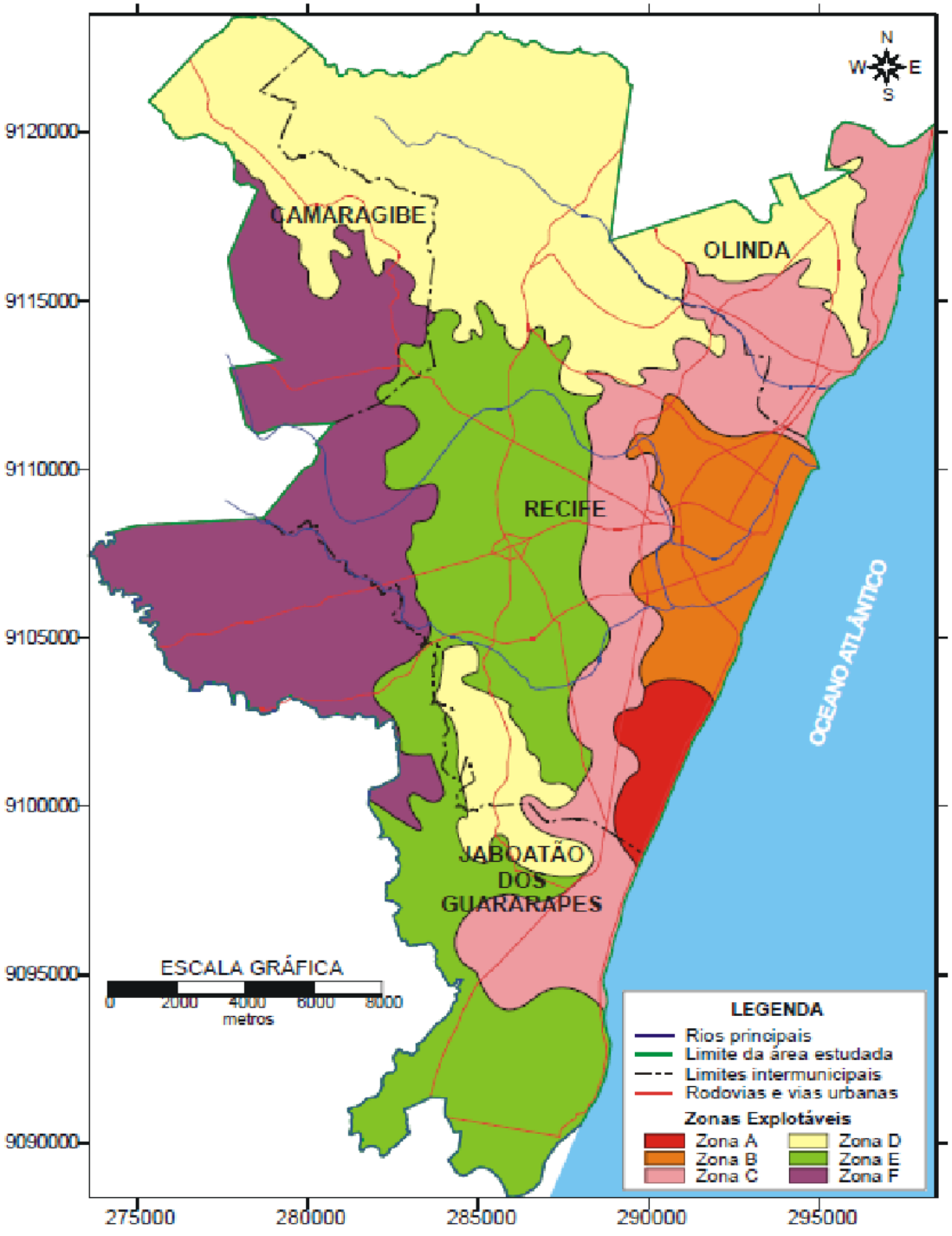
Os HIDROREC I e II têm como objetivo o conhecimento das características hidrogeológicas dos aquíferos em explotação na RMR, o primeiro estudo foi o responsável por estabelecer a partir desse conhecimento o Zoneamento de Explotação dos Aquíferos na RMR. O autor avaliou os recursos renováveis e constatou em que, algumas áreas, apresentavam um déficit hídrico e, além disso, foi observado que essas regiões alcançaram rebaixamentos expressivos e, por esta razão, foram considerados como áreas de superexplotação. Tais áreas foram submetidas a restrições distintas de acordo com o nível de explotação. No primeiro HIDROREC I foram definidas 04 zonas, no HIDROREC II foram definidas 06 (Figura 65 e 66) apresentadas a seguir respectivamente:

Figura 65 - Mapa Zoneamento Explotável da RMR – HIDROREC I (1998).



Fonte: Costa (1998).

Figura 66 - Mapa de Zoneamento Explotável dos Aquíferos Beberibe, Cabo e Barreiras.



Fonte: Costa (1998).

As restrições para cada área de zoneamento de explotação:

> Zona A - Condicionantes de explotação: nenhum novo poço deve ser perfurado nesse aquífero, os poços atualmente existentes deverão ter a sua vazão reduzida em 50% e um monitoramento contínuo deverá ser exercido; Zona B -Condicionantes de explotação: os poços a serem perfurados nesses aquíferos deverão ter a vazão outorgada limitada em 30 m3/dia enquanto os poços atualmente existentes deverão ter a sua vazão reduzida em 30%, um monitoramento contínuo deverá ser exercido;
>
> Zona C - Condicionantes de explotação: os novos poços a serem perfurados nesses aquíferos deverão ter a vazão outorgada limitada em 60 m³/dia enquanto os poços atualmente existentes deverão ter a sua vazão reduzida em 15%; um monitoramento contínuo deverá ser exercido;
>
> Zona D - Condicionantes de explotação: os poços a serem perfurados nesses aquíferos deverão ter a vazão outorgada limitada em 70 m³/dia enquanto os poços atualmente existentes deverão ter a sua vazão reduzida apenas no futuro a depender do comportamento do aquífero; um monitoramento contínuo deverá ser exercido;
>
> Zona E - Condicionantes de explotação: os poços a serem perfurados nesses aquíferos deverão ter a vazão outorgada limitada em 100 m³/dia enquanto os poços atualmente existentes deverão ter a sua vazão reduzida apenas no futuro a depender do comportamento do aquífero; um monitoramento contínuo deverá ser exercido;
>
> Zona F- Condicionantes de explotação: os poços a serem perfurados nesses aquíferos assim como os atualmente existentes não necessitarão ter a vazão outorgada limitada, pois o próprio condicionante hidrogeológico já constitui uma limitação devido a sua baixa potencialidade; um monitoramento contínuo deverá ser exercido. HIDROREC II.

De acordo com Custodio (2002), a superexplotação pode ser caracterizada como aspectos negativos do desenvolvimento da água subterrânea, mas que não está atrelado apenas aos rebaixamentos progressivos. O aquífero é considerado superexplotado ou em risco de superexplotação quando a explotação for maior que o volume de recursos renováveis[2] ou ainda, quando esse rebaixamento contínuo dos níveis potenciométricos pode produzir uma deterioração da qualidade da água.

Assim as medidas restritivas implementadas são uma tentativa de coibir a superexplotação que foi caracterizada nos dois estudos. Em 2017 houve uma atualização desse mesmo estudo, e nele foi elaborado um modelo numérico a fim de confirmar, alterar os zoneamentos já existentes ou ainda criar zonas de restrições.

Uma das conclusões desse trabalho foi que se constatou uma dessaturação dos aquíferos confinados Beberibe e Cabo evidenciando uma superexplotação que apresenta um cenário mais crítico daqui a vinte anos.

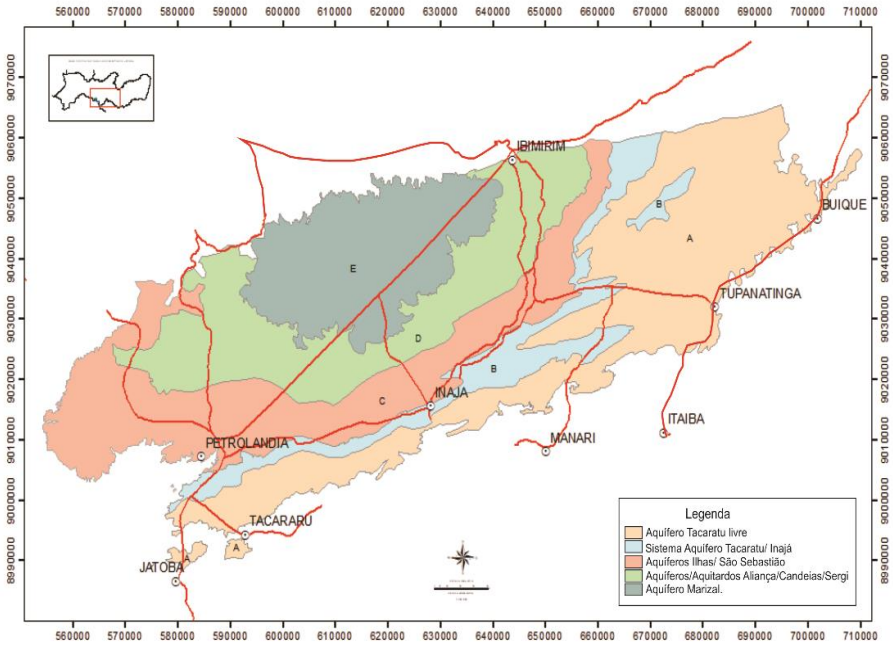
[2] Reserva renováveis corresponde ao volume de água armazenado no aquífero, que pode ser explotada sem impactar a sustentabilidade do aquífero (CUSTODIO; LHAMAS,1976)

10.3.4 Bacia do Jatobá

Na Bacia do Jatobá, a resolução n° 02, de 14 de março de 2020 dispõe sobre a explotação das águas subterrâneas na bacia supracitada, se assemelha a resolução da RMR no sentido de implementar Zoneamento Explotável dos Aquíferos, pois consideram que há uma expressiva superexplotação das águas subterrâneas que vem ocorrendo localmente na Bacia Sedimentar do Jatobá, especialmente nos municípios de Ibimirim, Buíque e Inajá. Ainda de acordo com a resolução:

> Art. 2º - Na definição da vazão a ser outorgada e distância entre poços, o Órgão Outorgante levará em consideração o mapa referido no artigo 1º e a Legenda Explicativa do Mapa de Zoneamento Explotável, na forma dos Anexos I-A e II, desta resolução, respectivamente. **Art. 3º** - Os poços devidamente regularizados no órgão outorgante anteriormente à presente resolução, com vazões outorgadas acima dos limites do Anexo II, deverão ter suas vazões reduzidas em 20% a cada renovação de outorga até alcançarem os respectivos limites. **§1º** - Os “poços existentes” nunca licenciados ou outorgados, ao serem regularizados na forma da Lei nº 11.427/97, deverão seguir as restrições de vazão de um novo poço.

Figura 67 - Mapa de Zoneamento Explotável dos Aquíferos da Bacia do Jatobá.



.

Fonte: (Anexo I-A) da Resolução, Costa (2010).

Tabela 20- Restrições de explotação para a Bacia do Jatobá.

Condições de Explotação para os novos poços na Bacia do Jatobá					
Zona	PARÂMETRO	Condição de profundidade do poço (m)			
		até 100	>100 a 200	>200 a 300	300
A	Vazão máxima a ser outorgada para os novos poços (m³/h)	5	10	50	50
	Distância mínima para perfuração de novos poços em relação aos poços já cadastrados (m)	300	300	300	300
B	Vazão máxima a ser outorgada para os novos poços (m³/h)	10	15	30	60
	Distância mínima para perfuração de novos poços em relação aos poços já cadastrados (m)	300	300	500	1000
C	Vazão máxima a ser outorgada para os novos poços (m³/h)	5	10	30	40
	Distância mínima para perfuração de novos poços em relação aos poços já cadastrados (m)	300	300	400	800
D	Vazão máxima a ser outorgada para os novos poços (m³/h)	8	10	25	25
	Distância mínima para perfuração de novos poços em relação aos poços já cadastrados (m)	300	300	400	400
E	Vazão máxima a ser outorgada para os novos poços (m³/h)	4	6	10	10
	Distância mínima para perfuração de novos poços em relação aos poços já cadastrados (m)	300	300	500	500

Fonte: Anexo 02 da Resolução, Costa (2010).

Como é possível observar na Tabela 19, as vazões estão sendo outorgadas exclusivamente com relação à profundidade e à distância entre os poços. Esse critério é bastante limitado, e foi estabelecido levando em consideração quatro itens, dois deles são: maior ou menor penetração no aquífero; maior ou menor concentração de poços nas cercanias, além do cálculo de reserva. A seguinte situação exemplifica a incoerência desse critério. Considerando um poço com 100,0 de profundidade na zona A, segundo a Tabela 19, ele só poderia bombear no máximo 5,0 m³/h, mas se for possível bombear 50 m³/h nesse poço, o que não é difícil, e a demanda por água

fosse no mesmo montante, o usuário seria obrigado a construir um poço com, no mínimo, 200,0 metros de profundidade, o que não faz o menor sentido. Se são tirados 50,0 m³/h em um poço de 100,0 ou de 200,0 de profundidade não há diferença para o aquífero. No poço de menor profundidade, claro, os rebaixamentos serão maiores, por conta da penetração parcial, mas o objetivo do gestor é o aquífero ou os poços terem menos rebaixamentos? Ou seja, a decisão de qual projeto seria mais adequado, deveria ser do usuário, que faria uma análise da relação de custos x benefícios. Ao gestor caberia a observação dos impactos das descargas de cada poço e o seu conjunto, de modo a preservar o aquífero para gerações futuras.

No segundo o item o autor expõe: "*isso contribui não apenas na profundidade do nível estático, como também na vazão, pois aumentando a coluna de recalque se necessita de maior vazão para transportar o mesmo volume de água*". É inegável que a concentração de poços interfere no rebaixamento, "aumentando a coluna de recalque se necessita de maior vazão para transportar o mesmo volume de água", se vai transportar o mesmo volume logo é a mesma vazão, e esse problema é solucionado com uma troca de bomba. Fica claro que o gestor, nas colocações aqui citadas, ao invés de se preocupar com o aquífero está com a atenção voltada para as colunas de recalque, que não é o seu mister.

No estudo foi elaborado um modelo numérico calibrado, validado e aceitável para os dados disponíveis. Ainda assim, foi realizado um cálculo analítico, sendo esse utilizado para estabelecer as restrições. O critério de profundidade como balizador no zoneamento de explotação dos aquíferos na Bacia do Jatobá precisa ser reavaliado, pois é inconsistente.

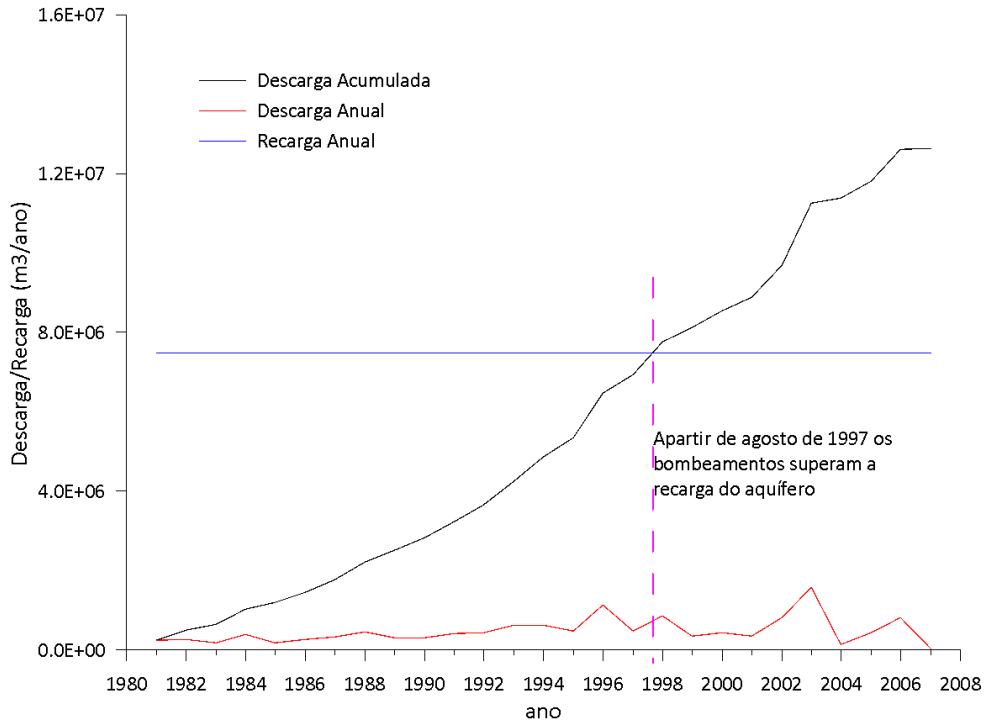
10.3.5 São José do Belmonte

Em 2006 foi realizado o estudo hidrogeológico da bacia sedimentar de São José do Belmonte, tendo como principal objetivo a implementação da gestão dos recursos hídricos subterrâneos. Costa, (2006) admitiu que a explotação está crescendo de forma desordenada, no entanto, não foi caracterizado nenhum déficit hídrico, afirmando:

‘’... o volume restituído artificialmente (por poços) equivale a apenas 31,45% da recarga anual do sistema aquífero, isto é, aparentemente, o balanço hidrogeológico é positivo o que permitiria, no futuro, explotar praticamente o mesmo número de poços que existe na atualidade”

Costa (2006) empregou o método balanço de cloretos, para determinar a infiltração, chegando-se a um valor de 10% da precipitação, isto é, 61,6 mm/ano. No item 2.6 foi determinada uma infiltração de 41,8 mm/ano, utilizando a metodologia de Aguiar (1940), comparando os dois valores, apesar de serem diferentes, são coerentes. Porém, como dito, o modelo numérico não calibra por excesso de água, sendo necessário utilizar a infiltração média anual de 11,42 mm. Apesar das limitações do modelo numérico o valor por ele determinado é mais representativo. Assim sendo, as conclusões do trabalho de Costa (2006) que, os bombeamentos representam apenas 31,45% não procede, na realidade a partir de 1997 as descargas superam a recarga, caracterizando regime de exaustão (Figura 68).

Figura 68 - Evolução da descarga e da recarga na BSSJB.



Fonte: A Autora (2022).

Como uma maneira de coibir esse crescimento de construção de poços, percebeu-se a necessidade de implantar o zoneamento de explotação, tal como ocorre na RMR e na Bacia do Jatobá como ferramenta de gestão.

Uma constatação do estudo hidrogeológico da BSSJB foram os rebaixamentos expressivos, a partir da informação de apenas doze poços, comparando as medidas

de nível estático no final da década de 80, com medidas de 1999. Na Tabela 20, é possível perceber o rebaixamento mínimo de 1,20 m e máximo de 21,93 metros.

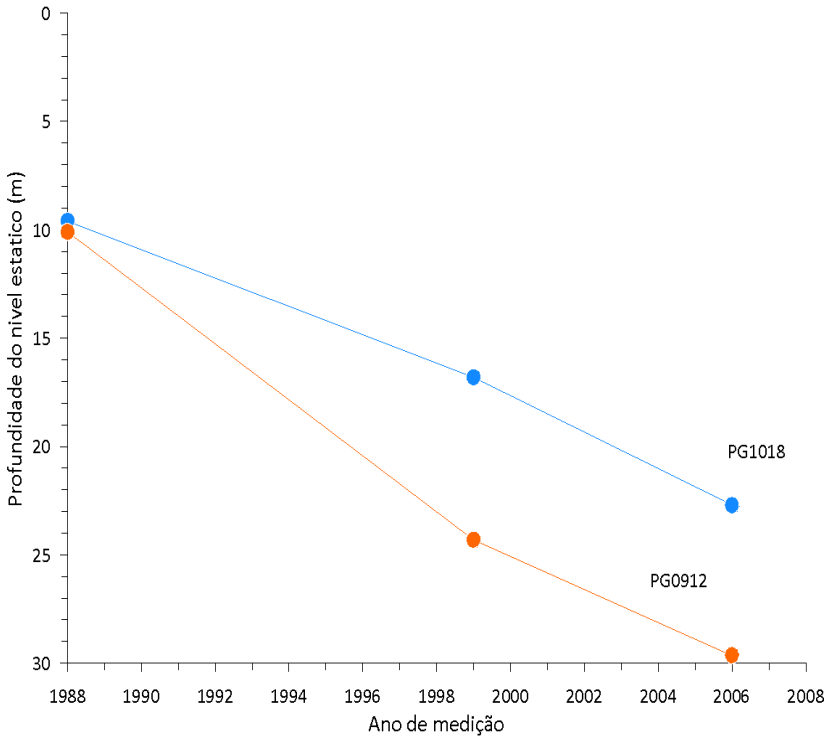
Tabela 21 -Variação dos níveis estáticos na BSSJB.

Poços	N° Cadastro Costa 2006	Localidade	Nível Estático (m)				Diferença de NE.
			Poço concluído	Data	Cadastro DNPM	Data	
PG1018	554	Escola Walmir B.	10,10	30/11/1988	24,30	28/03/1999	14,2
PG0736	237	Ipueira	12,14	12/10/1990	22,00	23/03/1999	9,86
PG1115	668	Sítio Caneta	4,31	18/03/1989	8,40	24/03/1999	4,09
PG0767	278	Faz. Jurema	0,53	15/01/1988	4,20	24/03/1999	3,67
PG0766	277	Faz. Jurema	4,10	10/05/1983	14,80	28/03/1999	10,70
PG1165	721	Sitio Gama	3,45	15/01/1993	25,38	02/04/1999	21,93
PG0674	175	Faz. Campos	11,6	30/11/1988	12,80	02/04/1999	1,20
PG0836	351	Malhada Grande	6,75	28/11/1987	14,40	31/03/1999	7,65
PG0912	441	Sitio Siqueira	9,59	26/11/1987	16,80	26/03/1999	7,21
PG1340	919	Faz. Viramão	3,98	27/03/1991	5,50	26/03/1999	1,52
PG1226	789	Lagoa Extrema	5,12	19/03/1988	7,00	20/03/1999	2,88
PG1092	636	Faz. Barreiras	3,51	26/04/1989	10,10	23/03/1999	6,59

Fonte: Modificado de Costa (2006).

Em seguida a essa análise, o autor compara a evolução do rebaixamento em dois poços, PG1018 e PG0912 (Figura 69), chegando à seguinte conclusão: "*Verifica-se o contínuo rebaixamento da superfície potenciométrica nesses dois poços, o que vem corroborar a ideia de que a bacia sedimentar se encontra com as suas reservas hídricas subterrâneas em depleção em função da intensa explotação".*

Figura 69 - Variação dos níveis estáticos nos poços PG1018 e PG0912 na BSSJB.

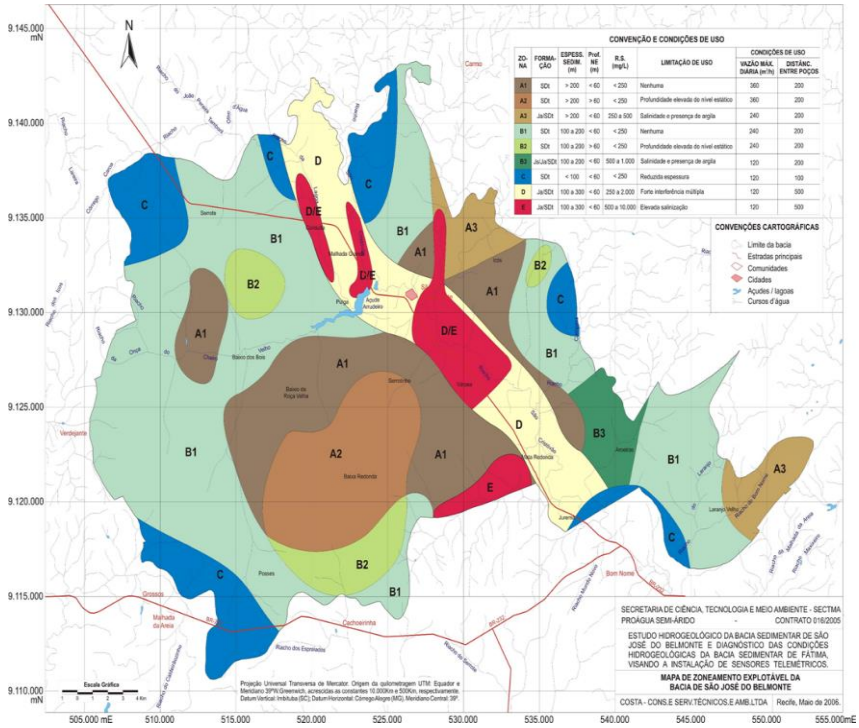


Fonte: Modificado de Costa (2006).

Os rebaixamentos observados ao longo desses dezenove anos, por si só, não configuram uma superexplotação. Essas variações de níveis foram determinantes para elaboração do zoneamento explotável. Além do mais as variações de níveis apresentadas na Tabela 20, não parecem indicar “rebaixamentos expressivos”, pois o maior valor observado foi de 21,93 m e uma média de 7,62 metros. Em apenas 12 poços dos 920 cadastrados.

Na Figura 71, observa-se que os limites do zoneamento são abruptos, além de trazer conflitos com usuários locais, por exemplo, dois usuários vizinhos, cujo limite de propriedade coincida com a divisão da zona A1 com zona D. Um deles poderia construir poços extraindo 360 m³/dia, enquanto o outro 120 m³/dia. Esses limites de zoneamento abruptos fariam sentido se o aquífero fosse compartimentado, isto é, em blocos sem comunicação entre eles. O aquífero é um meio poroso, contínuo, o que significa, que qualquer poço construído na bacia afeta todo o aquífero, em maior ou menor intensidade. Assim, uma ferramenta de gestão deve considerar o aquífero como um todo.

Figura 70 - Mapa de Zoneamento Explotável dos Aquíferos na BSSJB.



Fonte: Costa (2006).

10.4 GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA BSSJB

A gestão dos recursos hídricos subterrâneos na BSSJB, atualmente, é por meio das zonas de explotação, que, como demonstrado no item anterior, apresentam uma série de falhas, por exemplo, avaliar superexplotação somente com doze poços, não caracterizar o déficit hídrico, limites de explotação abruptos e com base apenas na profundidade de nível estático, sem considerar o aquífero como todo, ou seja, o zoneamento apresentado é uma forma bastante limitada de gerenciamento do aquífero. O desenvolvimento do modelo numérico de fluxo subterrâneo da BSSJB como ferramenta de gestão permite a compreensão hidráulica do aquífero como todo, considera os efeitos da recarga e exutório, heterogeneidade e ainda consegue-se avaliar a resposta do aquífero aos bombeamentos na sua totalidade. Assim, compreende-se que uma gestão de águas subterrâneas sem o uso do modelo numérico de fluxo é ineficiente.

Como demonstrado, em agosto de 1997 que as descargas superaram as recargas caracterizando que o aquífero se encontra em regime de exaustão, mantendo se o ritmo de explotação em quanto tempo secaria, assim a simulação de cenários futuros fica bastante limitada principalmente no tocante a gestão. As

simulações permitem estabelecer decisões importantes na gestão dos recursos hídricos subterrâneos afim garantir esse recurso para futuras gerações.

10.5 CENÁRIOS FUTUROS

Os modelos são importantes ferramentas auxiliares na tomada de decisões pelos gestores de um manancial hídrico subterrâneo. Uma vez calibrado e validado, os mesmos tornam possível a simulação de cenários, prevendo-se os impactos das diversas formas de utilização dos recursos hídricos subterrâneos.

Visando fornecer subsídios aos principais usuários das águas subterrâneas da Bacia São José do Belmonte, serão analisados a seguir 04 cenários do aquífero supracitado, com alcance de 100 anos, isto é, 1980 até o ano 2080. Nesses cenários não foram avaliados a evolução dos rebaixamentos, uma vez constatado o regime de exaustão, julgou-se mais importante análise do consumo da reserva do aquífero.

A reserva do aquífero inicial (1980) foi calculada utilizando área da célula (1000 x 1000) m, a diferença entre a base e a carga hidráulica inicial em cada célula pela porosidade efetiva. A reserva total inicial do aquífero Tacaratu é 2.9 x 10^9 m³.

$$R_0 = \sum_{i=1}^{c} \quad \sum_{j=1}^{l} \quad A_{i,j} * h0_{i,j} * Sy_{i,j}$$

Sendo:

c = número de colunas;

l = número de linhas;

A = área da célula;

h_0 = carga hidráulica inicial da célula;

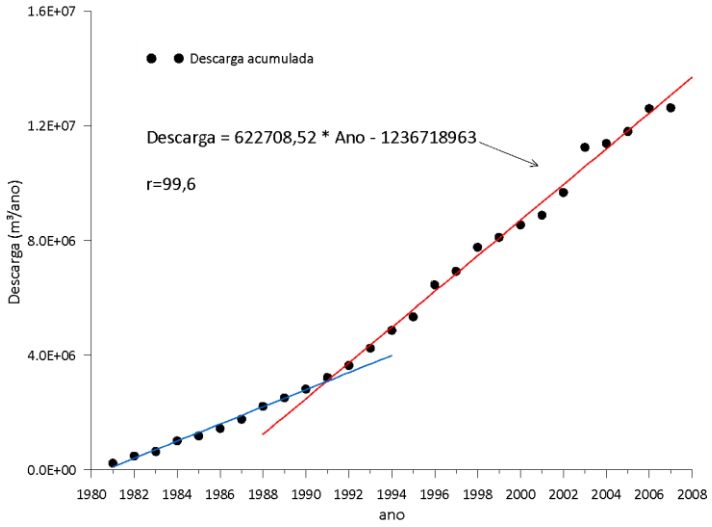
Sy = porosidade efetiva da célula.

As demais reservas foram determinadas pelo mesmo processo, mudando-se apenas o valor da carga hidráulica, isto é, utiliza-se as cargas calculadas de cada cenário, decorrentes dos bombeamentos. A reserva de pressão foi desconsiderada, uma vez que, o aquífero tem um comportamento hidráulico predominantemente livre.

Cenário 01:

Inicialmente, analisou-se a evolução do crescimento da descarga ao longo dos vinte sete anos, percebeu-se dois períodos de tendência de aumento, o primeiro de 1980 a 1991 e o segundo de 1991 a 2007, conforme a Figura 72.

Figura 71 - Evolução do crescimento das descargas no período de 1981 a 2007.



Fonte: A Autora (2022).

Admitindo-se que a partir de 2007 manteve-se a taxa de crescimento das descargas, foi necessário acrescer vinte e três poços, cada um bombeando 71,1 m³/h, aumentando-se um poço a cada ano, até 2030. A partir deste momento, foi considerado que não seriam construídos novos poços e que os poços existentes continuariam bombeando até 2080. Assim, avaliou-se o volume explotado de 2030 a 2080, conforme observado na Tabela 21:

Tabela 22- Reserva total e volume explotado para diferentes períodos – Cenário 01

Ano	Reserva (m^3)	Volume explotado* (m^3)	Volume explotado * (%)
2030	$2,60 \times 10^9$	300957000	10,37
2040	$2,36 \times 10^9$	545268000	18,78
2060	$2,00 \times 10^9$	906780000	31,23
2080	$1,66 \times 10^9$	1242714000	42,80

Fonte: A Autora (2022).

*Obs.: Em relação a reserva total inicial.

A Tabela 21 mostra o resultado obtido no cenário simulado, nota-se um aumento progressivo dos volumes explotados, isto é, daqui a cinquenta e oito anos quase metade do aquífero seria exaurido, vale salientar que esse cenário considera que não serão construídos novos poços a partir de 2030, admitindo que não haja nenhuma medida restritiva no tocante a construção de novos poços a partir de 2030, esse patamar de exaustão seria atingido antes de 2080. A partir do ajuste dos dados

da Tabela 22 foi possível se fazer uma projeção da exaustão do aquífero, conforme a Tabela 22.

Tabela 23 - Projeção do volume explotado em diferentes períodos – Cenário 01.

Ano	Volume explotado %
2090	49,78
2100	56,18
2110	62,57
2120	68,97
2130	75,36

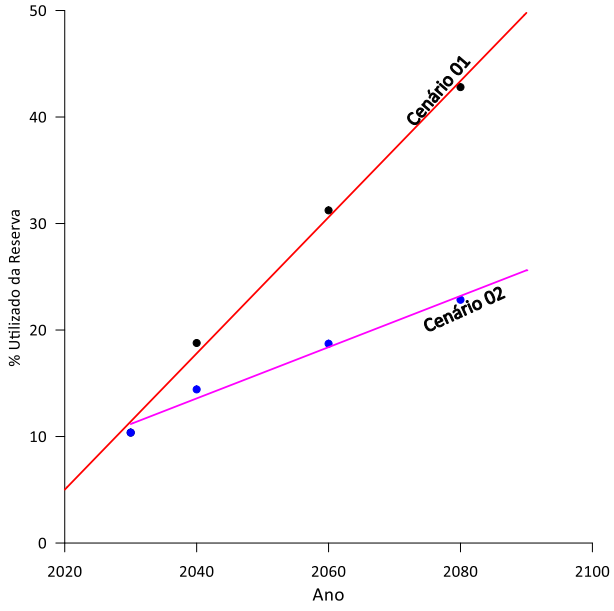
Fonte: A Autora (2022).

Nota -se que em 2130 o aquífero Tacaratu estaria praticamente exaurido, ou seja, precisa de um planejamento dos recursos hídricos subterrâneos efetivo para garantir esse recurso para futuras gerações.

Cenário 02:

Admitindo-se que as condições iniciais do Cenário 01 foram mantidas, a partir de 2030 não seriam construídos novos poços e que os poços existentes teriam suas vazões reduzidas à metade. Como esperado houve uma desaceleração da evolução do consumo da reserva (Figura 73).

Figura 72 **-** Evolução do consumo da reserva nos cenários 01 e 02.



Fonte: A Autora (2022).

A partir do resultado da simulação do cenário 02, a redução das vazões é uma medida bastante sensata, para a conservação da reserva do aquífero, como pode-se observar na Tabela 23. Essa redução das descargas não isenta a elaboração de um planejamento efetivo que busque minimizar ainda mais os impactos da superexplotação.

Tabela 24 - Projeção do volume explotado em diferentes períodos – Cenário 02.

Ano	Volume explotado %
2090	25,61
2100	28,01
2110	30,42
2120	32,82
2130	35,23

Fonte: A Autora (2022).

A Tabela 23, mostra uma redução bastante acentuada no consumo do volume explotado, comparando o ano de 2130 com o cenário anterior uma redução de quase 40% do volume. Apesar da redução do impacto a situação do aquífero ainda é crítica, apenas prorrogou para 2280, ou seja, 150 anos, a mesma realidade de 2130 do Cenário 01.

Cenário 03:

Mantendo as condições do Cenário 01, que nenhum poço seria perfurado a partir de 2030 e mantendo as descargas dos poços, porém considerando uma recarga de 22,84 mm/ano, ou seja, o dobro do que foi utilizado na calibração. O aumento da recarga é tecnicamente viável, e ocorre em vários países, por exemplo, Estados Unidos (SLOSS, et al ,1996; OCWD, 2002); Israel, Chipre, Holanda, Polonia (HESPANHOL,2003). O resultado foi uma discreta atenuação da evolução do consumo da reserva, conforme a Tabela 24.

Tabela 25 - Reserva total e volume explotado para diferentes períodos – Cenário 03

Ano	Reserva (Hm^3)	Volume explotado (Hm^3)	Volume explotado (%)
2030	$2,60 \times 10^9$	300957000	10,37
2040	$2,41 \times 10^9$	472587000	16,28
2060	$2,21 \times 10^9$	688086000	23,70
2080	$2,00 \times 10^9$	899178000	30,97

Fonte: A Autora (2022).

A partir do resultado da simulação do Cenário 03, foram feitas projeções até 2130, conforme a Tabela 25

Tabela 26 - Projeção do volume explotado em diferentes períodos – Cenário 03**.**

Ano	Volume explotado %
2090	35.40
2100	39.42
2110	43.44
2120	47.46
2130	51.47

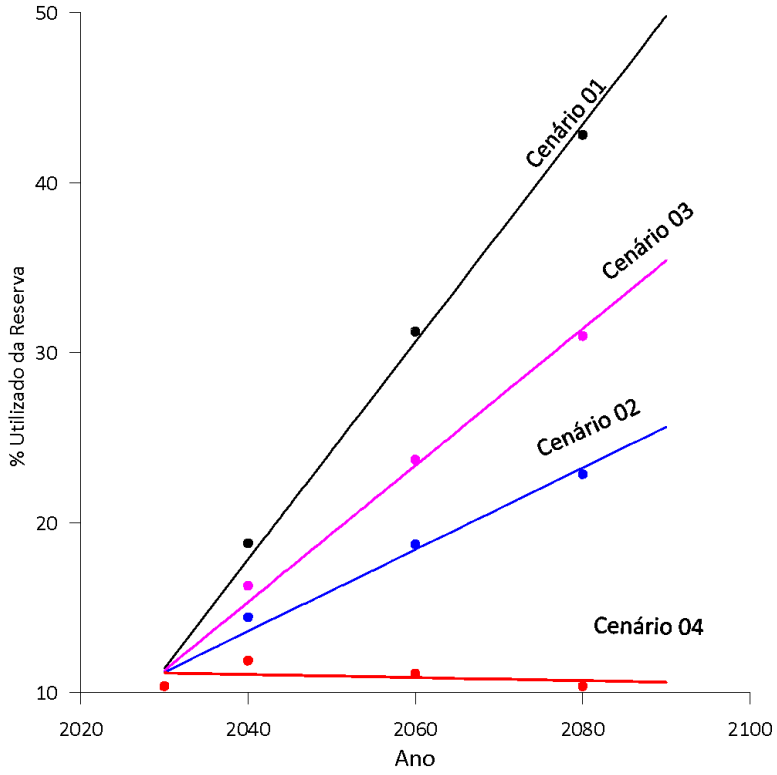
Fonte: A Autora (2022).

Apesar de minimizados os impactos da explotação na reserva total, o aquífero, permanece numa situação crítica, chegando praticamente a exaurir o aquífero em 2200.

Cenário 04

Semelhante ao Cenário 02, isto é, a partir de 2030 não seriam construídos novos poços e que os poços existentes teriam suas vazões reduzidas à metade, e admitindo o dobro da recarga. O resultado foi uma recuperação da evolução do volume consumido da reserva, como podemos observar na Figura 74.

Figura 73 - Evolução do consumo da reserva para diferentes cenários.

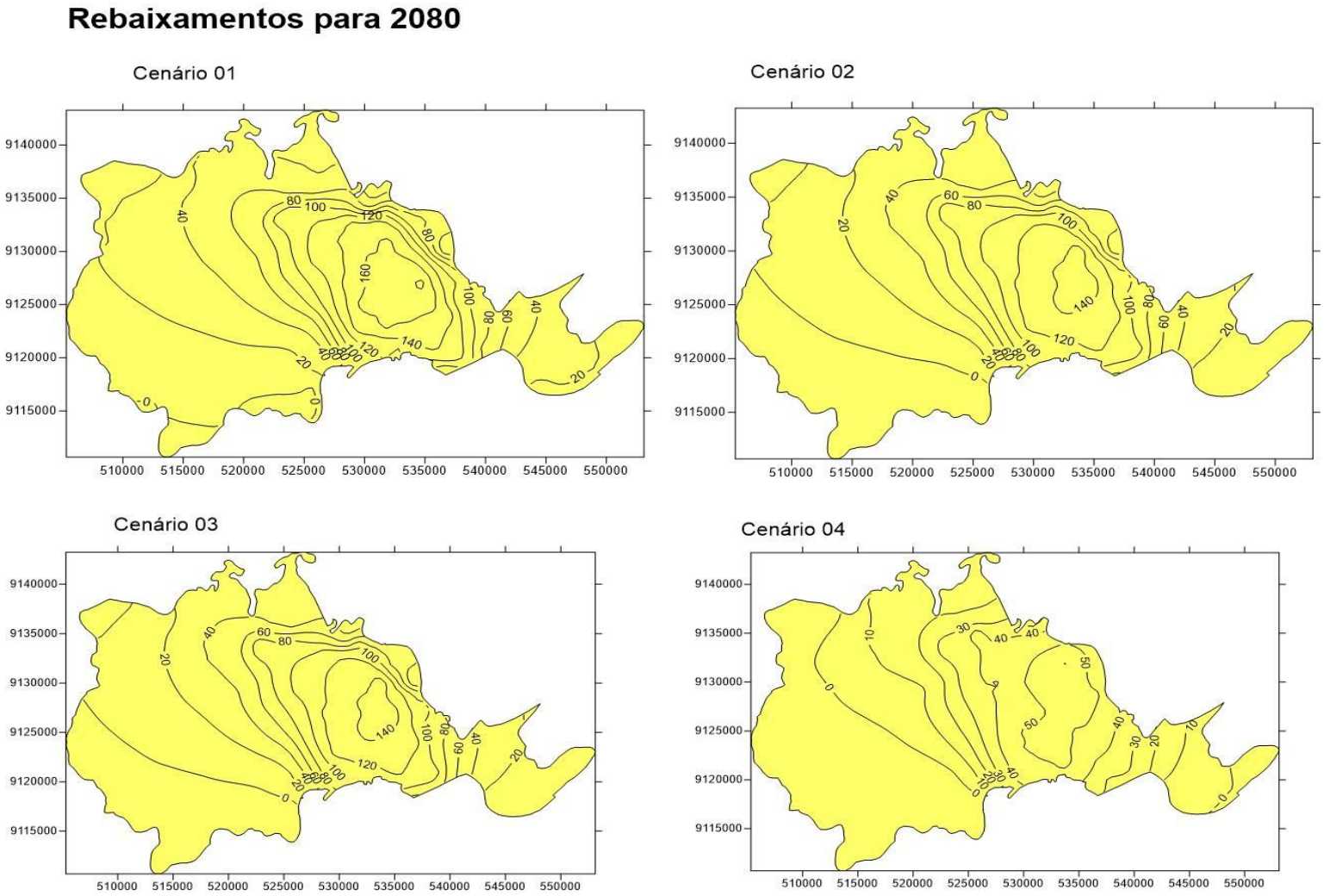


Fonte: A Autora (2022).

Dos cenários apresentados este é o único que consegue mesmo que lentamente recuperar a reserva original do aquífero ao longo do tempo, este cenário mostra que é possível aumentar um pouco as descargas, caso adote como limite uma reserva de até 30% do aquífero.

A título de curiosidade foram feitos os mapas de rebaixamento para o ano de 2080 apresentados na Figura 75. Os rebaixamentos do Cenário 01 mostram a severidade dos impactos dos bombeamentos chegando a valores acima de 170 m. o que contrasta fortemente com cenário 04 onde os rebaixamentos chegam pouco acima de 50 m

Figura 74 - Evolução dos rebaixamentos para 2080 em diferentes cenários.



Fonte: A Autora (2022).

11 CONCLUSÕES

A partir dos dados levantados e das análises realizadas chega-se as seguintes conclusões:

- A partir do cálculo do balanço hídrico definiu-se a infiltração de 41,8 mm /ano pelo método de Aguiar (1940) na Bacia Sedimentar de São José do Belmonte, porém só se conseguiu calibrar o modelo com a infiltração média de 11,48 mm/ano.

- A potenciometria na área BSJSB, revelou que é condicionada pela drenagem do Rio São Cristovão, assim, a direção de fluxo geral é aproximadamente NW/SE.

- Os parâmetros hidrodinâmicos determinados pelos 36 ensaios de bombeamento disponíveis revelaram que o aquífero Tacaratu tem um valor médio de transmissividade 6,04 x 10^{-4} m²/s e condutividade hidráulica de 2,51x10^{-6} m/s e armazenamento de 2,32 x 10^{-4} de posse dos perfis litológicos foi possível caracterizar o comportamento hidráulico do aquífero Tacaratu tem o caráter predominantemente livre.

- As sondagens elétricas disponíveis foram reavaliadas, estimando-se a profundidade do cristalino em 16 delas, chegando à profundidade de 350 m.

- O modelo ora apresentado é preliminar que deve ser aprimorado á luz de novas informações, principalmente a partir do monitoramento sistemático dos níveis de água e descarga dos poços. É de caráter regional, não sendo adequado para simulações de eventos localizados.

- A calibração do modelo foi feita reproduzindo a potenciometria original, antes dos bombeamentos, em regime de fluxo estacionário. A validação do modelo foi feita, em regime de fluxo transitório, buscando reproduzir a distribuição de cargas ao final de 2007.

- A calibração e validação do modelo mostraram que há uma reprodução satisfatória dos dados observados.

-- Controlar a construção dos novos poços, bem como, providenciar ações com os proprietários de poços existentes para educá-los para o uso racional da água.

- O zoneamento de explotação atual, como ferramenta de gestão, não contempla as complexidades do aquífero nem prevê os impactos da explotação, não limita a quantidade de poços, restringe apenas o valor da descarga de acordo com as zonas.

12 RECOMENDAÇÕES

As recomendações abaixo é para atualizar e refinar o modelo numérico de fluxo para torná-lo ainda mais representativo, estabelecidos a seguir:

- Elaboração de um cadastro de poços rigoroso

- Medição de vazão instantânea, ou teste de produção quando possível.

- Testes de aquífero, distribuídos espacialmente de forma conveniente, a fim de se obter uma amostragem representativa dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero;

- Seleção de alguns poços para perfilagem geofísica ao longo da BSSJB.

- É indispensável o monitoramento constante dos níveis de água nos poços, das descargas bombeadas. Esse monitoramento é a ferramenta vital para fornecer dados para se aprimorar o modelo ora proposto, sem essas informações os modelos não passaram da face preliminar. Para o acompanhamento dos níveis, o ideal seria uma rede de monitoramento independente, sem usar os poços de bombeamento. Poderia ser usados poços que foram desativados ou construir poços específicos para essa finalidade.

- Instalação de hidrômetros e acompanhamento das descargas mensalmente.

- Obrigatoriedade aos usuários o cadastro de novos poços e instalação de hidrômetros

- Execução de perfis eletrorresistividades para rastrear estruturas da BSSJB.

- Execução de sondagens elétricas orientadas de forma que atinja o embasamento.

- Capacitação da equipe técnica.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, MARY P.; WOESSNER, WILLIAM W. The role of the postaudit in model validation. Advances in Water Resources, v. 15, n. 3, p. 167-173, 1992.

ANDERSON, MARY P.; WOESSNER, WILLIAM W.; HUNT, RANDALL J. Applied groundwater modeling: simulation of flow and advective transport. Academic press, 2015.

AGUIAR, F. de. Estudo hidrológico do Nordeste brasileiro. Boletim IFOCS, Rio de Janeiro, v. 13, n. 1, 1940.

ASSINE, M. L. 2007. Bacia do Araripe. Boletim de Geociências da Petrobras. Rio de Janeiro, 15 (2), 371-389.

ASTM International, 2008. Standard guide for developing and evaluating groundwater modeling codes, D6025e08. American Society of Testing and Materials, Book of Standards 04 (09), 17 p.

BARRETO, P. M. C. O Paleozóico da Bacia do Jatobá. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, 1968, v. 17, n. 1, p. 29-45, il.

BEAR, J., CHENG, A.H.-D., 2010. Modeling Groundwater Flow and Contaminant Transport. In: Theory and Applications of Transport in Porous Media, vol. 23. Springer, 834 p.

BELTRÃO, B. A.; MASCARENHAS; J. DE C.; DE MIRANDA. J. L. F.; DE SOUZA L. C. J.; GALVÃO, MANUEL J. DA T. G.; PEREIRA, S. N. Diagnostico município São José do Belmonte, CPRM 2005.

BLAKELY R.J. 1996. Potential theory in gravity & magnetic applications. Cambridge, Cambridge University Press. 441p.

BRASIL, CONAMA. Resolução. 357, de 17 de março de 2005. Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA, v. 357, 2005.
BERTONI, J. C., TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M (Org.). Hidrologia: Ciência e Aplicação. 3ª Edição. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2002, 943p.

BOONSTRA, J.; DE RIDDER, Nicolaas A. Numerical modelling of groundwater basins: a user-oriented manual. ILRI, 1981.

BOWMER, K. Agriculture for the Australian environment—learning from existing practice. Reflections on developing a water sharing plan. Agriculture for the Australian environment, p. 201-222, 2003.

BOWMER, K. Look after the land and the rivers: reflections on water sharing. Keynote paper28th international hydrology and water resources symposium. The Institution of Engineers, Wollongong ,2003.

BRITO NEVES, B. B.; SANTOS, E. J.; VAN SCHMUS, W. R., 2000. Tectonic History of the Borborema Province. In: Umberto Cordani; Edson José Milani; Antonio Thomaz Filho; Diógenes de Almeida Campos. (Org.). Tectonic Evolution of South America. Rio de Janeiro: 31st International Geological Congress, 151-182 p.

BREDEHOEFT, J., 2005. The conceptualization model problemdsurprise. Hydrogeology Journal 13 (1),37e46. http://dx.doi.org/10.1007/s10040-004-0430-5.

BREKKE LD, MILLER NL, BASHFORD KE, QUINN NWT, DRACUP JA (2004) Climate change impacts uncertainty for water resources in the San Joaquin River Basin California. J Am Water Resour Assoc 40(1):149–164.

CABRAL, J. J. S. P.; DEMETRIO, J. G. A. Aplicação de modelos Hidrogeologia. Hidrogeologia: Conceitos e aplicações, Fortaleza CPRM, LABHID-UFPE, p. 367-389, 1997.

CHANG, H.K.; MIRANDA, F.P.; MAGALHÃES, L.; ALKMIM, F.F., 1988. Considerações sobre a evolução tectônica da Bacia do São Francisco. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 35, Belém, 2076–2090.

CAMPOS NETO, M. C., BITTAR, S. M. B., BRITO NEVES, B. B. 1994. Domínio tectônico Rio Pajeú - Província Borborema: orogêneses superpostas no ciclo Brasiliano/Panafricano. XXXVIII Congresso Brasileiro De Geologia, Balneário Camboriú. 3, 221-222.

CARVALHO, I. S., 1993. Os conchostráceos fósseis das bacias interiores do Nordeste do Brasil. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 319p.

COLLINS, M.A., GELHAR, L.W., 1971. Seawater intrusion in layered aquifers. Water Resources Research 7 (4), 971e979. http://dx.doi.org/10.1029/WR007i004p00971.

CORREIA, L. C. Aspectos hidrogeológicos da bacia sedimentar do Rio do Peixe. 2010. Dissertação (Mestrado).

COOPER JR, H. H.; JACOB, CHARLES EDWARD. A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well-field history. Eos, Transactions American Geophysical Union, v. 27, n. 4, p. 526-534, 1946.

COSTA, W.D., FALCÃO, E.DE L., SILVA,E.C.C. – 1999 – Projeto Avaliação Hidrogeológica da Bacia Sedimentar de São José do Belmonte – PE. Para o DNPM através da COSTA Consultoria e Serviços Técnicos e Ambientais Ltda

COSTA, W.D., - 2006 - Estudo Hidrogeológico da Bacia Sedimentar de São José do Belmonte e Diagnóstico das Condições Hidrogeológicas da Bacia Sedimentar de Fátima, visando a instalação de sensores telemétricos. Para o SECTMA através da COSTA Consultoria e Serviços Técnicos e Ambientais Ltda.

COSTA, I. P.; BUENO, G.V.; MILHOMEM, P.S.; ROCHA LIMA, H.S.; DietzschKosin, M. Sub-Bacia de Tucano Norte e Bacia do Jatobá. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro - V. 15, n.2,.445-453p, maio/nov. 2007.

CPRM/ UFPE - Hidrogeologia da Bacia Sedimentar do Jatobá: Sistema Aquífero Tacaratu/Inajá, Meta C, 2007.

CPRM, 2010- Relatório final do levantamento e Processamento dos dados Magnetométricos e Gamaespectrométricos.

CRUZ, W.B.; MELO, F.A.C.F. Estudos geoquímicos preliminares das águas subterrâneas do Nordeste do Brasil. Brasil, SUDENE, 1974. 128 p. il. Série Hidrogeologia 19

DA CUNHA REBOUÇAS, A. (1978). Aspectos técnicos e financeiros da exploração do aquífero Botucatu no Brasil. Boletim IG, 9, 213-228.

CUSTODIO, EMILIO. Aquifer overexploitation: what does it mean? Hydrogeology journal, v. 10, n. 2, p. 254-277, 2002.

CUSTODIO, EMILIO; LLAMAS, Manuel Ramón. Hidrología Subterránea. 2a. Edición, Ediciones Omega, SA, Barcelona, 1983.

DEMETRIO, J.G.A., Modelo Numérico em Diferenças Finitas do Aqüífero Cabeças no Vale do Rio Gurguéia - PI, 1990.

DEMETRIO, J.G.A., CORREIA, L.C E SARAIVA, A.L. Utilização de Imagens STRM na Confecção de Mapas Potenciométricos, Anais do XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Curitiba, 2006.

DINIZ, HÉLIO NÓBILE; MICHALUATE, Walter Jorge. Interpretação de testes de vazão em poços tubulares profundos-dimensionamento e especificações de bombas submersas. Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Estado do Meio Ambiente, Coordenadoria de Informações Técnicas, Documentação e Pesquisa Ambiental, Instituto Geológico, 2002.

DRISCOLL, F. G., Groundwater and Wells, segunda edição, Johnson Division, St. Paul, Minnesota, 1987.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo, v. 2, 2006.

EUROPEAN ACADEMY'S SCIENCE ADVISORY COUNCIL (2010) Groundwater in the southern member states of the European Union, and an assessment of current knowledge and future prospects, German National Academy of Sciences. EASAC Secretariat, Halle.

FEITOSA, E.C., 1990. Arenito Tacaratú em Bom Nome /PE: Estudo Geofísico por Eletroresistividade - Relatório Conclusivo. ATEPE/CISAGRO, Recife.

FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. GROUNDWATER. Englewood Cliffs : Prentice Hall, 1979. 604 p.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. Groundwater pollution risk evaluation: the methodology using available data. Lima: CEPIS/PAHO/WHO, 1988.

GEOSCIENCE AUSTRALIA Assessing the need to revise the guidelines for groundwater protection in Australia: a review report. Geoscience Australia, Canberra. (2010)

GETCHES, D. Water law in a nutshell, 4th edn. West Publishing, St Paul. (2008) Gomes, H. A., 2001. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Serra Talhada. Folha SB.24-Z-C. Estados de Pernambuco, Paraíba e Ceará. Escala 1:250.000.

HERING, D. The European water framework directive at the age of 10: a critical review of the achievements with recommendations for the future. Sci Total Environ 408(19):4007–4019(2010).

Hirata, R., Fernandes, A. J., Vulnerabilidade à Poluição de Aquíferos, In, FEITOSA, F.A.C., et. al. (Org). Hidrogeologia Conceitos e Aplicações, Rio de Janeiro, CPRM, 2008, p. 405-424.

IRITANI, MARA AKIE. Modelação matemática tridimensional para a proteção das captações de água subterrânea. 1998. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

KASHAIGILI JJ, MASHAURI DA, Abdo G. Groundwater management by using mathematical modeling: case of the Makutupora groundwater basin in dodoma Tanzania. Botsw J Technol 2003;12(1):19–24.

LEAL E SÁ, L.T., NETO, A.F., SOBRINHO, O.P., Avaliação preliminar das condições explotabilidade do Aquífero Tacaratu na Bacia Sedimentar de São José do Belmonte-PE, como uma ferramenta para gestão dos recursos hídricos subterrâneos. XII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços / IV Simpósio de Hidrogeologia do Nordeste. Recife. 165-174. 2001.

LEITE, J. F.; PIRES S. DE T. M.; ROCHA, D. E. G. A. Estudo hidrogeológico da Bacia do Jatobá-PE. Série Hidrogeologia, Estudos e Projetos, v. 7, p. 55, 2001.

LEIVAS, JANICE F.; BERLATO, MOACIR A.; FONTANA, DENISE C. Risco de deficiência hídrica decendial na metade sul do Estado do Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 10, n. 2, p. 397-407, 2006.

LESHY JD. The federal role in managing the nation’s groundwater. Hastings West-Northwest J Environ Law Policy 14:1323. (2008b).

LIEFFERINK D.The EU water framework directive: a multi-dimensional analysis of implementation and domestic impact. Land Use Policy 28:712–72. (2011).

LOGAN, J., 1965. Interpretação de Análises Químicas da Água. US. Agency for International Development. Recife.eves, S.P., 2003. Proterozoic history of the Borborema Province (NE Brazil): correlations with neighboring cratons and Pan-African belts, and implications forthe evolution of western Gondwana. Tectonics 22, 1031p.

LUCY, J. Water regulation: the laws of Australia. Thomson Reuters Australia Ltd, Sydney. (2008)

MCDONALD, M.G. & A.W. HARBAUGH, 1988. A modular Three-Dimensional Finite-Difference Ground Water Flow Model, Techniques of Water–Resources Investigations of the United State Geological Survey, Book6, Chapter A1, USGS Open-File Report 83-875.

MANOEL FILHO, JOÃO. Modelo de dimensão fractal para avaliação de parâmetros hidráulicos em meio fissural. 1996. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MATOS, R.M.D. 1992. The Northeast Brazilian Rift System. Tectonics, 11(4): 766-791.

MILLER H.G., SINGH V. 1994. Potential field tilt – a new concept for location of potential field sources. Journal of Applied Geophysics, 32: 213-217.

MILLIGAN P.R., Gunn P.J. 1997. Enhancement and presentation of airborne geophysical data. AGSO Journal pf Australian Geology & Geophysics, 17(2): 62-75.

NABIGHIAN N.M. 1972. The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross section: its properties and use for automated anomaly interpretation, Geophysics, 37: 507–517.

NABIGHIAN N.M.1974. Additional comments on the analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross section. Geophysics, 39: 85-92.

NABIGHIAN, MISAC N. et al. The historical development of the magnetic method in exploration. Geophysics, v. 70, n. 6, p. 33ND-61ND, 2005.

NATIONAL WATER Commission (NWC) Groundwater position statement. NWC, Canberra. (2008)

NATIONAL WATER COMMISSION (NWC) National water planning report card Australian,Government, Canberra. (2011).

NEVES, S.P., Proterozoic history of the Borborema Province (NE Brazil): correlations with neighboring cratons and Pan-African belts, and implications forthe evolution of western Gondwana. Tectonics 22, 1031. 2003

NEVES, S.P., Constraints from zircon geochronology on the tectonic evolution of the Borborema Province (NE Brazil): Widespread intracontinental Neoproterozoic reworking of a Paleoproterozoic accretionary orogen. Journal of South American Earth Sciences 58, 150-164p. 2015

OLIVEIRA, L.F.C.; FIOREZE, A.P.; MEDEIROS, A.M.M.; SILVA, M.A.S. S. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual. Rev. Bras. Eng. Agríc. e Ambient, v. 14, n. 11, p. 1186-1192, 2010.

PALMA HC, BENTLEY LR. A regional-scale groundwater flowmodel for the Leon–Chinandega aquifer, Nicaragua. Hydrogeol J 2007; 15:1457–72.

PEEL, M.C., FINLAYSON, B.L., MCMAHON, T.A.,. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification.Hydrology and Earth System Sciences 11, 1633-1644p. 2007

PONTE, F.C. & APPI, C.J. 1990. Proposta de revisão da coluna litoestratigráfica da Bacia do Araripe. XXXVI Congresso Brasileiro de Geologia, Natal, 1, 211-226.

Portaria, M. S. Nº 2914. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Coordenaçao-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental, 2011.

REID, AB B. Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution. Geophysics, v. 55, n. 1, p. 80-91, 1990.

RICHTER, B.D. Re-thinking environmental flows: from allocations and reserves to sustainability boundaries. River Res Appl 26(8):1052–1063. (2010)

ROCHA, D. E. G. A. da; Leite, J. F. Estudo Hidrogeológico da Bacia do Jatobá - Geologia. Recife. CPRM, 1999.

Roest W.R., Verhoef J., Pilkington M. 1992. Magnetic interpretation using 3-D analytic signal. Geophysics, 57: 116-125

SANTOS E.J., FERREIRA C.A. & Silva Junior J.M.F. 2002. Geologia e Recursos Minerais do Estado da Paraíba. Escala 1:500.000. Recife: CPRM, 142 p.

SANTOS, E. J. Síntese da geologia do pré-Cambriano da Folha Arcoverde - Nordeste do Brasil. Recife, SUDENE, 33p. 1971

SEN, Z., Wadi Hydrology. Taylor and Francis Group, CRC Press, Boca Raton, 347 pp. 2008.

SEN, Z., Al-Sefry, S.A., Al-Ghamdi, S.A., Ashi, W.A.,Bardi, W.A., 2013. Strategic groundwater resources planning in arid regions. Arab. J. Geosci. 8 (6), 4363e4375.

SIAL, A. N. 1986. Granite types in Northeastern Brazil: current knowledge. Revista Brasileira de Geociências, 16, 54-72.

SILVA, V. B. Diagnóstico da desertificação no município de Ibimirim - PE. Recife. Dissertação Universidade Federal de Pernambuco. CFCH. Gestão e Políticas Ambientais, 2006.

SKIBITZKE, H.E., Electronic computers as an aid to the analysis of hydrologic problems. International Association of Scientific Hydrology, Publ. 52 347e358. Comm. Subterranean Waters, Gentbrugge, Belgium1961.

STAUDT, M.; Esteban-parra, m. J.; castro-díez. Y. Homogenization of long-term monthly Spanish temperature data. International Journal of Climatology. v. 27, p. 1809–1823. DOI: 10.1002/joc.1493. 2007.

TELFORD W.M., GELDART L.P., SHERIFF R.E. Magnetic methods. In: Telford W.M., Geldart L.P., Sheriff R.E. (ed.) Applied geophysics. Cambridge, Cambridge University Press, 62-135.1990.

THEIS, CHARLES V. The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using ground-water storage. Eos, Transactions American Geophysical Union, v. 16, n. 2, p. 519-524, 1935.

THOMPSON, D. T. EULDPH: A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data. Geophysics, v. 47, n. 1, p. 31-37, 1982.

TUCCI, CARLOS EM. Impactos da variabilidade climática e uso do solo sobre os recursos hídricos. Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas–Câmara Temática de Recursos Hídricos, Brasília, p. 150, 2002.

VAN SCHMUS, W. R.; KOZUCH, M., BRITO NEVES, B. B., Precambrian history of the Zona Transversal of the Borborema Province, NE Brazil:Insights from Sm/Nd and U/Pb geochronology. Journal of South American Earth Sciences, 31, 227-252p. 2011.

VEIGA JÚNIOR J. P., FERREIRA C. A. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: Carta geológica, Carta metalogenética/previsional escala 1:100.000. Folha Afogados da Ingazeira. Estados de Pernambuco e Paraíba. Brasília: DNPM/ca, 121p. 1990.

VERDUZCO B., FAIRHEAD J.D., GREEN C.M., MACKENZIE C. New insights into magnetic derivatives for structural mapping. The Leading Edge, 23(2), 116-119. 2004.

WAGENER, THORSTEN; KOLLAT, JOSHUA. Numerical and visual evaluation of hydrological and environmental models using the Monte Carlo analysis toolbox. Environmental Modelling & Software, v. 22, n. 7, p. 1021-1033, 2007.

WANG, H.F., ANDERSON, M.P., Introduction to Groundwater Modeling: Finite Difference and Finite Element Methods. Academic Press, San Diego, CA, 237 p. 1982.

ZETLAND D. Water markets in Europe. Water Resour Impact 13(5):15–18. (2011).

ANEXO A - FICHA DE CAMPO DOS ENSAIOS DE BOMBEAMENTO – (Costa, 2006)

DADOS DO ENSAIO DE BOMBEAMENTO

NºCadastro: PG0002 **Local**: Baixa da Sipauba **Profundidade**: 96,00 m
Nível Estático: 56,51 m **Vazão**: 0,45 m³/h **Duração do teste**: 1440 min.
Nível Dinâmico:72,13 m **Vazão Específica**: 0,39 (m³/h)/m **Data do teste**: 09/08/88

REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO			
t(min)	N.D.(m)	s(m)	Q(m³/h)	Q(m³/h)/m/s	t(min)	N.D.(m)	s(m)	$t_b/t'+1$(min)
1	60,755	4,240	2,73	0,644	1	71,789	15,274	1441
2	66,807	10,292	1,80	0,175	2	70,905	14,390	721
3	68,765	12,250	1,34	0,100	3	70,432	13,917	481
4	70,102	13,587	0,90	0,066	4	69,905	13,390	361
5	70,810	14,295	0,77	0,054	5	69,424	12,909	289
8	71,431	14,916	0,66	0,044	8	68,909	12,394	181
10	71,435	14,920	0,60	0,040	10	68,178	11,663	145
15	71,438	14,923	0,60	0,040	15	67,634	11,119	97,0
20	71,438	14,923	0,60	0,040	20	66,871	10,356	73,0
25	71,467	14,952	0,54	0,036	25	66,290	9,775	58,0
30	71,467	14,952	0,54	0,036	30	65,310	8,795	49,0
40	71,467	14,952	0,54	0,036	40	63,808	7,293	37,0
50	71,484	14,968	0,48	0,032	50	62,672	6,157	29,0
60	71,486	14,971	0,48	0,032	60	61,925	5,410	25,0
70	71,495	14,980	0,48	0,032	70	61,270	4,755	21,0
80	71,495	14,980	0,48	0,032	80	61,045	4,530	19,0
100	71,495	14,980	0,48	0,032	100	60,585	4,070	15,0
120	71,510	14,995	0,48	0,032	120	60,332	3,817	13,0
150	71,510	14,995	0,48	0,032	150	60,072	3,557	10,0
180	71,510	14,995	0,48	0,032	180	59,906	3,391	9,0
240	71,510	14,995	0,48	0,032	240	59,775	3,260	7,0
300	71,510	14,995	0,48	0,032	300	59,654	3,139	6,0
360	71,510	14,995	0,48	0,032	360	59,533	3,018	5,0
420	71,510	14,995	0,45	0,030	420	59,484	2,969	4,4
480	71,510	14,995	0,45	0,030	480	59,436	2,921	4,0
540	71,514	14,999	0,45	0,030	540	59,376	2,861	3,6
600	71,517	15,002	0,45	0,030	600	59,330	2,815	3,4
720	71,574	15,059	0,45	0,030	720	59,289	2,774	3,0
840	71,837	15,322	0,45	0,030				
960	71,954	15,439	0,45	0,030				
1080	72,022	15,507	0,45	0,030				
1200	72,028	15,513	0,45	0,030				
1320	72,078	15,563	0,45	0,030				
1440	72,127	15,612	0,45	0,030				

ANEXO A - FICHA DE CAMPO DOS ENSAIOS DE BOMBEAMENTO – (Costa, 2006)

DADOS DO ENSAIO DE BOMBEAMENTO								
NºCadastro: 15			**Local**: Fazenda Arroz			**Profundidade**: 50,00 m		
Nível Estático: 12,08 m			**Vazão**: 0,26 m^3/h			**Duração do teste**: 600 min.		
Nível Dinâmico:19,45 m			**Vazão Específica**:0,03 (m^3/h)/m			**Data do teste**: 28/01/88		
REBAIXAMENTO					**RECUPERAÇÃO**			
t(min)	**N.D.(m)**	**s(m)**	**Q(m^3/h)**	**Q(m^3/h)/m/s**	**t(min)**	**N.D.(m)**	**s(m)**	**$t_b/t'+1$(min)**
1	15,07	2,990	5,28	1,765	1	18,883	6,803	721
2	16,535	4,455	3,17	0,711	2	18,755	6,675	361
3	16,930	4,850	3,26	0,466	3	18,648	6,568	211
4	18,050	5,970	1,32	0,221	4	18,584	6,504	181
5	18,552	6,472	0,72	0,111	5	18,562	6,482	145
8	19,124	7,044	0,64	0,090	8	17,900	5,820	91,0
10	19,264	7,184	0,41	0,056	10	17,334	5,664	73,0
15	19,332	7,242	0,35	0,048	15	17,231	5,151	49,0
20	19,324	7,244	0,35	0,048	20	16,860	4,780	37,0
25	19,326	7,246	0,35	0,048	25	16,795	4,715	29,0
30	19,328	7,248	0,35	0,048	30	16,700	4,620	25,0
40	19,330	7,250	0,35	0,048	40	16,644	4,564	19,0
50	19,332	7,252	0,35	0,048	50	16,482	4,402	15,0
60	19,334	7,254	0,35	0,048	60	16,202	4,122	13,0
70	19,340	7,260	0,35	0,047	70	16,035	2,955	10,0
80	19,342	7,262	0,35	0,047	80	16,632	2,552	8,0
100	19,334	7,264	0,35	0,047	100	16,042	1,962	7,0
120	19,350	7,270	0,35	0,047				
150	19,362	7,272	0,35	0,047				
180	19,368	7,288	0,33	0,045				
240	19,376	7,296	0,29	0,040				
300	19,392	7,315	0,29	0,040				
360	19,412	7,332	0,26	0,035				
420	19,446	7,356	0,26	0,035				
480	19,448	7,368	0,26	0,035				
540	19,452	7,372	0,26	0,035				
600	19,454	7,374	0,26	0,035				

ANEXO A - FICHA DE CAMPO DOS ENSAIOS DE BOMBEAMENTO – (Costa, 2006)

DOS DO ENSAIO DE BOMBEAMENTO								
NºCadastro: PG0045		**Local**: Faz. Baixa Funda			**Profundidade**: 104,00 m			
Nível Estático: 22,77 m		**Vazão**: 2,33 m^3/h			**Duração do teste**: 720 min.			
Nível Dinâmico:30,16 m		**Vazão Específica**: 0,32 (m^3/h)/m			**Data do teste**: 08/06/94			
REBAIXAMENTO					**RECUPERAÇÃO**			
t(min)	**N.D.(m)**	**s(m)**	**Q(m^3/h)**	**Q(m^3/h)/m/s**	**t(min)**	**N.D.(m)**	**s(m)**	**t_b/t'+1(min)**
1	23,030	0,260	13,20	50,769	1	27,430	4,660	721
2	26,330	3,560	4,40	1,235	2	25,550	2,780	361
3	27,250	4,480	3,44	0,768	3	24,530	1,760	241
4	28,700	5,930	3,44	0,580	4	24,000	1,230	181
5	28,810	6,040	3,44	0,570	5	23,612	0,842	145
8	29,000	6,230	3,30	0,529	8	23,190	0,420	91,0
10	29,030	6,260	3,30	0,527	10	23,100	0,330	72,0
15	29,120	6,350	3,30	0,519	15	23,022	0,252	49,0
20	29,212	6,442	3,30	0,512	20	23,020	0,250	37,0
25	29,300	6,530	3,30	0,505	25	22,960	0,190	29,0
30	29,350	6,580	3,17	0,481	30	22,958	0,188	25,0
40	29,410	6,640	3,17	0,477	40	22,932	0,162	19,0
50	29,520	6,750	3,17	0,469	50	22,930	0,160	15,4
60	29,530	6,760	3,17	0,468	60	22,900	0,130	13,0
70	29,540	6,770	3,17	0,467	70	22,890	0,128	11,0
80	29,542	6,772	3,17	0,467	80	22,896	0,126	10,0
100	29,544	6,774	3,17	0,467	100	22,880	0,110	8,2
120	29,620	6,850	3,17	0,462	120	22,870	0,100	7,0
150	29,622	6,852	3,17	0,462	150			
180	29,970	7,200	3,17	0,440	180			
240	29,972	7,202	3,17	0,439	240			
300	30,250	7,380	2,83	0,383	300			
360	30,152	7,382	2,33	0,315	360			
420	30,154	7,384	2,33	0,315	420			
480	30,156	7,386	2,33	0,315	480			
540	30,158	7,388	2,33	0,315	540			
600	30,160	7,390	2,33	0,315	600			
720	30,162	7,392	2,33	0,315	720			
1440								

ANEXO A - FICHA DE CAMPO DOS ENSAIOS DE BOMBEAMENTO – (Costa, 2006)

DADOS DO ENSAIO DE BOMBEAMENTO								
NºCadastro: PG1092		**Local**: Faz. Barreiros			**Profundidade**: 84,00 m			
Nível Estático: 3,51 m		**Vazão**: 3,27 m³/h			**Duração do teste**: 1440 min.			
Nível Dinâmico:10,62 m		**Vazão Específica**: 0,46 (m³/h)/m			**Data do teste**: 16/05/89			
REBAIXAMENTO					**RECUPERAÇÃO**			
t(min)	**N.D.(m)**	**s(m)**	**Q(m³/h)**	**Q(m³/h)/m/s**	**t(min)**	**N.D.(m)**	**s(m)**	**$t_b/t'+1$(min)**
1	5,000	1,490	4,500	3,020	1	8,850	5,340	1.441
2	5,110	1,600	4,235	2,647	2	8,085	4,575	721
3	5,737	2,227	4,000	1,796	3	7,585	4,075	481
4	7,113	3,603	3,789	1,186	4	7,215	3,705	361
5	7,445	3,935	3,789	0,963	5	6,905	3,395	289
8	8,260	4,750	3,600	0,758	8	6,520	3,010	181
10	8,490	4,980	3,428	0,688	10	5,950	2,440	145
15	8,620	5,110	3,428	0,671	15	5,800	2,290	97,0
20	8,878	5,368	3,428	0,639	20	5,632	2,122	73,0
25	8,988	5,478	3,428	0,626	25	5,520	2,010	58,6
30	9,086	5,576	3,428	0,615	30	5,413	1,903	49,0
40	9,134	5,624	3,428	0,610	40	5,310	1,800	37,0
50	9,228	5,718	3,428	0,600	50	5,201	1,691	29,8
60	9,320	5,810	3,428	0,590	60	5,099	1,589	25,0
70	9,335	5,825	3,428	0,588	70	5,001	1,491	21,5
80	9,385	5,875	3,428	0,583	80	4,902	1,392	19,0
100	9,460	5,950	3,428	0,550	100	4,803	1,293	15,0
120	9,541	6,031	3,272	0,543	120	4,697	1,187	13,0
150	9,647	6,137	3,272	0,533	150	4,594	1,084	10,6
180	9,763	6,253	3,272	0,523	180	4,498	0,988	9,0
240	9,900	6,390	3,272	0,512	240	4,394	0,884	7,0
300	10,000	6,490	3,272	0,504	300	4,283	0,773	5,8
360	10,098	6,588	3,272	0,497	360	4,189	0,679	5,0
420	10,153	6,643	3,272	0,493	420			
480	10,232	6,722	3,272	0,487	480			
540	10,278	6,768	3,272	0,483	540			
600	10,345	6,835	3,272	0,479	600			
720	10,377	6,867	3,272	0,476	720			
840	10,409	6,899	3,272	0,474				
960	10,512	7,002	3,272	0,467				
1080	10,520	7,010	3,272	0,467				
1200	10,535	7,025	3,272	0,466				
1320	10,581	7,071	3,272	0,463				
1440	10,620	7,110	3,272	0,460				

ANEXO A - FICHA DE CAMPO DOS ENSAIOS DE BOMBEAMENTO – (Costa, 2006)

DADOS DO ENSAIO DE BOMBEAMENTO								
NºCadastro: PG0772		**Local**: Fazenda Jurema			**Profundidade**: 63,00 m			
Nível Estático: 8,72 m		**Vazão**: 1,32 m^3/h			**Duração do teste**: 1440 min.			
Nível Dinâmico:30,17 m		**Vazão Específica**:0,061(m^3/h)/m			**Data do teste**: 13/02/88			
REBAIXAMENTO					**RECUPERAÇÃO**			
t(min)	**N.D.(m)**	**s(m)**	**Q(m^3/h)**	**Q(m^3/h)/m/s**	**t(min)**	**N.D.(m)**	**s(m)**	**t_b/t'+1(min)**
1	9,720	1,000	9,900	9,900	1	28,430	19,710	1.441
2	9,855	1,135	8,800	7,753	2	27,768	19,048	721
3	9,858	1,138	7,420	6,959	3	26,320	17,600	481
4	9,890	1,170	5,280	4,512	4	25,946	17,226	361
5	10,000	1,280	5,280	4,125	5	25,550	16,830	289
8	10,086	1,116	3,960	3,396	8	24,102	15,382	181
10	10,185	1,465	2,731	1,864	10	23,195	14,455	145
15	10,430	1,710	2,731	1,597	15	22,080	13,360	97,0
20	10,675	1,955	2,262	1,157	20	20,264	11,544	73,0
25	11,885	3,165	2,262	0,714	25	19,130	10,410	58,6
30	12,147	3,417	2,140	0,624	30	18,395	9,675	49,0
40	13,842	5,122	2,140	0,412	40	17,162	8,442	37,0
50	14,522	5,802	1,885	0,324	50	16,057	7,337	29,8
60	6,0390	7,319	1,885	0,257	60	15,298	6,578	25,0
70	17,553	8,833	1,800	0,203	70	14,640	5,920	21,5
80	18,275	9,559	1,760	0,184	80	13,888	5,168	19,0
100	19,840	11,120	1,760	0,158	100	12,890	4,170	15,0
120	20,103	11,383	1,320	0,115	120	12,031	3,511	13,0
150	21,158	12,438	1,320	0,106	150			
180	22,152	13,432	1,320	0,098	180			
240	22,905	14,185	1,320	0,093	240			
300	23,660	14,940	1,320	0,088	300			
360	24,445	15,725	1,320	0,083	360			
420	25,064	16,344	1,320	0,080	420			
480	25,858	17,138	1,320	0,077	480			
540	26,295	17,575	1,320	0,075	540			
600	26,665	17,945	1,320	0,073	600			
720	27,566	18,846	1,320	0,070	720			
840	28,240	19,520	1,320	0,067				
960	28,836	20,116	1,320	0,065				
1080	29,232	20,512	1,320	0,064				
1200	29,684	20,964	1,320	0,062				
1320	29,906	21,185	1,320	0,062				
1440	30,175	21,344	1,320	0,061				

ANEXO A - FICHA DE CAMPO DOS ENSAIOS DE BOMBEAMENTO – (Costa, 2006)

DADOS DO ENSAIO DE BOMBEAMENTO								
NºCadastro: PG0674		**Local**: Fazenda Campos			**Profundidade**: 61,00 m			
Nível Estático:11,61 m		**Vazão**: 5,14 m^3/h			**Duração do teste**: 1440 min.			
Nível Dinâmico:21,49 m		**Vazão Específica**: 0,52 $(m^3/h)/m$			**Data do teste**: 02/12/88			
REBAIXAMENTO					**RECUPERAÇÃO**			
t(min)	**N.D.(m)**	**s(m)**	**$Q(m^3/h)$**	**$Q(m^3/h)/m/s$**	**t(min)**	**N.D.(m)**	**s(m)**	**$t_b/t'+1$(min)**
1	14,602	2,995	14,400	4,808	1	19,000	7,393	1441
2	15,000	3,393	10,285	3,016	2	17,525	5,918	721
3	17,017	5,410	9,000	1,664	3	16,610	5,003	481
4	17,803	6,196	9,000	1,453	4	15,603	3,993	361
5	18,303	6,696	8,000	1,195	5	15,210	3,603	289
8	19,152	7,545	8,000	1,060	8	14,568	2,961	181
10	19,312	7,705	7,200	0,934	10	14,373	2,276	145
15	19,530	7,923	7,200	0,904	15	14,300	2,693	97,0
20	19,778	8,171	6,857	0,839	20	14,215	2,608	73,0
25	19,870	8,263	6,545	0,792	25	14,112	2,505	58,0
30	19,992	8,385	6,545	0,781	30	14,052	2,445	49,0
40	20,045	8,438	6,545	0,776	40	13,930	2,323	37,0
50	20,075	8,468	6,260	0,739	50	13,712	2,105	29,0
60	20,202	8,595	6,260	0,728	60	13,620	2,013	25,0
70	20,238	8,631	6,260	0,725	70	13,482	1,875	21,0
80	20,245	8,638	6,000	0,695	80	13,380	1,773	19,0
100	20,300	8,693	6,000	0,690	100	13,315	1,708	15,0
120	20,420	8,813	6,000	0,681	120	13,178	1,571	13,0
150	20,428	8,821	6,000	0,680	150	13,040	1,433	10,0
180	20,505	8,898	6,000	0,674	180	12,985	1,378	9,0
240	20,574	8,967	6,000	0,669	240	12,885	1,278	7,0
300	20,682	9,075	6,000	0,661	300	12,820	1,203	6,0
360	20,825	9,218	6,000	0,651	360	12,747	1,140	5,0
420	21,000	9,393	6,000	0,639	420	12,677	1,070	4,4
480	21,032	9,425	5,760	0,611	480	12,607	1,000	4,0
540	21,034	9,427	5,760	0,611	540	12,508	0,901	3,6
600	21,180	9,573	5,760	0,602	600	12,416	0,809	3,4
720	21,207	9,600	5,760	0,600	720	12,010	0,403	3,0
840	21,360	9,753	5,760	0,591				
960	21,362	9,755	5,538	0,568				
1080	21,390	9,783	5,538	0,566				
1200	21,435	9,828	5,142	0,523				
1320	21,455	9,848	5,142	0,522				
1440	21,485	9,878	5,142	0,521				

ANEXO A - FICHA DE CAMPO DOS ENSAIOS DE BOMBEAMENTO – (Costa, 2006)

DADOS DO ENSAIO DE BOMBEAMENTO

NºCadastro:PG0757 **Local**: Faz. Jatobá **Profundidade**: 80 m
Nível Estático: 56,68 m **Vazão**: 1,14 m³/h **Duração do teste**: 1440 min.
Nível Dinâmico:57,79 m **Vazão Específica**:1,026(m³/h)/m **Data do teste**: 16/04/88

REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO			
t(min)	N.D.(m)	s(m)	Q(m³/h)	Q(m³/h)/m/s	t(min)	N.D.(m)	s(m)	$t_b/t'+1$(min)
1	57,450	0,772	1,616	2,093	1	57,285	0,607	1441
2	57,457	0,779	1,552	1,992	2	57,043	0,365	721
3	57,461	0,783	1,494	1,908	3	57,001	0,323	481
4	57,483	0,805	1,494	1,856	4	56,984	0,306	361
5	57,521	0,843	1,440	1,708	5	56,961	0,283	289
8	57,558	0,880	1,342	1,525	8	56,939	0,261	181
10	57,573	0,895	1,298	1,450	10	56,931	0,253	145
15	57,575	0,897	1,257	1,401	15	56,916	0,238	97,0
20	57,577	0,899	1,218	1,355	20	56,907	0,229	73,0
25	57,579	0.901	1,218	1,352	25	56,901	0,223	58,0
30	57,602	0,924	1,218	1,318	30	56,891	0,213	49,0
40	57,628	0,950	1,218	1,282	40	56,885	0,207	37,0
50	57,630	0,952	1,218	1,279	50	56,882	0,204	29,0
60	57,632	0,954	1,218	1,277	60	56,874	0,196	25,0
70	57,642	0,964	1,218	1,263	70	56,867	0,189	21,0
80	57,658	0,980	1,218	1,243	80	56,863	0,185	19,0
100	57,691	1,013	1,218	1,202	100	56,861	0,183	15,0
120	57,693	1,015	1,200	1,182	120	56,858	0,182	13,0
150	57,695	1,017	1,182	1,162	150	56,855	0,177	10,0
180	57,697	1,019	1,182	1,160	180	56,853	0,175	9,0
240	57,699	1,021	1,182	1,158	240	56,848	0,170	7,0
300	57,701	1,023	1,164	1,138	300	56,840	0,162	6,0
360	57,703	1,025	1,164	1,136	360	56,821	0,142	5,0
420	57,705	1,027	1,164	1,133	420	56,813	0,135	4,4
480	57,707	1,029	1,164	1,131	480	56,804	0,126	4,0
540	57,709	1,031	1,164	1,129	540	56,791	0,113	3,6
600	57,715	1,037	1,164	1,122	600	56,784	0,106	3,4
720	57,717	1,039	1,164	1,120	720	56,773	0,095	3,0
840	57,740	1,062	1,164	1,096				
960	57,764	1,086	1,164	1,072				
1080	57,768	1,090	1,147	1,052				
1200	57,782	1,104	1,147	1,039				
1320	57,784	1,106	1,147	1,037				
1440	57,786	1,108	1,147	1,035				

ANEXO A - FICHA DE CAMPO DOS ENSAIOS DE BOMBEAMENTO – (Costa, 2006)

DADOS DO ENSAIO DE BOMBEAMENTO

N° Cadastro: PG0761 **Local**: Faz. Jatobazinho **Profundidade:** 63,00 m
Nível Estático: 1,86 m **Vazão:** 4,95 m3/h **Duração do teste:** 1.320min.
Nível Dinâmico: 24,73m **Vazão Específica:** 0,22 (m3/h)/m **Data do teste**: 15/06/88

REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO			
t(min)	N.D.(m)	s(m)	Q(m^3/h)	Q(m^3/h)/m/s	t(min)	N.D.(m)	s(m)	$t_b/t'+1$(min)
1	14,290	12,434	15,840	1,274	1	21,355	19,499	1441
2	16,749	14,893	9,900	0,665	2	18,700	16,844	721
3	18,190	16,334	7,920	0,485	3	17,170	15,313	481
4	19,000	17,144	7,543	0,440	4	15,312	13,456	361
5	19,475	17,619	7,543	0,387	5	12,920	11,064	289
8	20,000	18,144	6,600	0,364	8	8,828	6,972	181
10	20,237	18,381	6,600	0,359	10	7,887	6,031	145
15	20,853	18,997	6,092	0,321	15	6,470	4,614	97,0
20	21,039	19,183	6,092	0,318	20	5,880	4,029	73,0
25	21,835	19,979	6,092	0,273	25	5,459	3,603	58,0
30	22,095	20,239	5,462	0,270	30	5,120	3,264	49,0
40	22,195	20,339	5,462	0,269	40	4,840	2,984	37,0
50	22,477	20,621	5,462	0,265	50	4,550	2,694	29,0
60	22,658	20,802	5,462	0,263	60	4,430	2,574	25,0
70	22,800	20,944	5,462	0,252	70	4,259	2,403	21,0
80	22,900	21,044	5,280	0,251	80	4,185	2,329	19,0
100	22,947	21,091	5,280	0,250	100	4,105	2,249	15,0
120	23,038	21,182	5,280	0,249	120	3,980	2,124	13,0
150	23,250	21,394	5,280	0,247	150	3,843	1,987	10,0
180	23,291	21,435	5,110	0,238	180	3,742	1,886	9,0
240	23,407	21,551	5,110	0,237	240	3,735	1,879	7,0
300	23,550	21,694	5,110	0,236	300	3,662	1,806	6,0
360	23,660	21,804	5,110	0,234	360	3,574	1,718	5,0
420	23,723	21,857	5,110	0,234	420	3,538	1,682	4,4
480	23,775	21,919	5,110	0,233	480	3,460	1,604	4,0
540	23,783	21,927	5,110	0,233	540	3,439	1,583	3,6
600	23,840	21,984	5,110	0,232	600	3,394	1,538	3,4
720	24,000	22,144	4,950	0,224	720	3,341	1,485	3,0
840	24,440	22,584	4,950	0,219				
960	24,578	22,722	4,950	0,218				
1080	24,610	22,754	4,950	0,218				
1200	24,684	22,828	4,950	0,217				
1320	24,734	22,878	4,950	0,216				
1440								

ANEXO A - FICHA DE CAMPO DOS ENSAIOS DE BOMBEAMENTO – (Costa, 2006)

DADOS DO ENSAIO DE BOMBEAMENTO

N° Cadastro: PG0767 **Local:** Faz.Jurema **Profundidade:** 80,00 m
Nível Estático: 0,54 m **Vazão:** 14,14 m3/h **Duração do teste:** 1440 min.
Nível Dinâmico:10,95 m **Vazão Específica**: 1,36 (m3/h)/m **Data do teste:** 01/05/88

REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO			
t(min)	N.D.(m)	s(m)	Q(m^3/h)	Q(m^3/h)/m/s	t(min)	N.D.(m)	s(m)	t_b/t'+1(min)
1	8,160	7,625	19,800	2,597	1	8,930	8,395	1441
2	8,455	7,920	19,800	2,500	2	8,000	7,465	721
3	8,660	8,125	19,800	2,437	3	6,933	6,398	481
4	8,780	8,245	19,800	2,401	4	6,625	6,090	361
5	8,900	8,365	19,800	2,309	5	6,390	5,855	289
8	9,002	8,467	18,418	2,175	8	5,930	5,395	181
10	9,060	8,525	18,418	2,160	10	5,710	5,175	145
15	9,200	8,665	18,418	2,126	15	5,420	4,885	97,0
20	9,270	8,735	18,418	2,109	20	5,200	4,665	73,0
25	9,369	8,834	18,418	2,037	25	5,007	4,472	58,0
30	9,420	8,885	16,851	1,897	30	4,765	4,230	49,0
40	9,505	8,970	16,851	1,879	40	4,472	3,937	37,0
50	9,572	9,037	16,500	1,826	50	4,253	3,718	29,0
60	9,645	9,110	16,500	1,811	60	3,975	3,440	25,0
70	9,770	9,235	15,840	1,715	70	3,886	3,351	21,0
80	9,810	9,275	15,840	1,708	80	3,761	2,226	19,0
100	9,922	9,387	15,840	1,687	100	3,486	2,951	15,0
120	9,945	9,410	15,529	1,650	120	3,300	2,765	13,0
150	10,001	9,466	15,231	1,609	150			
180	10,082	9,547	15,231	1,595	180			
240	10,175	9,640	15,231	1,580	240			
300	10,226	9,691	14,400	1,486	300			
360	10,228	9,693	14,143	1,459	360			
420	10,231	9,696	14,143	1,459	420			
480	10,250	9,715	14,143	1,457	480			
540	10,268	9,733	14,143	1,453	540			
600	10,431	9,896	14,143	1,429	600			
720	10,770	10,235	14,143	1,382	720			
840	10,845	10,310	14,143	1,372				
960	10,888	10,353	14,143	1,366				
1080	10,912	10,577	14,143	1,363				
1200	10,940	10,405	14,143	1,359				
1320	10,947	10,412	14,143	1,358				
1440	10,949	10,414	14,143	1,358				

ANEXO A - FICHA DE CAMPO DOS ENSAIOS DE BOMBEAMENTO – (Costa, 2006)

DADOS DO ENSAIO DE BOMBEAMENTO

No Cadastro: **PG0856** **Local**: Faz. Mosquito **Profundidade:** 102,00 m
Nível Estático: 56,00 m **Vazão:** 1,28 m3/h **Duração do teste:** 1440 min.
Nível Dinâmico:57,53 m **Vazão Específica:** 0,82 (m3/h)/m **Data do teste:** 27/10/89

REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO			
t(min)	N.D.(m)	s(m)	Q(m^3/h)	Q(m^3/h)/m/s	t(min)	N.D.(m)	s(m)	t_b/t'+1(min)
1	56,700	0,700	1,440	2,057	1	56,950	0,950	1441
2	57,000	1,000	1,389	1,389	2	56,620	0,620	721
3	57,150	1,150	1,298	1,128	3	56,430	0,430	481
4	57,200	1,200	1,298	1,081	4	56,350	0,350	361
5	57,220	1,220	1,298	1,061	5	56,300	0,300	289
8	57,280	1,280	1,257	0,982	8	56,230	0,230	181
10	57,300	1,300	1,257	0,966	10	56,170	0,170	145
15	57,320	1,320	1,257	0,952	15	56,130	0,130	97,0
20	57,340	1,340	1,257	0,938	20	56,100	0,100	73,0
25	57,360	1,360	1,257	0,924	25	56,080	0,080	58,0
30	57,370	1,370	1,257	0,917	30	56,060	0,060	49,0
40	57,380	1,380	1,257	0,910	40	56,020	0,020	37,0
50	57,390	1,390	1,257	0,904	50	56,000	0,000	29,0
60	57,400	1,400	1,257	0,897	60			
70	57,410	1,410	1,257	0,891	70			
80	57,420	1,420	1,257	0,885	80			
100	57,422	1,422	1,257	0,883	100			
120	57,450	1,450	1,257	0,866	120			
150	57,460	1,460	1,257	0,860	150			
180	57,462	1,462	1,257	0,859	180			
240	57,500	1,500	1,257	0,836	240			
300	57,502	1,502	1,257	0,835	300			
360	57,504	1,504	1,257	0,834	360			
420	57,506	1,506	1,257	0,833	420			
480	57,508	1,508	1,257	0,832	480			
540	57,510	1,510	1,257	0,826	540			
600	57,520	1,520	1,257	0,825	600			
720	57,522	1,522	1,257	0,824	720			
840	57,524	1,524	1,257	0,823				
960	57,526	1,526	1,257	0,822				
1080	57,528	1,528	1,257	0,821				
1200	57,530	1,530	1,257	0,820				
1320	57,532	1,532	1,257	0,819				
1440	57,534	1,534	1,257	0,819				

ANEXO A - FICHA DE CAMPO DOS ENSAIOS DE BOMBEAMENTO – (Costa, 2006)

DADOS DO ENSAIO DE BOMBEAMENTO

N° Cadastro: PG1340 **Local:** Faz. Viramão **Profundidade:** 53,00 m
Nível Estático: 3,98 m **Vazão:** 0,15 m3/h **Duração do teste:** 720 min.
Nível Dinâmico:33,55 m **Vazão Específica:**0,005(m3/h)/m **Data do teste:** 09/04/91

REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO			
t(min)	N.D.(m)	s(m)	Q(m^3/h)	Q(m^3/h)/m/s	t(min)	N.D.(m)	s(m)	$t_b/t'+1$(min)
1	17,560	13,580	5,280	0,388	1	33,450	29,470	1441
2	21,320	17,340	3,960	0,228	2	33,265	29,285	721
3	24,240	20,260	3,443	0,169	3	33,150	29,170	481
4	29,760	25,780	2,329	0,090	4	33,020	29,040	361
5	31,080	27,100	1,320	0,048	5	32,925	28,945	289
8	33,410	19,430	0,528	0,018	8	32,560	28,580	181
10	33,480	29,500	0,360	0,012	10	32,330	28,350	145
15	33,482	29,502	0,300	0,010	15	31,760	27,780	97,0
20	33,484	29,504	0,240	0,008	20	31,220	27,240	73,0
25	33,486	29,506	0,240	0,008	25	31,650	27,670	58,0
30	33,488	29,508	0,240	0,007	30	30,125	26,145	49,0
40	33,495	29,515	0,210	0,006	40	29,030	25,050	37,0
50	33,500	29,520	0,180	0,006	50	27,790	23,810	29,0
60	33,505	29,525	0,180	0,006	60	26,680	22,700	25,0
70	33,510	29,530	0,180	0,005	70	25,695	21,715	21,0
80	33,515	29,535	0,180	0,005	80	24,710	20,730	19,0
100	33,520	29,540	0,162	0,005	100	22,740	18,760	15,0
120	33,525	29,545	0,162	0,005	120	21,010	17,030	13,0
150	33,527	29,547	0,162	0,005	150	18,660	14,680	10,0
180	33,529	29,549	0,162	0,005	180	16,045	12,915	9,0
240	33,531	29,551	0,162	0,005	240	14,045	10,065	7,0
300	33,533	29,553	0,150	0,005	300	11,460	7,480	6,0
360	33,535	29,555	0,150	0,005	360	10,160	6,180	5,0
420	33,537	29,557	0,150	0,005	420			
480	33,539	29,559	0,150	0,005	480			
540	33,541	29,561	0,150	0,005	540			
600	33,543	29,563	0,150	0,005	600			
720	33,545	29,565	0,150	0,005	720			
840								
960								
1080								
1200								
1320								
1440								

ANEXO A - FICHA DE CAMPO DOS ENSAIOS DE BOMBEAMENTO – (Costa, 2006)

DADOS DO ENSAIO DE BOMBEAMENTO

NºCadastro: PG0736 **Local**: Ipueira **Profundidade**: 134,00 m

Nível Estático: 12,14 m **Vazão**: 12,57 m^3/h **Duração do teste**: 1440 min.

Nível Dinâmico:77,27 m **Vazão Específica**: 0,19 $(m^3/h)/m$ **Data do teste**: 26/10/90

REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO			
t(min)	N.D.(m)	s(m)	Q(m^3/h)	Q(m^3/h)/m/s	t(min)	N.D.(m)	s(m)	$t_b/t'+1$(min)
1	35,760	23,620	49,500	2,095	1	67,980	55,840	1441
2	65,470	53,330	33,000	0,618	2	61,270	49,130	721
3	69,090	56,950	22,628	0,397	3	56,510	44,370	481
4	69,630	57,490	19,317	0,336	4	52,420	40,280	361
5	70,140	58,000	18,857	0,325	5	49,290	37,150	289
8	70,500	58,360	17,600	0,301	8	44,410	32,270	181
10	70,720	58,580	17,600	0,300	10	41,990	29,850	145
15	70,890	58,750	17,600	0,299	15	38,930	26,790	97,0
20	71,040	58,9000	17,600	0,298	20	37,460	25,320	73,0
25	71,120	58,980	17,217	0,291	25	36,700	24,560	58,0
30	71,450	59,310	17,217	0,295	30	36,290	24,150	49,0
40	71,850	59,710	17,217	0,288	40	36,490	24,350	37,0
50	72,010	59,870	16,851	0,282	50	34,930	22,790	29,0
60	72,070	59,930	16,851	0,281	60	34,390	22,250	25,0
70	72,240	60,100	16,851	0,280	70	33,970	21,830	21,0
80	72,380	60,240	16,851	0,279	80	33,570	21,430	19,0
100	72,462	60,322	16,500	0,273	100	32,970	20,830	15,0
120	72,680	60,540	15,840	0,261	120	32,960	20,820	13,0
150	73,050	60,910	15,529	0,254	150	31,530	19,390	10,0
180	73,320	61,180	15,230	0,248	180	31,000	18,860	9,0
240	73,750	61,610	14,943	0,236	240	30,290	18,150	7,0
300	74,080	61,940	14,666	0,231	300	28,860	16,720	6,0
360	74,440	62,300	14,400	0,225	360	27,970	15,830	5,0
420	74,842	62,702	14,142	0,221	420	27,210	15,430	4,4
480	74,960	62,820	13,894	0,216	480	26,570	14,430	4,0
540	75,230	63,090	13,655	0,215	540	25,850	13,710	3,6
600	75,370	63,230	13,655	0,210	600	25,300	13,160	3,4
720	75,780	63,640	13,423	0,206	720	24,140	12,000	3,0
840	76,170	64,030	13,200	0,205				
960	76,420	64,280	12,983	0,201				
1080	76,670	64,530	12,983	0,200				
1200	76,910	64,770	12,774	0,196				
1320	77,090	64,950	12,571	0,193				
1440	77,270	65,130	12,571	0,193				

ANEXO A - FICHA DE CAMPO DOS ENSAIOS DE BOMBEAMENTO – (Costa, 2006)

DADOS DO ENSAIO DE BOMBEAMENTO

NºCadastro: PG1226 **Local**: Lagoa da Extrema **Profundidade**: 50,00 m
Nível Estático: 5,12 m **Vazão**: 3,05 m^3/h **Duração do teste**: 1440 min.
Nível Dinâmico: 28,20m **Vazão Específica**: 0,13 $(m^3/h)/m$ **Data do teste**: 29/03/88

REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO			
t(min)	N.D.(m)	s(m)	Q(m^3/h)	Q(m^3/h)/m/s	t(min)	N.D.(m)	s(m)	$t_b/t'+1$(min)
1	19,385	14,262	9,900	0,694	1	24,850	19,717	1441
2	23,414	18,291	7,920	0,435	2	21,053	15,930	721
3	24,440	19,317	6,600	0,342	3	19,275	14,152	481
4	24,532	19,409	4,400	0,227	4	16,434	11,311	361
5	24,750	19,627	4,168	0,212	5	15,609	10,486	289
8	24,802	19,679	3,771	0,192	8	13,235	8,112	181
10	24,806	19,683	3,600	0,183	10	12,895	7,772	145
15	24,809	19,686	3,600	0,183	15	10,115	4,992	97,0
20	25,432	20,309	3,600	0,177	20	9,084	3,961	73,0
25	25,603	20,480	3,600	0,l76	25	8,023	2,900	58,0
30	25,760	20,637	3,443	0,159	30	5,995	0,872	49,0
40	26,766	20,643	3,443	0,158	40	5,928	0,805	37,0
50	26,932	20,809	3,443	0,157	50	5,854	0,731	29,0
60	26,992	20,869	3,443	0,157	60	5,727	0,604	25,0
70	26,994	20,871	3,443	0,156	70	5,668	0,545	21,0
80	27,216	22,093	3,443	0,154	80	5,605	0,482	19,0
100	27,245	22,122	3,443	0,153	100	5,550	0,427	15,0
120	27,510	22,387	3,443	0,153	120	5,499	0,376	13,0
150	27,632	22,509	3,443	0,152	150	5,458	0,335	10,0
180	27,654	22,531	3,443	0,152	180	5,418	0,295	9,0
240	27,723	22,600	3,443	0,152	240	5,381	0,258	7,0
300	27,735	22,612	3,443	0,152	300	5,349	0,226	6,0
360	27,744	22,621	3,443	0,151	360	5,321	0,198	5,0
420	27,769	22,646	3,443	0,151	420	5,295	0,172	4,4
480	27,882	22,759	3,443	0,151	480	5,261	0,138	4,0
540	27,931	22,808	3,443	0,151	540	5,235	0,112	3,6
600	27,964	22,841	3,443	0,151	600	5,201	0,078	3,4
720	28,053	22,930	3,443	0,132	720			
840	28,144	23,021	3,443	0,132				
960	28,150	23,027	3,046	0,132				
1080	28,170	23,047	3,046	0,132				
1200	28,186	23,063	3,046	0,132				
1320	28,187	23,064	3,046	0,132				
1440	28,205	23,082	3,046	0,132				

ANEXO A - FICHA DE CAMPO DOS ENSAIOS DE BOMBEAMENTO – (Costa, 2006)

DADOS DO ENSAIO DE BOMBEAMENTO

NºCadastro: PG0836 **Local**: Malhada Grande **Profundidade**: 80,00 m
Nível Estático: 6,76 m **Vazão**: 18,21 m³/h **Duração do teste**: 1440 min.
Nível Dinâmico:14,77 m **Vazão Específica**: 2,27 (m³/h)/m **Data do teste**: 10/08/88

REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO			
t(min)	N.D.(m)	s(m)	Q(m³/h)	Q(m³/h)/m/s	t(min)	N.D.(m)	s(m)	$t_b/t'+1$(min)
1	12,580	5,825	20,842	3,578	1	10,482	3,727	1441
2	12,780	5,025	20,571	4,093	2	9,435	2,680	721
3	12,856	6,101	20,307	3,328	3	9,093	2,338	481
4	12,859	6,104	20,050	3,284	4	8,975	2,220	361
5	12,940	6,185	19,800	3,201	5	8,920	2,165	289
8	13,060	6,305	19,317	3,063	8	8,710	1,955	181
10	13,114	6,359	19,084	3,037	10	8,536	1,781	145
15	13,172	6,417	19,084	2,973	15	8,291	1,736	97,0
20	13,200	6,445	18,857	2,961	20	8,150	1,395	73,0
25	13,290	6,535	18,857	2,885	25	8,063	1,308	58,0
30	13,341	6,586	18,857	2,863	30	8,000	1,245	49,0
40	13,641	6,706	18,857	2,811	40	7,883	1,128	37,0
50	13,512	6,757	18,857	2,790	50	7,766	1,011	29,0
60	13,638	6,883	18,635	2,692	60	7,674	0,918	25,0
70	13,675	6,920	18,635	2,637	70	7,616	0,861	21,0
80	13,820	7,065	18,635	2,622	80	7,575	0,820	19,0
100	13,862	7,107	18,635	2,619	100	7,491	0,736	15,0
120	13,869	7,114	18,635	2,596	120	7,480	0,725	13,0
150	13,933	7,178	18,418	2,521	150	7,450	0,695	10,0
180	14,060	7,305	18,418	2,496	180	7,340	0,585	9,0
240	14,132	7,377	18,418	2,449	240	7,203	0,448	7,0
300	14,274	7,519	18,418	2,423	300	7,157	0,402	6,0
360	14,355	7,600	18,418	2,371	360	7,095	0,340	5,0
420	14,431	7,676	18,206	2,362	420	7,061	0,306	4,4
480	14,462	7,707	18,206	2,361	480	7,032	0,277	4,0
540	14,482	7,717	18,206	2,331	540	7,010	0,254	3,6
600	14,563	7,808	18,206	2,311	600	6,993	0,238	3,4
720	14,632	7,877	18,206	2,305	720	6,978	0,223	3,0
840	14,653	7,898	18,206	2,298				
960	14,676	7,921	18,206	2,282				
1080	14,730	7,975	18,206	2,272				
1200	14,768	8,013	18,206	2,270				
1320	14,773	8,018	18,206	2,270				
1440	14,775	8,020	18,206	2,270				

ANEXO A - FICHA DE CAMPO DOS ENSAIOS DE BOMBEAMENTO – (Costa, 2006)

DADOS DO ENSAIO DE BOMBEAMENTO

NºCadastro: PG1018 **Local**: Escola Walmir Bezerra **Profundidade**: 106,00 m

Nível Estático: 10,10 m **Vazão**: 6,86 m^3/h **Duração do teste**: 1440 min.

Nível Dinâmico: 39,05m **Vazão Específica**: 0,24 $(m^3/h)/m$ **Data do teste**: 04/12/88

REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO			
t(min)	N.D.(m)	s(m)	Q(m^3/h)	Q(m^3/h)/m/s	t(min)	N.D.(m)	s(m)	$t_b/t'+1$(min)
1	27,000	16,898	12,000	0,710	1	34,050	23,948	1441
2	30,012	19,910	10,285	0,517	2	31,650	21,548	721
3	31,058	20,956	9,000	0,429	3	28,671	18,569	481
4	33,063	22,961	9,000	0,392	4	26,414	16,312	361
5	34,626	24,525	9,000	0,367	5	25,358	15,256	289
8	35,338	25,236	9,000	0,357	8	23,450	13,348	181
10	35,414	25,312	9,000	0,356	10	22,393	12,291	145
15	35,482	25,380	8,470	0,334	15	21,345	11,243	97,0
20	35,503	25,401	8,470	0,333	20	20,810	10,708	73,0
25	35,545	25,443	8,470	0,333	25	19,807	9,705	58,0
30	35,581	25,479	8,000	0,314	30	19,630	9,528	49,0
40	35,630	25,528	8,000	0,313	40	19,458	9,366	37,0
50	35,720	25,618	8,000	0,312	50	19,362	9,260	29,0
60	35,720	25,728	8,000	0,311	60	19,342	9,240	25,0
70	35,830	25,774	8,000	0,310	70	19,328	9,226	21,0
80	35,876	25,833	8,000	0,293	80	19,315	9,213	19,0
100	35,935	25,866	7,587	0,289	100	19,000	8,898	15,0
120	35,968	25,928	7,587	0,289	120	18,974	8,872	13,0
150	36,030	26,218	7,587	0,274	150	18,835	8,733	10,0
180	36,320	26,258	7,587	0,273	180	18,805	8,703	9,0
240	36,360	26,318	7,200	0,272	240	18,780	8,678	7,0
300	36,420	26,378	7,200	0,271	300	18,681	8,579	6,0
360	36,480	26,428	7,200	0,270	360	18,625	8,523	5,0
420	36,530	26,527	7,200	0,270	420	18,585	8,483	4,4
480	36,629	26,688	7,200	0,269	480	18,530	8,428	4,0
540	36,790	26,708	7,200	0,268	540	18,482	8,380	3,6
600	36,810	26,758	7,200	0,250	600	18,445	8,343	3,4
720	36,860	26,870	7,200	0,239	720	18,424	8,332	3,0
840	36,972	27,430	6,857	0,238				
960	37,532	28,738	6,857	0,238				
1080	38,882	28,780	6,857	0,237				
1200	38,938	28,836	6,857	0,237				
1320	39,020	28,918	6,857	0,237				
1440	39,055	28,953	6,857	0,237				

ANEXO A - FICHA DE CAMPO DOS ENSAIOS DE BOMBEAMENTO – (Costa, 2006)

DADOS DO ENSAIO DE BOMBEAMENTO

NºCadastro: PG1050 **Local**: Sit.Aroeiras **Profundidade**: 58,00 m
Nível Estático: 5,70 m **Vazão**: 0,34 m³/h **Duração do teste**: 720 min.
Nível Dinâmico:31,16 m **Vazão Específica**:0,014(m³/h)/m **Data do teste**: 26/01/88

REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO			
t(min)	N.D.(m)	s(m)	Q(m³/h)	Q(m³/h)/m/s	t(min)	N.D.(m)	s(m)	$t_b/t'+1$(min)
1	12,600	6,900	11,314	1,640	1	30,795	25,095	721
2	19,496	13,796	7,920	0,575	2	30,562	24,862	361
3	22,802	17,102	6,092	0,356	3	30,272	24,572	241
4	24,894	19,194	4,168	0,217	4	30,060	24,360	181
5	27,000	21,300	3,600	0,169	5	29,815	24,115	145
8	29,770	24,070	1,980	0,082	8	29,185	23,485	91,0
10	30,788	25,088	1,553	0,079	10	28,795	23,095	72,0
15	31,940	26,240	1,131	0,059	15	27,865	22,165	49,0
20	32,205	26,505	1,056	0,043	20	27,045	21,345	37,0
25	32,221	26,521	1,029	0,040	25	26,294	20,594	29,8
30	32,305	26,605	0,990	0,039	30	25,647	19,947	25,0
40	31,533	25,833	0,932	0,038	40	24,440	18,740	19,0
50	31,784	26,084	0,557	0,036	50	23,070	17,370	15,4
60	30,842	25,142	0,557	0,022	60	22,342	16,534	13,0
70	31,146	25,446	0,546	0,022	70	21,621	15,921	11,0
80	30,815	25,115	0,542	0,022	80	20,852	15,152	10,0
100	31,347	25,647	0,524	0,021	100	19,608	13,908	8,2
120	31,848	26,148	0,477	0,020	120	18,558	12,858	7,0
150	31,751	26,051	0,467	0,018	150			
180	31,934	26,234	0,450	0,018	180			
240	31,492	25,792	0,432	0,017	240			
300	31,505	25,805	0,423	0,017	300			
360	31,715	26,015	0,408	0,016	360			
420	31,933	25,693	0,398	0,016	420			
480	31,516	25,816	0,375	0,015	480			
540	31,678	25,978	0,358	0,014	540			
600	31,155	25,455	0,341	0,014	600			
720	31,158	25,458	0,341	0,013	720			
840								
960								
1080								
1200								
1320								
1440								

ANEXO A - FICHA DE CAMPO DOS ENSAIOS DE BOMBEAMENTO – (Costa, 2006)

DADOS DO ENSAIO DE BOMBEAMENTO

N° Cadastro: 77 **Local:** Sit. Campina Campos **Profundidade:** 55,00 m
Nível Estático: 16,92 m **Vazão**: 0,22 m3/h **Duração do teste:** 1440 min.
Nível Dinâmico:35,68 m **Vazão Específica:**0,12 (m3/h)/m **Data do teste:** 13/06/88

REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO			
t(min)	N.D.(m)	s(m)	Q(m^3/h)	Q(m^3/h)/m/s	t(min)	N.D.(m)	s(m)	$t_b/t'+1$(min)
1	22,252	5,357	4,659	0,873	1	34,699	17,784	1441
2	26,065	9,150	3,960	0,433	2	34,440	17,525	721
3	28,705	11,790	3,046	0,258	3	34,205	17,290	481
4	31,000	14,085	2,640	0,187	4	33,914	16,999	361
5	32,035	15,120	1,650	0,109	5	33,612	16,697	289
8	33,674	16,759	1,028	0,061	8	33,130	16,215	181
10	34,371	17,456	0,870	0,050	10	32,917	16,002	145
15	34,573	17,658	0,808	0,046	15	32,652	16,915	97,0
20	34,942	18,027	0,776	0,043	20	32,425	16,688	73,0
25	35,020	18,105	0,700	0,039	25	32,196	15,281	58,0
30	35,030	18,115	0,604	0,033	30	32,000	15,085	49,0
40	35,038	18,123	0,425	0,023	40	29,816	12,901	37,0
50	35,040	18,125	0,423	0,023	50	29,165	12,250	29,0
60	35,042	18,127	0,419	0,023	60	28,392	11,477	25,0
70	35,044	18,129	0,348	0,019	70	27,594	10,679	21,0
80	35,046	18,131	0,348	0,019	80	26,840	9,925	19,0
100	35,272	18,357	0,345	0,019	100	26,045	9,130	15,0
120	35,323	18,400	0,340	0,018	120	25,340	8,425	13,0
150	35,342	18,427	0,326	0,018	150	24,436	7,521	10,0
180	35,378	18,463	0,326	0,018	180	23.733	6,818	9,0
240	35,481	18,566	0,240	0,013	240	23,065	6,150	7,0
300	35,483	18,.568	0,240	0,013	300	22,392	5,477	6,0
360	35,585	18,670	0,240	0,013	360	21,993	5,078	5,0
420	35,602	18,687	0,233	0,013	420	21,720	4,805	4,4
480	35,604	18,689	0,233	0,013	480	21,462	4,547	4,0
540	35,606	18,691	0,220	0,013	540	21,240	4,325	3,6
600	35,608	18,693	0,220	0,013	600	21,000	4,085	3,4
720	35,610	18,695	0,220	0,013	720	20,742	3,827	3,0
840	35,652	18,737	0,220	0,013				
960	35,655	18,740	0,220	0,013				
1080	35,672	18,757	0,220	0,013				
1200	35,674	18,759	0,220	0,013				
1320	35,676	18,761	0,220	0,013				
1440	35,678	18,763	0,220	0,013				

ANEXO A - FICHA DE CAMPO DOS ENSAIOS DE BOMBEAMENTO – (Costa, 2006)

DADOS DO ENSAIO DE BOMBEAMENTO

N° Cadastro: **PG1115** **Local:** Sit. Caneta **Profundidade:** 68,00 m
Nível Estático: 4,31 m **Vazão:** 4,00 m3/h **Duração do teste:** 1440 min.
Nível Dinâmico:20,00 m **Vazão Específica:** 0,25 (m3/h)/m **Data do teste:** 21/03/89

REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO			
t(min)	N.D.(m)	s(m)	Q(m^3/h)	Q(m^3/h)/m/s	t(min)	N.D.(m)	s(m)	t_b/t'+1(min)
1	8,605	4,295	9,600	2,235	1	16,545	12,235	1441
2	11,831	7,521	7,587	1,009	2	14,836	10,526	721
3	13,810	9,500	6,857	0,722	3	13,133	8,823	481
4	16,085	11,775	5,538	0,470	4	11,000	6,690	361
5	16,795	12,485	5,142	0,412	5	9,718	5,408	289
8	17,670	13,360	5,142	0,385	8	8,310	4,000	181
10	18,000	13,690	5,142	0,376	10	7,671	3,361	145
15	18,205	13,895	4,800	0,345	15	6,000	4,690	97,0
20	18,328	14,018	4,500	0,321	20	5,730	1,420	73,0
25	18,590	14,280	4,500	0,315	25	5,478	1,168	58,0
30	18,724	14,414	4,500	0,312	30	5,371	1,061	49,0
40	19,065	14,755	4,500	0,296	40	5,113	0,803	37,0
50	19,216	14,906	4,363	0,293	50	5,014	0,704	29,0
60	19,280	14,970	4,363	0,283	60	4,921	0,611	25,0
70	19,359	15,049	4,235	0,281	70	4,855	0,345	21,0
80	19,429	15,119	4,235	0,280	80			
100	19,510	15,200	4,235	0,279	100			
120	19,551	15,241	4,235	0,278	120			
150	19,628	15,318	4,235	0,276	150			
180	19,655	15,345	4,235	0,268	180			
240	19,680	15,370	4,114	0,260	240			
300	19,715	15,405	4,000	0,260	300			
360	19,780	15,470	4,000	0,259	360			
420	19,800	15,490	4,000	0,258	420			
480	19,820	15,510	4,000	0,258	480			
540	19,843	15,533	4,000	0,257	540			
600	19,871	15,561	4,000	0,257	600			
720	19,897	15,587	4,000	0,257	720			
840	19,898	15,588	4,000	0,257				
960	19,961	15,651	4,000	0,255				
1080	20,000	15,690	4,000	0,255				
1200	20,002	15,692	4,000	0,255				
1320	20,004	15,694	4,000	0,255				
1440	20,006	15,696	4,000	0,255				

ANEXO A - FICHA DE CAMPO DOS ENSAIOS DE BOMBEAMENTO – (Costa, 2006)

DADOS DO ENSAIO DE BOMBEAMENTO

N° Cadastro: PG1165 **Local:** Sitio Gama **Profundidade:** 66,00 m
Nível Estático: 3,45 m **Vazão:** 4,16 m3/h **Duração do teste:** 1440 min.
Nível Dinâmico:25,25 m **Vazão Específica:** 0,19 (m3/h)/m **Data do teste:** 15/01/93

REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO			
t(min)	N.D.(m)	s(m)	Q(m^3/h)	Q(m^3/h)/m/s	t(min)	N.D.(m)	s(m)	$t_b/t'+1$(min)
1	6,130	2,680	7,920	2,955	1	21,860	18,410	1441
2	7,690	4,240	7,920	1,867	2	19,112	15,662	721
3	10,610	7,160	7,920	1,106	3	17,224	13,774	481
4	12,232	8,782	7,920	0,901	4	15,480	12,030	361
5	13,850	10,400	7,920	0,761	5	14,064	10,614	289
8	15,654	12,204	7,920	0,589	8	11,170	7,720	181
10	16,312	12,862	6,600	0,513	10	10,010	6,560	145
15	16,834	13,384	6,600	0,493	15	8,384	4,934	97,0
20	17,308	13,858	6,600	0,476	20	7,700	4,250	73,0
25	17,666	14,216	6,600	0,464	25	7,244	3,794	58,0
30	17,790	14,340	6,092	0,424	30	6,882	3,432	49,0
40	18,550	15,100	5,657	0,374	40	6,490	3,040	37,0
50	19,640	16,190	5,657	0,349	50	6,164	2,714	29,0
60	20,076	16,626	5,657	0,340	60	5,968	2,518	25,0
70	20,464	17,014	5,657	0,310	70	5,800	2,350	21,0
80	20,908	17,458	5,280	0,283	80	5,640	2,190	19,0
100	21,190	17,740	4,950	0,270	100	5,472	2,022	15,0
120	21,540	18,090	4,950	0,257	120	5,336	1,886	13,0
150	21,700	18,250	4,658	0,255	150	5,170	1,720	10,0
180	21,970	18,520	4,658	0,251	180	5,020	1,570	9,0
240	22,302	18,852	4,658	0,247	240			
300	22,534	19,084	4,658	0,244	300			
360	22,868	19,418	4,658	0,239	360			
420	23,116	19,666	4,658	0,236	420			
480	23,610	20,160	4,400	0,218	480			
540	23,808	20,358	4,400	0,216	540			
600	24,070	20,620	4,400	0,213	600			
720	24,304	20,854	4,400	0,210	720			
840	24,670	21,220	4,400	0,207				
960	24,822	21,372	4,400	0,205				
1080	24,920	21,470	4,400	0,204				
1200	24,990	21,540	4,400	0,204				
1320	25,008	21,558	4,400	0,204				
1440	25,250	21,800	4,168	0,191				

ANEXO A - FICHA DE CAMPO DOS ENSAIOS DE BOMBEAMENTO – (Costa, 2006)

DADOS DO ENSAIO DE BOMBEAMENTO

N° Cadastro: PG0912 **Local:** Sit. Siqueira **Profundidade:** 104,00 m
Nível Estático: 9,59 m **Vazão:** 12,28 m3/h **Duração do teste:** 1440 min.
Nível Dinâmico: 30,58 m **Vazão Específica:** 5,85 (m3/h)/m **Data do teste:** 29/06/99

REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO			
t(min)	N.D.(m)	s(m)	Q(m³/h)	Q(m³/h)/m/s	t(min)	N.D.(m)	s(m)	$t_b/t'+1$(min)
1	27,670	18,081	14,666	8,111	1	23,350	13,761	1441
2	27,830	18,241	14,666	8,040	2	16,911	7,322	721
3	27,889	18,300	14,400	7,868	3	13,954	4,322	481
4	27,953	18,364	13,894	7,565	4	12,346	2,757	361
5	28,020	18,431	13,894	7,538	5	11,612	2,023	289
8	28,140	18,551	13,772	7,424	8	10,990	1,401	181
10	28,210	18,621	13,773	7,396	10	10,810	1,221	145
15	28,251	18,662	13,655	7,317	15	10,725	1,136	97,0
20	28,321	18,732	13,538	7,227	20	10,676	1,087	73,0
25	28,380	18,791	13,538	7,204	25	10,627	1,038	58,0
30	28,383	18,794	13,538	7,203	30	10,570	0,981	49,0
40	28,403	18,814	13,538	7,195	40	10,489	0,900	37,0
50	28,410	18,821	13,423	7,132	50	10,442	0,853	29,0
60	28,412	818,82	13,310	7,071	60	10,379	0,790	25,0
70	28,471	18,832	13,310	7,049	70	10,330	0,741	21,0
80	28,473	18,884	13,200	6,990	80	10,313	0,724	19,0
100	28,507	18,918	12,774	6,752	100	10,253	0,664	15,0
120	28,571	18,985	12,774	6,728	120	10,180	0,591	13,0
150	28,647	19,058	12,774	6,702	150	10,130	0,541	10,0
180	28,672	19,083	12,375	6,484	180	10,083	0,494	9,0
240	28,201	19,212	12,375	6,441	240	10,000	0,411	7,0
300	28,803	19,214	12,375	6,440	300	9,942	0,353	6,0
360	28,805	19,216	12,375	6,439	360	9,909	0,316	5,0
420	29,430	19,241	12,375	6,113	420	9,868	0,279	4,4
480	29,596	20,007	12,375	6,185	480	9,833	0,279	4,0
540	29,824	20,235	12,375	6,115	540	9,792	0,203	3,6
600	29,826	20,237	12,375	6,115	600	9,763	0,174	3,4
720	30,190	20,601	12,375	6,006	720	9,738	0,149	3,0
840	30,192	20,603	12,279	5,959				
960	30,194	20,605	12,279	5,959				
1080	30,317	20,728	12,279	5,923				
1200	30,365	20,776	12,279	5,910				
1320	30,389	20,800	12,279	5,903				
1440	30,584	20,995	12,279	5,848				

ANEXO A - FICHA DE CAMPO DOS ENSAIOS DE BOMBEAMENTO – (Costa, 2006)

DADOS DO ENSAIO DE BOMBEAMENTO

Nº Cadastro: 264 **Local**: Faz. Jatobá **Profundidade**: 147,00 m
Nível Estático: 80,70 m **Vazão**: 1,80 m³/h **Duração do teste**: 1440 min.
Nível Dinâmico:97,24 m **Vazão Específica**:0,108(m³/h)/m **Data do teste**: 24/02/97

REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO			
t(min)	N.D.(m)	s(m)	Q(m³/h)	Q(m³/h)/m/s	t(min)	N.D.(m)	s(m)	$t_b/t'+1$(min)
1	85,230	4,530	4,800	1,059	1	96,880	16,180	1441
2	88,350	7,650	4,235	0,553	2	95,410	14,710	721
3	89,710	9,010	4,000	0,443	3	94,670	13,970	481
4	90,310	9,610	4,000	0,416	4	93,770	13,070	361
5	90,500	9,800	4,000	0,408	5	93,260	12,560	289
8	91,360	10,660	3,789	0,355	8	92,240	11,540	181
10	91,800	11,100	3,600	0,324	10	91,820	11,120	145
15	91,930	11,230	3,130	0,278	15	91,220	10,520	97,0
20	92,250	11,550	3,000	0,259	20	90,850	10,150	73,0
25	92,620	11,920	3,000	0,251	25	90,480	9,780	58,0
30	92,730	12,030	2,880	0,239	30	90,265	9,565	49,0
40	93,000	12,300	2,769	0,225	40	89,800	9,10	37,0
50	93,400	12,700	2,769	0,218	50	89,460	8,760	29,0
60	93,640	12,940	2,666	0,206	60	89,160	8,460	25,0
70	93,820	13,120	2,571	0,195	70	88,885	8,185	21,0
80	94,000	13,300	2,482	0,186	80	88,650	7,950	19,0
100	94,400	13,700	2,400	0,175	100	88,250	7,550	15,0
120	94,620	13,920	2,400	0,172	120	87,952	7,252	13,0
150	94,940	14,240	2,400	0,168	150	87,471	6,771	10,0
180	95,130	14,430	2,400	0,166	180	87,120	6,420	9,0
240	95,440	14,740	2,250	0,152	240	86,450	5,750	7,0
300	95,820	15,120	2,117	0,140	300	85,965	5,265	6,0
360	95,970	15,270	2,117	0,138	360	85,520	4,820	5,0
420	96,250	15,550	2,057	0,132	420	85,195	4,495	4,4
480	96,300	15,600	2,000	0,128	480	84,900	4,200	4,0
540	96,500	15,800	1,945	0,123	540	84,620	3,920	3,6
600	96,670	15,970	1,945	0,121	600	84,430	3,730	3,4
720	96,840	16,140	1,945	0,120	720	84,150	3,450	3,0
840	96,978	16,278	1,894	0,116				
960	97,093	16,393	1,894	0,112				
1080	97,141	16,441	1,800	0,109				
1200	97,200	16,500	1,800	0,109				
1320	97,220	16,520	1,800	0,108				
1440	97,240	16,540	1,800	0,108				

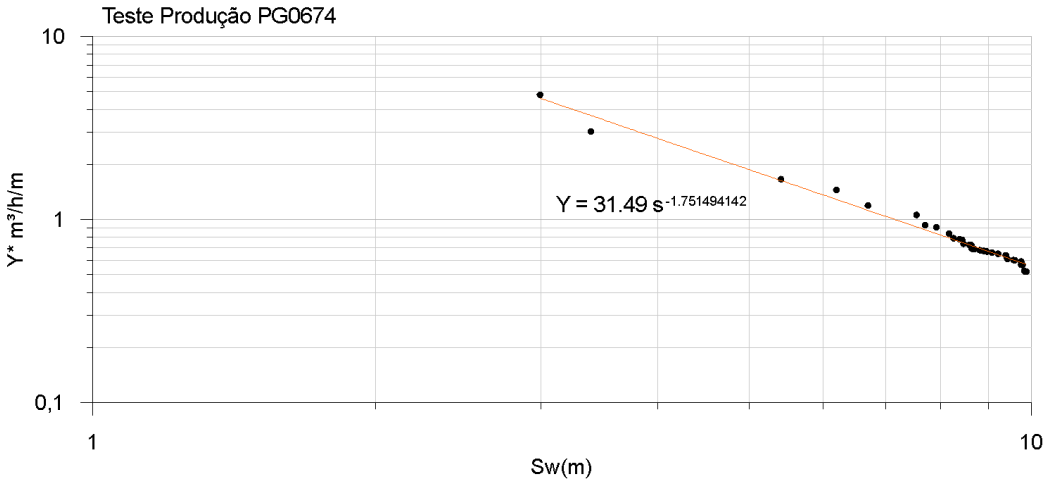
ANEXO A - FICHA DE CAMPO DOS ENSAIOS DE BOMBEAMENTO – (Costa, 2006)

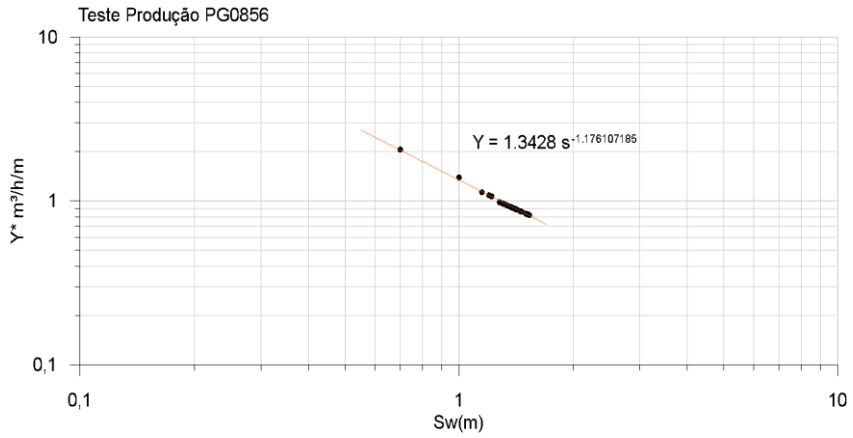
DADOS DO ENSAIO DE BOMBEAMENTO

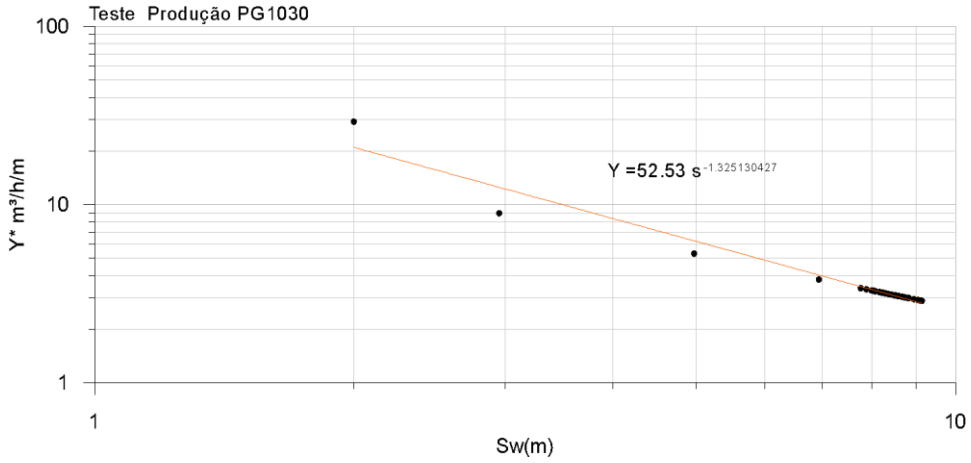
N° Cadastro: PG1030 **Local:** COHAB - Sede **Profundidade:** 180,00 m
Nível Estático: 29,05 m **Vazão:** 26,40 m3/h **Duração do teste:** 1440 min.
Nível Dinâmico:38,19 m **Vazão Específica:**2,89 (m3/h)/m **Data do teste:** 28/06/99

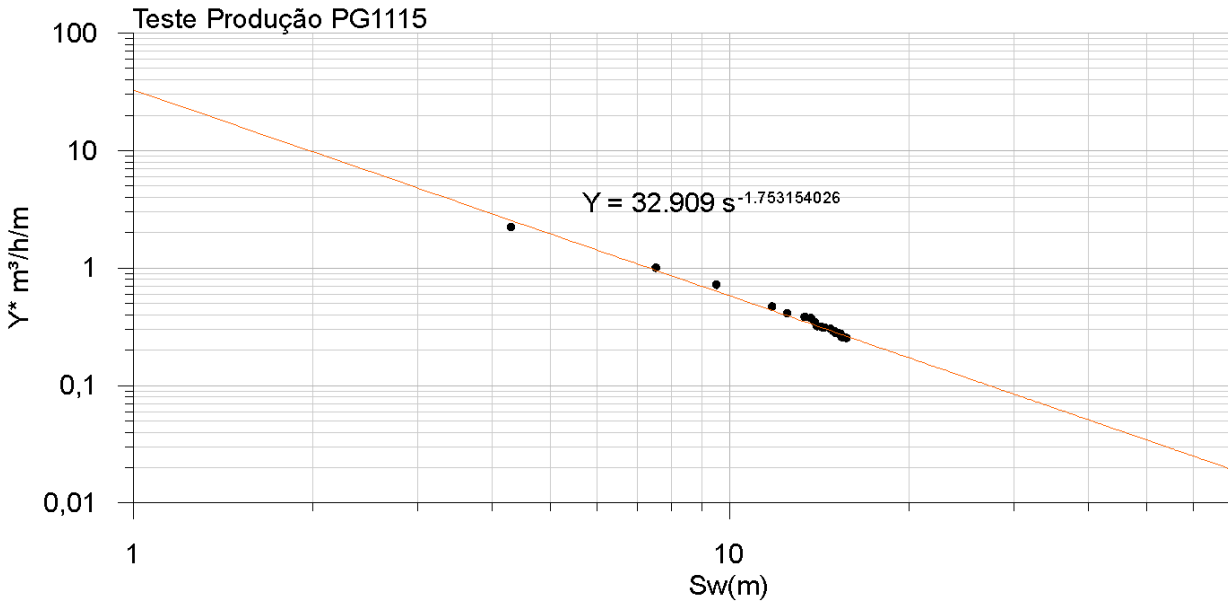
REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO			
t(min)	N.D.(m)	s(m)	Q(m³/h)	Q(m³/h)/m/s	t(min)	N.D.(m)	s(m)	$t_b/t'+1$(min)
1	31,05	2,00	58,40	29,20	1	37,21	8,16	1441
2	32,00	2,95	26,40	8,95	2	34,13	5,08	721
3	34,02	4,97	26,40	5,31	3	34,00	4,95	481
4	35,98	6,94	26,40	3,81	4	33,67	4,62	361
5	36,80	7,76	26,40	3,40	5	33,55	4,50	289
8	36,93	7,88	26,40	3,35	8	33,40	4,35	181
10	37,05	7,99	26,40	3,30	10	33,35	4,30	145
15	37,07	8,02	26,40	3,29	15	33,22	4,17	97,0
20	37,09	8,04	26,40	3,28	20	33,15	4,10	73,0
25	37,10	8,05	26,40	3,28	25	33,07	4,01	58,0
30	37,12	8,07	26,40	3,28	30	32,98	3,93	49,0
40	37,21	8,16	26,40	3,23	40	32,90	3,85	37,0
50	37,25	8,20	26,40	3,22	50	32,80	3,75	29,0
60	37,29	8,24	26,40	3,20	60	32,74	3,69	25,0
70	37,34	8,29	26,40	3,18	70	32,70	3,65	21,0
80	37,40	8,35	26,40	3,16	80	32,66	3,61	19,0
100	37,46	8,41	26,40	3,14	100	32,60	3,55	15,0
120	37,53	8,48	26,40	3,11	120	32,54	3,49	13,0
150	37,56	8,51	26,40	3,10	150	32,48	3,43	10,0
180	37,58	8,53	26,40	3,09	180	32,41	3,36	9,0
240	37,61	8,56	26,40	3,09	240	32,34	3,29	7,0
300	37,69	8,57	26,40	3,08	300	32,27	3,22	6,0
360	37,64	8,59	26,40	3,07	360	32,23	3,18	5,0
420	37,72	8,67	26,40	3,04	420	32,16	3,11	4,4
480	37,77	8,72	26,40	3,03	480	32,13	3,08	4,0
540	37,84	8,79	26,40	3,00	540	32,12	3,07	3,6
600	37,88	8,83	26,40	2,99	600	32,04	2,99	3,4
720	38,00	8,95	26,40	2,95	720	32,02	2,97	3,0
840	38,09	9,05	26,40	2,92				
960	38,11	9,06	26,40	2,92				
1080	38,13	9,08	26,40	2,91				
1200	38,14	9,09	26,40	2,91				
1320	38,17	9,12	26,40	2,90				
1440	38,19	9,14	26,40	2,89				

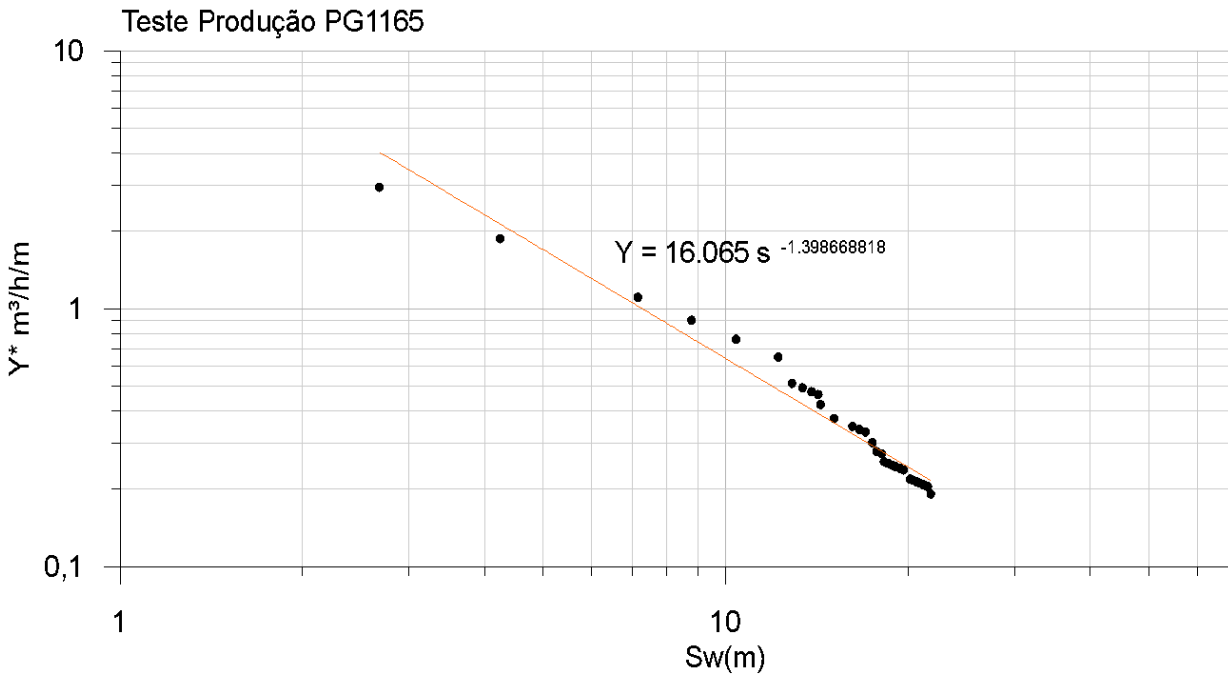
ANEXO B - CURVAS DE CAPACIDADE ESPECÍFICA FRACTAL PARA OS POÇOS PG00674, PG0836, PG0856, PG1115 E PG 1165



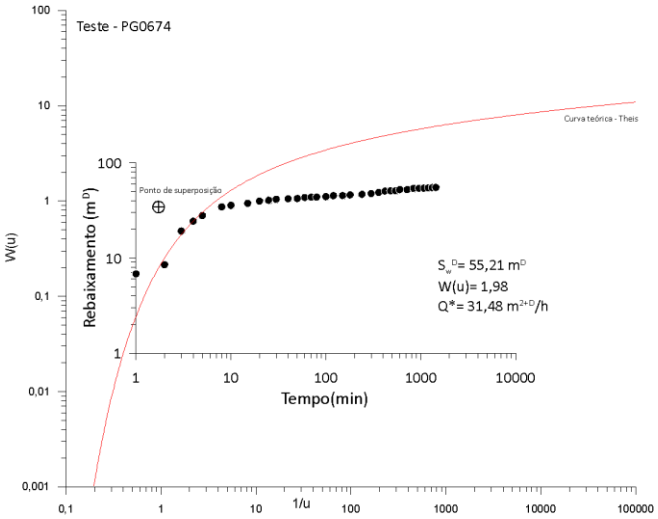


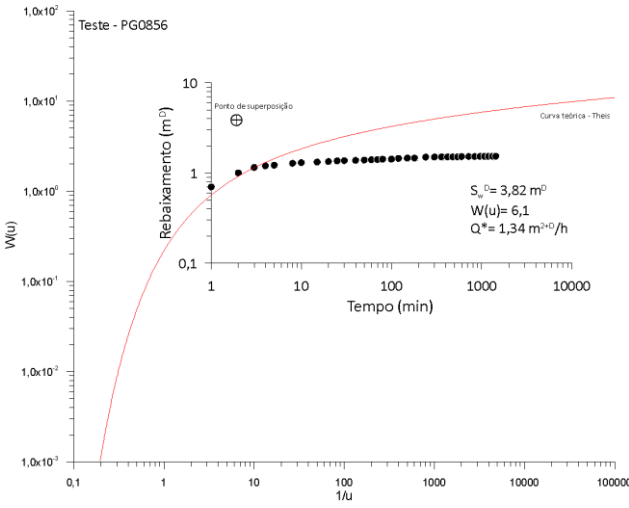


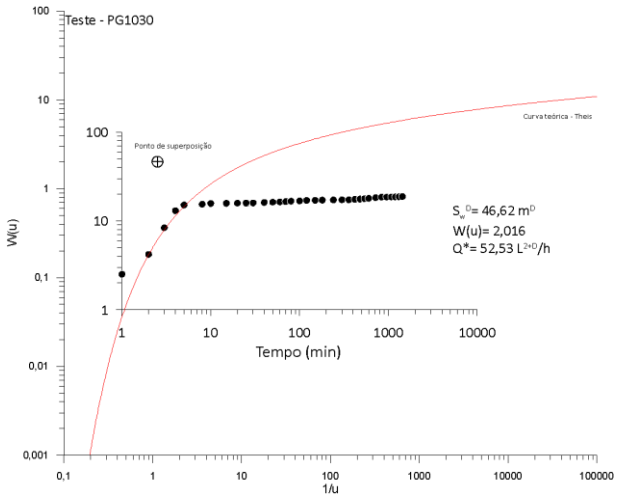

Teste Produção PG1115
100
10
1
0,1
0,01
Y* m³/h/m
Y = 32.909 s-1.753154026
1
10
Sw(m)

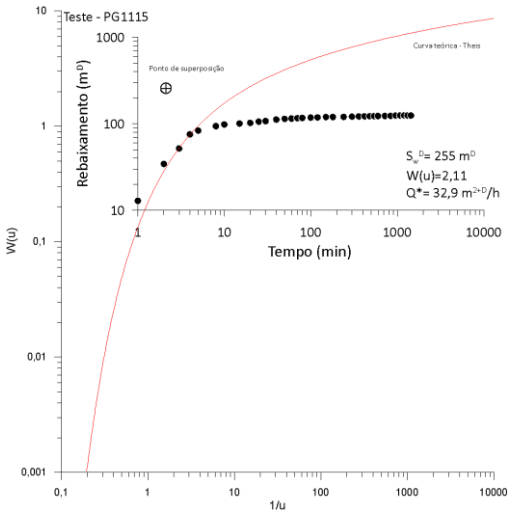

Teste Produção PG1165
10
1
0,1
Y* m³/h/m
Y = 16.065 s -1.398668818
1
10
Sw(m)

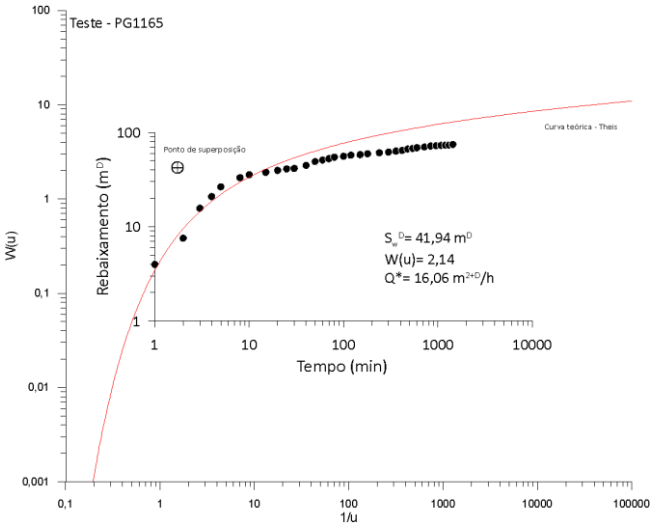
ANEXO C - CURVAS REBAIXAMENTO X TEMPO PG00674, PG1030, PG0856, PG1115 E PG 1165











ANEXO D - FICHA DE CAMPO DOS ENSAIOS DE CURTA DURAÇÃO

DADOS DO ENSAIO DE BOMBEAMENTO			
N° Cadastro: PG0077			**Local:** Mata redonda
Nível Estático: 19,67 m			**Vazão:** 7.0 m3/h
t(min)	**N.D.(m)**	**s(m)**	**Q(m³/h)**
1	21.434	21.434	7.01
2	21.794	21.794	7.058
3	21.883	21.883	7.05
4	21.963	21.963	6.96
5	21.896	21.896	6.97
6	21.894	21.894	6.93
8	21.911	21.911	6.94
10	21.937	21.937	6.96
12	21.973	21.973	7.01
15	22.017	22.017	7.03
20	22.073	22.073	7.01
25	22.117	22.117	7.02
30	22.161	22.161	7.03
40	22.222	22.222	7.03
50	22.268	22.268	7
60	22.306	22.306	7.01

DADOS DO ENSAIO DE BOMBEAMENTO			
N° Cadastro: PG0655			**Local:** Caneta
Nível Estático: 30.22 m			**Vazão:** 6.5m3/h
t(min)	**N.D.(m)**	**s(m)**	**Q (m^3/h)**
1	34.056	3.836	6.5
2	36.835	6.615	6.5
3	38.561	8.341	6.5
4	39.694	9.474	6.5
5	40.406	10.186	6.5
6	40.887	10.667	6.5
8	41.538	11.318	6.5
10	41.928	11.708	6.5
12	42.212	11.992	6.5
15	42.519	12.299	6.5
20	42.879	12.659	6.5
25	43.12	12.9	6.5
30	43.302	13.082	6.5

ANEXO D - FICHA DE CAMPO DOS ENSAIOS DE CURTA DURAÇÃO

DADOS DO ENSAIO DE BOMBEAMENTO			
N° Cadastro: PG0662			**Local:**
Nível dinamico: 19,67 m			**Vazão:** 2.4 m3/h
Recuperação			
t(min)	**N.D.(m)**	**s(m)**	**Q (m^3/h)**
8	126.7	21.434	2.4
8.5	126.65	21.794	2.4
10	126.6	21.883	2.4
11.25	126.55	21.963	2.4
13.4	126.5	21.896	2.4
15.3	126.45	21.894	2.4
18.1	126.4	21.911	2.4
21.38	126.35	21.937	2.4
25.5	126.3	21.973	2.4
30.16	126.25	22.017	2.4
37.18	126.2	22.073	2.4

ANEXO E - FICHA DE CAMPO TESTE DE AQUÍFERO – COMPESA

ANEXO 5.3.2

TESTE DE AQUÍFERO

27

POÇO Nº: 02
LOCAL: SÍTIO GAMA
MUNIC: BOM NOME
: 48 horas

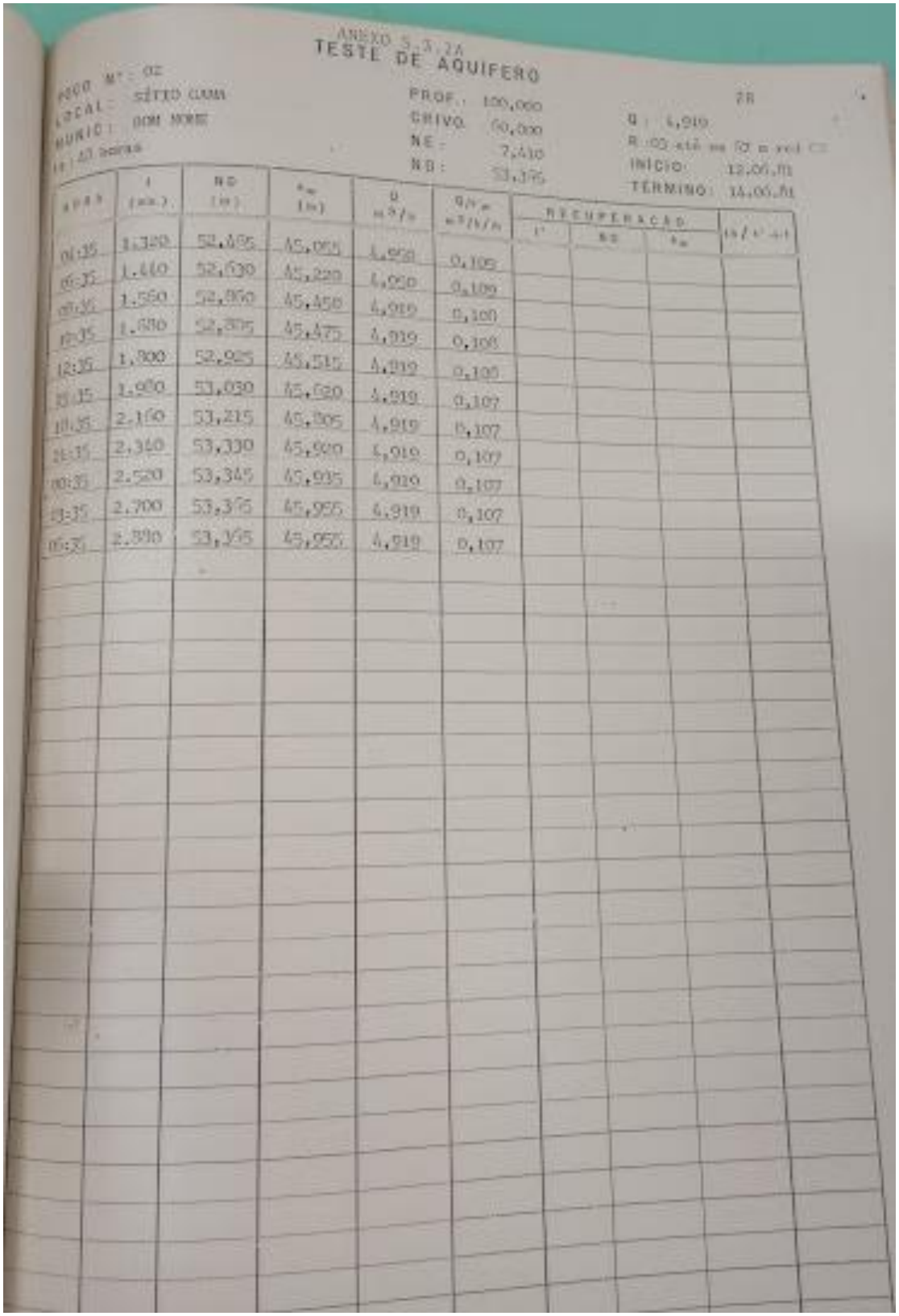
PROF: 100,000
CRIVO: 50,000
NE: 7,610
ND: 53,395

Q: 4,919
R: 03- Até 67 m
INÍCIO: 13.05.81
TÉRMINO: 14.05.81

HORA	t (min)	ND (m)	s_w (m)	Q m^3/h	Q/s_w $m^3/h/m$	RECUPERAÇÃO t'	ND	s_w	(t/t'+1)
06:38	3	29,695	22,285			3	40.685	33.275	961,0
06:41	6	34,887	27,477			6	34.610	27.200	481,0
06:44	9	35,820	28,410			9	30.105	22.695	321,0
06:47	12	37,635	30,225	5,910	0,195	12	27.330	19.920	241,0
06:53	18	38,760	31,350	5,910	0,188	18	25.383	17.973	161,0
06:59	24	40,090	32,680	5,823	0,178	24	24.160	16.750	121,0
07:05	30	41,393	33,983	5,823	0,171	30	23.375	15.965	97,0
07:11	36	41,760	34,350	5,823	0,170	36	22.815	15.405	81,0
07:17	42	42,385	34,975	5,823	0,166	42	22.322	14.912	69,6
07:29	54	43,160	35,750	5,823	0,162	54	21.605	14.195	54,3
07:35	60	43,498	36,088	5,616	0,155	60	21.240	13.830	49,0
07:50	75	43,938	36,528	5,616	0,153	75	20.540	13.130	39,4
08:05	90	44,130	36,720	5,424	0,147	90	19.970	12.560	31,0
08:20	105	44,305	36,895	5,424	0,147	105	19.450	12.040	28,4
08:35	120	44,500	37,090	5,424	0,145	120	18.985	11.575	25,0
09:05	150	45,005	37,595	5,424	0,144	150	18.220	10.810	20,2
09:35	180	45,297	37,887	5,424	0,143	180	17.570	10.160	17,0
10:05	210	45,605	38,195	5,424	0,142	210	17.005	9.595	14,7
10:35	240	45,880	38,470	5,386	0,140	240	16.515	9.105	13,0
11:05	270	46,240	38,830	5,386	0,138	270	16.075	8.665	11,6
11:35	300	46,618	39,208	5,386	0,137	300	15.685	8.275	10,6
12:35	360	47,215	39,805	5,386	0,135	360	14.990	7.580	9,0
13:35	420	47,820	40,410	5,386	0,133	420	14.410	7.000	7,8
14:35	480	48,260	40,850	5,352	0,131	480	13.895	6.485	7,0
15:35	540	48,685	41,275	5,315	0,128	540	13.455	6.045	6,3
16:35	600	49,195	41,785	5,315	0,127	600	13.075	5.665	5,8
17:35	660	49,700	42,290	5,315	0,125	660	12.720	5.310	5,4
18:35	720	50,105	42,695	5,244	0,122	720	12.415	5.005	5,0
19:35	780	50,638	43,228	5,244	0,121				
20:35	840	50,945	43,535	5,244	0,120				
21:35	900	51,320	43,910	5,141	0,117				
22:35	960	51,605	44,195	5,141	0,116				
23:35	1.020	51,720	44,310	5,141	0,116				
00:35	1.080	51,810	44,400	4,950	0,111				
01:35	1.140	51,920	44,510	4,950	0,111				
02:35	1.200	52,135	44,725	4,950	0,110				

PLANAT

ANEXO E - FICHA DE CAMPO TESTE DE AQUÍFERO – COMPESA



ANEXO 5.3.2A

TESTE DE AQUIFERO

POÇO Nº: 02
LOCAL: SÍTIO CUMA
MUNIC: BOM NOME
Tp: 40 horas

PROF.: 100,000
CRIVO: 60,000
NE: 7,410
ND: 53,395

2R

Q: 4,919
R: 05 até os 50 m red 02
INÍCIO: 12.06.81
TÉRMINO: 14.06.81

HORA	t (min.)	ND (m)	s_w (m)	Q m^3/h	Q/s_w $m^3/h/m$	RECUPERAÇÃO t'	RECUPERAÇÃO ND	RECUPERAÇÃO s_w	$(t/t'+t)$
04:35	1.320	52,495	45,055	4,950	0,109				
06:35	1.440	52,630	45,220	4,950	0,109				
08:35	1.560	52,860	45,450	4,919	0,108				
10:35	1.680	52,895	45,475	4,919	0,108				
12:35	1.800	52,925	45,515	4,919	0,108				
15:35	1.980	53,030	45,620	4,919	0,107				
18:35	2.160	53,215	45,805	4,919	0,107				
21:35	2.340	53,330	45,920	4,919	0,107				
00:35	2.520	53,345	45,935	4,919	0,107				
03:35	2.700	53,365	45,955	4,919	0,107				
06:35	2.880	53,365	45,955	4,919	0,107				

ANEXO F - FICHA DE CAMPO TESTE DE PRODUÇÃO – FONTE BELMONTE

TESTE DE PRODUÇÃO - ESCALONADO

POÇO BOMBEADO :			**Jurema**	AQUÍFERO:		Tacaratu			
LOCAL:			**sitio Jurema**	PROF. (m):		160			
MUNICÍPIO/ESTADO:			SJB	Executor		Carlos			
NE(m)			21.74						
Etapa	t (min)	N.D (m)	sp (m)	Vazão (m^3/h)	Etapa	t (min)	N.D (m)	sp (m)	Vazão (m^3/h)
I	1	29.220	7.48	16.66	III	121	36.500	14.760	25.05
	2	29.420	7.68	16.66		122	36.570	14.830	25.05
	3	29.910	7.97	16.66		123	36.990	15.250	25.05
	4	29.710	8.17	16.66		124	37.050	15.310	25.05
	5	29.880	8.14	16.66		125	37.120	15.380	25.05
	6	30.270	8.53	16.66		126	37.140	15.400	25.05
	8	30.290	8.550	16.66		128	37.210	15.470	25.05
	10	30.390	8.650	16.66		130	37.250	15.510	25.05
	12	30.350	8.610	16.66		132	37.320	15.580	25.05
	15	30.490	8.750	16.66		135	37.390	15.650	25.05
	20	30.640	8.900	16.66		140	37.400	15.660	25.05
	25	30.770	9.030	16.66		145	37.550	15.810	25.05
	30	30.820	9.080	16.66		150	37.620	15.880	25.05
	40	31.060	9.320	16.66		160	37.740	16.000	25.05
	50	31.140	9.400	16.66		170	37.940	16.200	25.05
	60	31.240	9.500	16.66		180	38.190	16.450	25.05
Etapa	t (min)	N.D (m)	sp (m)	Vazão (m^3/h)	Etapa	t (min)	N.D (m)	sp (m)	Vazão (m^3/h)
II	61	32.000	10.26	20.23	IV	181	41.410	19.67	30.72
	62	32.110	10.37	20.23		182	41.490	19.75	30.72
	63	32.270	10.53	20.23		183	41.630	19.89	30.72
	64	32.480	10.74	20.23		184	41.700	19.96	30.72
	65	32.820	11.08	20.23		185	41.970	20.23	30.72
	66	32.890	11.15	20.23		186	42.100	20.36	30.72
	68	33.150	11.41	20.23		188	42.190	20.45	30.72
	70	33.220	11.48	20.23		190	42.290	20.55	30.72
	72	33.340	11.60	20.23		192	42.320	20.58	30.72
	75	33.490	11.75	20.23		195	42.390	20.65	30.72
	80	33.580	11.84	20.23		200	42.660	20.92	30.72
	85	33.690	11.95	20.23		205	42.850	21.11	30.72
	90	33.760	12.02	20.23		210	42.950	21.21	30.72
	100	33.840	12.10	20.23		220	43.010	21.27	30.72
	110	33.990	12.25	20.23		230	43.050	21.31	30.72
	120	34.030	12.29	20.23		240	43.090	21.35	30.72

ANEXO F - FICHA DE CAMPO TESTE DE PRODUÇÃO – FONTE BELMONTE

TESTE DE PRODUÇÃO - Continuo

POÇO BOMBEADO :	**Jurema**	AQUÍFERO:	Tacaratu
LOCAL:	**sitio Jurema**	PROF. (m):	160
MUNICÍPIO/ESTADO:	SJB	Executor	Carlos
NE(m)	21.48		

DADOS DE REBAIXAMENTO					**DADOS DE RECUPERAÇÃO**			
HORA	t (min)	N.D (m)	sp (m)	Vazão (m^3/h)	t´(min)	N.D (m)	sp (m)	t/t´+1
08:01	1	36.71	15.23	32.00	1	33.00	11.52	1441
08:02	2	36.90	15.42	32.00	2	30.04	8.56	631
08:03	3	37.55	16.07	32.00	3	29.18	7.70	361
08:04	4	37.56	16.08	32.00	4	28.81	7.33	226
08:05	5	37.66	16.18	32.00	5	28.55	7.07	157
08:06	6	37.87	16.39	32.00	6	28.34	6.86	111
08:08	8	37.94	16.46	32.00	8	28.03	6.55	68.5
08:10	10	38.10	16.62	32.00	10	27.80	6.32	43
08:12	12	38.31	16.83	32.00	12	27.54	6.06	31
08:15	15	38.60	17.12	32.00	15	27.32	5.84	21
08:20	20	38.90	17.42	32.00	20	29.90	8.42	13
08:25	25	39.30	17.82	32.00	25	26.66	5.18	9.4
08:30	30	39.54	18.06	32.00	30	26.45	4.97	7.0
08:40	40	39.91	18.43	32.00	40	26.10	4.62	4.75
08:50	50	40.15	18.67	32.00	50	25.82	4.34	3.4
09:00	60	40.38	18.90	32.00	60	25.57	4.09	2.7
09:20	80	40.77	19.29	32.00	80			2.0
09:40	100	41.18	19.70	32.00	100			1.6
10:00	120	41.45	19.97	32.00	120			1.42
10:30	150	42.37	20.89	32.00	150			
11:00	180	43.07	21.59	32.00	180			
11:30	210	43.30	21.82	32.00	210			
12:00	240	43.58	22.10	32.00	240			
13:00	300	44.00	22.52	32.00	300			
14:00	360	44.02	22.54	32.00	360			
15:00	420	44.69	23.21	32.00	420			
17:00	540	45.11	23.63	32.00	540			
19:00	660	45.12	23.64	32.00	660			
21:00	780	45.23	23.75	32.00	780			
23:00	900	45.29	23.81	32.00	900			
02:00	1080	45.38	23.90	32.00	1080			
05:00	1260	45.39	23.91	32.00	1260			
08:00	1440	45.85	24.37	32.00	1440			