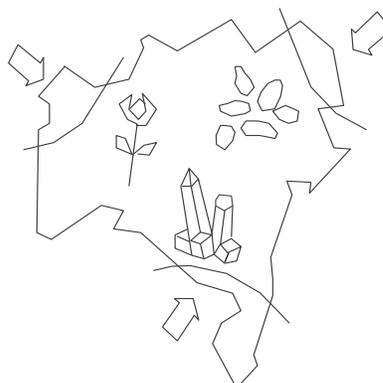




UFBA

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA



AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DO ALTO DA BACIA DO RIO JIQUIRIÇÁ - BA

CRISTOVALDO BISPO DOS SANTOS

**SALVADOR - BAHIA
MARÇO DE 2010**

CRISTOVALDO BISPO DOS SANTOS

AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DO ALTO DA BACIA DO RIO JIQUIRIÇÁ - BA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal da Bahia, em cumprimento às exigências para obtenção do Grau de **Doutor em Geologia**.

Área de Concentração: Geologia Ambiental, Hidrogeologia e Recursos Hídricos.

Prof^ª. PhD. Joana Angélica Guimarães da Luz – Orientadora

Prof. Dr. Olivar Antônio Lima de Lima – Co-Orientador

SALVADOR –BAHIA

Santos, Cristovaldo Bispo dos.

Avaliação hidrogeológica do alto da Bacia do Rio Jiquiriçá,
Estado da Bahia / Cristovaldo Bispo dos Santos. – Salvador, 2010.
190 f.: il.

Orientadora Joana Angélica Guimarães da Luz.

Tese (doutorado) – Universidade Federal da Bahia.

1. Hidrogeologia - Bahia. 2. Prospecção Geofísica - Bahia. 3.
Hidrogeoquímica - Bahia. 4. Geologia Estrutural - Bahia. I.
Universidade Federal da Bahia. Instituto de Geociências. II. Título.

CDD – 551. 49098142

CDU – 556 (814.2)

"Avaliação Hidrogeológica do Alto da Bacia do Rio Jiquiriçá"

Por

Cristovaldo Bispo dos Santos

Geólogo (Universidade Federal da Bahia - 2002)

TESE DE DOUTORADO

Submetida em satisfação parcial dos requisitos ao grau de

DOUTOR EM CIÊNCIAS - GEOLOGIA

à

Câmara de Ensino de Pesquisa e Pós-Graduação da
Universidade Federal da Bahia

Profa. Dra. Joana Angélica Guimarães da Luza (Orientadora UFBA)

Prof. Dr. Olivar Antônio Lima de Lima (Co-Orientador UFBA)

COMISSÃO EXAMINADORA:

Luiz Rogério B. Leal (Prof. Dr. Luiz Rogério B. Leal UFBA)

Sérgio Augusto de M. Nascimento (Prof. Dr. Sérgio Augusto de M. Nascimento)

Iara Brandão de Oliveira (Profa. Dra. Iara Brandão de Oliveira UFBA)

José Marcio Lins Marinho (Prof. Dr. José Marcio Lins Marinho UFC)

Data da defesa: 25/03/2010

Resultado final: Aprovado (X)

A Deus, ...

Tem o dom de ver estradas onde eu vejo o fim
Se me esqueço, me recorda.
Se não sei, me ensina.
E se perco a direção vem me encontrar.
Tem o dom de ouvir segredos, mesmo se me calo.
Tem o dom de ver estradas onde eu vejo o fim.
Quando os meus olhos não podiam ver, tua mão segura me ajudou a andar.
Quando eu não tinha mais amor no peito, teu amor me ajudou a amar.
Quando o meu sonho vi desmoronar, me trouxeste outros pra recomeçar.
Quando me esqueci que era alguém na vida, teu amor veio me lembrar.

... Ofereço.

(adaptado da música Humano Amor de Deus, Pe. Fábio de Melo)

À minha esposa, que caminha comigo há muitos anos, por tudo.
Apoio em todos os momentos, incentivo nas horas difíceis,
compreensão nos momentos de ausência, alegria nas minhas
vitórias e principalmente por sempre tentar me fazer ser uma
pessoa melhor.

À minha filha Andressa, meu horizonte, pelos momentos que
deixamos de passar juntos para que este sonho se realizasse. É
ela que dá sentido a tudo o que faço.

... Dedico

AGRADECIMENTOS

Aproveito este espaço para expressar meus sinceros agradecimentos às seguintes entidades e pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

A Universidade Federal da Bahia e ao Instituto de Geociências pela oportunidade de realização do Curso de Graduação em Geologia, começo de tudo.

A Pós-Graduação em Geoquímica e Meio Ambiente onde realizei o Mestrado e percebi que estava fazendo o que gostava.

A Pós-Graduação em Geologia pela oportunidade de desenvolver esta Tese de Doutorado, que me deu a certeza de que estou no caminho certo e é nele que quero continuar.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Nehma - Núcleo de estudos Hidrogeológicos e do Meio Ambiente, pelo apoio e infraestrutura disponibilizados ao longo de todos estes anos. A segunda casa de muitos alunos que por lá passaram.

Ao Centro de Pesquisa em Geologia e Geofísica (CPGG), nas pessoas de Alcirlene Cruz da Fonseca (Lene), José da Mota Paz e Joaquim Bonfim Lago, meus sinceros agradecimentos.

A Cerb – Companhia de Engenharia Ambiental da Bahia, pela disponibilização dos dados dos poços utilizados na tese, nas pessoas de Godofredo Correia Lima Júnior e Marcos Antônio Peixinho.

Agradecimentos especiais a minha Orientadora, Professora Joana Angélica G. da Luz, pela colaboração e transmissão de seus conhecimentos.

Ao Professor Olivar Antônio Lima de Lima, co-orientador do trabalho, pelas correções, pelo apoio e disponibilidade em me atender e esclarecer dúvidas.

À querida madrinha, amiga e Professora Ângela Beatriz Menezes Leal, por tudo. Amizade, apoio nos momentos difíceis, incentivo, força, correção, dicas, enfim por tudo.

Ao amigo, colega e orientador do mestrado, Professor Luiz Rogério Bastos Leal, pela confiança em me orientar no Mestrado, contribuindo desta forma pra que desenvolvesse o gosto pela vida acadêmica.

Ao colega de trabalho e amigo José de Castro Mello, por todo o apoio, incentivo e transmissão de conhecimentos ao longo dos anos, desde o mestrado, e certamente por muito tempo ainda.

Ao também amigo Professor Telésforo Martinez, que desde os tempos da graduação acrescenta com sua experiência e sabedoria. Conselheiro nas horas necessárias, sempre sincero sem perder amizade e admiração dos alunos.

Ao Professor Sérgio Augusto de M. Nascimento pelas contribuições nos capítulos que envolvem a geoquímica, bem como pelo apoio e pela palavra amiga nas horas necessárias

Aos Professores Johildo Barbosa, César Gomes e Simone Cruz pelas sugestões, dicas e pelas “conversas de corredor,” tão essenciais ao bom andamento de qualquer trabalho.

Ao Professor Hailton Mello da Silva o “Tio Hailton” exemplo de caráter e companheirismo. Sempre tem as palavras certas de compreensão e força para seguirmos em frente.

Ao amigo Harald Klamler (Haki), o Gringo, pelos momentos de descontração nas viagens de campo, mas também por acrescentar com seus conhecimentos sempre que solicitado.

Aos colegas da Pós-Graduação Cristiane Maciel, Eguinaldo, Márcio Ribeiro, Fernando Esteves, Antônio Lacerda, André Netto, Renilda Fátima e Jailma Souza.

Aos funcionários da Pós-Graduação em Geologia Gilsélio Nascimento e Nilton Silva pela colaboração e paciência ao longo deste trabalho.

Aos funcionários e amigos do Instituto de Geociências Joceane Santos Nadja Fontes (Naná), Cícero Gonçalves, Mércia Simões, Maristela Púglia, Gil Altamirando, Carlos Antônio Machado (Bossal), Manoel Brito, Fernando Ferraz, Alberto Teles e André Nery Calmon.

Aos colegas de trabalho da CERB, nas pessoas de Valmir L. Andrade, Sandro Oliveira Ramos, Nailson Pereira, Manoel Neto, José Humberto Mascarenhas, Bruna Maia, João Cunha, João Batista Andrade, Guilherme Medrado, Neves, Antônio Luiz T. Bahia.

Ao amigo Adilson Vianna de Barros pelo apoio dado a mim e a minha família em todas as horas.

A toda a minha família, incluindo aqui sogros, cunhados e cunhadas. A todos o meu sincero agradecimento pelas palavras de incentivo e pelos momentos de descontração.

A minha mãe Carmelita Bispo, pelo amor, confiança e incentivo. Hoje estou concluindo mais esta etapa nos estudos e parte deste mérito é dela.

SUMÁRIO

ÍNDICE	i
ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE QUADROS	xii
ÍNDICE DE FOTOS	xiv
ÍNDICE DE TABELAS	xvi
RESUMO	xvii
ABSTRACT	xviii
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2 – MATERIAIS E MÉTODOS	8
CAPÍTULO 3 – HIDROGEOLOGIA DO MEIO FISSURAL	27
CAPÍTULO 4 – ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA BACIA DO JQUIRIÇÁ	50
CAPÍTULO 5 - ASPECTOS GEOLÓGICOS E ESTRUTURAIS DA ÁREA DE PESQUISA	72
CAPÍTULO 6 – PROSPECÇÃO GEOFÍSICA	91
CAPÍTULO 7 – CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLOGIA E HIDROGEOQUÍMICA DA ÁREA	114
CAPÍTULO 8 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	180
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA	183
APÊNDICE 1 - CADASTRO DOS POÇOS TUBULARES POR AQUIFERO	
APÊNDICE 2 - RESULTADO DAS ANÁLISES QUÍMICAS DOS POÇOS AMOSTRADOS NAS DUAS CAMPANHAS DE CAMPO	
APÊNDICE 3 - SONDAGENS ELÉTRICAS VERTICAIS (SEV'S)	

ÍNDICE

Capítulo 1

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. JUSTIFICATIVA	3
1.2. OBJETIVO GERAL	4
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
1.4 LOCALIZAÇÃO E ACESSO À ÁREA DE PESQUISA	6

Capítulo 2

2. MATERIAIS E MÉTODOS	8
2.1 MATERIAIS UTILIZADOS NO DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	8
2.2 LEVANTAMENTO DE DADOS DA ÁREA EM ESTUDO	9
2.2.1 Levantamento Bibliográfico	9
2.2.2 Levantamento de Poços Tubulares	10
2.2.3 Mapeamento Geológico Estrutural	10
2.2.4 Levantamento Geofísico	12
2.2.5 Levantamento dos Dados Hidrogeológicos	14
2.2.6 Coleta de água para análise físico-química	15
2.3 TRATAMENTO DOS DADOS OBTIDOS	17
2.3.1 Aspectos geológicos e estruturais da área	17
2.3.2 Análise dos fraturamentos das rochas	18
2.3.3 Geofísica da área	18
2.3.3.1 Interpretação das sondagens elétricas verticais – SEV's	19
2.3.4 Hidrogeologia e Hidroquímica da área	20
2.3.4.1 Organização do Cadastro de Poços	21
2.3.4.2 Avaliação Hidrogeológica	22
2.3.4.3 Confecção dos mapas Hidrogeológico, Hidroquímico e Potenciométrico	23
2.3.4.4 Qualidade das águas Subterrâneas	24
2.4 INTEGRAÇÃO DOS DADOS	26

Capítulo 3

3. HIDROGEOLOGIA EM TERRENOS CRISTALINOS “ MEIO FISSURAL”	27
3.1 Origem da Água Subterrânea	28
3.2 Caracterização Hidrogeológica de Bacias Hidrográficas	33
3.3 A Importância dos Aquíferos em Rochas Cristalinas	36
3.4 Mecanismo de Fraturamento	39
3.5 Características Hidráulicas	44
3.6 Hidrogeologia de Terreno Cristalino do Estado da Bahia	47

Capítulo 4

4. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA BACIA DO RIO JIQUIRIÇÁ	50
4.1 Aspectos Climáticos	50
4.2 Vegetação e Uso do Solo	52
4.3 Aspectos Geomorfológicos	55
4.4 Tipo de Solo	57
4.5 Contexto Geológico Regional	60
4.6 Hidrogeologia Aspectos Gerais	66
4.6.1 Principais Aquíferos	67
4.6.2 Hidroquímica das águas subterrâneas	70

Capítulo 5

5. ASPECTOS GEOLÓGICOS E ESTRUTURAIS DA ÁREA DE PESQUISA	72
5.1 Aspectos estruturais	72
5.1.1 A tectônica extensional	73
5.1.2 Hipsometria	73
5.2 ASPECTOS ESTRUTURAIS POTENCIALMENTE FAVORÁVEIS À ÁGUA SUBTERRÂNEA	76
5.2.1 Rede de Drenagem e Lineamentos	77
5.3 CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES GEOLÓGICAS	80
5.3.1 Domínio do Embasamento Cristalino	80

5.3.2 Domínio das Coberturas Detríticas Terciárias	80
5.4 DESCRIÇÃO DOS DOMÍNIOS ESTRUTURAIS	83
5.4.1 Domínio Estrutural do Cristalino - Complexo Granulítico	83
5.4.2 Domínio das Coberturas Detríticas	88

Capítulo 6

6. PROSPECÇÃO GEOFÍSICA	91
6.1 Objetivo	92
6.2 O Método Geofísico da Eletrorresistividade	92
6.3 Base Física do Método da Eletrorresistividade	95
6.4 Sondagem Elétrica Vertical (SEV)	97
6.5 Apresentação dos Dados Geofísicos (SEV)	97
6.6 Resultados Obtidos	101

Capítulo 7

7. CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLOGIA E HIDROGEOQUÍMICA DA ÁREA	114
7.1 BANCO DE DADOS DE POÇOS TUBULARES	114
7.2 ESTATÍSTICA DOS DADOS DOS POÇOS DO ALTO DA BACIA DO JIQUIRIÇÁ.	115
7.3 DOMÍNIOS AQUÍFEROS DA ÁREA	118
7.4 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DOS DOMÍNIOS AQUÍFEROS	120
7.4.1 – Domínio Hidrogeológico A	120
7.4.2 - Domínio Hidrogeológico B	121
7.4.3 Domínio Hidrogeológico – Granular/Fissural (Misto)	122
7.4.4 Domínio Hidrogeológico – Granular	123
7.5 DIFERENCIAÇÃO QUANTITATIVA ENTRE OS DOMÍNIOS HIDROGEOLÓGICOS A, B, GRANULAR/ FISSURAL E GRANULAR	128
7.6 CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS	135
7.7 POTENCIALIDADES E RESERVAS DOS DOMÍNIOS HIDROGEOLÓGICOS	138

7.8 POTENCIOMETRIA E DISPONIBILIDADE HÍDRICA	141
7.9 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA DOS DOMÍNIOS AQUÍFEROS	145
7.9.1 Diferenciação Qualitativa entre os Domínios Hidrogeológicos A, B, Granular/Fissural e Granular.	151
7.9.1.1 Hidroquímica do Domínio Fissural Sub-Domínio A e B	151
7.9.2 Hidroquímica dos Domínios Aquíferos Granular/Fissural e Granular	156
7.9.3 Qualidade da água no alto Jiquiriçá	161
7.9.3.1 Distribuição do Cloreto, Sólidos Totais dissolvidos e Dureza	162
7.10 ÁREAS POTENCIALMENTE FAVORÁVEIS A PROSPECÇÃO DE ÁGUA SUBTERRNEAS	170
710.1 Modelo Hidrogeologico da Bacia	178
Capítulo 8	
9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	180
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	183

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 1

- Figura 1.1- Figura 1.1- Mapa de situação da bacia hidrográfica do Rio Jiquiriçá . 6
- Figura 1.2 – Mapa de Localização da Bacia do Rio Jiquiriçá, destacando o alto curso do rio, área da pesquisa. 6

Capítulo 2

- Figura 2.1- Dispositivo Schumberger mostrando o posicionamento linear dos eletrodos A, B, M e N. (Adaptado de SOUZA, 2002) 14
- Figura 2.2- Curva de campo não interpretada –SEV-3D 19
- Figura 2.3-: Curva de campo interpretada –SEV-3D 19

Capítulo 3

- Figura 3.1- Modelo do Ciclo Hidrológico 28
- Figura 3.2- Distribuição da água no mundo 29
- Figura 3.3- Tipos de aquíferos segundo sua textura. **A)** Aquífero Poroso (Arenito); **B)** aquífero Cárstico (Calcário); **C)** Aquífero Fissural (granito), modificado de Andrade, 2009 30
- Figura 3.4 – Bloco diagrama exibindo os elementos que influem nas características hidrodinâmicas de um aquífero fissural. Fonte: *apud*: PINÉO, 2005) 31
- Figura 3.5- Os hidrogramas mostrando escoamento tipo de solos arenosos e argilosos 33
- Figura 3.6- Hidrograma mostrando escoamento em área vegetada e área impermeabilizada 34
- Figura 3.7- O hidrograma mostra a diferença do escoamento com a intensidade da chuva 34
- Figura 3.8- Mostrando a diferença entre o divisor topográfico e freático 34
- Figura 3.9- Diferentes tipos de porosidade 35
- Figura 3.10- Distribuição das rochas cristalinas pelo mundo (Singhal & Gupta, 1999) 36

Figura 3.11- Distribuição dos Terrenos Cristalinos no Brasil	37
Figura 3.12 – a) Bloco diagrama exibindo fraturas de cisalhamento formadas de acordo com os esforços representados pelo elipsóide ao lado. b) Fraturas de cisalhamento e de tração originadas conforme a orientação dos esforços representados pelo respectivo elipsóide	41
Figura 3.13 – Fraturas de tração e enrugamento associado a um dobramento. (Fonte: <i>apud</i> : PINÉO, 2005)	41
Figura 3.14 - Mecanismo de propagação de uma Quebra (LAWN & WILSHAU, 1975, <i>IN</i> FERNANDES,1997)	43
Figura 3.15- Estágios de desenvolvimento de uma zona de fratura de cisalhamento (Banks e Robins, 2002)	43
Figura 3.16- Superfície Potenciométrica virtual de um aquífero em rocha fraturada (Custodio e llamas, 1996)	44
Figura 3.17- Mostrando a distribuição dos valores de porosidade e capacidade específica em rochas metamórficas estimadas em teste de laboratório (Stewart, 1962 <i>apud</i> Davis,1980)	45
Figura 3.18- Mapa hidrogeológico do Estado da Bahia, (modificado de Guerra & Negrão, 1996)	48

Capítulo 4

Figura 4.1: Balanço Hídrico Climatológico – 1961/1999 – Itiruçu. (Fonte: Inmet,2005)	50
Figura 4.2: Balanço Hídrico Climatológico – 1961/1999 – Itiruçu - Jaguaquara. (Fonte: Inmet,2005)	51
Figura 4.3- Mostra a precipitação ocorrida na região de maracás entre os anos de 73 a 91	51
Figura 4.4- Mostra a precipitação ocorrida na região de Itiruçu entre os anos de 73 a 91	51
Figura 4.5: Mostra a precipitação ocorrida na região de Nova Itarana entre os anos de 73 a 98	52

Figura 4.6: Mostra a precipitação média nos municípios de Maracás, Itiruçu e N. Itarana	52
Figura 4.7- Mapa de vegetação da Bacia do Rio Jiquiriçá	54
Figura 4.8- Modelo digital da bacia, mostrando as principais unidades geomorfológicas da área	56
Figura 4.9- Mapa de solos da bacia do Rio Jiquiriçá	58
Figura 4.10- Províncias estruturais definidas por Almeida <i>et al.</i> (1977)	60
Figura 4.11.I- Mapa esquemático mostrando os limites e as maiores unidades estruturais do Cráton do São Francisco	62
Figura 4.11.II - Mapa simplificado da região granulítica do sul/sudeste da Bahia (modificado de Macedo, 2006)	64
Figura 4.12- Mapa Geológico da Bacia do Rio Jiquiriçá	65
Figura 4.13- Mostrando o Numero de poços perfurados pela CERB nos municípios do Alto Jiquiriçá	68
Figura 4.14- Mostrando a Porcentagem de poços perfurados secos ou com vazões insuficientes	69
Figura 4.15- Mostrando a freqüência de vazões, em toda região, em metros cúbicos por hora	69

Capítulo 5

Figura 5.1- Modelo digital do terreno do alto jiquiriçá	75
Figura 5.2- Mapa de fraturas - lineamentos extraídos das fotografias aéreas, superpostas a rede de drenagem	79
Figura 5.3- Mapa Geológico Estrutural	82
Figura 5.4- Mapa dos domínios Estruturais	84

Capítulo 6

Figura 6.1 – Representação simplificada das técnicas referentes ao método da Eletrorresistividade (Braga,2005)	93
Figura 6.2 - Configurações de eletrodos no método eletrorresistivo. Arranjo Schlumberger (apud REYNOLDS, 1997)	94

Figura 6.3- Localização das Sondagens Elétricas realizadas no Alto da bacia do Rio Jiquiriçá	98
Figura 6.4- Sondagem 1A –Iniciada próximo a Maracás	101
Figura 6.5- Camadas geológicas interpretadas	101
Figura 6.6- Sondagem 6A – Realizada a 5 km da sondagem 1A na mesma direção	102
Figura 6.7- Camadas geológicas interpretadas	102
Figura 6.8- Seção geoeletrica interpretada (A)	103
Figura 6.9- Sondagem 12B – mostrando uma curva típica do cristalino	104
Figura 6.10: Camadas geológicas interpretadas	104
Figura 6.11- Sondagem 19B – mostrando uma curva típica do cristalino	104
Figura 6.12- Camadas geológicas interpretadas	104
Figura 6.13- sondagem 2C, realizada sobre as coberturas sedimentar.	105
Figura 6.14- Camadas geológicas interpretadas	105
Figura 6.15- sondagem 9C, realizada sobre a cobertura sedimentar	106
Figura 6.16- Camadas geológicas interpretadas	106
Figura 6.17- Sondagem 1d, realizada próximo a entrada de Irajuba	107
Figura 6.18- Camadas geológicas interpretadas.	107
Figura 6.19- Sondagem 4d, realizada próximo a entrada de Irajúba, ao longo da BR-16 sul.	107
Figura 6.20- Camadas geológicas interpretadas	107
Figura 6.21- Sondagem 1e realizada no Distrito de Angélica	108
Figura 6.22- Camadas geológicas interpretadas	108
Figura 6.23- Sondagem 9e, mostrando profundidade do topo da rocha sã com aproximadamente 40 m.	108
Figura 6.24- Camadas geológicas interpretadas	108
Figura 6.25- seção geoeletrico interpretada B	110
Figura 6.26 -Seção geoeletrico interpretada C	111
Figura 6.27- Seção geoeletrico interpretada D	112
Figura 6.28- Seção geoeletrico interpretada E	113

Capítulo 7

Figura 7.1- Gráfico mostrando o percentual de falha do banco de dados da CERB.	115
Figura 7.2- Gráfico mostrando a Porcentagens dos poços perfurados por litologias entre os períodos 1973-1977, 1978-1982,1983-1987, 1988-1992, 1993-1997 e 1998-2002 – Alto Jiquiriça.	117
Figura 7.3- gráfico mostrando o percentual dos poços perfurados por litologia.	117
Figura 7.4: Mapa de Domínios Hidrogeológico do alto Jiquiriça.	119
Figura 7.5- Perfil litológico do poço tubular – localidade de Angelica – Planaltino – (Domínio Hidrogeológico Fissural A) .	124
Figura 7.6- Perfil litológico do poço tubular – localidade Faz. Conceição do Baixão – Irajuba – (Domínio Hidrogeológico Fissural B) .	125
Figura 7.7- Perfil litológico do poço tubular – localidade Faz. samambaia – Planaltino – (Domínio Hidrogeológico Granular/Fissural ou misto) .	126
Figura 7.8- Perfil litológico do poço tubular – localidade Lagedo do Tabocal II – Itirucú – (Domínio Hidrogeológico Granular) .	127
Figura 7.9- Capacidade Especifica com os poços da área e áreas adjacentes.	129
Figura 7.10- Capacidade Especifica com os poços da área	129
Figura 7.11- Frequência da profundidade dos poços do domínio fissural,	129
Figura 7.12- Frequência da vazão dos poços do domínio fissural.	130
Figura 7.13- Frequência da capacidade especifica dos poços do domínio fissural	130
Figura 7.14- Frequência da profundidade dos poços que explotam o Domínio Granular/Fissural.	131
Figura 7.15- Frequência da vazão dos poços que explotam o Domínio Granular/Fissural	131
Figura 7.16- Frequência da capacidade especifica dos poços que explotam o Domínio Granular/Fissural	131
Figura 7.17- Frequência da profundidade dos poços que explotam o Domínio granular.	132
Figura 7.18- Frequência da vazão dos poços que explotam o Domínio granular	132
Figura 7.19- Frequência da capacidade especifica dos poços que explotam o Domínio granular	132

Figura 7.20- Gráfico mostrando a diferença de vazão entre o domínio fissural, sub-domínios A, B e domínios granular/fissural e granular.	134
Figura 7.21- Interpretação do teste de vazão pelo método de Hantush – Poço 1-2118 – Sub-Domínio Fissural A.	136
Figura 7.22- Interpretação do teste de vazão pelo método de Hantush – Poço 1-3043 – Sub-Domínio Fissural B.	136
Figura 7.23- Interpretação do teste de vazão pelo método de Hantush – Poço 1-2383 – Domínio Granular/Fissural.	137
Figura 7.24- Interpretação do teste de vazão pelo método de Hantush – Poço 1-2067 – Domínio Granular.	137
Figura 7.25 - Mapa potenciométrico do alto da bacia do rio Jiquiriçá.	143
Figura 7.26 – Mapa de capacidade específica do alto da bacia do rio Jiquiriçá.	144
Figura 7.27: Diagrama de Piper dos poços perfurados no Domínio Fissural- Sub-Domínios A e B.	152
Figura 7.28 - Diagrama de Stiff - Domínio Fissural A (poço localizado próximo a Planaltino).	152
Figura 2.29 - Diagrama de Stiff - Domínio Fissural A (poço localizado próximo a Maracás).	152
Figura 7.30 - Diagrama de Stiff - Domínio Fissural A (poço localizado próximo a L. do tabocal).	153
Figura 7.31 - Diagrama de Stiff - Domínio Fissural B (poço localizado próximo de Irajuba).	153
Figura 7.32- Diagrama do SAR, mostrando o risco de sódio e de salinidade das águas nos sub-domínios A e B	154
Figura 7.33- Valores médios do STD, Cl e Dureza no domínio fissural / sub-domínios A e B.	154
Figura 7.34- Gráfico de Pizza do Cloreto, STD e Dureza – Sub-domínio A.	155
Figura 7.35- Gráfico de Pizza do Cloreto, STD e Dureza – Sub-domínio B.	155
Figura 7.36- Piper poços perfurados nos Domínios Granular/Fissural e Granular.	156
Figura 7.37- Diagrama de Stiff – Domínio Granular/Fissural.	157
Figura 7.38 Diagrama de Stiff – Domínio Granular/Fissural.	157

Figura 3.39: Diagrama de Stiff – Domínio Granular/Fissural.	157
Figura 7.40 Diagrama de Stiff – Domínio Granular/Fissural.	157
Figura 7.41: Diagrama do SAR, mostrando o risco de sódio e de salinidade das águas nos Domínios Granular/Fissural e Granular.	158
Figura 7.42: Valores médios do STD, Cl e Dureza nos Sub-Domínio A e B e domínio Granular/Fissural e Granular.	159
Figura 7.43: Gráfico de Pizza do Cloreto, STD e Dureza do Domínio Granular/Fissural.	160
Figura 7.44: Gráfico de Pizza do Cloreto, STD e Dureza do Domínio Granular.	160
Figura 7.45: Gráfico mostrando os valores médios de Cl, SDT e Dureza.	160
Figura 7.46: Gráfico mostrando os valores médios de Cl, SDT e Dureza.	161
Figura 7.47: Gráfico mostrando os valores médios de Cl, SDT e Dureza.	161
Figura 7.48- Mapa da distribuição do Cloreto no alto da bacia do rio Jiquiriçá.	163
Figura 7.49- Mapa da distribuição do Dureza no alto da bacia do rio Jiquiriçá.	164
Figura 7.50- Mapa da distribuição do STD no alto da bacia do rio Jiquiriçá.	165
Figura 7.51 – Gráfico mostrando a distribuição do Na e K nos domínios aquíferos.	168
Figura 7.52 – Gráfico mostrando a distribuição do HCO ₃ , Mg e Ca nos domínios aquíferos.	168
Figura 7.53 – Gráfico mostrando a distribuição do SO ₄ nos domínios aquíferos.	168
Figura 7.54 – Gráfico mostrando a distribuição do PO ₄ e Al nos domínios aquíferos.	169
Figura 7.55 – Gráfico mostrando a distribuição do Mn nos domínios aquíferos.	169
Figura 7.56 – Gráfico mostrando a distribuição do Fe nos domínios aquíferos.	169
Figura 7.57 – Gráfico mostrando a distribuição do NO ₃ e NO ₂ nos domínios aquíferos.	170
Figura 7.58 – Seção Hidrogeológica Interpretada A	173
Figura 7.59 - Seção Hidrogeológica Interpretada B	174
Figura 7.60 - Seção Hidrogeológica Interpretada C	175
Figura 7.61 - Seção Hidrogeológica Interpretada D	176
Figura 7.62 - Seção Hidrogeológica Interpretada E	177
Figura 7.63 – Mapa do Modelo hidrogeológico do alto do rio Jiquiriçá	179

ÍNDICE DE QUADROS

Capítulo 2

Quadro 2.1 - Valores Limites para as Classes de Águas	26
---	----

Capítulo 3

Quadro 3.1 - Parâmetros físicos dos condutores hidráulicos	46
Quadro 3.2 - Classificação de produtividade dos aquíferos no Brasil	46
Quadro 3.3 – Mostrando a capacidade de produção dos poços e índice de salinidade nos diferentes Domínios Hidrogeológicos	48

Capítulo 4

Quadro 4.1- Mostra as 08 maiores vazões do Alto Jiquiriçá	70
Quadro 4.2- Análise Química média da água dos poços do Alto Jiquiriçá por município	71

Capítulo 5

Quadro 5.1- Poços cadastrados no subdomínio-A	86
Quadro 5.2- Poços cadastrados no subdomínio-B	87
Quadro 5.3- Poços cadastrados no Domínio Estrutural das Coberturas Detríticas/Sedimentar	89

Capítulo 6

Quadro 6.1, Apresenta alguns valores de resistividade elétrica de alguns materiais geológicos, onde pode ser observada a influência da saturação e da porosidade do material. Adaptado de TELFORD et al. (1990) e REYNOLDS (1997)	93
---	----

Quadro 6.2 – Valores do fator geométrico K normalmente utilizados em SEV para o arranjo Schlumberger 95

Quadro 6.3 Relação das SEV's e suas respectivas coordenadas e os valores de cota altimétrica dos pontos onde foram realizadas 100

ÍNDICE DE FOTOS

Capítulo 1

Foto 1.1- Nascente do Rio Jiquiriçá	7
Foto 1.2- Primeira ponte construída sobre o Rio Jiquiriçá, principal acesso à nascente do rio	7

Capítulo 2

Foto 2.1: Aquisição dos dados em campo e anotação em papel bi-log.	13
Foto 2.2: Eletrodos sendo fixados no solo para leitura da resistividade.	13
Foto 2.3: Mostrando a posição dos eletrodos de corrente	13
Foto 2.4: Mostrando o equipamento SYSCAL –usado para aquisição dos dados de campo	13
Foto 2.5: Mostrando o sistema operacional do Syscal.	14
Foto 2.6: Tomada do nível estático de um poço não instalado usando medidor de nível sonoro	15
Foto 2.7: Mostrando o uso do GPS-Diferencial na determinação precisa da cota do terreno para definição do nível estáticos dos poços	15
Foto 2.8: Mostrando o uso do WQC em sito, analisando água de poço	16
Foto 2.9: Mostrando coleta de água para análise em laboratório.	16

Capítulo 4

Foto 4.1- Mostrando plantio de mandioca (Almeida, 2004)	53
Foto 4.2- Mostrando a plantio de café – Itiruçu (Almeida, 2004)	53
Foto 4.3- Mostrando a criação de gado – Maracás (Almeida, 2004)	53
Foto 4.4- Mostrando o plantio de maracujá (Almeida, 2004)	53
Foto: 4.5- Solo com espessura reduzida, ocorre na maior parte da área.	59
Foto 4.6- Mostra a pouca diferenciação de horizontes	59
Foto 4.7- Solo constituído predominantemente por óxidos de ferro	59

Foto 4.8- Solos formados a partir dos sedimentos areno-argilosos da cobertura sedimentar	59
Foto 4.9- Solo com variação no seu grau de desenvolvimento, com predomínio de argilas.	59
Foto 4.10- Solo com composição arenosa no topo e argilosa na base, fruto da decomposição do embasamento	59
Foto 4.11- Mostra o Rio Jiquiriçá, próximo a Itaquara, vegetação mais árida	66
Foto 4.12- Mostra o Rio Jiquiriçá, a leste da cidade de Santa Inês, limite entre o Alto e Médio Jiquiriçá, vegetação de clima mais úmido	66
Foto 4.13 Mostrando reservatório de água no alto Jiquiriçá	67
Foto 4.14- mostrando açude próximo a Planaltino	67

Capítulo 5

Foto 5.1- Rocha do embasamento mostrando fraturamento predominante na área.	85
Foto 5.2- Rochas do embasamento (granulítica) mostrando fraturamento predominante na área	85
Foto 5.3- Rocha do embasamento mostrando fraturamento aberto transversal ao lineamento principal da área.	85
Foto 5.4- Embasamento alterado pelo intemperismo químico.	85
Foto 5.5- Rocha do embasamento mostrando os dois principais sistemas de fraturas do subdomínio B.	86
Foto 5.6- Rocha do embasamento mostrando os dois principais sistemas de fraturas do subdomínio B, com fraturas fechadas	86
Foto 5.7- Rocha do embasamento mostrando os dois principais sistemas de fraturas do subdomínio B	87
Foto 5.8- Rocha com muitas dobras, característico do subdomínio B	87
Foto 5.9- Mostrando aspectos da cobertura regolito	88
Foto 5.10- Diferentes níveis texturais da cobertura regolito	88
Foto 5.11- Mostrando feições da rocha original	88
Foto 5.12- Sedimentos areno-argilosos da cobertura sedimentar	89
Foto 5.13- Cobertura sedimentar com diferentes níveis texturais.	89

ÍNDICE DE TABELAS

Capítulo 7

Tabela 7.1 Sumário Estatístico para toda a região.	116
Tabela 7.2- Capacidade Específica do Domínio Fissural, dos Sub-Domínios A e B e dos Domínios Granular/Fissural e Granular.	128
Tabela 7.3- Mostra a variação do Nível Estático (NE), Nível Dinâmico (ND) e Profundidade dos poços no Domínio Fissural, nos Sub-Domínios A, B e nos Domínios Granular/Fissural e Granular.	133
Tabela 7.4- Poços cadastrados nos sub-domínios A e B .	135
Tabela 7.5- valor estimado da espessura saturada nos domínios aquíferos.	139
Tabela 7.6- valores das reservas e potencialidades nos diferentes domínios aquíferos da área.	141
Tabela 7.7- Concentração dos elementos analisados nas águas subterrâneas obtidas nos poços do Domínio Fissural.	149
Tabela 7.8- Concentração dos elementos analisados nas águas subterrâneas obtidas nos poços do Domínio Granular/Fissural.	150
Tabela 7.9- Concentração dos elementos analisados nas águas subterrâneas obtidas nos poços do Domínio Granular.	150
Tabela 7.10- Sub-Domínio Hidrogeológico A e B e dos Domínios Granular/Fissural e Granular.	159
Tabela 7.11- São mostrados os valores máximos, mínimos e médios dos parâmetros analisados, onde observa-se que o domínio granular é o que apresenta menor concentração de íons.	166

RESUMO

O principal objetivo deste trabalho foi a caracterização do aquífero cristalino na região do alto curso da Bacia do Jiquiriçá, região semi-árida do Estado da Bahia, de modo a contribuir para o seu conhecimento hidrogeológico e geológico-estrutural. A área de estudo acha-se representada pelas rochas do embasamento cristalino, constituídas por rochas metamórficas de fácies granulito, do Complexo Jequié, constituindo o aquífero fissural (**Domínio I**), com direção predominante NE-SW e NW-SE e, em áreas restritas o aquífero misto granular/fissural representado por litotipos também do Complexo Jequié, porém com maior espessura de manto de intemperismo e/ou Cobertura Detrítica (**Domínio II**); além do grupo de aquíferos granulares, representados pelas Coberturas Detríticas Sedimento Tercio-Quaternário (**Domínio III**). A análise integrada das informações geológico-estrutural, tectônica e hidrogeológica, permitiu a compartimentação do **Domínio I** em dois sub-domínios Hidrogeológicos denominados neste trabalho de sub-domínios A e B. Tais considerações foram fundamentadas e verificadas utilizando-se como parâmetro hidráulico a capacidade específica ($m^3/h/m$) e como parâmetros físico-químicos cloreto, a dureza, e sólidos totais dissolvidos, além das características construtivas dos poços. Na avaliação hidrogeoquímica foram utilizados dados dos poços perfurados nos domínios identificados, que serviram para avaliar a qualidade da água principalmente em relação aos parâmetros cloreto, dureza e sólidos totais dissolvidos. De modo geral, observa-se que as águas subterrâneas do alto jiquiriçá apresentam altas concentrações de Na, Ca, Mg, Fe, e Cl- e menores valores de K, SO_4 , HCO_3 , Mn e NO_3 sendo classificadas como cloretadas-sódicas. Na avaliação da reserva tomou-se como base dados locais, como precipitação média sobre os domínios, a área de ocorrência destes, dados de poço contidos no cadastro da CERB, além de dados de porosidade e taxas de infiltração (recarga) estimados com base em experiências de outras áreas do Nordeste Brasileiro. A disponibilidade de água subterrânea nos domínios aquíferos, mostra que as capacidades mais altas, entre $0,197m^3/h/m$ e $1 m^3/h/m$, estão concentradas nos domínios granular, granular/fissural e fissural A. Com o uso do método geofísico da eletrorresistividade obteve-se a caracterização geométrica das unidades geológicas e dos aquíferos, quanto as suas resistividades e espessuras que integrado as informações hidrogeológicas, tornou possível a avaliação quantitativa da potencialidade hídrica dos aquíferos na área de estudo.

Palavras-chave: aquífero fissural, hidrodinâmica, geofísica, hidroquímica, bacia do Jiquiriçá

ABSTRACT

The main objective of this study was to characterize the fractured aquifer in the upper course of the Jiquiriçá River, semi-arid region of Bahia, in order to contribute to the hydrogeological knowledge. The research area is represented by the crystalline basement rocks composed by metamorphic rocks of granulite facies from Jequié Complex, aquifer fissural (**Domain I**), with predominant direction NE-SW and NW-SE and in restricted area, the aquifer is mixed granular/fissural, represented by weathered rock, also from Jequié Complex, (Domain II) and the group of granular aquifers, represented by detrital sediment Covers Tercio-Quaternary (Domain III). The integrated analysis of geological, structural, tectonic and hydrogeological aspects allowed the partitioning of Domain I in two sub-areas A and B. Such considerations was substantiated and verified using hydraulic parameters such as the specific capacity ($\text{m}^3 / \text{h} / \text{m}$) as well as physical and chemical parameters, hardness, chloride and total dissolved solids, in addition to the constructive characteristics of the wells. The hydrogeochemical data used were from wells drilled in the identified areas, which were used to evaluate water quality especially regarding the required parameter Chloride, Hardness and Total Dissolved Solids. The waters were classified as sodium-chlorinated. In general, it is observed that the groundwater of high Jiquiriçá have high concentrations of Na, Ca, Mg, Fe, and Cl-and lower values of K, SO_4^- , HCO_3^- , NO_3^- -and Mn. The evaluation of the aquifer reserve were taken based in the average rainfall in the area of occurrence of these domain, well data from the data base, porosity and rates of infiltration (recharge) these last estimated based on the experiences of others areas of Northeast. The availability shows that the higher capacities, from $0.197 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ and $1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, are concentrated in areas of granular, granular/fractured and the fractured A aquifer. By using the method of resistivity the geoelectrical characterization of geologic units and the aquifers were obtained, and their resistivities and thicknesses integrated wint hydrogeological information, made possible the quantitative assessment of the aquifers potential in the research area.

Key-words: Fractured aquifer, hydrodynamics, hydrogeochemistry, Jiquiriçá basin, geophysics

1 – INTRODUÇÃO

Em muitas regiões, a água subterrânea é fundamental para o desenvolvimento sócio-econômico, transformando-a em um bem estratégico a ser racionalmente explorado, de modo a assegurar sua disponibilidade futura. Desta forma, o uso da água subterrânea demanda o desenvolvimento de programas gerenciais de planejamento, uso e monitoramento desses recursos, tendo como base o acompanhamento e a avaliação constante das ações propostas e dos resultados obtidos com sua aplicação. Tanto a nível internacional quanto nacional se verifica que a exploração dos sistemas aquíferos, em muito locais, é realizado sem atender regras básicas de planejamento e gestão do uso dos recursos disponíveis, podendo causar alteração na sua quantidade e qualidade. No Brasil, a atenção voltada para o gerenciamento dos recursos hídricos aumentou consideravelmente em consequência das novas políticas ambientais e da crescente preocupação com o suprimento de água com qualidade e quantidade adequada para a população. Entretanto o nordeste, principalmente no semi-árido, carente de água superficial, ainda se verifica que a utilização dos recursos hídricos subterrâneos vem sendo feito, sem o desenvolvimento de estudos hidrológicos e hidrogeológicos mais específicos, persistindo uma carência muito grande de conhecimentos relativos à hidrogeologia regional e a real situação de exploração dos aquíferos. Desta forma a avaliação das reservas subterrâneas, permanentes e reguladoras, das potencialidades e disponibilidades em nossos aquíferos, é grandemente dificultada pela insuficiência de dados e estudos básicos de natureza hidrogeológica.

Os recursos hídricos têm, em geral, grande significado ecológico, econômico e social. O gerenciamento, conservação e recuperação desses recursos é, portanto, de importância fundamental com reflexos na economia, na área social, no meio ambiente e nos usos dos sistemas aquáticos. Este gerenciamento é muito complexo e depende de uma forte base de dados para a compreensão da dinâmica dos sistemas hídricos e para o desenvolvimento de programas otimizados por sua exploração. Em função da grande dimensão do Brasil, com diferentes ambientes geológicos, ecológicos, geomorfológicos e antropológicos, torna esta ação evidentemente mais complexa, pois exige uma base local ou regional de dados e informações científicas compatíveis, com os sistemas regionais.

Segundo Rebouças (1996) o objetivo do desenvolvimento sustentável parte do pressuposto de que o ambiente não existe como uma esfera desvinculada das ações, ambições e necessidades humanas. Por sua vez deve-se considerar que a humanidade só é capaz de tornar o desenvolvimento sustentável através do planejamento, atendendo às necessidades do presente sem comprometer as gerações futuras. Isto implica, na prática, que um gerenciamento integrado deve ter por objetivos o uso e a proteção do ambiente em geral e dos recursos hídricos - superficiais e subterrâneos em particular, como componentes inseparáveis do ecossistema. Portanto o compromisso com a eficiência da utilização conjunta desses recursos, tendo por base a unidade hidrográfica, defronta-se com o fato de que esta articulação não pode significar homogeneidade, mas sim pluralidade integrada. Em outras palavras, o gerenciamento integrado das unidades de planejamento - micro, meso ou macro da bacia hidrográfica - implica numa abordagem sistêmica de componentes físicos.

O surgimento de constantes conflitos quanto aos usos e limitações da água levam a uma necessidade de conhecimento das potencialidades hídrica das bacias hidrográficas. Desta forma há necessidade não apenas de se conhecer os recursos hídricos de superfície, mas também de se caracterizar hidrogeologicamente as bacias hidrográficas, destacando-se os diferentes tipos de aquíferos e, seus parâmetros hidrogeológicos.

A potencialidade de um aquífero no que tange a sua reserva explorável e sua vazão de segurança está relacionada aos seus parâmetros hidrogeológicos, onde os mais importantes são, a porosidade efetiva, a espessura saturada, a condutividade hidráulica, a transmissividade, o coeficiente de armazenamento e a capacidade específica. Essas grandezas descrevem não só as feições físicas e hidrodinâmicas dos aquíferos, mas também são muito importantes para a sua adequada gestão, uma vez que são utilizadas para estimar as taxas anuais de recarga (reserva renovável), as condições gerais da circulação subterrânea e a vulnerabilidade do sistema à contaminação.

Para colaborar no preenchimento destas lacunas, este trabalho foi desenvolvido de modo a contribuir para o conhecimento hidrogeológico, geológico-estrutural e geofísico da bacia do alto rio Jiquiriçá, região semi-árida do Estado da Bahia. Buscou-se desenvolver uma metodologia capaz de subsidiar a definição de diretrizes para o uso das águas subterrâneas, principalmente em áreas deficitárias de recursos hídricos superficiais.

O sucesso no aproveitamento do domínio cristalino como aquífero, depende fundamentalmente, do conhecimento geológico e estrutural da região, notadamente quanto à natureza e comportamento das estruturas do tipo rúptil. Secundariamente, o tipo de rocha também interfere na produção. Prospectar água subterrânea consiste em um conjunto de operações ou estudos que permitem a localização e a caracterização de aquíferos, dos quais se pode obter água em quantidade e qualidade adequadas ao fim pretendido. Em terrenos de natureza cristalina, estes estudos estão voltados ao mapeamento de descontinuidades estruturais, que correspondem a planos de separação ou rupturas de um maciço rochoso, e que pode permitir o fluxo e o armazenamento de água entre eles, quando abertos e, não preenchidos por sólidos.

O trabalho está dividido de forma a englobar temas geológicos, geofísicos, hidrogeológicos e hidroquímicos importantes para a abordagem pretendida. Dentro desta visão, pretende-se analisar e conhecer as características do sistema aquífero da bacia do alto Rio Jiquiriçá, determinando sua disponibilidade hídrica e gerando informações que possam garantir a sustentabilidade da sua exploração, de modo a assegurar o atendimento da demanda, atual e futura desse manancial. A caracterização hidrogeológica da área, vinculada ao estudo dos padrões de fraturamentos dos maciços rochosos e aos estudos geofísicos da estrutura de subsuperfície proporcionam importantes subsídios ao aperfeiçoamento das técnicas de prospecção e de avaliação de reservas em terreno cristalino.

1.2 – JUSTIFICATIVA

A região da bacia do rio Jiquiriçá apresenta um nível de organização bastante avançado se comparado a outras regiões do estado. Deste 1992 existe ali o Consórcio do Jiquiriçá, uma entidade não governamental, que tem como objetivo central o Desenvolvimento Sustentável da bacia do Jiquiriçá, apoiando-se num modelo de gestão participativa, centrada nos recursos hídricos, fator básico para sustentação da qualidade de vida da população e, praticamente, de parte considerável das atividades econômicas locais e regionais. Entretanto, até o início deste trabalho, não existiam estudos de caráter local ou regional relativo ao potencial hídrico subterrâneo da bacia do rio Jiquiriçá. Esta bacia foi escolhida para o desenvolvimento desta pesquisa, por representar uma área com graves

problemas associados a escassez e uso inadequado da água, o que é uma característica comum à maioria das bacias do semi-árido baiano. Esse fato vem atrasando sensivelmente o desenvolvimento regional de muitas regiões do semi-árido e constitui alvo de preocupação para os órgãos gestores a nível municipal, estadual e federal.

Na bacia do rio Jiquiriçá as precipitações médias anuais são em geral inferiores a 650 mm no seu curso superior e entre 800 e 1000 mm no médio curso. Nela a disponibilidade de água de superfície é praticamente inexistente. Na sua porção média o único rio que apresenta regime permanente é o próprio Jiquiriçá. Entretanto, suas vazões são muito baixas, além de existir um grave problema associado a qualidade das águas. Os maiores problemas hídricos estão concentrados no alto Jiquiriçá, onde os cursos d'água tem todos caráter intermitente.

Um total de 25 municípios fazem parte da bacia, sendo que 16 deles encontram-se na região semi-árida. As alternativas para minimizar o problema recaem sempre na construção de açudes, cacimbas, cisternas e poços tubulares. Considerando a grande extensão aflorante das rochas cristalinas, a maioria dos poços são construídos inevitavelmente nestas rochas. Verifica-se entretanto inúmeros insucessos na construção de poços no cristalino, devido a fraca vocação hidrogeológica, influenciada pela deficiente circulação da água ao longo de fraturas e a limitação de tempo e dinheiro para aplicação de critérios apropriados de locação dos poços. Continua até hoje, a incerteza sobre quantidade e qualidade da água a ser obtida de um poço locado no Domínio Cristalino, não existindo forte correlação entre vazão e qualidade de água. Apesar disto, a tendência é de se extrair vazões abaixo de $3\text{m}^3/\text{h}/\text{poço}$ e com salinidade excessiva bem acima dos padrões de potabilidade estabelecido pela Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde para o consumo humano. Portanto, este estudo vem ao encontro da necessidade de melhorar a gestão dos recursos hídricos da bacia do rio Jiquiriçá.

1.3 - OBJETIVO GERAL

O objetivo principal do trabalho é de avaliar o potencial hídrico da bacia do alto rio Jiquiriçá, bem como conhecer o comportamento hidrodinâmico do aquífero e a qualidade da água extraída dos poços perfurados, contribuindo com o desenvolvimento de um modelo hidrogeológico útil para a exploração e conservação do sistema aquífero.

1.4 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para cumprir o objetivo de avaliar o aquífero fissural como fonte hídrica para o abastecimento, foram realizados estudos e investigações geológicas, morfoestruturais, geofísicas, hidrogeológicas e de qualidade de águas com o intuito de:

- i. Promover a integração de dados geológicos, geofísicos, hidrogeológicos e hidroquímicos, com vistas à caracterização do aquífero na área estudada;
- ii. Identificar as possíveis zonas de percolação da água, definindo locais para instalação de poços de captação;
- iii. Contribuir para definição de programas de monitoramento contínuo de recursos hídricos em bacias hidrográficas principalmente em regiões semi-áridas;
- iv. Gerar um banco de dados em ambiente SIG com *software* específico;
- v. Contribuir para geração de um modelo que possa explicar o comportamento do sistema aquífero fissural para o alto curso da bacia.

1.5 LOCALIZAÇÃO E ACESSO À ÁREA DA PESQUISA

A bacia hidrográfica do rio Jiquiriçá encontra-se inserida na região hidrográfica do Recôncavo Sul, localizada na porção centro leste do Estado da Bahia, entre as coordenadas geográficas 12°30' e 13°35' de latitude sul e 38°55' e 40°25' de longitude oeste, totalizando uma área de 6.900 km² (figura 1.1), já a área específica do trabalho possui **2.942 km²**. O rio Jiquiriçá nasce no planalto de Maracás, a cerca de 5 km a NNE da localidade homônima, e deságua ao norte da cidade de Valença, na Costa do Dendê, depois de percorrer cerca de 200 km. Seu alto curso, área específica da pesquisa, (Figura 1.2), encontra-se inserido totalmente no semi-árido, englobando 14 municípios. Os municípios que são banhados pelo rio Jiquiriçá e que constituem o alto de sua Bacia Hidrográfica são: Santa Inês, **Itaquara, Jaguaquara, Itiruçu**, Cravolândia, **Maracás, Nova Itarana, Lajedo do Tabocal, Planaltino, Irajuba, Iaçú, Brejões, Lafayette Coutinho** e Milagres. As principais vias de acesso são a BR-101, que corta a área no sentido N-S a leste; BR-420 que liga a primeira com a BR-116 a oeste. Esta última corta a área também no sentido N-S. Da BR-116 segue-se pela BA-250 até Maracás, no extremo oeste da área.

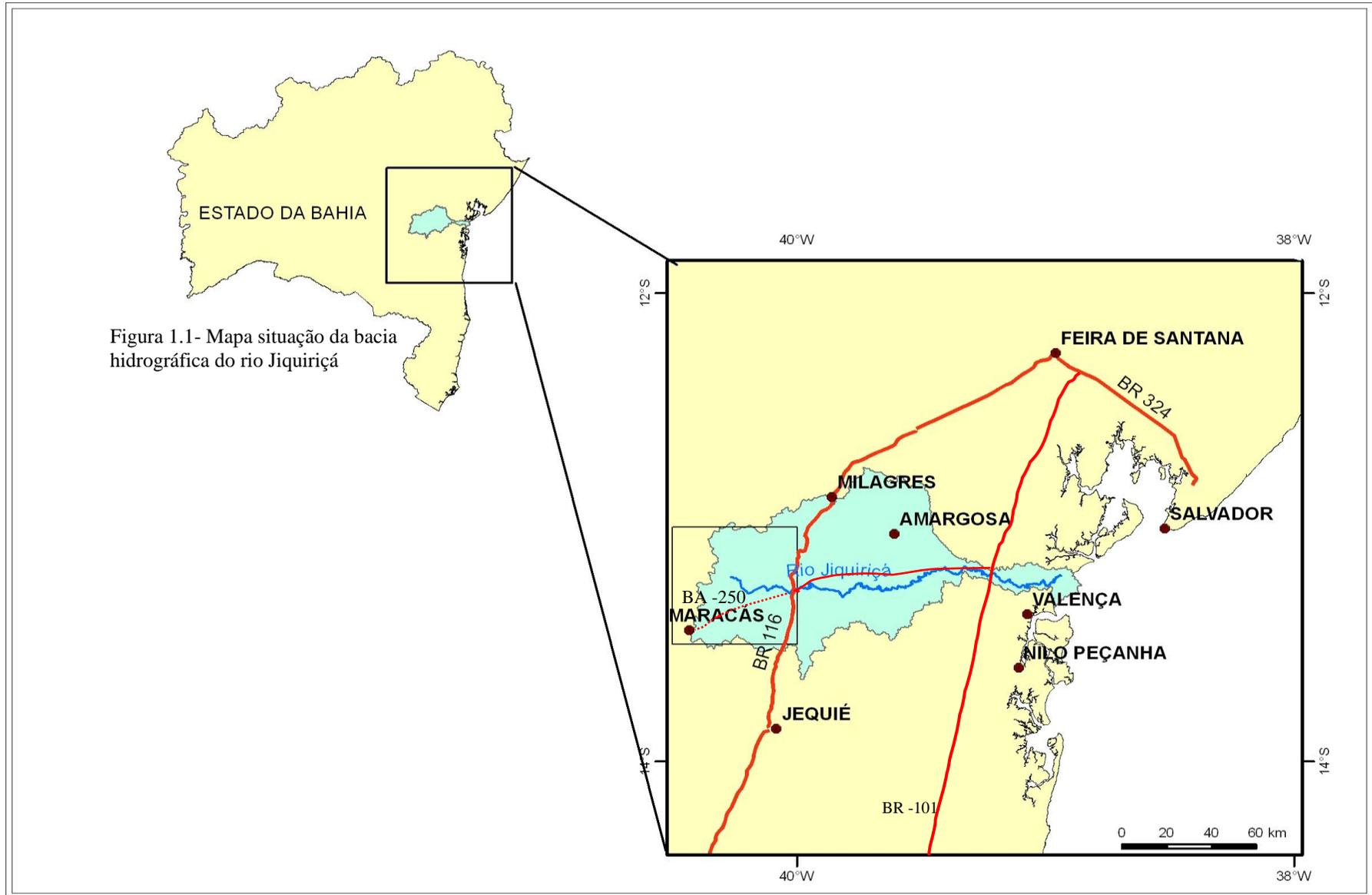


Figura 1.1- Mapa situação da bacia hidrográfica do rio Jiquiriçá

Figura 1.2 – Mapa de Localização da bacia do rio Jiquiriçá, destacando o alto do rio, área da pesquisa.

Avaliação Hidrogeológica do Alto da Bacia do Rio Jiquiriçá (Ba) – SANTOS (2010)

O rio Jiquiriçá, tem a sua principal nascente localizada na cidade de Maracás (coordenadas 345187 E e 8513540 N, Fotos 1.1 e 1.2), ponto turístico muito freqüentado pelos moradores do município e também pelos visitantes .



Foto 1.1- Nascente do Rio Jiquiriçá



Foto 1.2- Primeira ponte construída sobre o rio Jiquiriçá, principal acesso à nascente do rio.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para alcançar os objetivos estabelecidos na pesquisa foram desenvolvidas atividades sequenciais e interdependentes que obedeceram a uma estratégia metodológica. A seguir são apresentados os materiais utilizados no desenvolvimento da pesquisa e também os procedimentos adotados durante as etapas de campo, laboratório e de escritório.

2.1 MATERIAIS UTILIZADOS NO DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

- i. Material cartográfico: foram utilizadas bases cartográficas digitais da Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia – SEI (Folhas Amargosa – SD. 24-V-D-II, Jaguaquara - SD.24-V-D-V, Jequié – SD.V-D-IV, Jaguaripe – SD.24-X-C-I, Maracás – SD.24-V-D-I, Milagres – SD.24-V-B-V, Santo Antônio de Jesus – SD.24-V-B-VI, Valença – SD.24-V-D-III) em escala 1:100.000;
- ii. Imagem de radar do Projeto RADAMBRASIL (Brasil 1976) em escala 1: 250.000;
- iii. Imagem de sensor ETM do satélite LANDSAT-7;
- iv. Imagem de radar SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission);
- v. Fotografias aéreas do levantamento do Serviço Geológico do Brasil – CPRM de 1980 em escala 1:108.000;
- vi. Mapa geológico em escala 1: 250.000 do Projeto Mapas Metalogenéticos e de Previsão de Recursos Minerais (Carta Geológica – Jequié/ Jaguaripe);
- vii. Softwares: foram utilizados para o tratamento digital dos dados obtidos e a digitalização dos mapas, programas computacionais como o: ArcView GIS 9.1 (*Environmental Systems Research Institute, Inc*), AutoCAD (Autodesk, Inc), Surfer Version 8.00 (Golden Software, Inc), StereoNet for Windows 3.03 (Geological Software), Corel Draw 11.0 (Corel Corporation), Visual Modflow, Visual poços, Excel 2000 (Microsoft Corporation), Software Qualigraf, Aquiftest e Resist.

A seguir são descritos os métodos utilizados na pesquisa os quais foram segmentados em três etapas principais, compreendendo levantamento, tratamento e integração dos dados. Estas etapas

são apresentadas neste capítulo obedecendo a uma ordem cronológica. É importante ressaltar que o trabalho foi desenvolvido de modo interdisciplinar e que os dados adquiridos foram armazenados em plataforma SIG (Sistema de Informações Geográficas) resultando assim num acervo digital de informações geológicas, geofísicas, hidrogeológicas, hidroquímicas e de geoestatísticas referentes à área pesquisada e aos objetivos propostos.

2.2 LEVANTAMENTO DE DADOS DA ÁREA EM ESTUDO

A fase de levantamento de dados envolveu coleta de material existente sobre área de pesquisa tais como: material bibliográfico, dados geológicos, geofísicos, estruturais, hidrogeológicos e hidroquímicos que serviram de base para o trabalho de pesquisa da área.

A metodologia utilizada baseou-se, além dos conhecimentos adquiridos durante o curso, em consultas a publicações de cunho científico, ou seja, artigos publicados em periódicos científicos, dissertações, teses e livros específicos que foram pesquisados com este propósito.

Temas diversos foram analisados (com enfoque principal à prospecção de água subterrânea em terrenos cristalinos) compreendendo: a fisiografia e a geologia da área de estudo, a hidrogeologia de aquíferos fissurais, o processamento e interpretação de imagens de sensoriamento remoto, o princípio de operação e aplicação de métodos geofísicos elétricos, envolvendo ainda o tratamento e interpretação dos dados referentes, além de outros temas afins.

2.2.1 Levantamento Bibliográfico

Foram compilados dados sobre o meio físico regional e trabalhos anteriores que envolvem a bacia do rio Jiquiriçá, além de pesquisa de água subterrânea no cristalino, cujas citações aparecem no decorrer da apresentação dos capítulos que compõem esta tese. Um expressivo levantamento de trabalhos que tratam sobre a questão dos recursos hídricos tendo bacias hidrográficas como unidade de planejamento e também da hidrogeologia de rochas cristalinas foi

feito nas bases de dados textuais e referenciais disponíveis. Observa-se que existem poucos trabalhos no Brasil que tratam do tema, a maior parte deles é publicada em periódicos internacionais.

2.2.2 Levantamento de Poços Tubulares

O levantamento dos poços tubulares profundos cadastrados na área de pesquisa foi realizado a partir do banco de dados da Companhia de Engenharia Rural da Bahia (CERB) e do Serviço Geológico do Brasil (CPRM). A compilação deste banco de dados, foi montada em planilhas do Excel. A análise de consistência nos dados demonstrou falhas o que tem sido um grande empecilho para o desenvolvimento de trabalhos acadêmicos ou daqueles referentes à gestão dos recursos hídricos subterrâneos. Devido à presença de dados incorretos, nem todos os poços cadastrados puderam ser utilizados. Para efeito de estudo, os poços foram divididos em dois grupos: a) Poços existentes que foram cadastrados e considerados na contagem geral e na análise de erros, mesmo sem dados hidrodinâmicos (nível estático, nível dinâmico e vazão dos poços, coletados no teste de bombeamento e que possibilitam o cálculo da capacidade específica (Q/s)) e b) Poços com coordenadas e com dados hidrodinâmicos. Apenas esses foram considerados no estudo da análise geoestatística (Apêndice 1).

Informações técnicas e hidrogeológicas referentes aos poços profundos existentes na área pesquisada constituíram uma importante fonte de informação para o direcionamento dos trabalhos de campo.

2.2.3 Mapeamento Geológico Estrutural

As etapas de campo foram realizadas entre novembro de 2004 a setembro de 2007, em viagens, totalizando 63 dias de trabalho de campo, compreendendo principalmente o

reconhecimento lito-estrutural, os levantamentos geofísicos terrestres de detalhe e as coletas de água dos poços para análises físico-químicas.

O mapeamento geológico da área foi realizado em duas etapas. A primeira etapa consistiu no reconhecimento geológico e envolveu a compilação de mapas geológicos preexistentes. Existem levantamentos geológicos em escala 1:250.000 proveniente do projeto mapas metalogenéticos e de previsão de recursos minerais (Carta Geológica – Jequié/ Jaguaripe) do Serviço Geológico do Brasil – CPRM e mapeamento geológico em escala 1:100.000 da folhas Amargosa – SD. 24-V-D-II (Macêdo 2006), que serviu de base para o presente trabalho. Na segunda etapa, já na área específica do trabalho foi feita uma descrição litológica de 62 afloramentos para checagem do mapa geológico base na escala 1:100.000 folha de Maracás – SD.24-V-D-I e a obtenção de atitudes das foliações e das estruturas rúpteis pertinentes aos litotipos. Os pontos analisados tiveram seu posicionamento geográfico adquirido (coordenadas UTM) com o uso de um GPS (Sistema de Posicionamento Global) e o registro fotográfico das feições geológicas e estruturas mais marcantes (capítulo 5). Realizou-se também amostragem de rochas para análise litogeoquímica (ver capítulo 7).

Durante as etapas de campo, concomitantemente ao mapeamento geológico e geofísico, realizou-se um levantamento de dados estruturais para efetivação de medidas de foliação e fraturas para a confecção de diagramas estruturais cinemáticos.

As medidas envolveram o maior número possível de estruturas geológicas tais como: zonas de cisalhamento dúctil, foliações, falhas e contatos litológicos. Para a definição dos principais traços estruturais da área foram consultadas e utilizadas fotos aéreas, além de imagens de satélite. Sobre o mapa de fraturamento foram lançadas informações oriundas de poços tubulares existentes na área, ou seja, nível estático, nível dinâmico, vazão, transmissividade e armazenamento específico, visando definir as potencialidades hidrogeológicas. O objetivo principal deste levantamento geológico-estrutural foi o de reconhecer e caracterizar as estruturas dúcteis e, principalmente, as rúpteis pertinentes aos litotipos aflorantes na área de pesquisa. Em

paralelo, realizou-se uma checagem do mapa geológico base a partir da análise dos afloramentos visitados em campo.

2.2.4 Levantamento Geofísico

O estudo geofísico, utilizou o método da eletrorresistividade, para caracterização geométrica das unidades geológicas agrupadas em domínios aquíferos, com objetivo de determinar as profundidades e/ou espessuras das unidades aquíferas. Buscou-se a integração com as informações hidrogeológicas, para efetuar correlações qualitativas e quantitativas das potencialidades hídricas específicas dos domínios aquíferos existentes, visando planejamento da prospecção e locação de poços tubulares profundos.

Os trabalhos foram realizados em três etapas: Na primeira logo após a conclusão dos estudos geomorfológicos, geológicos-estruturais e hidrogeológico (caracterização das unidades geológicas e hidrogeológicas presentes na área). Para cada tipologia foi selecionada uma direção específica (capítulo 6), para a orientação dos perfis geofísicos a serem realizados. Nesse trabalho utilizou-se o mapa geológico na escala 1: 250.000; fotografias aéreas na escala 1:108.000 e a base cartográfica digital da SEI (Folha, Maracás – SD.24-V-D-I). Na segunda etapa, foram realizadas cinco seções transversais com 10 sondagens em cada uma delas equiespaçadas de 1000 metros entre si, usando arranjo simétrico Schlumberger (Figura 2.1) até separações máximas entre os eletrodos de corrente que variaram de 400 a 1000 metros, dependendo do local escolhido para os centros de expansões das sondagens elétricas verticais - SEV's, e da qualidade das medidas (Fotos 2.1 a 2.4).

O equipamento utilizado na aquisição desses dados foi o SYSCAL - R2, totalmente digital, fabricado pela IRIS INSTRUMENTS. Este sistema possui: (i) uma unidade transmissora alimentada por uma bateria de 12 volts conectada a um conversor DC-DC de 250 W de potência, que permite o ajuste da voltagem de saída de 100 a 800 volts; (ii) uma unidade receptora que possui uma memória interna que armazena até 1022 registros (Foto 2.5). Estes trabalhos objetivaram a determinação da posição do nível freático, a profundidade até a base do manto de

alteração ou cobertura detrítica e a profundidade da rocha sã. Na terceira e última etapa foi realizada a interpretação geofísica e hidrogeológica dos perfis geofísicos e a caracterização geolétrica das unidades geológicas e aquíferas quanto as suas profundidades, espessuras e potencialidade hídrica (capítulo 6).



Foto 2.1- Aquisição dos dados geofísicos em campo e anotação em papel bi-log.



Foto 2.2- Eletrodos sendo fixados no solo para leitura da resistividade do material geológico em subsuperfície.

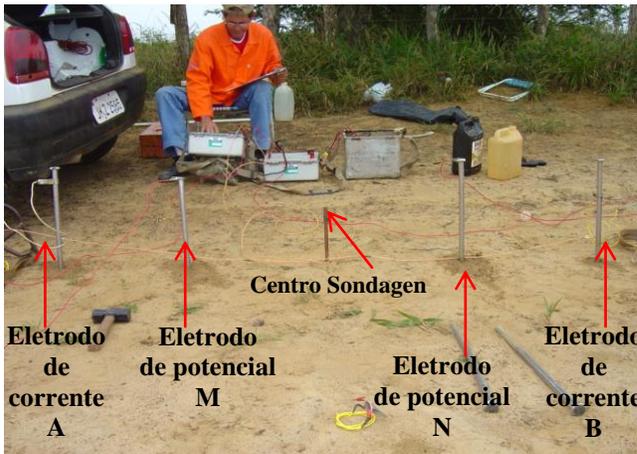


Foto 2.3- Mostrando a posição dos eletrodos de corrente ilustrado na figura 2.1.



Foto 2.4- Mostrando o equipamento SYSCAL – usado para aquisição dos dados de campo.

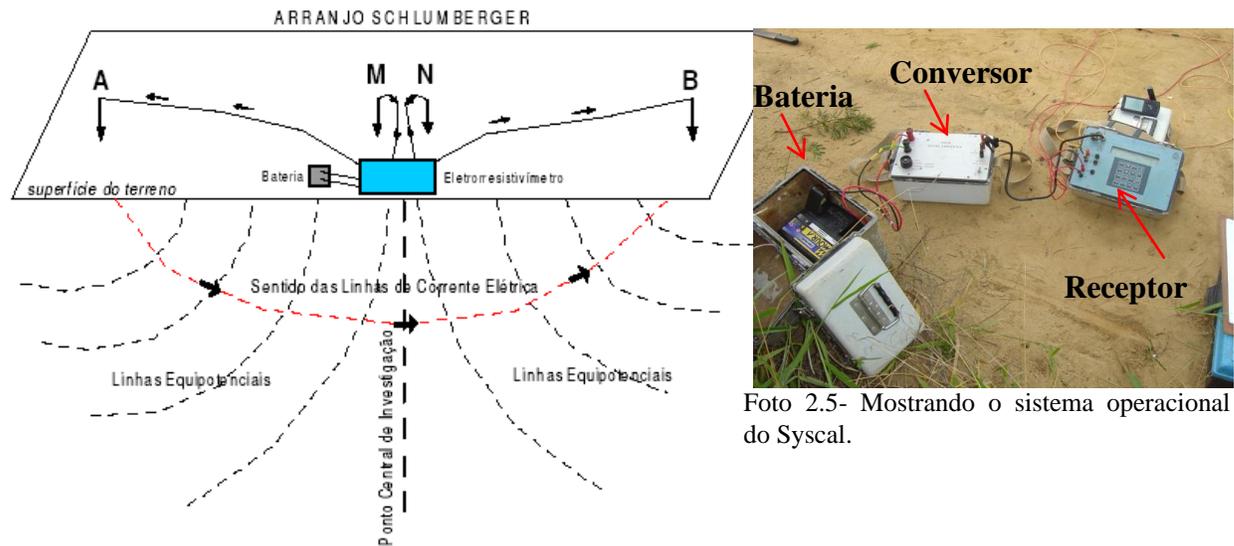


Figura 2.1- Dispositivo Schumberger mostrando o posicionamento linear dos eletrodos A, B, M e N. (Adaptado de SOUZA, 2002).

2.2.5 Levantamento dos Dados Hidrogeológicos

Foram obtidos dados para elaboração de mapas potenciométricos, análise de teste de bombeamento em alguns poços da área para determinação de propriedades hidráulicas dos aquíferos e cadastramento de poços existente na área que não constavam no banco de dados da CERB. Nesta etapa foram definidos os tipos de domínios aquíferos presentes na área e os materiais que os constituem. Foram obtidos também dados sobre o nível hidrostático (fotos 2.6 e 2.7) em diversos poços distribuídos ao longo das bacias de drenagem.



Foto 2.6- Tomada do nível estático de um poço não instalado usando medidor de nível sonoro.



Foto 2.7- Mostrando o uso do GPS-Diferencial na determinação precisa da cota do terreno para definição do nível estáticos dos poços e coleta de água para análise química.

2.2.6 Coleta de Água para Análise Físico-Química

Foram feitas duas campanhas de amostragens das águas subterrâneas dos poços tubulares do cadastro da CERB localizados no alto curso do rio Jiquiriçá, sendo uma campanha realizada em uma época chuvosa (novembro 2005) e a outra em uma época seca (outubro 2006), com coletas em 31 poços e também em algumas lagoas existentes na área (Apêndice 2). Para reduzir ao máximo as alterações químicas e físicas durante o processo de retirada das amostras, estas foram preservadas, configurando um pré-tratamento das amostras, feitas no campo, no momento da amostragem. As amostras foram coletadas com uso do “bayller”, nos poços que não estavam funcionando (sem bombeamento), e a seguir acondicionadas em frascos de polietileno e de vidro com tampas de polipropileno.

Como alguns parâmetros não podem ser analisados imediatamente após a amostragem, estes são preservados em recipiente de isopor, com gelo. A preservação tem o objetivo de retardar, o máximo possível, os processos químicos e biológicos que ocorrem na amostra. As técnicas utilizadas são limitadas pelo controle de pH, adição química, controle de temperatura e proteção contra a luz e foram realizadas segundo as orientações da norma NBR 10007. Alguns

parâmetros como: pH, condutividade elétrica, turbidez, oxigênio dissolvido e temperatura, foram medidos diretamente no campo com o auxílio de um equipamento manual, próprio para avaliar a qualidade da água, denominado Water Quality Checker (WQC) (fotos 2.8 e 2.9), pertencente ao NEHMA (Núcleo de Estudos Hidrogeológicos e do Meio Ambiente do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia).



Foto 2.8- Mostrando o uso do WQC em sítio, analisando água de poço.



Foto 2.9- Mostrando coleta de água para análise em laboratório.

Após as coletas, as amostras foram encaminhadas para o laboratório do NEA (Núcleo de Estudos Ambientais do Instituto de Geociências, da Universidade Federal da Bahia-UFBA), para a realização das análises químicas, que seguiram as técnicas apresentadas no Standard Methods of the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1999). Os resultados das análises químicas das duas campanhas foram submetidos a um balanço iônico, para se avaliar a confiabilidade destes resultados segundo a expressão:

$$\text{Balanço Iônico (Erro)} = \frac{\sum \text{cátions} - \sum \text{ânions}}{\sum \text{cátions} + \sum \text{ânions}} \times 100$$

Em uma análise hidroquímica completa, a concentração total de íons positivos (cátions) deve ser aproximadamente igual à concentração de íons negativos (ânions). O desvio percentual desta igualdade é determinado pelo coeficiente de erro da análise. O erro foi determinado a partir dos valores em miliequivalentes dos ânions e cátions. Esta expressão (Custódio& Lhamas, 1981) indica que se o erro obtido for menor que 10% haverá menores chances de erros analíticos. Os resultados mostram que os valores obtidos após o balanço iônico estão dentro da faixa dos 10% de erro, portanto os valores das análises são confiáveis (capítulo 7).

2.3 TRATAMENTO DOS DADOS OBTIDOS

A etapa pós-campo corresponde ao tratamento, interpretação e integração dos dados geofísicos, geológicos-estrutural, hidrogeológicos e hidroquímicos obtidos em amostras, integrados àquelas extraídos das imagens de satélite e de fotografias aéreas. Para a descrição do tratamento dos dados, os procedimentos foram divididos em dois grupos: um relacionado a geologia estrutural e a geofísica da área e outro ao tratamento dos dados hidrogeológicos e hidroquímicos obtidos.

2.3.1. Aspectos Geológicos e Estruturais da Área de Pesquisa

Inicialmente, foram realizadas análises estruturais através das fotografias aéreas de modo a expressar a orientação geral dos lineamentos e, em seguida, checar esta informação com base nas medidas de atitudes feitas em campo. Assim foi possível definir as principais orientações estruturais da área. A caracterização das estruturas rúpteis, em conjunto com os dados oriundos das fotografias aéreas que abrangem a área, foi também importante para a definição dos locais onde foram realizados os levantamentos geofísicos elétricos de detalhe, com o objetivo de definir locais mais favoráveis à captação de água subterrânea por meio de poços.

Com os propósitos mencionados, observou-se uma boa correlação do mapa geológico com os afloramentos visitados em campo, mesmo considerando a escala regional do mapa base utilizado (1:100.000).

2.3.2 Análise dos Fraturamentos das Rochas

Nas etapas de campo, foram visitados 62 afloramentos e obtidas, aproximadamente, 180 medidas de atitudes de fraturas. Executou-se uma análise dos lineamentos estruturais presentes, buscando a definição dos padrões geométricos de fraturamento, da cinemática dos esforços geradores destas estruturas. Avaliou-se as relações dos fraturamentos com a produtividade dos aquíferos e caracterizando-os quanto à importância hidrogeológica em domínios aquíferos.

Com o reconhecimento das estruturas de fraturamentos mais representativas, visualizadas a partir das fotografias aéreas e utilizando a rede de drenagem junto com o conceito “riacho fenda”, gerou-se um mapa de lineamentos estruturais. Verificou-se que as estruturas posicionadas nas direções Nordeste e Noroeste possuem comportamentos estruturais extensionais, mais favoráveis à obtenção de água subterrânea nos aquíferos fissurais (capítulo 5).

2.3.3 Geofísica da Área

Com o objetivo de se fazer um controle na qualidade das medidas, os dados obtidos em cada SEV foram plotados no campo. Esses dados são representados em gráficos com escalas bi-logarítmicas. Um tratamento prévio desses dados foi necessário se fazer, visando facilitar a interpretação dos mesmos. Estes tratamentos consistem em: (a) Descarte de pontos anômalos isolados ou interpolação dos mesmos; (b) Suavização das curvas com correções de deslocamentos de ramos causados por efeitos laterais nos eletrodos de potencial; (c) Inferência de uma profundidade mínima para o embasamento cristalino nas SEV'S incompletas em que o mesmo não foi alcançado. Nelas o embasamento foi simulado pelo prolongamento da curva com uma inclinação de 45° a partir do último ponto medido (Ward, 1990).

Na aquisição dos dados, ocorreram alguns problemas, que foram completa ou parcialmente solucionados. São eles: (a) Fugas de corrente - ocorria quando um fio desencapado entrava em contato com o solo. Este fio funcionava como um eletrodo extra no arranjo. Os locais mais favoráveis a este acontecimento foram os terrenos alagadiços e em dias de chuvas; e (b) Resistência de contato elevada - certos locais onde tinham materiais constituídos por areias limpas e secas, e também aterros, dificultavam o contato dos eletrodos com o terreno, e

consequentemente, a passagem de corrente. Para minimizar este efeito, molhava-se com água salgada o local onde iam ser fixados os eletrodos, diminuindo desta forma a resistência de contato.

A inversão dos dados de eletrorresistividade consiste em calcular os parâmetros (resistividades e espessuras) de um dado modelo constituído de camadas horizontais isotrópicas e homogêneas, a partir de valores de resistividade aparente (ρ_a) medidos para diferentes espaçamentos. A função resistividade aparente (ρ_a) é invertida usando modelos unidimensionais de terra e procedimentos de ajuste não linear por mínimos quadrados (Vozoff, 1958; Koefoed, 1979).

2.3.3.1 Interpretação das Sondagens Elétricas Verticais – SEV's

Neste trabalho, o processo de inversão utilizado consistiu basicamente de duas etapas: determinação de um modelo inicial e o refinamento automático deste modelo inicial. Na primeira etapa (i), estimou-se os parâmetros (resistividades e espessuras) a partir do comportamento das curvas, e a utilização do programa RES1D para construir um modelo inicial e (ii) consistiu no refinamento do modelo inicial, usando um programa de domínio público denominado RESIST versão 1.0, (Vander Velper, 1988). O processo de inversão automática consiste na reformatação do modelo inicial até se obter um ajuste dentro de um critério de erro previamente estabelecido, da curva teórica de campo com a curva calculada, utilizando o método dos mínimos quadrados (Figura 2.2 e 2.3).

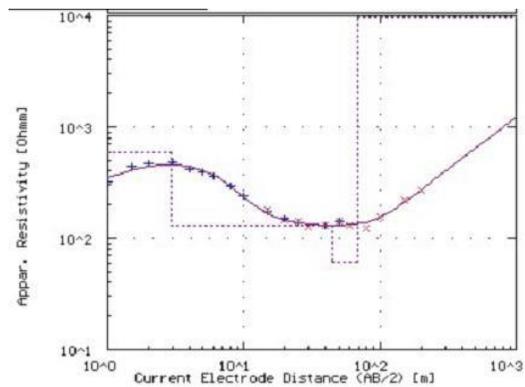
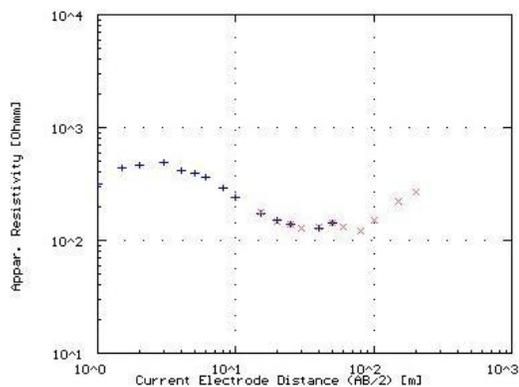


Figura 2.2- Curva de campo não interpretada –SEV-3D Figura 2.3-: Curva de campo interpretada –SEV-3D

Portanto, é necessário, um bom modelo inicial para garantir a convergência e reduzir o número de iterações. O programa permite a inversão de dados de resistividade obtidos com os arranjos de Schlumberger, Wenner e dipolo-dipolo, e seu uso tem sido garantido por testes comparativos realizados com outros programas menos amigáveis desenvolvidos por pesquisadores do CPGG-UFBA. Foram realizadas 62 sondagens elétricas, totalizando 52.000 metros de levantamento geofísico. A localização das sondagens e o resultado da interpretação estão descritos no capítulo 6.

2.3.4 Hidrogeologia e Hidroquímica da Área

Adotou-se nessa avaliação a linha metodológica proposta por Costa (1998), a ser aplicada para cada tipo de aquífero que prevê alternativas de avaliação diferenciadas de acordo com o nível de conhecimento de cada unidade e da qualidade dos dados disponíveis, tendo em vista a insuficiência de dados primários e secundários. Essa metodologia foi usada na avaliação de reservas dos domínios aquíferos do Estado da Bahia por Guerra & Negrão (1996) para o Plano Estadual de Recursos Hídricos (Bahia, 2003).

Para o desenvolvimento deste estudo tomou-se como ponto de partida o seguinte conjunto de informações: dados climatológicos, especialmente o mapa de isoietas constante do Atlas Digital dos Recursos Hídricos do Estado da Bahia; as informações obtidas com os estudos geológicos estruturais, que possibilitaram a divisão da área da pesquisa em Domínios Hidrogeológicos Homogêneos; os dados referentes às taxas de recarga hidrológica; a interpretação estrutural e o ajuste geológico-estrutural, realizado a partir de imagens de satélites e fotografias aéreas na escala 1:108.000 e dados de qualidade da água de poços tubulares na área de pesquisa.

Através de dados de testes de bombeamento já existentes, foram definidas as características hidráulicas, tais como, condutividade hidráulica, transmissividade e coeficiente de armazenamento dos domínios aquíferos do embasamento cristalino e de suas coberturas. Todos os resultados analíticos obtidos nos pontos amostrados foram avaliados previamente e

processados eletronicamente através de planilhas Excel contendo informações sobre as análises físico-químicas. Utilizou-se técnicas de estatística descritiva dos componentes principais, além da confecção de mapa isopiezométricos com indicações dos gradientes e direções de fluxo das águas subterrâneas (capítulo 7).

2.3.4.1 Organização do Cadastro dos Poços Tubulares

O cadastro dos poços elaborado neste trabalho resultou da análise e fusão de varias listagens, contidas no Cadastro da CERB, após a exclusão dos poços sem coordenadas geográficas; com análises físico-químicas incompletas; ou com informações duvidosas e / ou conflitantes. O cadastro com dados consistidos apresenta um numero de poços bastante reduzidos em relação ao numero real de poços que se presume existir na área. Assim sendo, algumas avaliações hidrogeológicas, como as disponibilidades instaladas e atuais, foram prejudicadas em função da insuficiência de informações.

Para alguns poços, a análise das informações hidrogeológicas e hidroquímicas mostrou que captam água de dois aquíferos, ou que a água produzida por um determinado aquífero está influenciada pela recarga de um outro aquífero. Como resultado, as águas produzidas pelo poço são misturas com características físico-químicas das águas dos diferente aquíferos atravessados, descaracterizando as informações do poço para a identificação dos parâmetros hidroquímicos padrões de cada aquífero.

Assim, a partir da avaliação das informações técnicas construtivas da perfuração de cada poço tubular, das descrições das litologias atravessadas, e das informações dos laudos de análises físico-químicas das águas coletadas nos ensaios de bombeamento dos poços, obteve-se, um novo cadastro. A nova listagem contendo 94 poços tubulares, obtidas com este procedimento é apresentada em anexo, **Cadastro dos Poços Tubulares por Aquífero** (Apêndice 1), específico para cada um dos aquíferos classificados para a área. Ele permite a avaliação hidrogeológica e hidroquímica individualizada por domínio aquífero, sem que ocorram, por exemplo, anomalias físico-químicas, descaracterizando o comportamento hidroquímico específico de cada um dos aquífero.

2.3.4.2 Avaliação Hidrogeológica

Para a definição dos Domínios Hidrogeológicos Homogêneos da área pesquisada foi necessária a avaliação de alguns parâmetros, que são apresentados a seguir:

- Reserva Permanente - R_p (L^3).

Volume hídrico acumulado no meio aquífero em decorrência da porosidade eficaz e do coeficiente de armazenamento, não variável em função da flutuação sazonal da superfície hidrostática da unidade.

- Reserva Reguladora ou Renovável - R_r (L^3/t).

Volume hídrico acumulado no meio aquífero em função da porosidade eficaz ou do coeficiente de armazenamento e variável, anualmente, em decorrência dos aportes sazonais. É o volume de água da faixa de flutuação sazonal do nível hidrostático do aquífero e que corresponde ao volume das recargas anuais.

- Potencialidade - P_o (L^3/t).

Volume hídrico que pode ser utilizado anualmente, incluindo, eventualmente, uma parcela da reserva permanente, passível de ser explorada, com descarga constante, durante um determinado espaço de tempo.

- Disponibilidade - (L^3/t).

Pode ser Virtual (D_v) ou Efetiva (D_e).

- Disponibilidade Virtual (D_v).

Parcela máxima que pode ser aproveitada anualmente da potencialidade, correspondente à vazão anual que pode ser extraída do domínio aquífero, sem que se produza efeito indesejável de qualquer ordem: econômica, hidrogeológica ou de conflito de uso; sendo $D_v \leq P_o$.

- Disponibilidade Efetiva (De).

Pode ser Instalada (Dei) ou Atual (Dea).

- Disponibilidade Instalada - (Dei).

Volume anual passível de exploração através das obras de captação existentes, com base na vazão máxima ou vazão ótima de exploração de cada obra de captação e em regime de bombeamento de 4/24 hs, em todos os dias do ano recomendado por Costa (1998); sendo $Dei \leq Dv$.

- Disponibilidade Atual - (Dea).

Volume anual realmente explorado atualmente através das obras de captação existentes; sendo $Dea \leq Dei \leq Dv \leq Po$.

Ainda dentro de uma avaliação hidrogeológica, considerando-se a metodologia de domínios hidrogeológicos, também é possível, avaliar-se um aquífero, a partir da **Capacidade Específica**, ou seja, da relação do volume de água produzido pelo poço em função de um determinado quantitativo de metros de rebaixamento ocorrido no nível de água do poço, sendo que este parâmetro reflete a capacidade produtiva do aquífero (capítulo 7).

2.3.4.3 Confecção de Mapas Hidrogeológico, Hidroquímico e Potenciométrico

O mapa hidrogeológico foi elaborado levando-se em consideração a descrição litológica dos perfis construtivos dos poços cadastrados na área e as características estruturais. Já os mapas hidroquímicos foram elaborados levando-se em consideração a assinatura (caracterização) da água subterrânea, considerado principalmente os parâmetros cloreto, dureza e sólidos totais.

O mapa potenciométrico foi elaborado utilizando-se os valores do nível estático (topo da zona saturada) e as cotas da boca dos poços. As informações sobre nível estático foram obtidas das fichas dos poços tubulares catalogadas e suas cotas topográficas determinadas a partir de

informações do Modelo Digital do Terreno, com intervalos de contorno de 10 metros. A utilização do Modelo Digital foi necessária, uma vez que, a maioria dos poços cadastrados na área não trazem a informação da cota (topográfica) da boca do poço. Embora o sistema aquífero fissural seja heterogêneo e anisotrópico, é possível traçar uma superfície potenciométrica virtual (Neves, 2005). Os dados de medidas do nível estático selecionados para este fim mostram coerência entre si, permitindo o traçado das linhas equipotencias em concordância com a rede de drenagem e a topografia. Em escala local, o mapa potenciométrico sofre modificações importantes, conforme a presença de estruturas controladoras do fluxo subterrâneo.

2.3.4.4 Qualidade das Águas Subterrâneas

A qualidade natural das águas subterrâneas de uma determinada região está diretamente associada aos fatores geológicos e climáticos reinantes na área. Como fatores geológicos destacam-se as características físicas e mineralógicas das rochas formadoras dos aquíferos, da permo-porosidade intergranular, de natureza fissural, (constituído de rochas duras) ou de natureza “carste” (formado por rochas solúveis como os calcários), formadores de aquíferos típicos, dito cársticos. Conjugados a estes fatores têm-se os fatores de ordem climática. O clima, através das precipitações pluviométricas, temperaturas, evapotranspiração e demais fatores físicos associados, tem influência decisiva na qualidade das águas subterrâneas, sobretudo nos aquíferos de natureza fissural.

Para avaliação da qualidade das águas subterrâneas na área da pesquisa utilizou-se como princípio metodológico a divisão da área em domínios hidrogeológicos homogêneos, são eles: Fissural, Granular/Fissural - (Misto) e Granular. Foi feita uma avaliação das características físico-químicas das águas subterrâneas, com ênfase nos padrões de potabilidade definidos pela Portaria 518/2004 MINISTÉRIO DA SAÚDE.

Foi utilizado do programa QUALIGRAF[®] obtido no site da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME (2005), as análises físico-químicas das águas de

poços perfurados nestes domínios tiveram seus resultados inicialmente tratados através dos diagramas de PIPER (1944), STIFF (1951) e SAR (*sodium adsorption ratio*), desenvolvido pelo USSL (*United States Salinity Laboratory*, 1954), os dois primeiros visando à classificação hidroquímica dessas águas e a observação da sua amplitude de variação e o terceiro destinado a avaliar a possibilidade de uso destas águas para fins agrícolas.

A aplicação dos diagramas de Piper e Stiff possuem a seguinte lógica; embora seja grande o número de constituintes químicos que podem estar dissolvidos de forma iônica na água, apenas três ânions (Cl^- , SO_4^{2-} e HCO_3^-) e três cátions (Na^+ , Ca^{++} e Mg^{++}) constituem os chamados íons fundamentais ou elementos maiores e representam a quase totalidade dos componentes em solução. Costuma-se ainda incluir os ânions NO_3^- e CO_3^{2-} e o cátion K^+ , mas sua proporção em geral é pequena. Os restantes chamados elementos menores e traços, em geral, compõem menos de 1% do conteúdo iônico total. Dos constituintes maiores, pode-se dizer que os cátions são abundantes nas rochas, no solo e no manto de alteração sendo facilmente disponíveis para serem incorporados à água circulante. O aumento de concentração de sais na água ou a capacidade de incorporar solutos na água depende, portanto, da disponibilidade ou presença dos ânions Cl^- , SO_4^{2-} e HCO_3^- (HAUSSMAN, 1984).

A classificação das águas quanto a presença de cátions e íons maiores foi efetuada através do diagrama triangular de PIPER e STIFF dando a caracterização hidroquímica das água, quanto ao risco da salinidade para irrigação foi obtidas pelo método SAR. Devido a falta de informações completas do banco de dados da CERB (principalmente dos íons Na^+ e K^+) do poços situados no alto Jiquiriçá, as águas subterrâneas, foram conseguidas com os parâmetros analisados nos poços amostrados nas duas campanha de campo.

A possibilidade de uso dessas águas para o abastecimento doméstico também foi avaliada tomando como base geral o uso de alguns parâmetros químicos como os Sólidos Totais Dissolvidos - STD, a Dureza e os Cloretos, cujos resultados foram enquadrados nas classes Potáveis, Toleráveis e Não Potáveis, cujos valores limites são mostrados no **Quadro 2.1**.

Quadro 2.1 - Valores Limites para as Classes de Águas

Parâmetros	Classes (mg/l)		
	Potável	Tolerável	Não Potável
STD	≤ 1.000	1.000 - 2.000	>2.000
Cloretos	≤ 250	250 - 500	>500
Dureza	≤ 200	200 - 500	>500

As análises físico-químicas utilizadas nesta avaliação são apresentadas no capítulo 7; foram selecionadas a partir das listagens existentes no banco de dados pesquisado, restando após a seleção final um numero reduzido de análises em condições de serem utilizadas. Este procedimento tornou-se necessário em função da grande maioria destas análises apresentarem dados incompletos, sendo comum a não determinação quantitativa de elementos maiores como o sódio, potássio, carbonatos e bicarbonatos. Desta forma, deve-se considerar a presente avaliação em caráter transitório face aos problemas citados e o reduzido numero de análises selecionadas por Domínio Hidrogeológico.

2.4 INTEGRAÇÃO DOS DADOS

Todos os dados obtidos na pesquisa foram armazenados em ambiente SIG, e posteriormente integrados. Ressalta-se que o comportamento da águas subterrâneas em terrenos cristalinos é pouco estudado, a integração de dados geológicos-estrutural, geofísicos e hidrogeológicos não são freqüentemente usados e existem divergências entre os especialistas dessas áreas. São poucos os trabalhos que aplicam as técnicas de geofísica e da análise estrutural para a avaliação hidrogeologica de aquíferos fissurais. Na integração dos dados, optou-se por uma abordagem em escala local, apresentada no capítulo 7. A metodologia mostrou-se adequada, mas pode haver também vários outros fatores que interferem na avaliação das variáveis em estudo.

3. HIDROGEOLOGIA EM TERRENOS CRISTALINOS

A individualização de domínios hidrogeológicos está calcada na afinidade e vocação das unidades geológicas para o armazenamento e, principalmente, para a produção de água subterrânea. Pesquisas científicas voltadas à prospecção dos recursos hídricos subterrâneos, somadas ao desenvolvimento de equipamentos diversos e *softwares* específicos, tem ampliado substancialmente o conhecimento em hidrogeologia. Atualmente, como resultado destes estudos, é possível definir áreas propícias à captação de água subterrânea com um menor percentual de erro em termos de produtividade, definir parâmetros hidrodinâmicos de um aquífero, desenvolver o modelo hidrogeológico característico de um aquífero, bem como outros trabalhos referentes. Como a área de pesquisa repousa sobre rochas do embasamento cristalino, neste capítulo é dado um enfoque principal à hidrogeologia de meio fissural, com o intuito de facilitar a apresentação do presente trabalho.

Ao buscar alternativas de aproveitamento do cristalino como unidade geológica fornecedora de água é preciso compreender as especificidades deste meio, que se iniciam pela questão conceitual. Isto quer dizer, a aplicação do termo aquífero como sendo um corpo geológico capaz de armazenar e fornecer água pode ser imediatamente questionada, pois as rochas cristalinas, em geral possuem baixa capacidade de armazenagem de água. Essa situação pode ser melhorada com o desenvolvimento de dupla porosidade, ou seja, uma porosidade intrínseca do meio geológico e outra decorrente de efeitos tectônicos, que ocasionam zonas de fraqueza ou fraturas. Existindo uma rocha cristalina fraturada, é preciso que as fraturas estejam interconectadas para possibilitar o fluxo de água. É preciso que a abertura das fraturas seja suficiente para favorecer o armazenamento. Contudo, o aproveitamento só terá sucesso se, ao executar a construção do poço, houver a otimização de todos os fatores que influenciam na produção de água, quais sejam: recarga, fraturas, interconexão de fraturas, abertura das fraturas. Tudo isto poderá ser conseguido, mas restará ainda um desafio: a qualidade da água.

3.1 ORIGEM DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

A origem de quase toda água subterrânea existente no planeta Terra está relacionada ao ciclo hidrogeológico, processos pelos quais a natureza propicia a circulação das águas superficiais (oceano, lagos, rios...) para a atmosfera através da evaporação e daí para os continentes por meio de precipitações, de onde retorna da superfície e da subsuperfície aos rios, lagos e oceanos. Parte da água que se infiltra no solo pode percolar até o nível freático, constituindo a recarga dos aquíferos (figura 3.1).

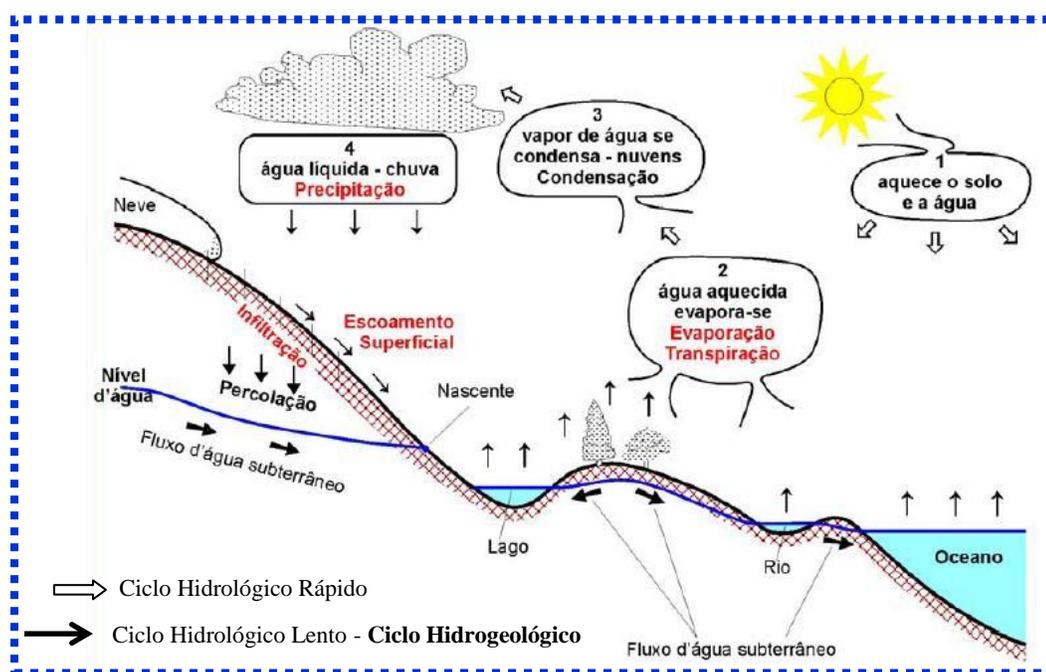


Figura 3.1- Modelo ciclo hidrológico (modificado de Braga,1999).

Dos 2,5% da água doce disponível, aproximadamente **30%** estão nos reservatórios **subterrâneos** (figura 3.2). A água subterrânea é a parcela da água que permanece no subsolo, onde flui lentamente até descarregar em corpos de água de superfície, ser interceptada por raízes de plantas ou ser extraída em poços. Tem papel essencial na manutenção da umidade do solo, do fluxo dos rios, lagos e brejos. A água subterrânea é também responsável pelo fluxo de base dos rios, sendo responsável pela sua perenização durante os períodos de estiagem. Essa contribuição em todo o mundo é da ordem de 13.000 km³/ano, quase 1/3 da descarga dos rios (World Resources Institute, 1991; in Rebouças et. al., 1999).

Capítulo-3 Hidrogeologia em Terrenos Cristalinas “Meio Fissural”

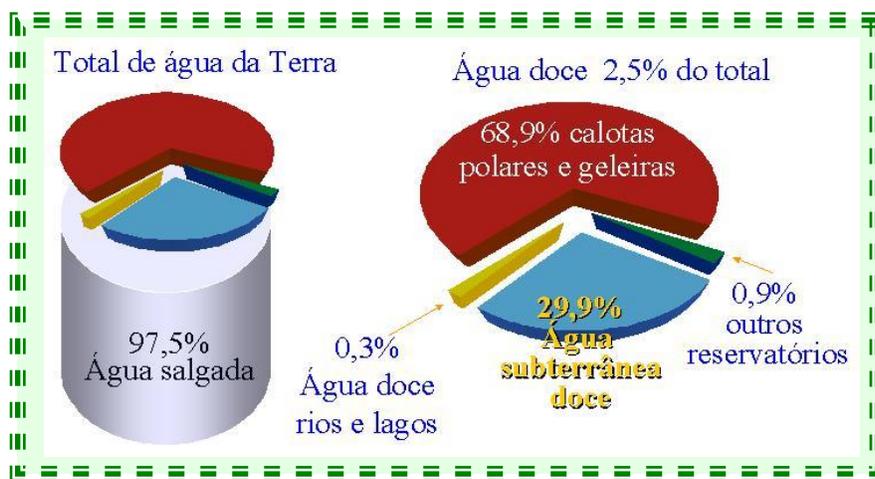


Figura 3.2- Distribuição da água no mundo.

A quantidade de água e a velocidade com que esta circula nos diferentes reservatórios do ciclo hidrológico são influenciadas por diversos fatores como, por exemplo, a altitude, a cobertura vegetal, a topografia, a temperatura e o tipo de solo e a geologia.

A água infiltrada flui através de solos e rochas com velocidade dependente da permeabilidade do meio. A permeabilidade pode ser primária, quando o fluxo d'água ocorre através de poros interconectados de uma rocha de natureza sedimentar, ou secundária, quando o meio é maciço e o fluxo de água ocorre ao longo de discontinuidades existentes (fraturas, cavernas, etc.). As formações geológicas permeáveis, susceptíveis de armazenar e transmitir água são denominadas de aquíferos, que podem ser classificados em três tipos principais:

Aquíferos Porosos, Cárticos e Fissurais (figura 3.3). Neste capítulo, serão abordados aspectos relacionados unicamente ao Domínio Cristalino, também conhecido como Aquífero Fraturado ou Aquífero Fissural.

- ✓ Aquíferos Porosos “A” – Correspondem a formações geológicas constituídas por rochas sedimentares clásticas consolidadas ou não, sendo que a água fica retida nos espaços intergranulares;
- ✓ Aquíferos Cárticos “B” – Correspondem às rochas sedimentares e metamórficas carbonáticas, onde a atuação dos processos de dissolução gera feições propícias ao armazenamento de grandes quantidades de água (cavernas, dolinas, etc.);

Capítulo-3 Hidrogeologia em Terrenos Cristalinas “Meio Fissural”

- ✓ **Aqüíferos Fissurais “C”** – Característicos do embasamento cristalino (rochas magmáticas e metamórficas) onde a água se localiza em meio as discontinuidades pertinentes (fraturas, juntas, falhas, vesículas, aberturas de dissolução, etc.).

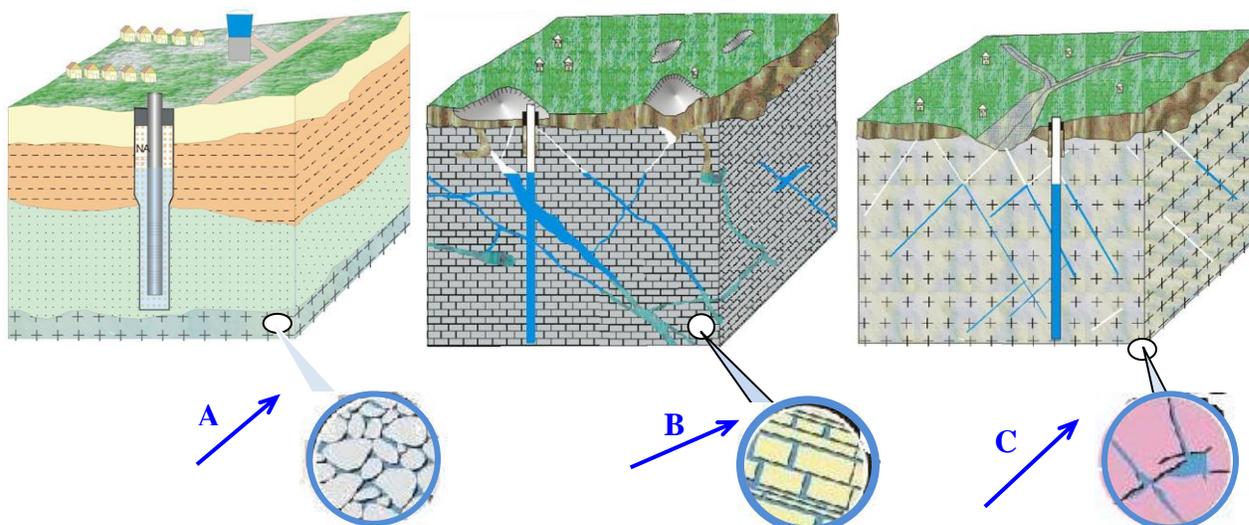


Figura 3.3- Tipos de aquíferos segundo sua textura. A) Aquífero Poroso (Arenito); B) aquífero Cárstico (Calcário); C) Aquífero Fissural (granito), modificado de Andrade, 2010.

Os aquíferos fissurais, que predominam na área de pesquisa caracterizam-se por ser um meio hidráulicamente descontínuo, heterogêneo e anisotrópico. Desta forma, não apresentam parâmetros hidrodinâmicos constantes, pois a porosidade é meramente função das fissuras, que não se distribuem homogeneamente por todo aquífero. A condutividade hidráulica dependerá do grau de fraturamento e a transmissividade não se aplica em todo o sistema, uma vez que a condutividade hidráulica não pode ser extrapolada para uma determinada espessura do aquífero onde predominam zonas não fraturadas (Vallejo *et. al.*, 2002).

- Anisotropia – Ocorre quando a condutividade hidráulica de um aquífero é diferente para cada uma das direções dos eixos coordenados;
- Heterogeneidade – Quando um aquífero é formado por materiais de condutividade hidráulica diferente.

Segundo Costa & Braz da Silva (1997), os fatores que influem nas características hidrodinâmicas do aquífero fissural são:

Capítulo-3 Hidrogeologia em Terrenos Cristalinas “Meio Fissural”

- ✓ Comprimento das fissuras (L);
- ✓ Abertura das fissuras (a);
- ✓ Forma e rugosidade das paredes das fissuras (R);
- ✓ Frequência ou espalhamento das fissuras;
- ✓ Número de famílias ou sistemas de fissuras (n);
- ✓ Orientação e posição das fissuras;
- ✓ Porosidade e permeabilidade da matriz rochosa;
- ✓ Propriedade do material que preenche as fissuras;
- ✓ Distribuição da amplitude da fissura no sistema, que determina a heterogeneidade e anisotropia (figura 3.4).

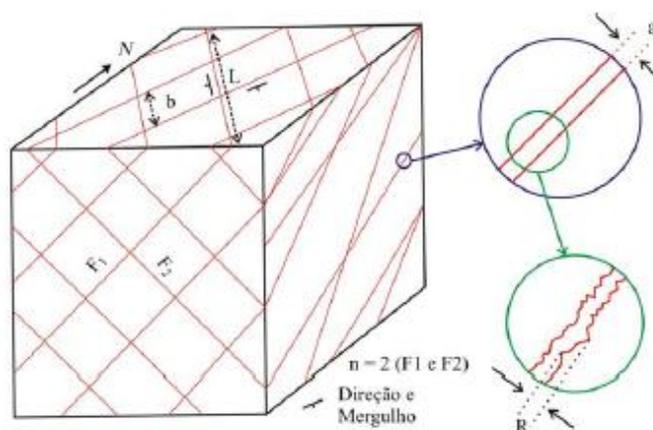


Figura 3.4 – Bloco diagrama exibindo os elementos que influem nas características hidrodinâmicas de um aquífero fissural. Fonte: *apud*: PINÉO, 2005).

Já para HAUSMAN, 1984, a variação de rendimento e o potencial de armazenamento de um aquífero fraturado depende principalmente da intensidade das forças que determinam o volume da disjunção. As juntas constituem superfícies de descontinuidade, através das quais circula a água, e se não apresentarem a mesma abertura ao longo de toda sua superfície, bem como suas paredes não possuírem a mesma rugosidade, esses fatos vão fazer variar as condições de condutibilidade hidráulica, tanto ao longo do plano horizontal como vertical. Esta diferença da abertura efetiva deve-se tanto à variação geométrica da abertura, como à mineralização secundária das fraturas. Sendo que alguns desses reflexos podem ser resumidos da seguinte forma:

Capítulo-3 Hidrogeologia em Terrenos Cristalinas “Meio Fissural”

- ✓ O fluxo para poços é predominantemente linear e não radial;
- ✓ A passagem de fluxo laminar para turbulento, e vice versa, ocorre a diferentes velocidades, devido a grande variabilidade nas características geométricas da fratura;
- ✓ Em um sistema contínuo o fluxo é tridimensional, em um descontínuo é bidimensional;
- ✓ A dimensão das aberturas ou a mineralização das fraturas, determina a extensão da área de armazenamento;
- ✓ A relação entre fluxo e gradiente é muito complexa, não sendo possível estabelecer uma relação simples, ou uma lei geral que possa expressar facilmente esta relação, por não se ter encontrado nenhuma correlação linear entre a abertura efetiva e a velocidade de fluxo;
- ✓ A abertura efetiva tem um efeito muito mais pronunciado, sobre as condições de circulação nas fraturas de superfície lisa que nas rugosas;
- ✓ As variações de condutividade hidráulica aumentam com o aumento da pressão confinante;
- ✓ A anisotropia determina variações na vazão dos poços ao longo de uma mesma fratura e não permite resultados confiáveis em poços observatórios (piezômetros), nos ensaios de vazão;
- ✓ A redução da capacidade específica é diretamente proporcional à perda de carga;
- ✓ A transmissividade não mantém proporcionalidade com o rebaixamento, devido à perda de carga.

As condições acima enumeradas por HAUSSMAN (1984), influem de forma marcante no comportamento do meio fraturado. As complicações deste tipo de fluxo devem possuir mais elementos influentes, os quais ainda não foram definidos e são talvez os responsáveis pela indeterminação de características hidráulicas confiáveis nos aquíferos fraturados do Alto Jiquiriçá.

3.2 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS.

No estudo de bacias hidrográficas diversos aspectos do meio físico são analisados, com o objetivo de melhor compreender a dinâmica hidrológica dessas bacias, uma vez que, as características do meio físico exercem influência direta sobre o comportamento dos recursos hídricos. Dentre os vários aspectos analisados estão os recursos hídricos subterrâneos.

O entendimento das características hidrogeológicas de uma bacia hidrográfica é um dos aspectos mais importante no estudo dessas bacias, uma vez que esses recursos têm relação direta nos processos de recarga e descarga dos recursos hídricos de superfície. Alguns fatores são fundamentais na caracterização dos domínios hidrogeológicos dessas bacias, dentre eles pode-se citar:

- ✓ Fator pedológico, onde a caracterização dos solos no estudo de bacias é importante devido a sua composição e estrutura interna, que contribui significativamente nas taxas de infiltração e de assoreamento. Os solos podem ser arenosos ou argilosos, isto faz com que haja alteração bastante significativa no escoamento das águas. A figura 3.5 ilustra a relação do escoamento superficial entre um solo arenoso e um solo argiloso;

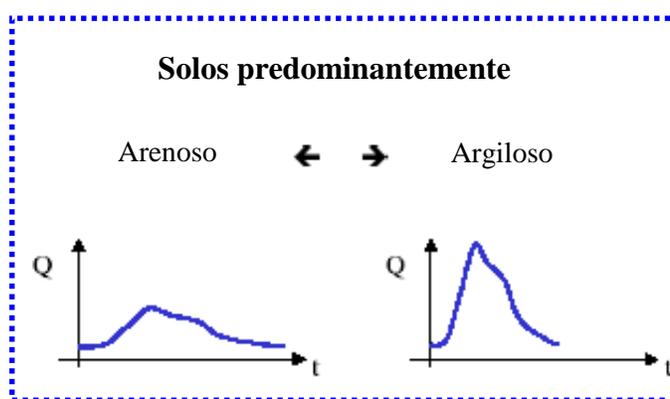


Figura 3.5- Os hidrogramas mostrando escoamento típico de solos arenosos e argilosos

- ✓ O tipo do uso do solo, o tipo de vegetação e a pluviosidade, também são fatores que influenciam na caracterização de bacias hidrográficas. As figuras 3.6 e 3.7 mostram a diferença entre o escoamento num solo com vegetação e sem vegetação e a intensidade de chuvas que ocorre nas bacias;

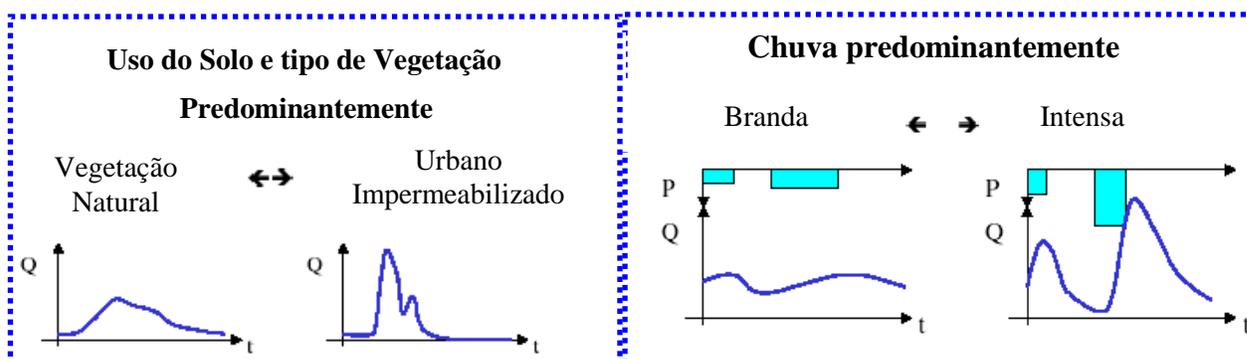


Figura 3.6- Hidrograma mostrando escoamento em área vegetada e área impermeabilizada

Figura 3.7- O hidrograma mostra a diferença do escoamento com a intensidade da chuva

- ✓ Outro fator que deve ser considerado na caracterização hidrogeológica de bacias é a diferença entre o divisor de água topográfico e o divisor freático. No estudo de bacias, frequentemente usa-se apenas a topografia (relevo) e a drenagem superficial na definição do divisor de águas, não sendo levado em consideração o fluxo das águas subterrâneas. Desta forma há um “erro” quando delimita-se a bacia hidrogeológica levando em consideração apenas os fatores topografia e drenagem superficial. É sabido que o divisor topográfico normalmente não coincide com o divisor freático, por isso se faz necessário também a definição das direções do fluxo das águas subterrâneas. Desta forma, pode-se determinar se está havendo aporte ou perda de água de uma bacia para outra. A figura 3.8 mostra a diferença entre o divisor topográfico e o freático.

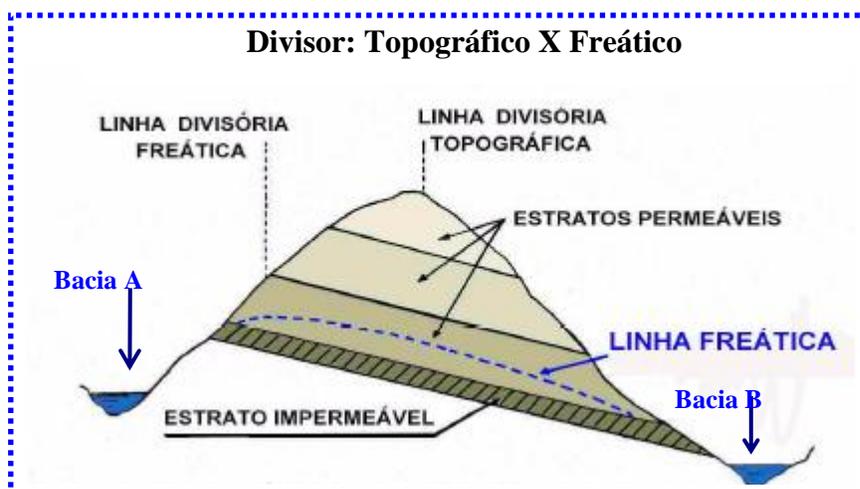


Figura 3.8- Mostrando a diferença entre o divisor topográfico e freático

Capítulo-3 Hidrogeologia em Terrenos Cristalinas “Meio Fissural”

A geologia é um dos fatores mais importantes a serem considerados na caracterização de bacias hidrográficas. É através dela que se pode determinar elementos indispensáveis, como por exemplo, o tipo de aquífero e suas características. As formações geológicas que caracterizam um tipo de aquífero, possuem parâmetros hidrodinâmicos além de outras características hidrogeológicas, que são importantes para a sua classificação em termos de potencial hidrogeológico. Dentre estas características podemos destacar:

Tipo de matriz do solo, Porosidade total (n) e específica (n_e), Distribuição vertical (estratigrafia), Condutividade hidráulica (K), Permeabilidade (k), Transmissividade (T), Coeficiente de armazenamento (S), Zonas de recarga e Direção do fluxo subterrâneo.

Aqui são ressaltados os parâmetros fundamentais dos aquíferos: porosidade, vazão específica, transmissividade e condutividade hidráulica. A obtenção de medidas precisas desses parâmetros requer uma relativa sofisticação nos procedimentos de campo.

A porosidade e a vazão específica/armazenamento são expressas segundo as propriedades de estocagem de água dos aquíferos. A condutividade hidráulica (permeabilidade) e a transmissividade descrevem as propriedades de percolação do fluxo subterrâneo. A porosidade do solo ou da rocha fissurada é definida como a razão entre o volume de espaços vazios e o volume total da rocha. A figura 3.9 mostra os diferentes tipos de porosidade existente.

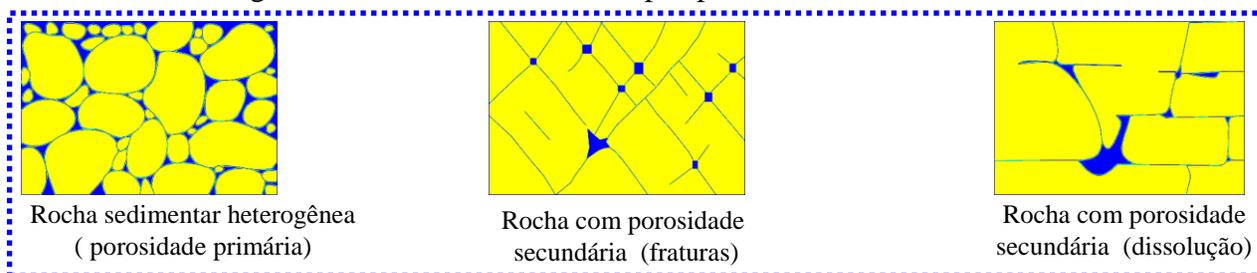


Figura 3.9- Diferentes tipos de porosidade

O coeficiente de armazenagem (S) representa a quantidade de água que um aquífero pode liberar de um estoque por unidade de área. Em aquíferos não-confinados, a capacidade de armazenamento é, na prática igual à vazão específica. Já a transmissividade corresponde à quantidade de água que pode ser transmitida horizontalmente por toda a espessura saturada do aquífero. É calculada pelo produto da condutividade hidráulica (permeabilidade) com a espessura saturada do aquífero. Sendo dada pela expressão:

Capítulo-3 Hidrogeologia em Terrenos Cristalinas “Meio Fissural”

$$T = Kb, \text{ onde}$$

T = Transmissividade;

K = Condutividade hidráulica;

b = Espessura do aquífero.

Um fator que deve ser levado em consideração no estudo de bacias é o padrão de drenagem. Esse fator é determinado pela resistência do material geológico e é caracterizado pela orientação dos rios. Existem os padrões dendrítico, radial, paralelo, treliça, entre outros (Hewlett, 1982). Existem alguns índices de drenagem que podem explicar a dinâmica do escoamento superficial em função da área da bacia e da quantidade de cursos d'água.

3.3 IMPORTÂNCIA DOS AQUÍFEROS EM ROCHAS CRISTALINAS

As rochas cristalinas encontram-se presentes em diferentes partes do mundo, cobrindo mais da metade da superfície dos continentes (Figura 3.10). Essas rochas possuem permeabilidade primária muito baixa podendo, a depender do grau de fraturamento e do manto de alteração, adquirir uma permeabilidade secundária, transformando-se em importantes reservatórios de água.

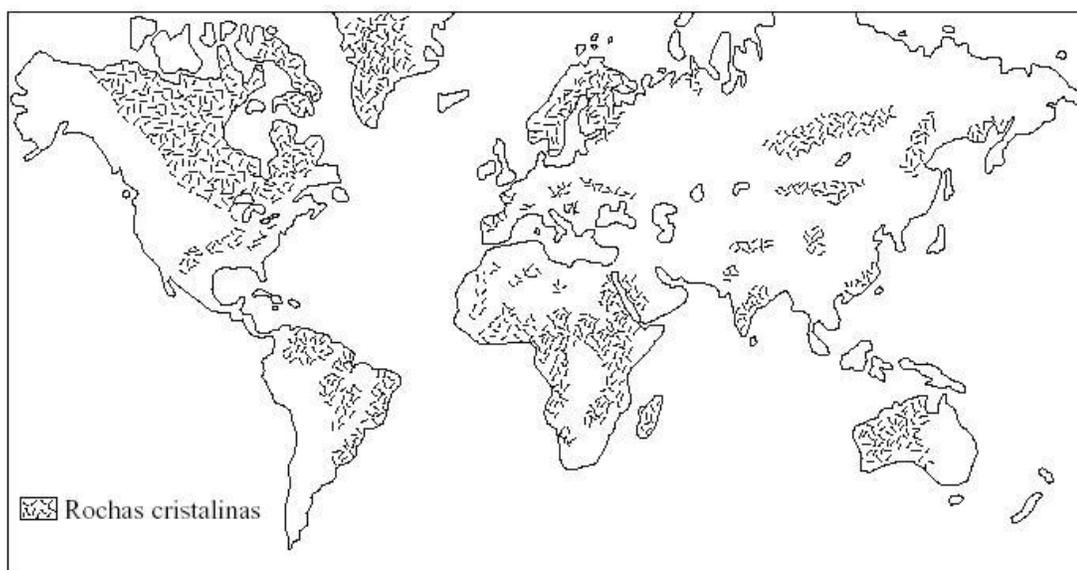


Figura 3.10- Distribuição das rochas cristalinas pelo mundo (Singhal & Gupta, 1999) in Neves, 2005.

Capítulo-3 Hidrogeologia em Terrenos Cristalinas “Meio Fissural”

No Brasil, aquífero que ocorre em rochas fraturadas é denominado aquífero fraturado, fissural ou cristalino (COSTA, 1986) e ocupa uma área de cerca de 4,6 milhões de km², correspondente a 53,8% do território nacional (figura 3.11). Nessa pesquisa foi adotado o termo aquífero fissural, que é usualmente utilizado no nordeste Brasileiro.

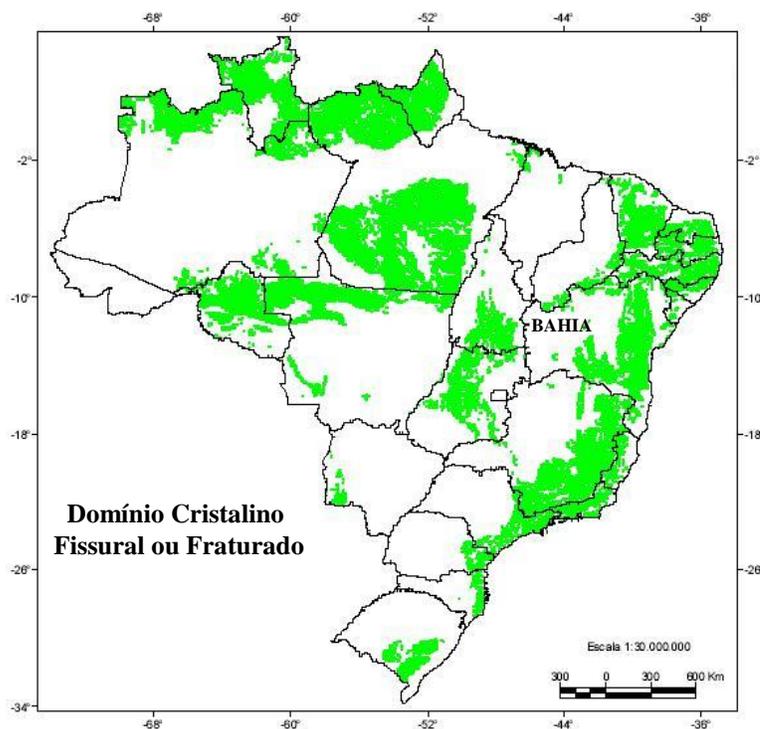


Figura 3.11- Distribuição dos Terrenos Cristalinos no Brasil.

Do ponto de vista hidrogeológico, os aquíferos fissurais representam um importante reservatório, principalmente em grande parte da região semi-árida do nordeste, onde esses terrenos são importantes fornecedores de água. Entretanto, também são problemáticos, em termos de disponibilidade e qualidade hídrica, devido ao clima semi-árido e a alta salinidade encontrada em suas águas.

O Domínio Cristalino engloba as rochas ígneas e metamórficas de idades pré- Cambrianas e, por este fato, é também considerado como Embasamento Cristalino, ou como substrato das seqüências sedimentares depositadas em períodos posteriores. Neste domínio o armazenamento de água subterrânea está condicionado às zonas de descontinuidades estruturais rúpteis, sendo a porosidade primária praticamente nula. As fissuras, de densidades razoáveis, conferem uma

Capítulo-3 Hidrogeologia em Terrenos Cristalinas “Meio Fissural”

permeabilidade extremamente variável (10^{-2} a 10^{-7} m/s), em função de vários aspectos relacionados ao grau de fraturamento.

O comportamento hidráulico das rochas cristalinas é diferente da dos aquíferos granulares, já que nestes a vazão tende a crescer proporcionalmente com a espessura do aquífero. No cristalino, a vazão é função unicamente das características de cada zona fraturada e, cada uma delas, tem características distintas relativamente à produtividade de água. Por isto, o parâmetro profundidade do poço não exerce influência direta na sua produção, pois não é representativo das características hidráulicas do meio aquífero. É fundamental, no entanto, a definição da entrada d'água mais profunda do poço, pois é ela que vai definir a profundidade útil do poço. Rebouças (1972) realizou um levantamento estatístico na região cristalina do Nordeste, concluindo que 94% das entradas d'água ocorrem a uma profundidade máxima de 70 metros, sendo que apenas 5% delas ocorrem entre 60 e 70 metros.

Um dos fatores limitantes para exploração do aquífero fissural está relacionado à sua heterogeneidade e anisotropia. Disso resulta uma enorme dificuldade para dimensionar o potencial hídrico do Domínio Cristalino.

Rebouças, 1973 (*in* Albuquerque, 1984) considera que 1/3 da área total do Cristalino do Nordeste se constitui de zonas aquíferas. Siqueira (1963) estabelece que o volume que influencia a produção de água numa área fraturada é de 50% do volume total.

Costa (1998) propõe uma metodologia para unificação da terminologia relacionada à quantificações dos recursos hídricos subterrâneos e sugere, dentre outros, para o Cristalino, os seguintes conceitos para o seu dimensionamento:

Reservas Renováveis (Rr): É o volume renovável, anualmente, decorrente das recargas e equivale a 0,15% da precipitação média, correspondente à taxa de infiltração na bacia hidrográfica.

$$Rr = P \times 0,0015 \times A \text{ (m}^3\text{/ano)}$$

Potencialidade (Po): Com certa cautela pode ser considerada como sendo 15% maior que as reservas renováveis.

$$Po = Rr \times 1.15 \text{ (m}^3\text{/ano)}$$

Capítulo-3 Hidrogeologia em Terrenos Cristalinas “Meio Fissural”

Conclusivamente, no entanto, não existe nenhuma proposta de quantificação da água subterrânea no aquífero fissural que possa ser aplicada com garantia. Todas as propostas apresentadas não passam de tentativas de estimar uma ordem de grandeza para os volumes existentes no Domínio Cristalino.

Por conta das dificuldades em dimensionar os volumes existentes e, mais ainda, por não se saber como eles estão distribuídos no meio rochoso, é que a utilização desses recursos hídricos ainda não oferece garantia para o uso das grandes demandas, ficando restrito:

- i. ao abastecimento humano de pequenas comunidades;
- ii. à pecuária de pequeno porte;
- iii. à indústria de água mineral em áreas restritas.

3.4 MECANISMO DE FRATURAMENTO

Em virtude das diferenças hidrogeológicas entre os aquíferos fissurais e os granulares, os estudos mais modernos apontaram a necessidade de uma nomenclatura mais adaptada às suas características. Hausman (1982) define como abertura efetiva média de uma fratura como sendo a área da fratura através da qual a água circula. Representam para a fratura o que a porosidade efetiva significa para o meio granular. As superfícies de descontinuidades apresentam um arranjo geométrico particular, o qual se reflete, de forma marcante, nas características hidrogeológicas do aquífero. A combinação de diferentes formas de descontinuidades e suas aberturas, determinam a condutividade hidráulica, ou seja, o volume de água que flui através das fraturas.

A complexidade do meio fissural é determinada, principalmente, pelo grau de fraturamento e muito pouco pelas características litológicas. A permeabilidade do sistema fraturado apresenta variações bastante acentuadas e, em muitas situações, não obedece a Lei de Darcy. A variação de rendimento de um aquífero fraturado depende, principalmente, da intensidade das forças que determinaram a extensão do fraturamento. As superfícies de descontinuidades, através das quais a água circula, por não apresentarem a mesma abertura ao longo de sua extensão, bem como as paredes não possuem a mesma rugosidade, fazem variar a condutividade hidráulica, tanto na direção horizontal quanto na vertical. Estas variações de

Capítulo-3 Hidrogeologia em Terrenos Cristalinas “Meio Fissural”

aberturas efetivas se devem não somente à variação na geometria das fendas mas também às mineralizações secundárias presentes nas fraturas.

A quantificação do sistema aquífero, no entanto, depende antes de tudo, da compreensão das características geológicas que deram origem à existência do reservatório de água subterrânea. Não há dúvidas de que fraturas constituem um meio aquífero, independentemente do tipo de matriz rochosa que sofreu esforços. Larsson (1977) afirma que a quantidade de água armazenada numa fratura depende de seu tipo e origem.

Os materiais geológicos se encontram submetidos a esforços naturais que variam em função de sua história geológica. Estes esforços se referem à pressão litostática, que depende do peso dos materiais sotopostos e, principalmente aos esforços originados pela tectônica de placas. O movimento translacional de placas litosféricas constitui a fonte principal dos esforços atuantes nas rochas da crosta terrestre. Através de uma análise estrutural cinemática é possível estimar a orientação e as magnitudes relativas das principais esforços atuantes durante um episódio de deformação.

Em consequência desses esforços tectônicos e de suas variações com a profundidade, feições estruturais podem ser originadas. Assim, em altas profundidades, onde reinam pressões e temperaturas elevadas, o meio rochoso se comporta de maneira dúctil e as estruturas geradas são caracterizadas por bandamentos e foliações originadas por fluxo de estado sólido. Nas partes mais superficiais da crosta, devido a menores pressão e temperatura, os litotipos sofrem uma deformação rúptil ou quebradiça representada por fraturas de diversas orientações. Os aquíferos de terrenos cristalinos, portanto se concentram na porção da crosta onde atuam uma deformação rúptil.

As tensões tectônicas atuam principalmente no sentido tangencial à crosta terrestre (Costa & Braz da Silva, 1997) e promovem estruturas distintas em um corpo rochoso, dependendo da orientação e tipo de esforço (tracional ou compressivo). (i) a primeira situação, com σ_1 sendo um esforço compressivo é horizontal e σ_3 esforço tracional vertical, ocorrem rupturas de cisalhamentos conjugados (figura 3.12a); (ii) na situação em que σ_3 é uma tração horizontal, podem ser geradas rupturas verticais extensionais e cisalhamentos conjugados (figura 3.12b). O esforço σ_2 é intermediário e pode corresponder a uma tração ou a uma compressão. Importante

ressaltar que as rupturas extensionais tendem a ser abertas, enquanto que as de cisalhamento tendem a ser fechadas.

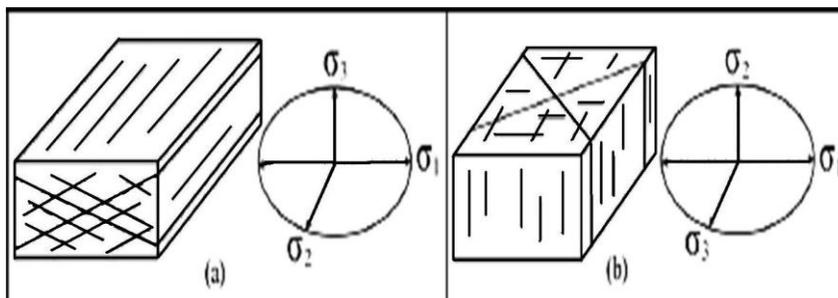


Figura 3.12–a) Bloco diagrama exibindo fraturas de cisalhamento formadas de acordo com os esforços representados pelo elipsóide ao lado. b) Fraturas de cisalhamento e de tração originadas conforme a orientação dos esforços representados pelo respectivo elipsóide.

Outra associação comum é a de uma deformação ruptural a uma deformação de dobramento (figura 3.13). Neste caso, durante o dobramento de um litotipo em condições ideais, tensões de tração (σ_1) na parte externa da dobra e de compressão (σ_c) na parte interna são geradas formando, respectivamente, no topo rupturas de tração paralelas ao eixo da dobra e enrugamentos na base.

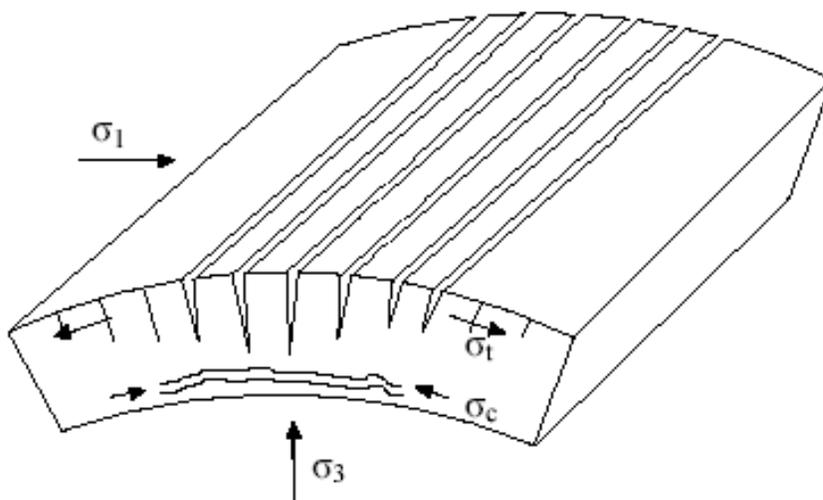


Figura 3.13 – Fraturas de tração e enrugamento associado a um dobramento. (Fonte: *apud*: PINÉO, 2005).

Um corpo rochoso com uma orientação planar (estratificação, foliação ou xistosidade) geralmente se comporta de modo diferente daqueles apresentados na figura 3.13, quando submetido a uma tectônica rúptil. Como estes planos possuem resistência inferior ao do restante da rocha a ruptura é favorecida a estas zonas de fraqueza e ocorrem paralelamente a elas.

Capítulo-3 Hidrogeologia em Terrenos Cristalinas “Meio Fissural”

Os meios rochosos podem ainda sofrer um fraturamento associado ao alívio de tensões, por ação de processos exógenos (erosão). Quando o regolito de um maciço rochoso é retirado por erosão, a tensão vertical passa a ser tracional, promovendo a formação de planos de ruptura perpendiculares a ela e paralelas à superfície topográfica. Estas estruturas são denominadas de juntas de alívio e podem ser favorecidas também pela existência de descontinuidades pretéritas (foliação, xistosidade, fraturas, etc).

As tensões em profundidade na crosta são controladas pela tensão tectônica regional (Stephansson et al, 1986; Klein e Barr, 1986 apud Banks et al, 1996 superposta a pressão decorrente do peso das camadas subjacentes. Próximo a superfície, o campo de tensões regionais está sujeito a variações locais causado por anomalias topográficas ou por descontinuidades geológicas (Fairhurst, 1986 apud Banks et al, 1996).

Merecem destaque, as fraturas de extensão que por serem penetrantes, terem dimensões consideráveis e serem muito retas e abertas, podem ser preenchidas por diques ou servir para armazenamento de água subterrânea (Larsson, 1997). Com base nessas observações, esse autor propôs um modelo denominado de deformação integrada baseado na ocorrência de diques preenchendo fraturas de extensão.

Diante disto, observa-se, que o desenvolvimento da tectônica rúptil é fundamental para que seja possível uma pré-quantificação da produtividade dos poços. É menos relevante a classificação das estruturas segundo sua orientação em relação à foliação metamórfica (longitudinal, transversal, angular), mas é fundamental a identificação da gênese das estruturas rúpteis e as relações de superposição dos eventos tectônicos.

Fernandes (1997) apresenta uma proposta de Lawn & Wilshau (1975) dividindo em três categorias os mecanismos geradores de fraturas por propagação de uma fenda, conforme descrito a seguir e ilustrado na figura 3.14.

(i) Abertura: Gerado por uma abertura ou separação normal do planos de ruptura sob a ação de um esforço de tração;

- (ii) Deslizamento longitudinal: Gerado por deslize perpendicular à frente de propagação da ruptura;
- (iii) deslizamento lateral: Gerado por deslize paralelo à frente de propagação da ruptura.

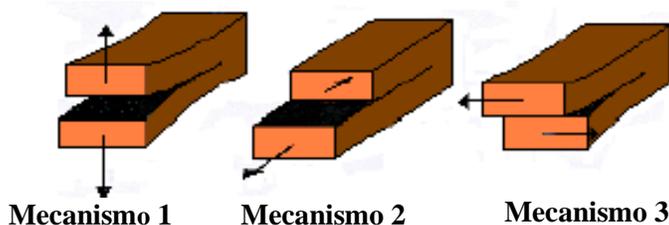


FIGURA 3.14 - Mecanismo de propagação de uma fenda (LAWN & WILSHAU, 1975)

As fraturas de extensão tendem a ser mais abertas que as de cisalhamento e, por isto, apresentam maior capacidade de armazenamento, funcionando como grandes drenos que coletam a água de fraturas menores (UNESCO, 1985, *in* Fernandes, 1997).

As fraturas de cisalhamento também precisam ser investigadas, pois podem ocorrer fechamentos e/ou aberturas em fraturas preexistentes, dependendo da intensidade da deformação e da evolução tectônica com superposição de vários eventos, conforme indicado na figura 3.15.

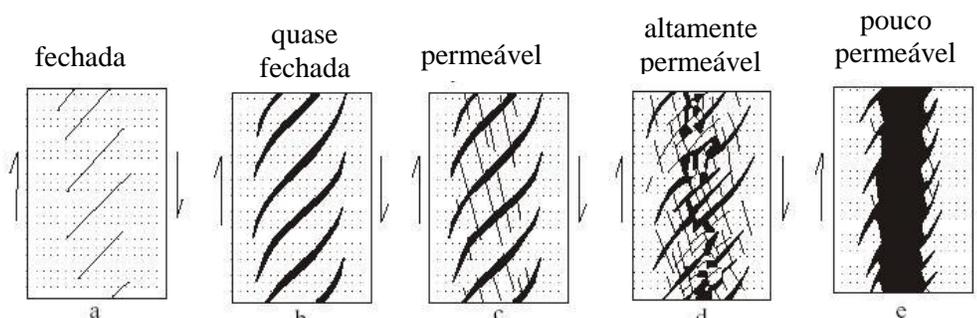


Figura 3.15- Estágios de desenvolvimento de uma zona de fratura de cisalhamento (Banks e Robins, 2002, *in* Neves, 2005).

Desta forma, os padrões de fraturamento existentes são os fatores mais decisivos, mas também os mais difíceis de se caracterizar, para o fluxo e para a produtividade de poços em aquíferos cristalinos. É fundamental a determinação das características das fraturas tais como: orientação, densidade, conectividade, abertura e rugosidade das superfícies. Especial atenção, no entanto, deve ser dada à abertura das fraturas, pois a lei cúbica aplicada por Snow (1968), *in* Fernandes, 1997) para um modelo de rocha fraturada, revela que a condutividade hidráulica é

proporcional ao cubo da abertura da fratura. Para um conjunto de N fraturas do mesmo tipo se obtém:

$$K = \frac{\rho \cdot g}{12 \cdot \mu} N \cdot b^3$$

Onde ρ é a densidade, μ a viscosidade da água, g a aceleração da gravidade, N o número de fraturas por unidade de distância e b a abertura média das fraturas.

A densidade de fraturamento, controlado pela frequência, causa uma variação apenas linear. A frequência e as aberturas das fraturas variam muito. Deste modo, o meio fissural, mesmo considerado homogêneo, se comporta como anisotópico e apresenta diferentes condutividades hidráulicas em diferentes direções. Porém, se existir uma rede de fraturas interconectadas, pode-se estabelecer uma superfície potentiométrica virtual, definida pelas intersecções dos níveis freáticos em cada fratura (figura 3.16).

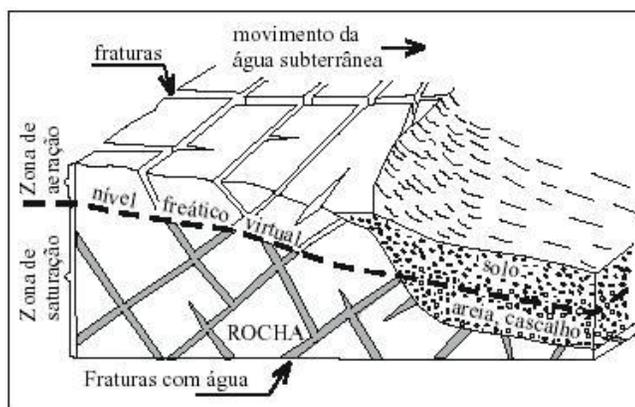


Figura 3.16- Superfície Potenciométrica virtual de um aquífero em rocha fraturada (Custodio e Llamas, 1996).

3.5 CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS

A despeito dos inúmeros trabalhos desenvolvidos no campo da hidráulica de poços em meios fraturados até hoje ainda não existe uma uniformidade de conceitos sobre o comportamento do fluxo radial para poços em aquíferos heterogêneos, cársticos e fissurados. Streltsova e Adams (1978), assinalam que os trabalhos publicados sobre testes de poços em reservatórios de rochas fraturadas revelam a falta de uma metodologia uniforme, o que tem

Avaliação Hidrogeológica do Alto da Bacia do Rio Jiquiriçá (Ba) – SANTOS (2010)

Capítulo-3 Hidrogeologia em Terrenos Cristalinas “Meio Fissural”

conduzido a resultados contraditórios sobre a evolução do rebaixamento. Boehmer (1993), depois de descrever alguns dos métodos desenvolvidos nos últimos 20 anos para análise de testes de bombeamento de poços em aquíferos de rochas fraturadas, conclui que tal análise, no caso de domínios representados por redes de fraturas permeáveis em rochas cristalinas de baixa permeabilidade, não é possível com os métodos até então existentes.

Uma rocha cristalina não alterada e não fraturada tem menos de 1% de porosidade e a permeabilidade é tão pequena que pode ser considerada desprezível (Davis e Turk, 1964). Dependendo do grau de fraturamento e da natureza do manto de alteração (intemperismo), a condutividade hidráulica pode variar de 10^{-6} a 10^{-3} ms^{-1} e sua porosidade pode chegar até 45%. O grau de fraturamento e o intemperismo dependem da profundidade e causam variações na distribuição porosidade e da capacidade específica, conforme mostra a figura 3.17.

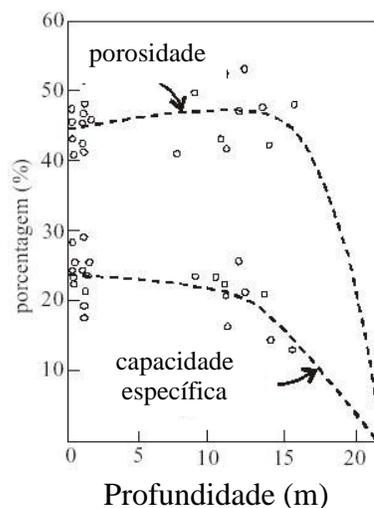


Figura 3.17- Distribuição dos valores de porosidade e capacidade específica em rochas metamórficas (Stewart, 1962 apud Davis, 1980).

MANOEL FILHO (1996) desenvolveu uma metodologia denominada de *método da capacidade específica fractal*, no qual é possível avaliar a magnitude do fluxo uniforme equivalente para um poço, a partir de testes de bombeamento sob condições de fluxo variável, as propriedades de transmissão e armazenamento do condutor hidráulico representado pelo conjunto poço-fendas-blocos associados. O resultado deste trabalho permitiu estabelecer os seguintes

Capítulo-3 Hidrogeologia em Terrenos Cristalinas “Meio Fissural”

valores para o conjunto de poços analisados nos Estados do Ceará, Paraíba, Rio Grande do Norte e Bahia (Quadro 3.1).

Quadro 3.1 - Parâmetros físicos dos condutores hidráulicos

Estados	Litologia	Transmissividade ($\times 10^6 \text{ m}^2/\text{s}$)	Coefficiente de Armazenamento (%)	Abertura Média das Fraturas (mm)	Prorosidade Total (%)
Bahia	Pegmatitos	3,10 a 24,60	0,004 a 9,4	0,15 a 0,63	0,0005 a 0,0030
	Cristalino	3,10 a 230,00			
Ceará	Granito	1,46 a 77,20	0,03 a 1,30	0,17 a 0,44	0,0022 a 0,2800
Paraíba	Filitos	13,70 a 152,00	0,03 a 3,60	0,10 a 0,70	0,0004 a 0,2860
	Micaxistos	3,20 a 16,10	0,03 a 0,09		
	Migmatitos	0,80 a 71,00	0,008 a 17,00		
	Granitos	3,10 a 731,00	0,01 a 1,10		
Rio Grande do Norte	Gnaisses	3,60 a 291,00	0,03 a 7,00	0,10 a 0,70	0,0004 a 0,0076
	Micaxistos	6,10 a 111,00	0,15 a 2,40		
	Granitos	1,70 a 25,60	0,004 a 0,60		

Fonte: Modificado de Manoel F °, (1996)

Como forma de padronizar uma análise comparativa entre aquíferos, sem entrar especificamente na hidráulica de poços e estabelecer a potencialidade do domínio cristalino pode se utilizar uma **produtividade de aquífero** (quadro 3.2), denominação introduzida por MENTE & MONT'ALVERNE (1982), no mapa hidrogeológico do Brasil, na escala de 1:5.000.000, como um indicador da *importância hidrogeológica relativa* dos diferentes aquíferos do país. Tal indicador corresponde à capacidade específica dos poços para um rebaixamento de cerca de 25 metros.

Quadro 3.2 - Classificação de produtividade dos aquíferos no Brasil.

Produtividade do Aquífero	Capacidade específica para 25 m de rebaixamento ($\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^{-1}$)	Faixa de Vazão (Q) (m^3/h)
Muito elevada	$y > 4$	$Q > 100$
Média a elevada	$1 > y \leq 4$	$25 < Q \leq 100$
Fraca a Média	$0,1 < y \leq 1$	$2,5 < Q \leq 25$
Muito Fraca	$y < 0,1$	$Q < 2,5$

Fonte: Mente & Mont'Alverne, 1982

3.6 HIDROGEOLOGIA EM TERRENOS CRISTALINOS DO ESTADO DA BAHIA

A maior parte da área do Estado da Bahia, cerca de 50%, repousa sobre rochas do embasamento cristalino composta essencialmente por granitos, gnaisses, migmatitos, granulitos etc., formando aquíferos de natureza fissural de reduzida potencialidade hídrica (Guerra & Negrão, 1996). Sendo que a maior porção se localiza na região do semi-árido, cujas carências hídricas são as mais críticas (BAHIA 2003). Guerra & Negrão 1996, subdividiram o domínio fissural no Estado da Bahia em função da pluviometria em dois subgrupos: I(a) - áreas de pluviometria < 800 mm/ano; I(b) - áreas de pluviometria > 800 mm/ano, conforme mostrado no mapa de domínios hidrogeológicos (Figura 3.18).

No sub-domínio I(a) localiza-se as áreas de maior carência hídrica do Estado, maior índice de aridez, decorrente exatamente da baixa capacidade de armazenamento das rochas, baixo índice pluviométrico e do elevado índice de evaporação. Tendo-se como resultado deste quadro, além da baixa capacidade de produção dos poços um maior índice de salinidade de suas águas como visto no (Quadro 3.3).

Ainda no quadro 3-3 o sub-domínio I (b), delimitado pela isoietas de 800 mm anuais, representa o embasamento cristalino das regiões úmidas. Neste tem-se, em consequência da maior pluviosidade, um manto de intemperismo mais espesso, contribuindo decisivamente para uma sensível melhoria nas condições de recarga, na produção dos poços e na qualidade química de suas águas.

As reservas permanentes em águas subterrâneas no Estado da Bahia, englobando-se os domínios homogêneos (coberturas detríticas, bacias sedimentares, calcários, metassedimentos e embasamento cristalino), são da ordem de $3,499 \times 10^{12} \text{ m}^3$, o que resulta em uma potencialidade explorável de aproximadamente $4,5436 \times 10^{10} \text{ m}^3/\text{ano}$. Já as reservas totais no domínio das rochas cristalinas são extremamente pequenas em relação à sua área de ocorrência no estado da Bahia: $12,906 \times 10^9 \text{ m}^3$ e uma potencialidade da ordem de $1,483 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$, agravada pelo elevado grau de salinização de suas águas, especialmente no subdomínio de menor precipitação pluviométrica (Negrão, 2007).

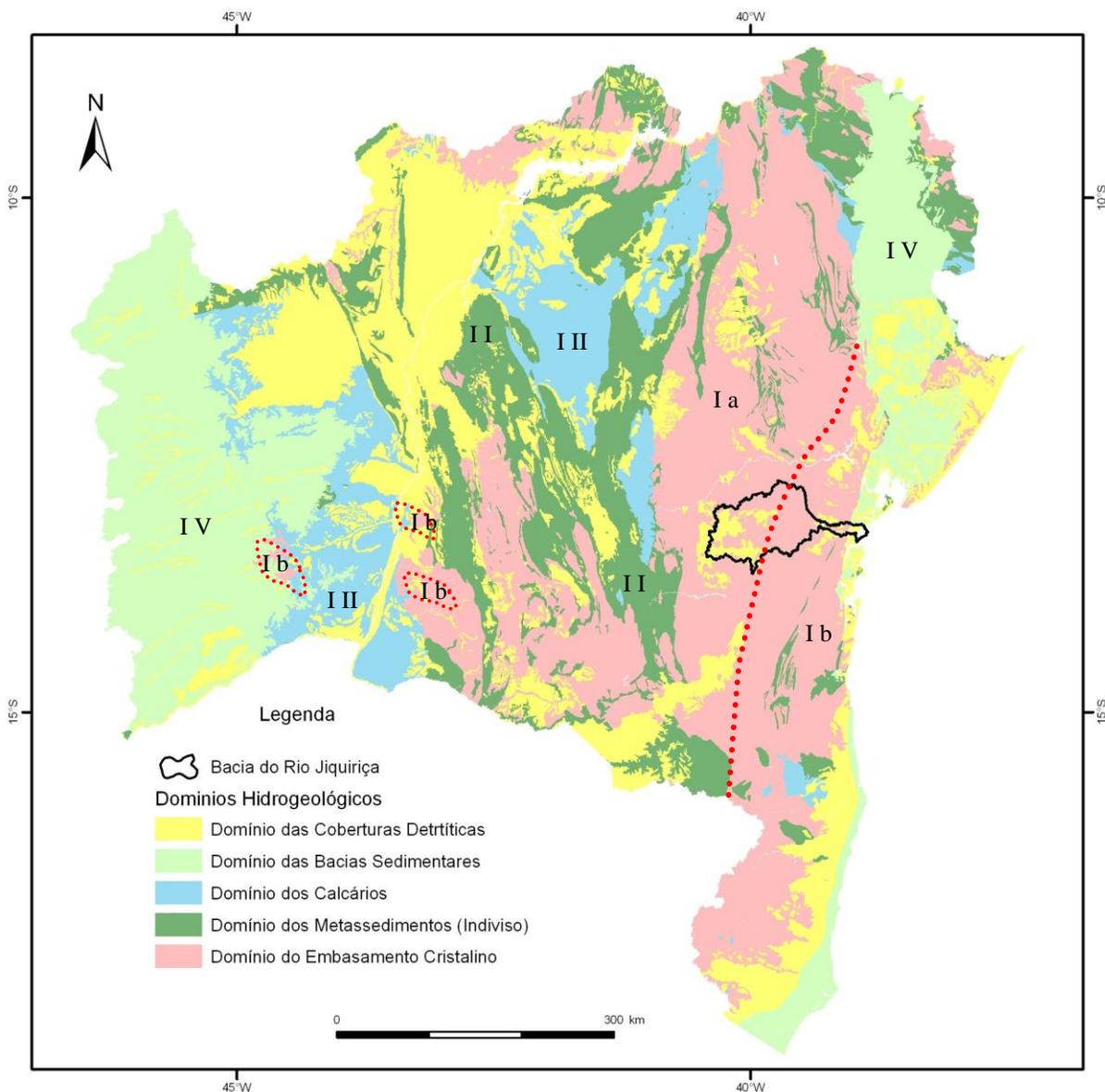


Figura 3.18- Mapa hidrogeológico do Estado da Bahia, (modificado de Negrão, 2007)

Quadro 3.3 – Mostrando a capacidade de produção dos poços e índice de salinidade nos diferentes Domínios Hidrogeológicos.

Domínio Aquífero		Domínios Hidrogeológicos	Profundidade Média (m)	Vazão Média (m ³ /h)	Salinidade Média (mg/L)
I	a < 800 mm	Embasamento	66,00	2,97	5127,00
	b > 800 mm	Cristalino	63,00	4,49	2717,00
II		Metassedimento	74,00	6,71	633,00
III		Calcários	98,00	9,12	1246,00
IV		Bacias Sedimentares	117,00	23,40	523,00

Fonte: Modificado de Guerra & Negrão, 1996.

Avaliação Hidrogeológica do Alto da Bacia do Rio Jiquiriçá (Ba) – SANTOS (2010)

Capítulo-3 Hidrogeologia em Terrenos Cristalinas “Meio Fissural”

O nível de comprometimento das reservas, no domínio cristalino, com base em registros do banco de dados da CERB em 2003, é de 17,4% e 5,95%, para os dois subdomínios indicados (Lima júnior, 2007).

A produtividade dos poços é normalmente baixa, com capacidades específicas médias variando de 0,08 m³/h a 0,15m³/h por metro de rebaixamento, em poços cuja profundidade média é de 60 m (Lima, 2003). Além disso, a proporção de insucessos medida pelo número de poços secos é muita elevada (cerca de 35%). Do ponto de vista químico, as águas são predominantemente cloretadas, com salinidades variando de 195 mg/l a 18.600 mg/l e com uma média de 3.000 mg/l de sólidos dissolvidos (CERB, 1983).

Embora o ambiente das rochas cristalinas seja hidrologicamente complexo, há numerosas evidências de que ele pode armazenar quantidades expressivas de água (Leal, 1969; Cruz, 1974; Medeiros *in* Lima, 2003). A complexidade estrutural de seus aquíferos manifesta-se por uma baixa produtividade dos poços e pela elevada percentagem de poços secos. Isto reflete o fato de que, na locação de poços, o uso isolado de um critério geológico é precário e deve ser complementado com estudos técnico-científicos mais apropriados.

Contribuições importantes ao conhecimento da hidrogeologia do Estado da Bahia e técnicas geométricas eficientes têm sido desenvolvidas e oferecidas por pesquisadores do CPGG/UFBA - **Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia da Universidade Federal da Bahia**, e também do NEHMA – **Núcleo de Estudos Hidrogeológicos e do Meio Ambiente** para auxiliar na locação e monitoramento de poços nesses aquíferos e similares, a exemplo de trabalhos realizados por: (Medeiros & Lima, 1990), Lima & Dias, 1980), Santos *et al.* (2005), Lima *et al* (2005), Palma & Lima (2003), Luz *et al* (2006) e Nascimento (2008).

4. ASPECTOS FISOGRÁFCOS FISIAGRÁFICOS DA BACIA DO RIO JIQUIRIÇÁ

4.1 ASPECTOS CLIMÁTICOS

O clima na bacia do Rio Jiquiriçá varia no sentido leste-oeste, influenciada pelo efeito da circulação litorânea, a leste, e pelas altitudes dos planaltos, na porção oeste. Esta gradação climática confere à bacia uma variação de temperatura média anual de mais de 24° C, na zona costeira, até 19° C na região de Maracás. A pluviosidade varia entre 2.000 mm ano no litoral e 350 mm ano, na porção noroeste da bacia. O período de máxima pluviosidade é de novembro a março (Figuras 4.1 e 4.2) e o período seco pode se estender por 5 meses no planalto de Jaguaquara, a até 9 meses na região próxima a Milagres. Os menores índices pluviométricos são registrados nos meses de agosto, setembro e outubro, (PDRH Recôncavo sul).

O clima na bacia, no geral, é do tipo tropical. Na parte Alta da bacia do Jiquiriçá varia de semi-árido a subúmido, predominando o primeiro tipo. Todos os municípios, nesta parte da bacia estão inseridos no Polígono das Secas.

O fator clima é fundamentalmente importante, pois está diretamente relacionado com o regime pluviométrico e conseqüentemente com a recarga dos aquíferos.

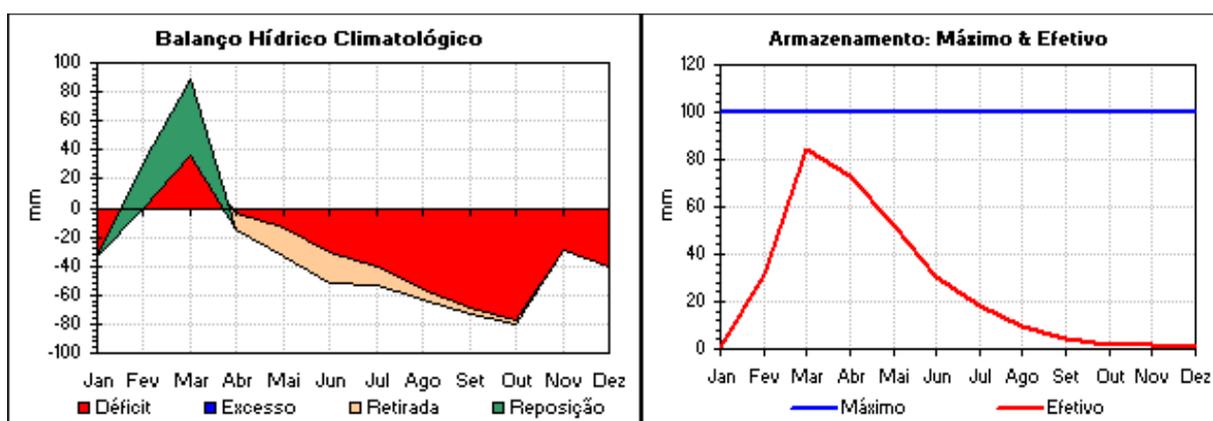


Figura 4.1- Balanço Hídrico Climatológico – 1961/1999 – Itiruçu. (Fonte: Inmet,2005)

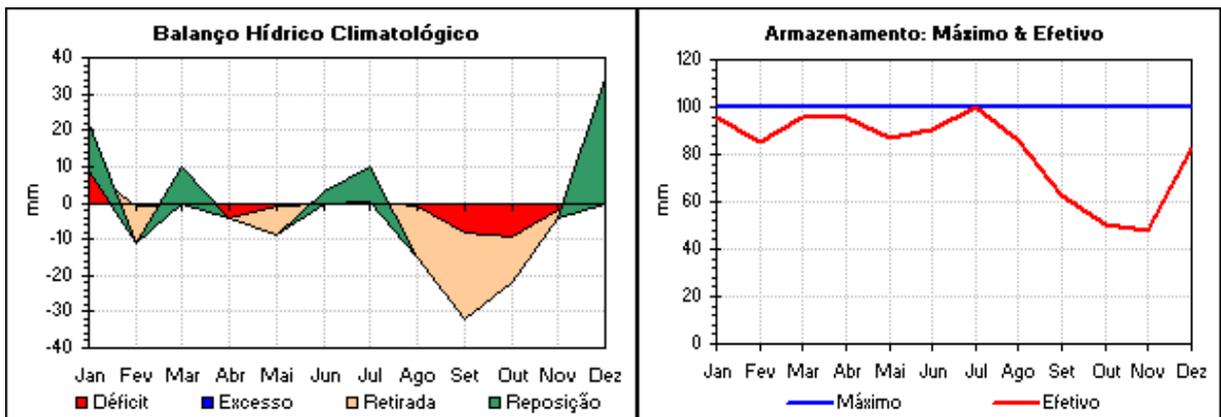


Figura 4.2- Balanço Hídrico Climatológico – 1961/1999 – Itiruçu - Jaguaquara. (Fonte: Inmet,2005)

Portanto a precipitação constitui-se em um dos fatores mais importante para as vazões de poços, haja vista, sua importância como alimentadora (recarregadora) dos reservatórios subterrâneos. No alto Jiquiriçá, a precipitação é baixa, atingindo em média 671 mm por ano, existem poucas estações e a maioria está inativa. Os dados abaixo listados são de estações desativadas, localizadas nos municípios de Maracás, Nova Itarana e Itiruçu (Figuras 4.3 a 4.6).

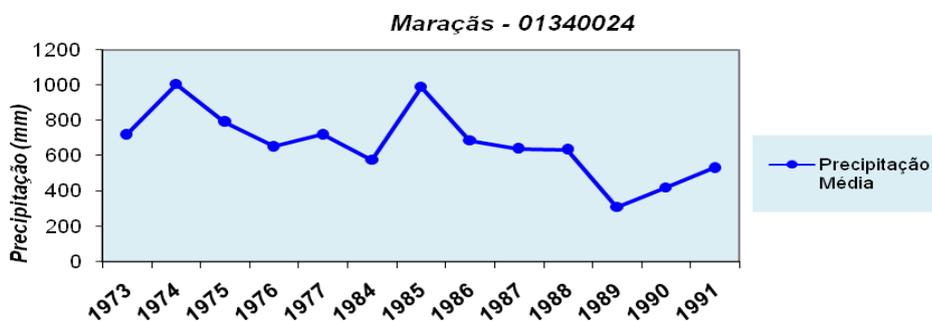


Figura 4.3- Precipitação ocorrida na região de Maracás entre os anos de 73 a 91.

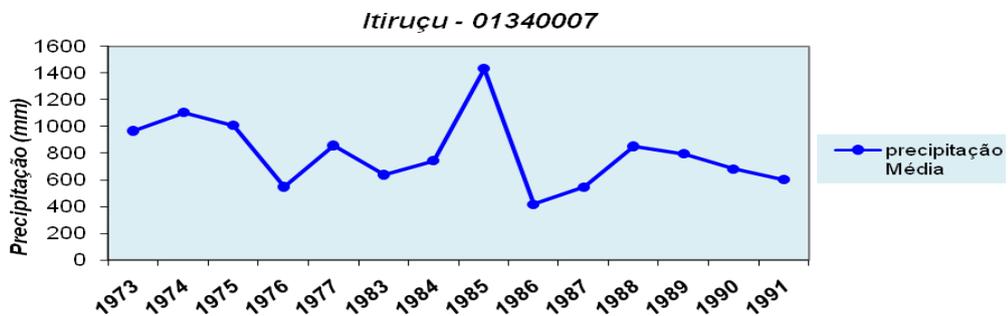


Figura 4.4- Precipitação ocorrida na região de Itiruçu entre os anos de 73 a 91.

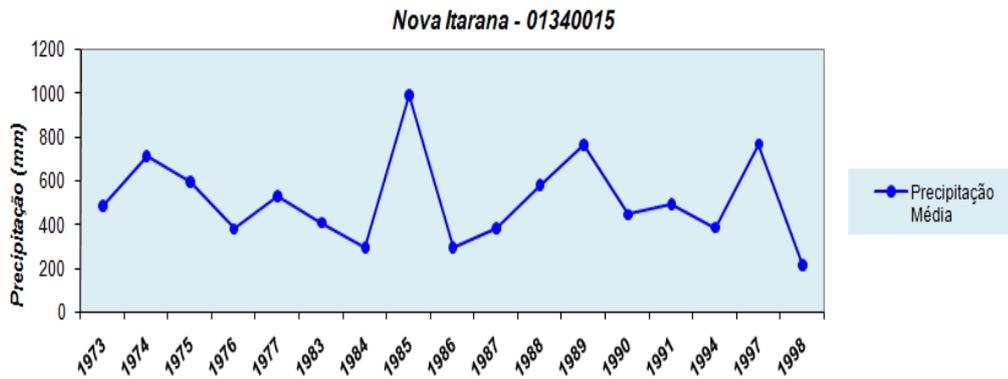


Figura 4.5: Precipitação ocorrida na região de Nova Itarana entre os anos de 73 a 98.

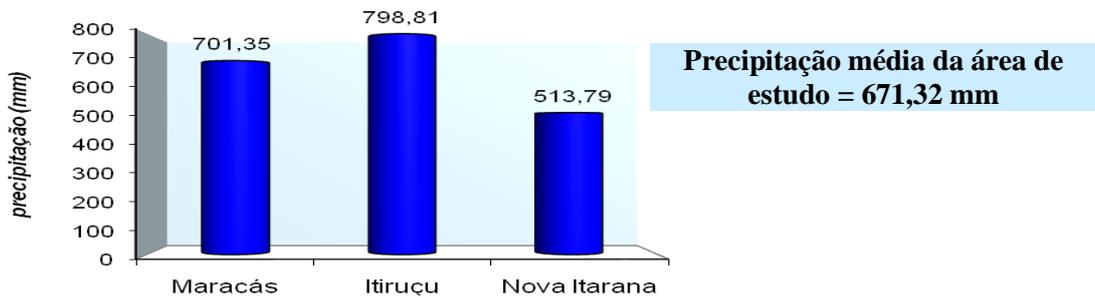


Figura 4.6: Precipitação média nos municípios de Maracás, Itiruçu e N. Itarana.

Como pode ser observado nos gráficos acima, a precipitação média no alto Jiquiriçá registrada no período de 1973-1999 foi de 671 mm ano para toda a região. Observa-se também que no ano de 1985 houve a maior precipitação ocorrida em toda área.

4.2- VEGETAÇÃO E USO DO SOLO

A bacia hidrográfica do rio Jiquiriçá apresenta uma grande diversidade vegetal condicionada por vários fatores, tais como: geologia, geomorfologia, altimetria, solos e clima.

A Caatinga ocorre no curso médio e principalmente no alto curso da bacia, onde se encontra bastante alterada, com a substituição de espécies vegetais nativas por pastagens e plantações, principalmente de maracujá, café e mandioca, que responde por mais de 50% da área antropizada da bacia. Destaca-se na parte alta da bacia o município de Maracás pela produção de flores, sendo conhecida como a cidade das flores. As fotos 4.1 a 4.4 mostram algumas das culturas cultivadas na bacia principalmente na parte alta e a criação de gado que também ocupa grande parte da área da bacia. A figura 4.7 mostra mapa com a distribuição dos principais tipos de vegetação.



Foto 4.1- Mostrando plantio de mandioca (Almeida, 2004).



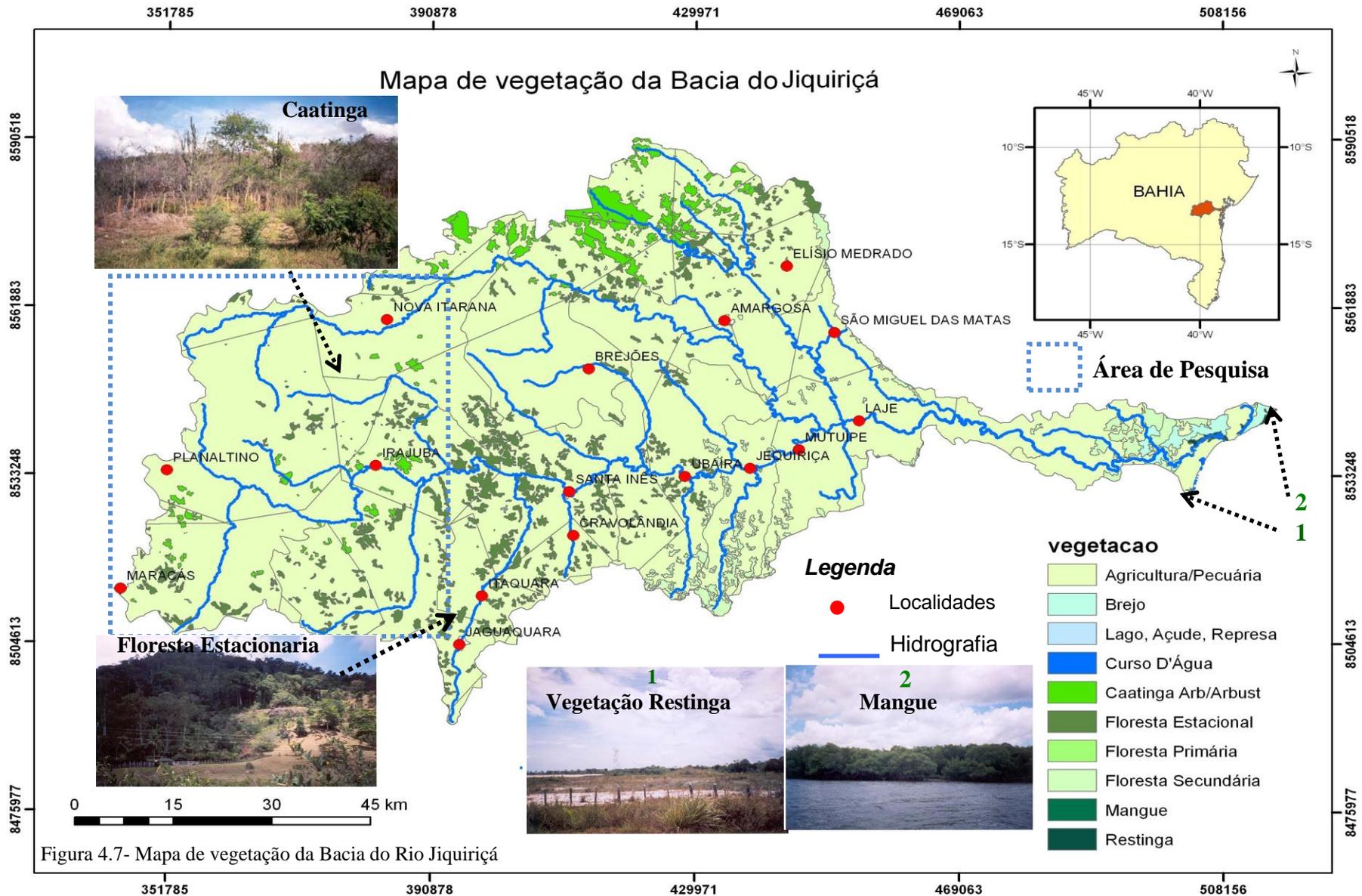
Foto 4.2- mostrando a plantio de café – Itiruçu (Almeida, 2004).



Foto 4.3- mostrando a criação de gado – Maracás (Almeida, 2004).



Foto 4.4- Mostrando o plantio de maracujá (Almeida, 2004).



Avaliação Hidrogeológica do Alto da Bacia do Rio Jiquiriçá (Ba) – SANTOS (2010)

4.3 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

A geomorfologia da área de pesquisa é composta basicamente por três unidades: (i) Planalto dos Geraizinhos; (ii) Maciço Central e (iii) Serras Marginais.

i - Planalto dos Geraizinhos

Nesta unidade a altimetria é sempre superior a 500m, encontrando-se de um modo geral, entre 600m e 1100m. Caracteriza-se por extensas áreas de topografia tabular, constituídas por depósitos detríticos do Terciário e do Quaternário. As formas de relevo, de ocorrência mais generalizada, são planos inclinados. As vertentes são ligeiramente convexo- côncavas com 5° de inclinação (figura 4.8).

ii - Maciço Central

Nesta unidade predominam altitudes que variam de 300 a 700m, mas ocorrem topos residuais de até 1200 m e fundo de vales onde cotas atingem 120m. Esta unidade, caracteriza-se por um modelado bastante uniforme, com a recorrência de formas convexizadas de grande porte, que corresponde a uma dissecação estrutural levada a efeito por canais de drenagem controladas por tectônica. O intenso fraturamento é o traço mais marcante deste compartimento geomorfológico e representa seu principal fator de individualização.

iii- Serras Marginais

Esta unidade encontra-se, de modo geral, acima de 400 m de altitude, principalmente, entre 600 e 1000 m. Ocorrem, no entanto, áreas mais deprimidas localizadas em torno de 100 m, e elevações residuais com até 1200 m de altitude. A intensa dissecação do relevo e seu alinhamento ao longo de sulcos profundos orientados aproximadamente no sentido SSW-NNE e NW-SE dão a esta unidade seu aspecto mais peculiar no conjunto dos relevos dos planaltos cristalinos. Os interflúvios apresentam-se sempre alongados, acompanhando a rede de drenagem, que por sua vez é em grande parte controlado por estrutura. As vertentes apresentam-se convexas e até retilíneas, passando por feições irregulares e mistas, como a combinação dada por perfis convexo-côncavos ou convexas retilíneas. Tais relevos constituem desde colinas com elevações menores que 50 m, até morros com mais de 150 metros (Tassinari et al, 1981). Existe também os **Tabuleiros Pré-litorâneos**, representados por outeiros e morros de vertentes convexas e topos abaulados com altitudes entre 100 m e 200 m, caracterizando um relevo uniforme, originado a partir da dissecação intensa dos granulitos e as **Planície Costeira**, compreendendo as áreas mais baixas da bacia, ocupadas por acumulações quaternárias.

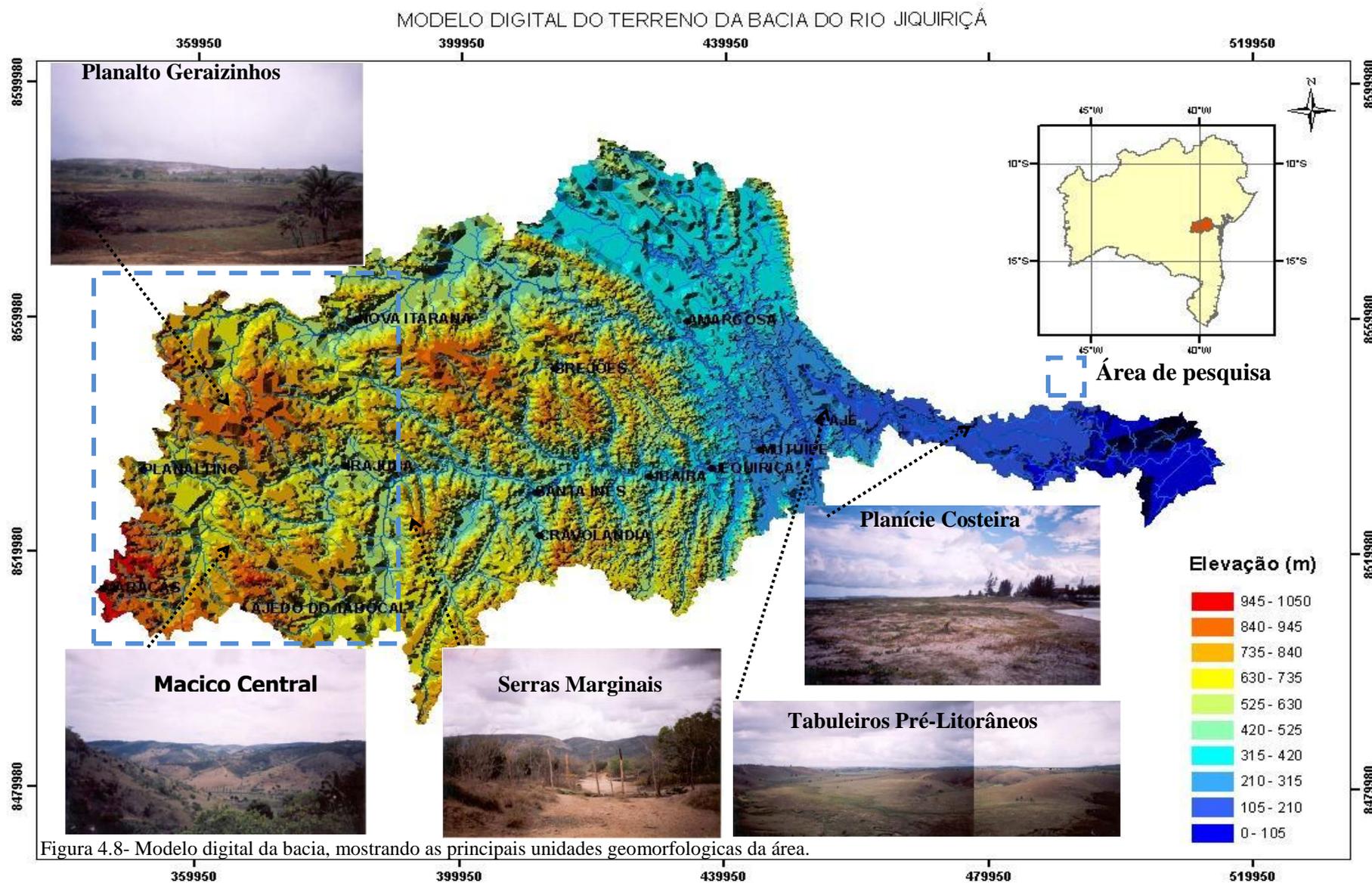


Figura 4.8- Modelo digital da bacia, mostrando as principais unidades geomorfológicas da área.

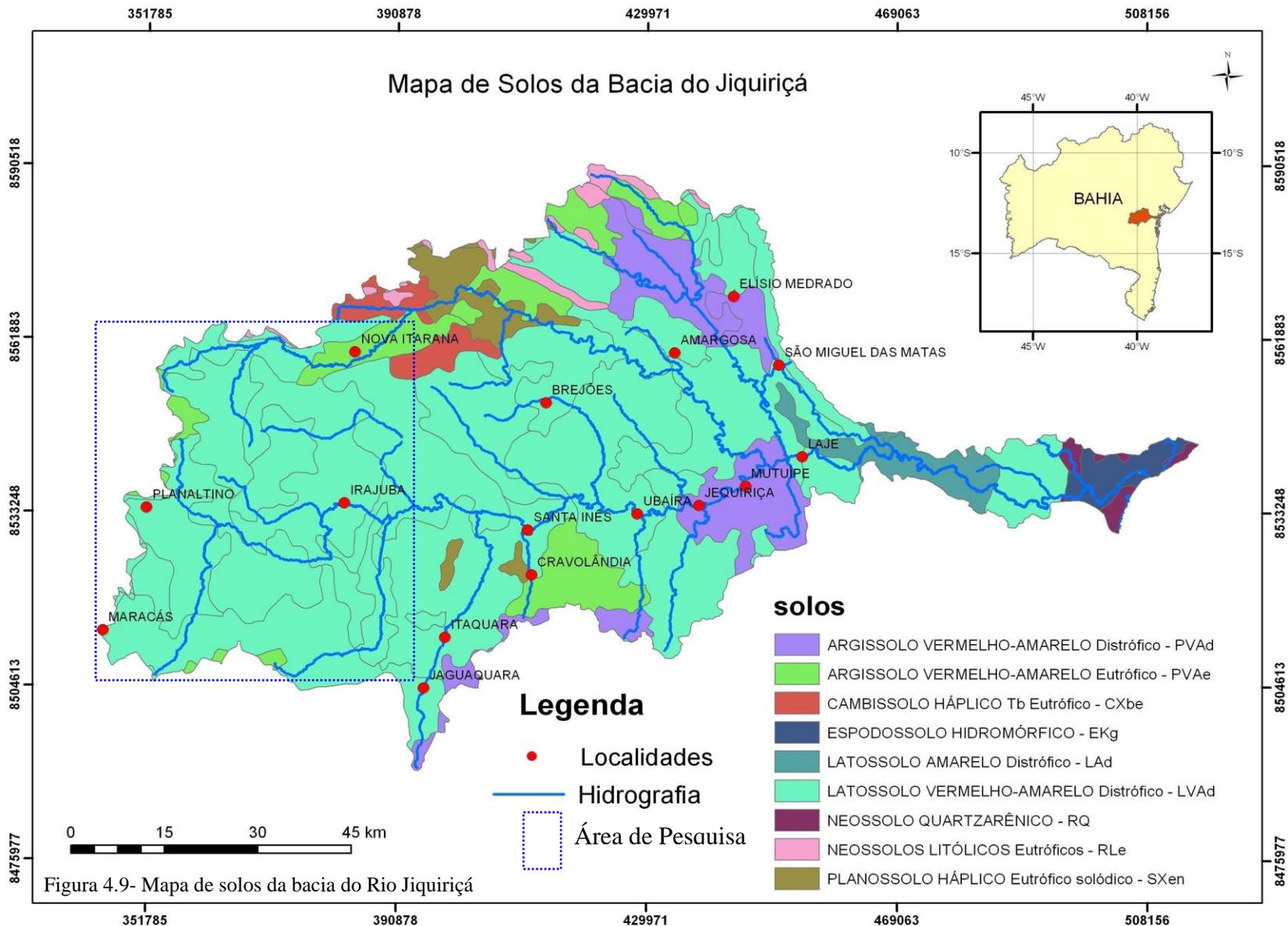
4.4 TIPOS DE SOLOS

Os solos constituem a camada superior da subsuperfície. São formados através da ação de um ou de todos os cinco fatores de formação: geologia, clima, vegetação, relevo e tempo. Os solos são o resultado da ação de vários fatores atuando simultaneamente. As características do solo são determinadas pela conjugação dos vários parâmetros, apontados etc. Na bacia do rio Jiquiriçá foram identificadas várias classes de solo. Segundo a classificação do Radam-Brasil (1981), os seguintes solos são encontrados na bacia: Argissolos, Cambissolos, Espodossolos, Neossolos, Planossolos e Latossolos (figura 4.9)

Na porção do Alto curso do rio do Jiquiriçá, especificamente na folha de Maracás, predominam Latossolos Vermelho-Amarelado. São solos minerais não hidromórficos, com horizonte A fraco a moderado e horizonte B. São constituídos de quartzo e óxidos de ferro e alumínio, argila de baixa mobilidade e minerais resistentes ao intemperismo. Têm sequência A, B, C, com pouca diferenciação de horizontes e transições graduais. São solos altamente intemperizados, variando de fortemente a bem drenados. A ocorrência desses solos está relacionada com o embasamento cristalino e os solos relacionados com a cobertura sedimentar Tércio-Quaternária.

Ao primeiro conjunto, embasamento cristalino, estão relacionados os solos mais recentes, formados a partir da alteração das rochas do embasamento cristalino e apresentam variação nos seus graus de desenvolvimento, caracterizados pelo predomínio de argilas. Costumam apresentar textura média, pedregosidade na superfície, ocupando as partes mais altas do relevo e os declives fortes. Já os solos relacionados as coberturas sedimentares, são formados a partir dos sedimentos areno-argilosos da cobertura sedimentar, profundos e geralmente bem desenvolvidos (fotos 4.5 a 4.10).

Ocorrem também areias quartzosas, sendo que esses últimos são caracterizados pelas texturas arenosas de formação mais recentes. Nesta área, nos solos derivados do embasamento, ocorre muita troca de cátions, devido a reduzida espessura dos solos podendo enriquecer a água subterrânea em sais. Além disso a espessura reduzida desses solo, aliada a composição arenosa no topo e areno-argilosa na base, facilita a infiltração, escoamento e recarga dos aquíferos da região.



Avaliação Hidrogeológica do Alto da Bacia do Rio Jiquiriçá (Ba) – SANTOS (2010)

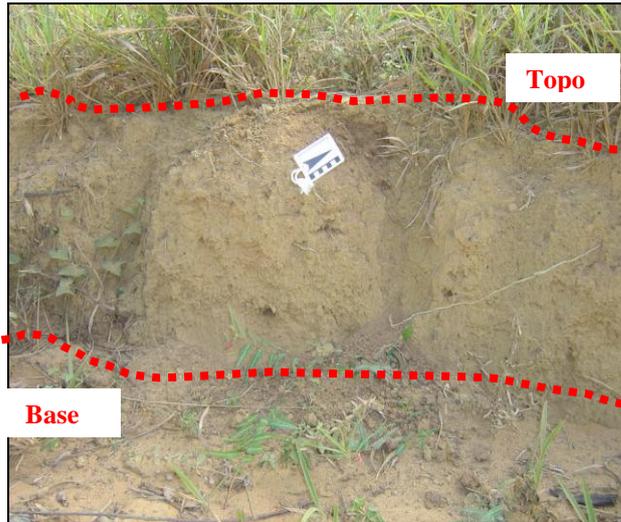


Foto: 4.5- Solo com espessura reduzida, ocorre na maior parte da área.

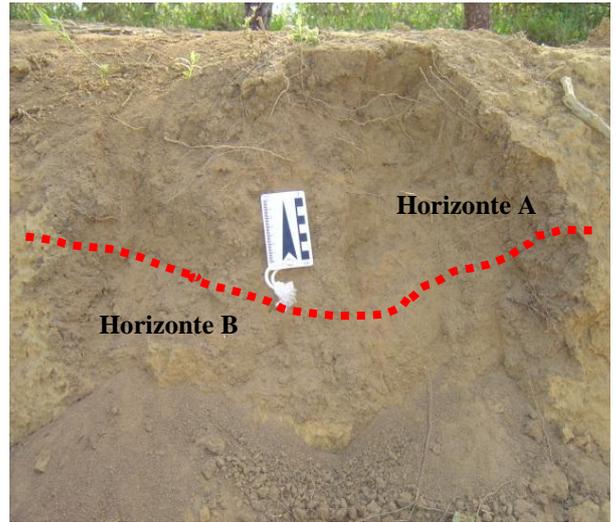


Foto 4.6- Mostra a pouca diferenciação de horizontes



Foto 4.7: Solo constituído predominantemente por óxidos de ferro.



Foto 4.8: Solos formados a partir dos sedimentos areno-argilosos da cobertura sedimentar.

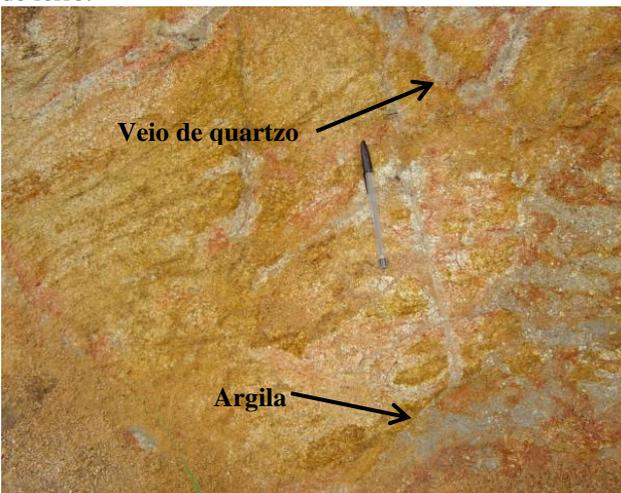


Foto 4.9- Solo com variação no seu grau de desenvolvimento, com predomínio de argilas.

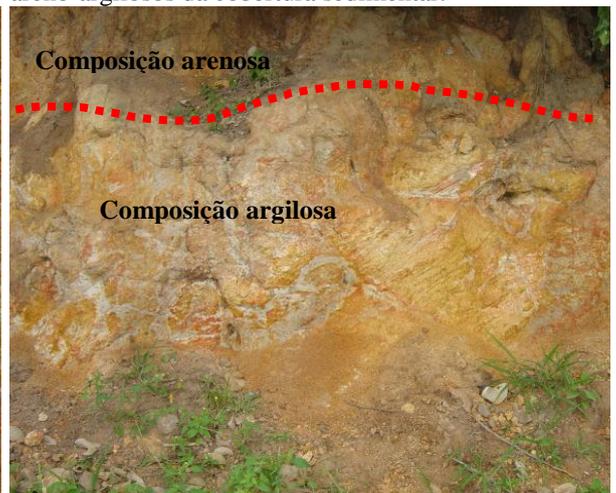
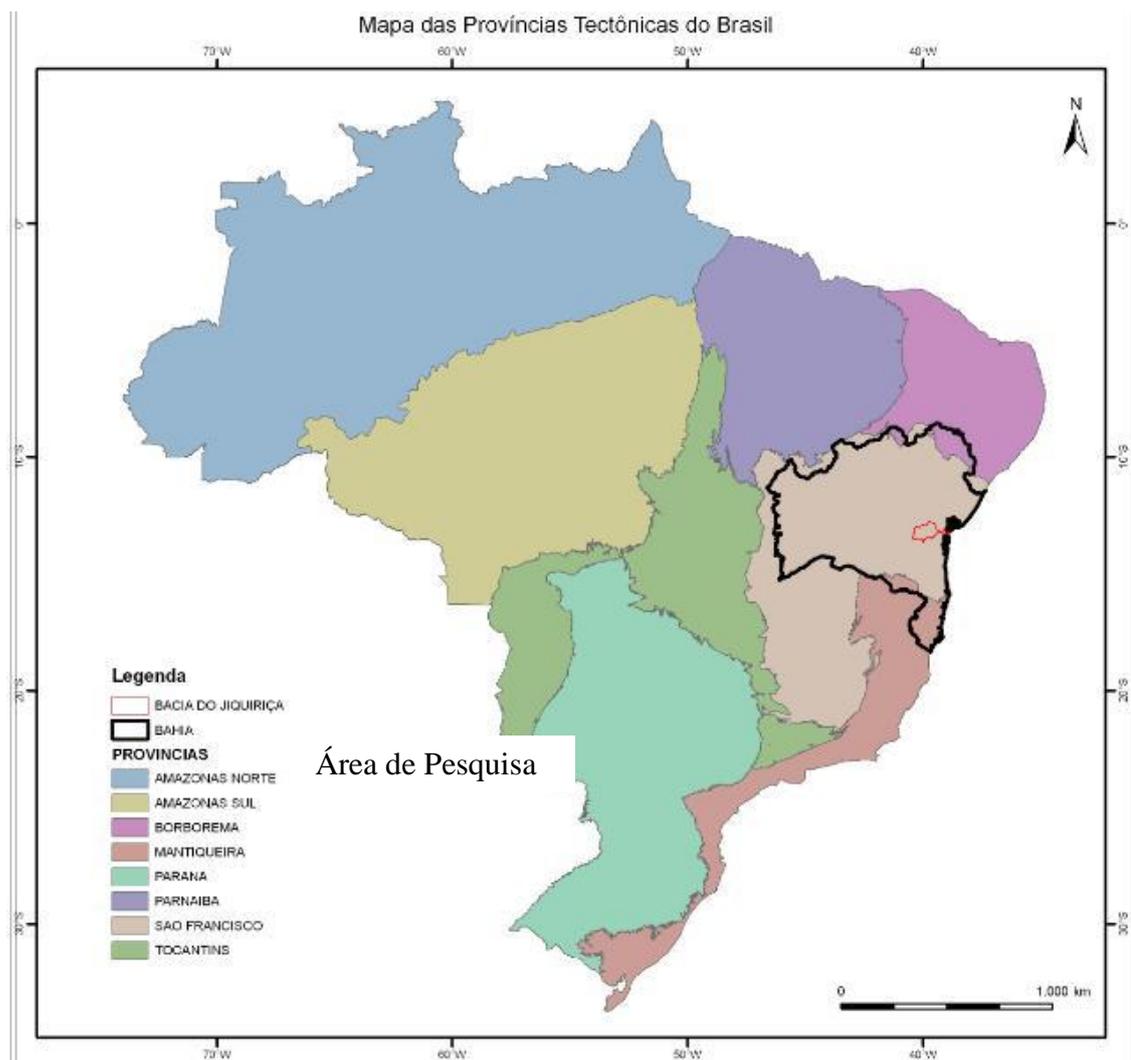


Foto 4.10- Solo com composição arenosa no topo e argilosa na base, fruto da decomposição do embasamento.

4.5 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

O Estado da Bahia é quase que totalmente representado por rochas do Cratón do São Francisco, denominado também de província São Francisco. Constitui uma unidade geotectônica cuja evolução orogênica cessou no final do Paleoproterozóico, durante o denominado Ciclo Geotectônico “Transamazônico”, que ocorreu entre 1,8 a 2,4 Ga (Mascarenhas & Garcia 1989, apud Macêdo 2006). O Cratón do São Francisco é uma feição geológica moldada pelo Ciclo Brasileiro, no Neoproterozóico, embora se tenha consolidado como segmento da litosfera continental no Arqueano (Alkmim *et al.*, 1993). Congrega um embasamento de idades arqueana a paleoproterozóica, em parte retrabalhado pelo Ciclo Transamazônico, e coberturas dobradas, ou não, de idades meso a neoproterozóicas. Seus limites são marcados por faixas de dobramentos estruturadas durante o Ciclo Brasileiro, e com vergência estrutural para o interior do cráton (figura 4.10).

Figura 4.10- Províncias estruturais definidas por Almeida *et al.* (1977)

Estes cinturões dobrados são denominados de: (i) Riacho do Pontal (FRPT) e Sergipano (FS) (Brito Neves 1975), que limitam o Cráton a norte e a nordeste, respectivamente; (ii) Araçuaí (FA) (Almeida 1977), que é provavelmente a extensão norte do Cinturão Ribeira, situado ao sul; (iii) Brasília (FB) (Almeida 1969), que bordeja a margem oeste e, (iv) Rio Preto (FRP) (Inda & Barbosa 1978) e Alto Rio Grande (FRG) (Almeida 1969), que representam duas pequenas faixas de rochas dobradas localizadas mais ao norte e mais ao sul do Cráton, respectivamente. Os terrenos arqueanos e paleoproterozóicos que constituem o embasamento do Cráton do São Francisco afloram em duas partes distintas: (i) a primeira, mais larga, ocorre no norte e nordeste da Bahia e, (ii) a segunda, menor, situa-se no sul, em Minas Gerais, na região do Quadrilátero Ferrífero (Figura 4.11.I).

Na primeira parte, no norte e nordeste da Bahia, diversas unidades geotectônicas podem ser definidas, as quais, estão deformadas e orientadas predominantemente na direção geral N-S (Barbosa *et al.* 2001; Barbosa *et al.* 2003). As mais importantes são o Bloco Gavião, as seqüências vulcanossedimentares Contendas-Mirante, Umburanas e Mundo Novo (Marinho 1991, Mascarenhas & Silva 1994, Cunha *et al.* 1996, Bastos Leal 1998), os núcleos antigos TTGs, o Complexo Jequié, o Cinturão Itabuna, o Cinturão Salvador-Curaçá, o Grupo Jacobina, o Complexo Mairi, o Núcleo Serrinha, além dos *Greesnstone Belts* do Rio Itapicuru e do Rio Capim (Barbosa & Dominguez 1996). As unidades geotectônicas citadas acima foram agrupadas em 4 maiores denominadas de Blocos Gavião (BG), Serrinha (BS), Jequié (BJ) e Itabuna-Salvador-Curaçá (BISC).

Os terrenos granulíticos do sudoeste da Bahia são partes integrantes do embasamento do Cráton do São Francisco (Almeida 1967, 1977), onde o Bloco Gavião e o Bloco Jequié (figura 4.11.II), formam os principais compartimentos geotectônicos da área de pesquisa (regional). Sendo que o alto Jiquiriçá está totalmente inserida no contexto do Bloco Jequié (Complexo Jequié), onde a geologia apresenta três grandes feições:

- ✓ (i) Rochas do Embasamento de idade arqueana, constituído por rochas charnockíticas, gnaisses, migmatitos/granulitos heterogêneos com enclaves de rochas supracrustais (basaltos e basaltos andesíticos, bandas quartzo-feldspáticas, cherts /quartzitos, kinzigitos, grafititos, formações ferríferas bandadas e rochas máficas-ultramáficas);
- ✓ (ii) intrusões múltiplas, graníticas-granodioríticas (enderbitos, charno-enderbitos e charnockitos);
- ✓ (iii) as coberturas arenosas detríticas de idade Tércio Quaternária.

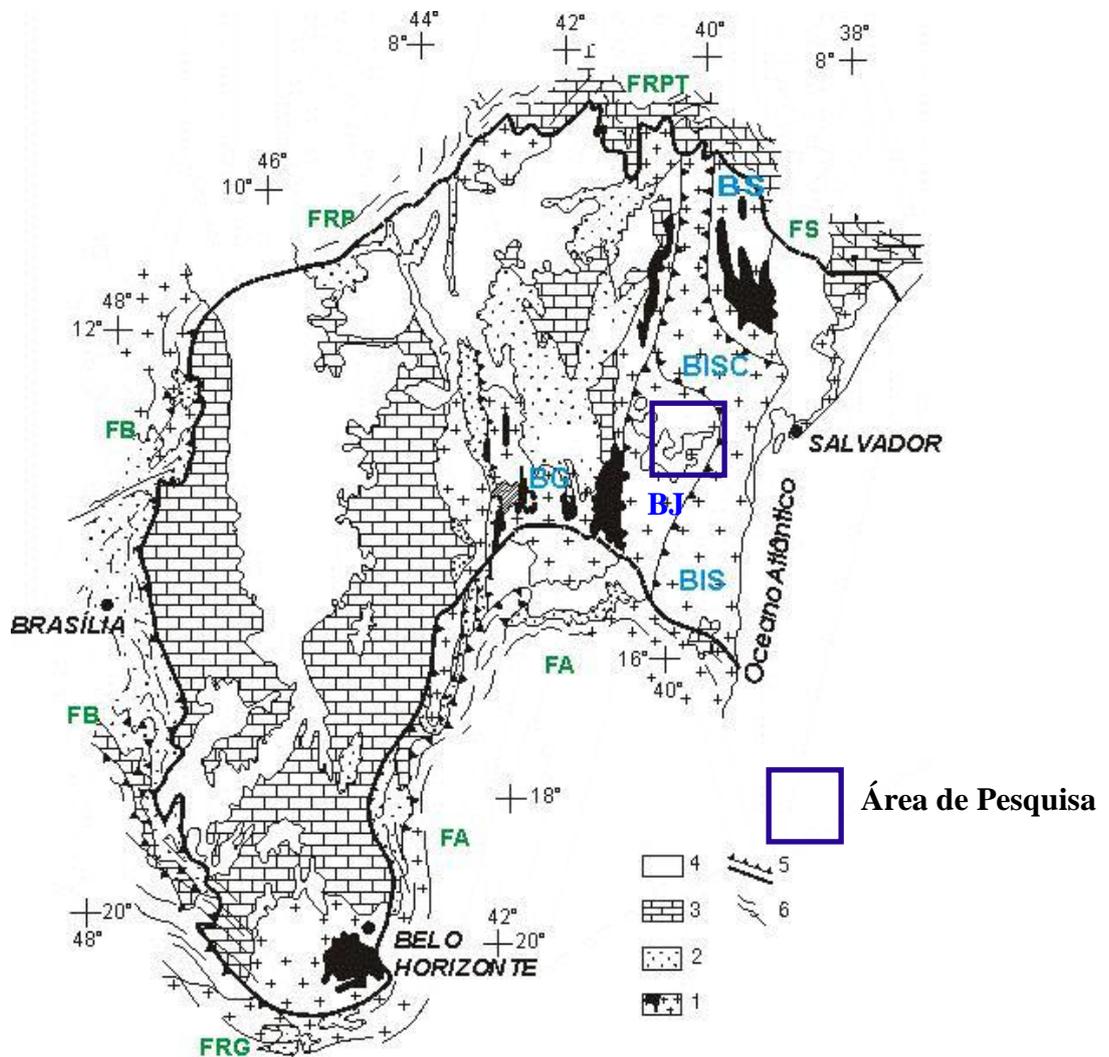


Figura 4.11.I: Mapa esquemático mostrando os limites e as maiores unidades estruturais do Cráton do São Francisco 1. Embasamento Arqueano/Paleoproterozóico com as seqüências *greenstone belts* (em preto); 2. Coberturas Mesoproterozóicas do Supergrupo Espinhaço; 3. Coberturas Neoproterozóicas do Supergrupo São Francisco; 4. Coberturas Fanerozóicas; 5. Limites do Cráton (Ussami 1993); 6. Cinturões de dobramentos Brasilianos; **BJ** - Bloco Jequié. **BS** - Bloco Serrinha. **BG** - Bloco Gavião. **BISC** - Bloco Itabuna-Salvador-Curaçá. (Modificada de Macêdo, 2006).

O Complexo Jequié apresenta uma extensão contínua desde a região do município de Jequié, com prolongamento para sul até Poções e para norte passando por Milagres, até cercanias de Feira de Santana. É composto por diversos litotipos, sendo estes representados principalmente por rochas metamórficas de fácies granulito, gnaisses quartzo feldspáticos e granada biotita gnaiss. Os quartzitos ocorrem de forma subordinada, apresentando alguns afloramentos nas cercanias de Santa Inês e na serra do Cafungó (figura 4.12).

As coberturas estão ligadas ao ciclo de aplainamento do final do Fanerozóico, distribuindo-se nas superfícies elaboradas por estes ciclos. Segundo Ghignone (1979), os sedimentos fanerozóicos constituem as coberturas atuais que ocupam grandes áreas do interior do Estado da Bahia, tais como nos extensos planaltos terrígenos de Poções Vitória da Conquista, Belo Campo e Jaguaquara- Maracás.

Uma síntese do conhecimento sobre a evolução geotectônica das rochas arqueanas e paleoproterozóicas do Cráton do São Francisco na Bahia foi realizada por Barbosa (1997). Este autor colocou o Bloco Gavião como possuidor das litologias mais antigas do Cráton, que seriam os TTGs, com idades de 3,4 Ga, as quais teriam se introduzido em um substrato não claramente identificado. Este Bloco, também possuidor de rochas graníticas/granodioríticas, constituiria uma crosta continental no intervalo de 2,9/2,8 Ga, sobre o qual se depositaram sequências *greenstones-belts* (Contendas-Mirante, Umburanas e Riacho de Santana).

No Bloco Jequié, por sua vez, formaram-se intrusões múltiplas enderbíticas-charnoenderbíticas-charnockíticas, de 2,7/2,6 Ga, que teriam penetrado nas rochas granulíticas mais antigas, com idades em torno de 3,1 Ga. Estes elementos regionais representam o arcabouço geológico que serão descritos mais detalhadamente nos próximos capítulos, procurando-se enfatizar os aspectos mais relevantes para a avaliação do potencial hidrogeológico da região estudada.

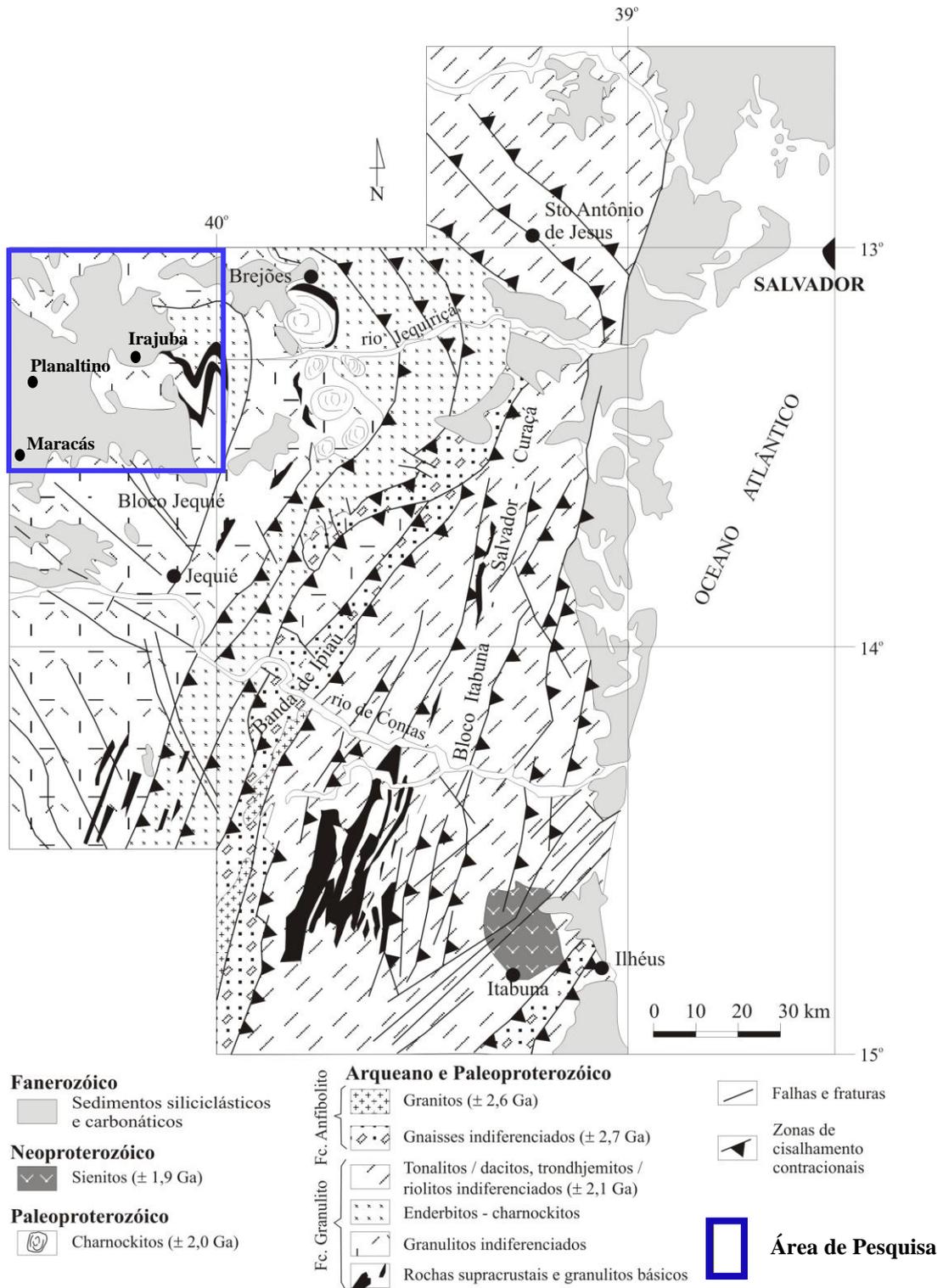


Figura 4.11.II - Mapa simplificado da região granulítica do sul/sudeste da Bahia (modificado de Macedo, 2006).

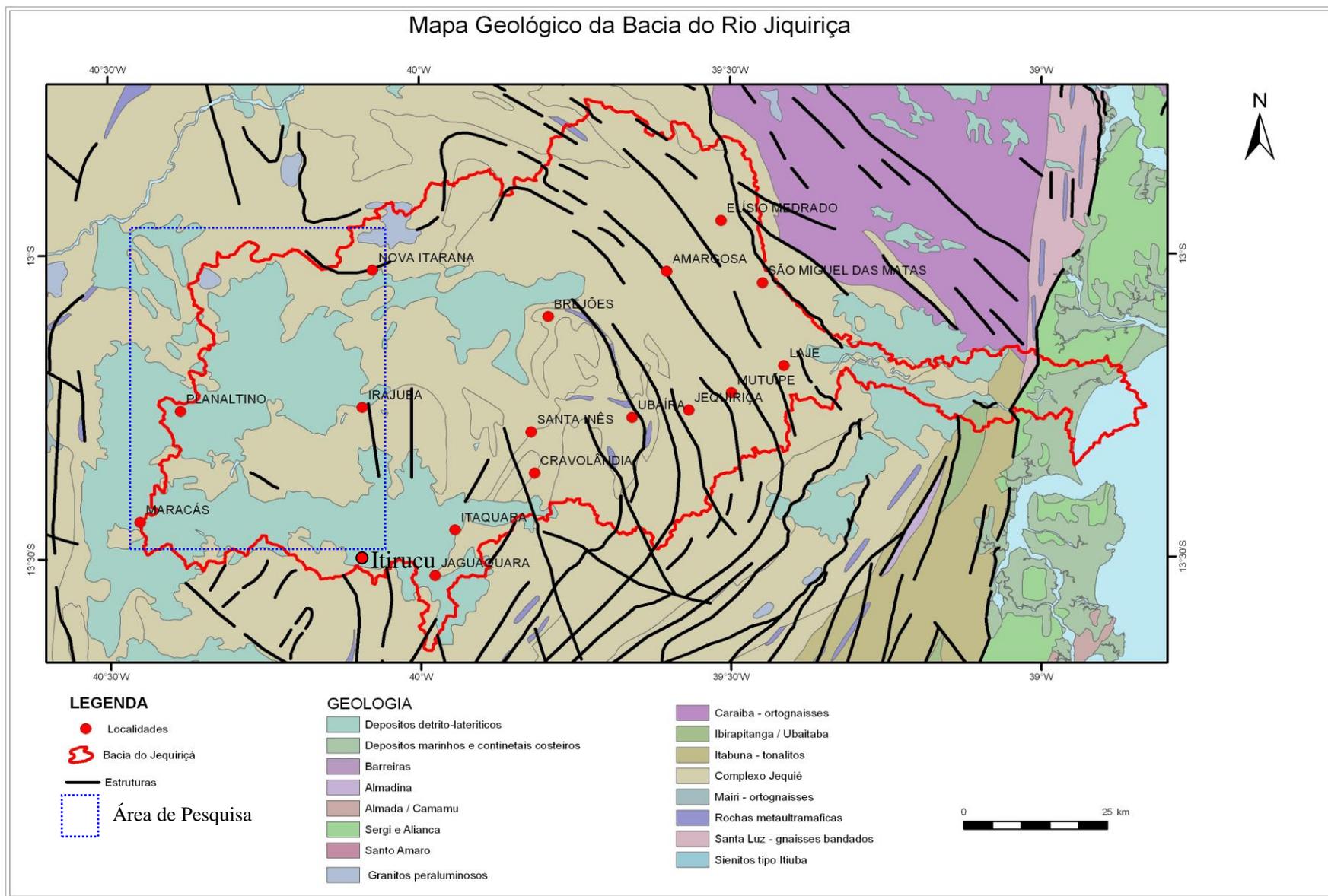


Figura 4.12: Mapa Geológico da Bacia do Rio Jiquiriçá.

4.6 HIDROGEOLOGIA – ASPECTOS GERAIS

A bacia hidrográfica do rio Jiquiriçá abrange uma área de 6900 Km², com 25 municípios, sendo 15 na parte alta da Bacia. Dentre estes estão, Planaltino, Santa Inês, Lajedo do Tabocal, Maracás, Jaguaquara, Itaquara, Itiruçu, Brejões e Nova Itarana.

A climatologia de caráter árido se reflete no potencial hídrico no alto curso da bacia. Nesta área mais da metade dos poços perfurados são secos (53%, Lima, 2003). Os poços com água geralmente apresentam baixas vazões com médias de 4m³/h. A água de superfície é restrita a alguns rios permanentes como o Jiquiriçá (fotos 4.11 e 4.12).



Foto 4.11- mostra o rio Jiquiriçá, próximo a Itaquara, vegetação mais árida.



Foto 4.12- mostra o rio Jiquiriçá, a leste da cidade de Santa Inês, limite entre o alto e médio Jiquiriçá, vegetação de clima mais úmido.

Os aquíferos da região são controlados por estruturas, falhas e fraturas, dominando assim, o meio fissural. Este tipo de aquífero é reflexo da geologia predominante - rochas cristalinas. Os aquíferos mistos granular/fissural são raros, haja visto, a espessura da cobertura atingir em média 15 metros. Entretanto, os poços perfurados neste domínio apresentam um alto percentual produtivo, em decorrência da maior permeabilidade e consequente capacidade de infiltração de água que as coberturas arenosas possuem.

Os reservatórios de água que predominam nas cidades e principalmente na zona rural são barragens, açudes e aguadas (fotos 4.13 e 4.14) que se concentram no fundo dos vales. Dada ao predomínio de secas, às condições sócias econômicas com PIB per capita inferior a R\$ 1800, 00 e ao crescente aumento da população na região, torna-se necessário um melhor aproveitamento da água subterrânea.



Foto 4.13- Mostrando reservatório de água no alto Jiquiriçá



Foto 4.14- mostrando açude próximo a Planaltino

4.6.1 Principais Aquíferos

Na área estudada o aquífero fissural abrange, aproximadamente, 87,86% da área de estudo, o granular 6,87%, e o aquífero granular/fissural compreende 5,27 %. Do ponto de vista hidrogeológico predominam na bacia basicamente duas unidades aquíferas, uma correspondente às áreas do embasamento cristalino, que constitui a maior parte da área, sendo denominado domínio fissural. Eventualmente, sobre o embasamento cristalino são encontradas extensas coberturas de material detrítico Tercio-Quartenário que confere localmente a esse sistema melhores condições de alimentação, qualidade e quantidade, sendo denominado domínio granular/fissural.

O domínio fissural constitui o aquífero que apresenta menor disponibilidade hídrica em toda bacia. O percentual de poços produtivos e a vazão média neste domínio é mais baixo quando comparado ao do aquífero granular/fissural. Associado à baixas vazões, há ainda o problema da má qualidade das águas deste sistema aquífero, que encontram-se bastante salinizadas, o que restringe o seu uso para a maioria das atividades. No domínio granular/fissural encontra-se um alto percentual de poços produtivos. Isto ocorre em função da composição predominantemente arenosa das coberturas que compõe este domínio. Embora se reconheça a ocorrência dos domínios aquíferos citados e dos problemas relacionados à questão do abastecimento de água, não existem estudos técnicos de detalhe que enfoquem o problema da disponibilidade e qualidade das águas subterrâneas. Apesar das dificuldades apontadas na exploração desses aquíferos o desafio é desenvolver técnicas eficientes para localizar, dimensionar e extrair as reservas disponíveis de forma economicamente viável e

ambientalmente corretas. Segundo dados da CERB, os municípios onde mais poços foram cadastrados, no alto Jiquiriçá, foram Maracás, cuja sede é a principal cidade da região e Itiruçu, município com maior cobertura sedimentar. Em contrapartida, em Nova Itarana existem apenas quatro poços cadastrados (figura 4.13).

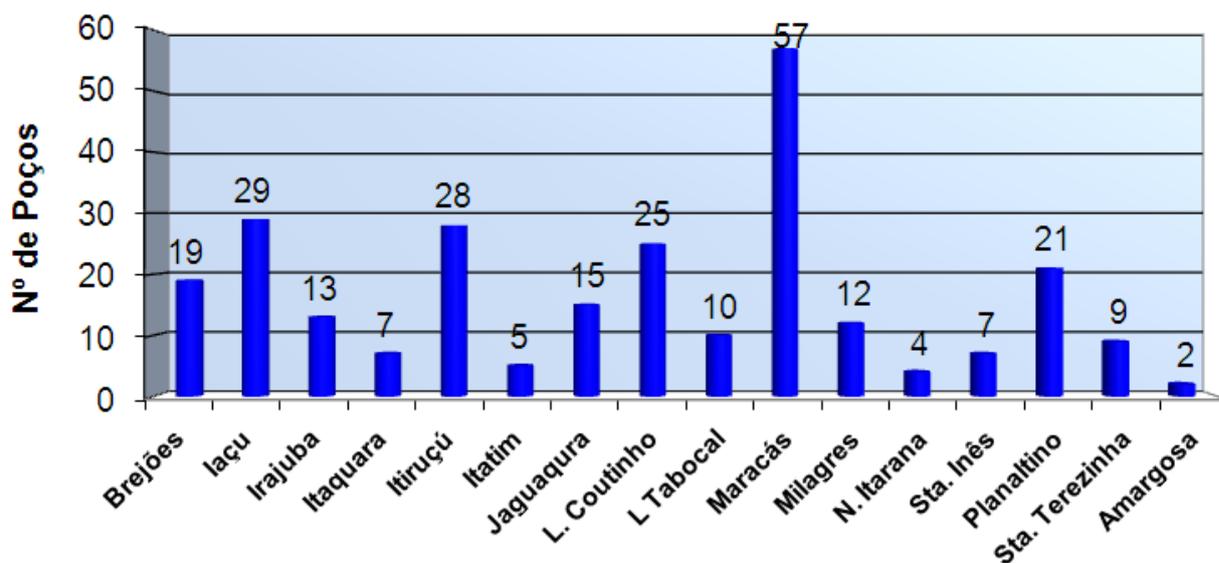


Figura 4.13- Mostrando o Numero de poços perfurados pela CERB nos municípios do Alto Jiquiriçá.

As cidades destacadas na figura 4.13 entre outras cidades da região sofrem com o problema de abastecimento de água, principalmente, devido à baixa precipitação pluviométricas. Tal fato é observado nos povoados e cidades que compõem o Alto Jiquiriçá, com o baixo aproveitamento dos poços perfurados, predominando poços secos e/ou com vazões insuficientes ($Q < 500$ L/h), conforme pode ser observado na figura 4.14.

Os poços aproveitáveis, geralmente possuem baixas vazões. A metade dos poços que não são secos possui uma vazão entre 0,5 e 2 m³/h, como pode ser visto na figura 4.15.

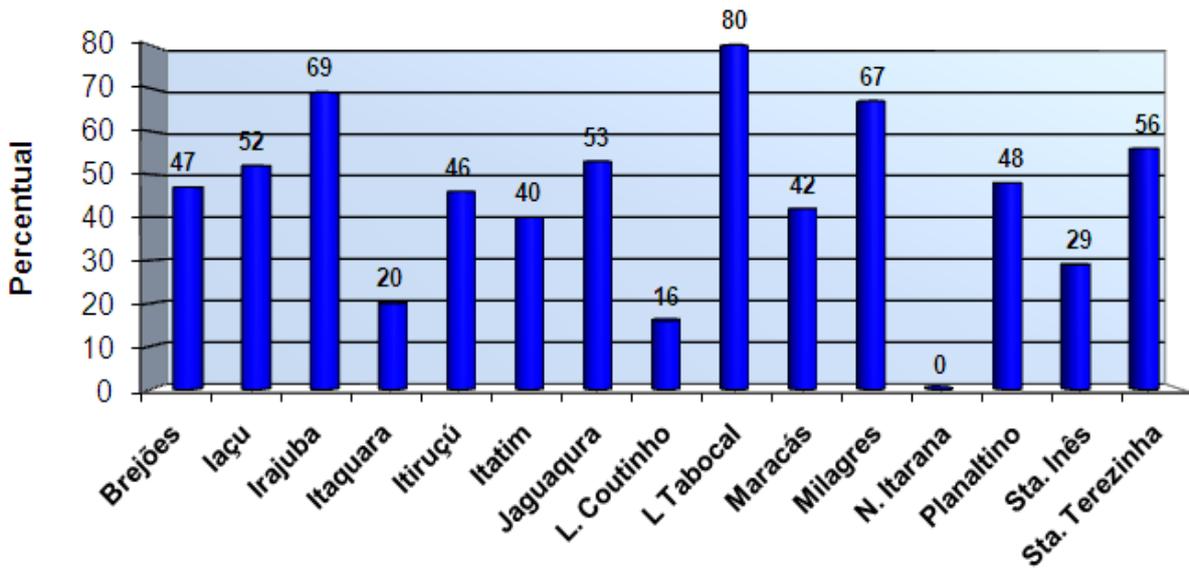


Figura 4.14- Mostrando a Porcentagem de poços perfurados secos ou com vazões insuficientes

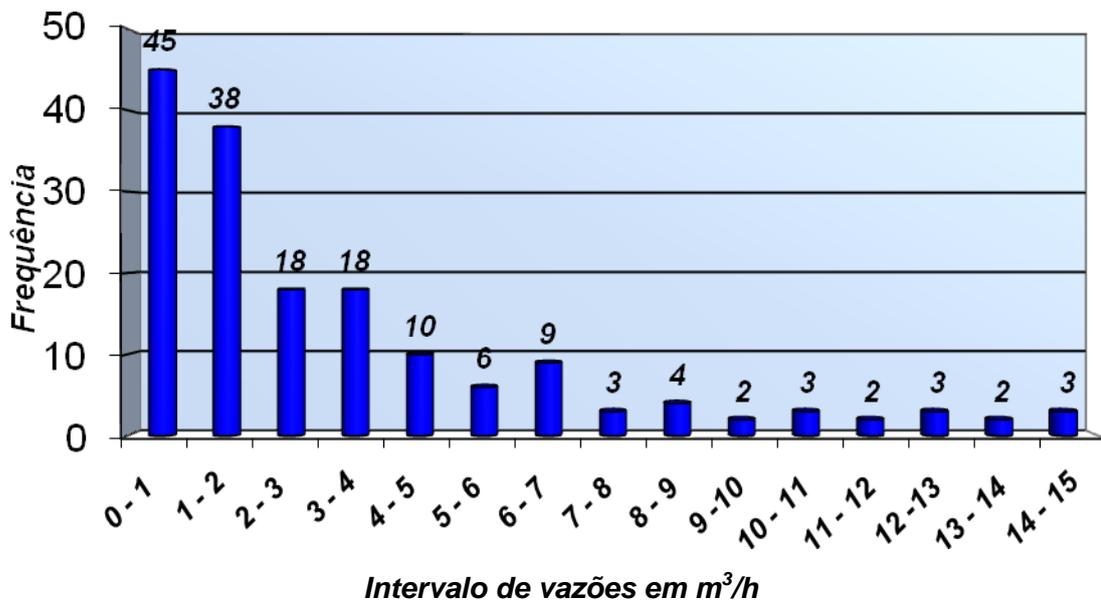


Figura 4.15- Mostrando a frequência de vazões, em toda região, em metros cúbicos por hora.

Observa-se também o baixíssimo número de poços com vazões acima de 10 m³/h. De modo geral, pelas informações da CERB, dos oito poços com maiores vazões no alto curso da bacia três estão localizados em Itiruçu e quatro em Maracás, sendo que, a vazão máxima alcançada é de 15,22 m³/h, como visto no quadro 4.1. Entretanto, foram perfurados em Maracás, no ano de 2003, dois poços tubulares na localidade da Baixa Funda, cuja vazão foi superior a 15,30 m³/h.

O quadro 4.1- Mostra as 08 maiores vazões do Alto Jiquiriçá.

Município	Localidade	Coordenada Ew	Coordenada Ns	Vazão (m ³ /h)
ITIRUÇU	SEDE	400756	133121	10,72
ITIRUÇU	SEDE	400816	133105	12,16
ITIRUÇU	SEDE	400755	133155	13,39
MARACÁS	ÁGUA BRANCA	404020	134324	12,38
MARACÁS	CACHOEIRINHA	403118	13546	13,17
MARACÁS	CIRIGADO	402802	131649	15,22
MARACÁS	FAZ. SANTO ANTÔNIO	401704	132032	14,11
PLANALTINO	ANGÉLICA	401114	131643	14,94

Fonte: CERB

4.6.2 Hidroquímica das Águas Subterrâneas

O estudo hidrogeoquímico tem como finalidade a caracterização da composição química das águas do sistema aquífero e, conseqüentemente, a avaliação de sua potabilidade. Para tanto, são utilizados parâmetros físicos tais como, cor, turbidez, pH, condutividade elétrica e dureza, e químicos como cloretos, ferro, magnésio, sílica, flúor, sulfatos e nitratos. Com base em dados disponíveis, foi realizada uma avaliação preliminar das características do aquífero considerando-se toda a região.

Visando obter a classificação e qualidade das águas no alto do rio Jiquiriçá, realizou-se análises complementares dos parâmetros hidroquímicos, tais como CaCO₃, Al, Ca, Na, Mn, Mg, SO₄, NO₂, NO₃, PO₄, CE, K e Cl.

Os resultados dessas análises são apresentados no capítulo 7, onde é discutido a hidroquímica do alto Jiquiriçá por tipo de aquífero. Segundo os resultados físico-químicos obtidos pela CERB e apresentado no quadro 4.2, verifica-se que as águas dos poços do alto Jiquiriçá apresentam alta concentrações dos cátions e ânions.

Quadro 4.2- Análise Química média da água dos poços do Alto Jiquiriçá por município.

Parâmetros (mg/l)	Municípios						
	Irajuba	Itaquara	Itiruçu	Jaguaquara	L. Tabocal	Maracás	Planaltino
Alc. (HCO ₃)	34,89	91,52	62	88,87	68,15	274,56	151,25
Cálcio	1302,61	360,65	56,63	324,33	213,335	529,61	393,04
Cloreto	3335,93	1000,42	1214,12	807	546,37	1471,33	849,8
Condutividade Elétrica	8383,67	3173,1	510,41	2815,67	1847,5	3782	5216
Cor	18	2	14,5	13	4,5	8,6	4,5
PH	6,46	7,825	8,28	7,9	8,1	7,79	8,595
Turbidez	24,05	4,625	596,84	9,72	7,75	4,31	1,155
Resíduo Total	6209,33	2780,5	3363	2003	1480	3858,8	2146
Flúor	0,64	0,195	0,6	0,83	0,09	0,59	2,7
Sílica	9,62	23,29	13,29	15,84	24,98	34,56	38,8
Ferro	1,32	0,39	2,74	1,47	1,615	0,8	0,18
Dureza	1981,8	992,49	1493,84	762,33	362,4	1594,01	999,22
Magnésio	165,82	104,03	75,57	102	36,37	154,39	566,49
N-Nitroso	0,03	0,00225	0,001	0,01	0,137	0,008	0,0015
N- Nitrico	2,44	0,59	0,944	0	0,097	1,31	0
Sulfato	64,71	39,69	13,8	67,67	15,27	170,74	46,1

Observações: Todos os valores em mg/l, exceto condutividade que é expresso em microhos por centímetros, pH que não tem unidade e temperatura que é medida em graus Celcius (°C).

5. ASPECTOS GEOLÓGICOS E ESTRUTURAIS.

O presente texto, parte integrante dos estudos de avaliação do potencial hidrogeológico do Alto Jiquiriçá, representa uma breve descrição do mapa geológico compilado na escala 1:100.000, a partir de ajustes cartográficos de informações obtidas na literatura existente sobre a área de estudo verificadas com trabalhos de campo.

Os principais objetivos deste trabalho, essencialmente voltado para a prospecção de água subterrânea fazem com que, o referido mapa enfatize aspectos litológicos e estruturais que interferem na formação de aquíferos, condicionando a sua maior ou menor capacidade de armazenamento de água. Em função disso, aspectos petrográficos, genéticos e de evolução geológica/geotectônica, foram simplificados ou não enfatizados. Para subsidiar a compreensão dos fatores geológicos que determinam a potencialidades hidrogeológicas dos aquíferos da área, as unidades geológicas foram agrupadas em 2 domínios geológicos: um associado ao embasamento cristalino e outro as coberturas detríticas terciárias, cujas características relevantes para a acumulação hídrica são descritas nas subseções que se seguem.

5.1 ASPECTOS ESTRUTURAIS

Para a pesquisa hidrogeológica do alto Jiquiriçá, fez-se necessário a execução de uma análise estrutural, buscando definir elementos estruturais representativos das grandes estruturas de fraturamentos crustais, capazes de influenciar, positivamente, a capacidade de armazenamento hídrico dos diversos tipos litológicos que compõem a geologia da área.

Este aspecto é de vital importância, em função de grande parte do território estudado ser constituído por rochas do Embasamento Cristalino do Complexo Jequié. Nelas, a porosidade a permeabilidade e a capacidade de armazenamento hídrico estão diretamente associadas à presença de estruturas de fraturamentos e falhamentos.

Diferentemente de análises estruturais mais complexas relacionadas à compreensão da tectônica global, responsável pela evolução crustal e pela história geológica das rochas e mineralizações da região, a presente análise centra-se no exame da densidade e na distribuição

espacial das estruturas de cisalhamento, falhas e fraturamentos, reconhecidos como lineamentos, observados em fotografias aéreas, além dos padrões de drenagem que configuram a hidrografia da região. Dessa forma foram mapeados os principais sistemas de fraturas e falhas predominantes. Essa informação cruzada com dados cadastrais de poços existentes na região, auxiliam a identificar as áreas mais promissoras para a captação de água subterrânea. Portanto, os elementos apresentados a seguir visam atender a este objetivo.

Tendo em vista o entendimento dos elementos determinantes para a formação das estruturas geológicas favoráveis ao armazenamento e circulação das águas em aquíferos fissurais, são apresentadas algumas considerações sobre as tectônicas distensiva e compressiva, responsáveis pela definição das direções preferenciais das estruturas regionais. Em seguida, faz-se uma breve descrição dos diversos tipos de estruturas no sentido de fornecer elementos subsidiários a interpretação das potencialidades hidrogeológicas da região.

5.1.1 A Tectônica Extensional

A compreensão da origem dos diversos elementos estruturais mais recentes que marcam a área do alto Jiquiriçá é fator de elevada importância para a análise hidrogeológica que se está realizando.

No caso específico existem dois sistemas estruturais marcantes, cuja interseção pode representar zonas potenciais para a prospecção hidrogeológica em áreas cristalinas. Um sistema NNE-SSW associado a efeitos distensivos, formando falhas e fraturas normais abertas, e um sistema compressivo associado as transcorrências no sentido WNW – ESE. Nas coberturas, não existem evidências de que estas direções estruturais preferenciais influenciem no potencial hidrogeológico.

5.1.2 Hipsometria

O mapa do modelo digital do terreno é importante para o estudo das feições morfoestruturais da área. Na bacia do Jiquiriçá, a forte estruturação do relevo se reflete no alinhamento de escarpas e de canais de drenagem, além dos contrastes na textura e nos intervalos de altitudes. No mapa hipsométrico (figura 5.1), há patamares topográficos com altitudes que

variam entre 460 e 580 m nos vales, até 1050 m no topo das serras. As planícies acompanham importantes direções estruturais. Na porção central e a oeste da área ocorrem relevos montanhosos. Como descrito no capítulo 4 (Figura 4.8), no Planalto dos Geraizinhos, a altimetria é sempre superior a 500 m, encontrando-se de um modo geral, entre 600 m e 1000 m. Caracteriza-se por extensas áreas de topografia tabular, constituídas por depósitos detríticos do Terciário e do Quaternário. As formas de relevo de ocorrência mais generalizada são planos inclinados. Já no Maciço Central predominam altitudes que variam de 300 m a 700 m e no fundo dos vales as cotas atingem 120 m. A unidade Serras Gerais encontra-se, de modo geral, acima de 400 m de altitude, principalmente, entre 600 e 1000m. Ocorrem, no entanto, áreas mais deprimidas localizadas em torno de 100 m.

A intensa dissecação do relevo e seu alinhamento ao longo de sulcos profundos orientados aproximadamente no sentido SSW-NNE e NW-SE dão a esta unidade seu aspecto mais peculiar no conjunto dos relevos dos planaltos cristalinos. Os interflúvios apresentam-se sempre alongados, acompanhando a rede de drenagem que, por sua vez, é em grande parte controlada por estruturas rúpteis. O controle estrutural sobre a morfologia do terreno se manifesta com escapas alinhadas, anomalias na rede de drenagem, dentre outros.

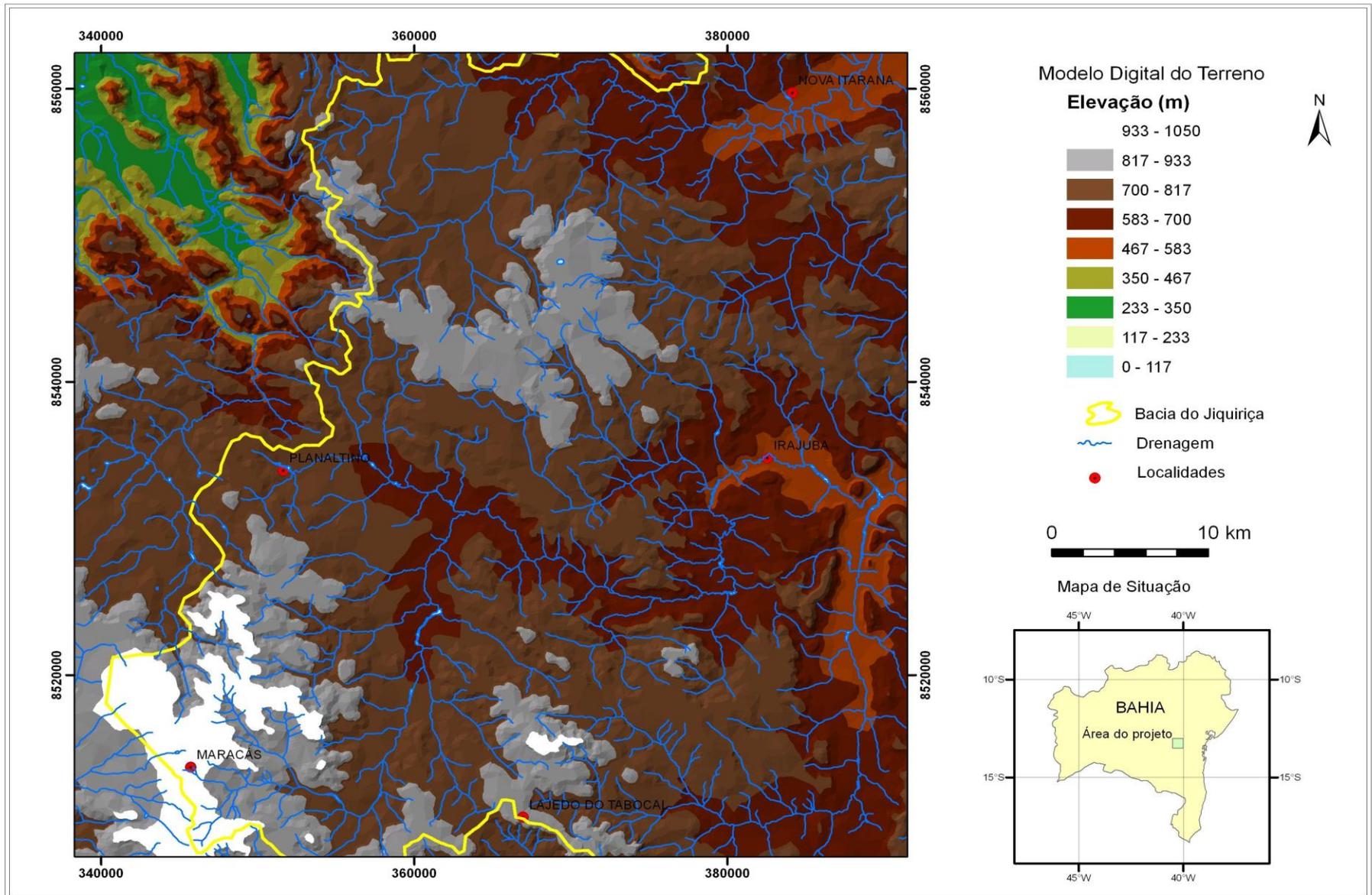


Figura 5.1- Modelo digital do terreno do alto do rio jiquiriçá e áreas adjacentes.

5.2 ASPECTOS ESTRUTURAIS FAVORÁVEIS À ÁGUA SUBTERRÂNEA

O conceito de “Riacho Fenda”, estabelecido por Ebert (1961) e Siqueira (1967), pressupõe que o armazenamento e a circulação das águas subterrâneas em aquíferos fissurais estão relacionados às zonas fraturadas e falhadas nas rochas, onde se desenvolve o leito das drenagens.

Por este conceito, a recarga, o armazenamento e a circulação destes aquíferos ocorrem exclusivamente pela percolação de água pluviais nestas feições estruturais. Assim, a caracterização das estruturas de fendilhamento (falhas e fraturas de cisalhamentos) de uma área são de extrema importância para a exploração da água subterrânea. As áreas mais favoráveis à infiltração, ao armazenamento e à circulação das águas subterrâneas são as zonas de elevada densidade de fraturas.

A determinação da gênese das estruturas de fraturamentos, assim como, a identificação de sua cinemática geradora, é relevante para avaliação da potencialidade de um aquífero. As relações dos fraturamentos aos esforços geradores revelam se os mesmos são abertos ou fechados, ou seja, propícios ou não, ao armazenamento e a circulação da água subterrânea.

A análise aqui realizada mostra a existência de muitas fraturas extensionais ou abertas, que permitem o armazenamento e a circulação das águas subterrâneas. As estruturas compressionais, como zonas de cisalhamentos, resultam em fraturas parcial ou totalmente fechadas, resultando em características estruturais limitativas a acumulação de água subterrânea. Geralmente, nessas zonas ocorrem processos de catáclase e milonitização, que promovem a impermeabilização da maioria de seus fraturamentos. Entretanto, quando estas zonas são submetidas à ação do intemperismo, pode ocorrer a decomposição da rocha milonitizada e cataclada, favorecendo a infiltração e acumulação de volumes consideráveis de água.

Nos fotolineamentos, se destacam as estruturas transversais aos eixos de dobramentos e as estruturas de foliação, bandeamento ou xistosidade. Nas zonas de suas interseção, ocorrem aumentos na densidade de fraturas. Quanto mais elevada a densidade de fraturas, maior o potencial de acumulação e circulação de água subterrânea.

5.2.1 Rede de Drenagem e Lineamentos

A avaliação estrutural implementada, consistiu na análise e representação dos “riachos fendas” de cada domínio estrutural identificado. Para isso, foram usados mapas de drenagem extraídos dos Mapas Topográficos na escala 1:100.000 elaborados pelo IBGE, em associação a interpretação de fotografias aéreas na escala 1:108.000, representando a densidade de “riachos fendas” por domínio estrutural. Em seguida, avaliou-se as características intrínsecas de cada zona de fraturamento.

Como resultado obteve-se um mapa geral da orientação dos fraturamentos, na escala 1:100.000, que mostra o comportamento estrutural de cada domínio. Neste mapa se observa um elevado controle estrutural das drenagens revelado por traços retos e precisos. Estes elementos representam os eixos das áreas de recarga, armazenamento e circulação hídrica subterrânea na área.

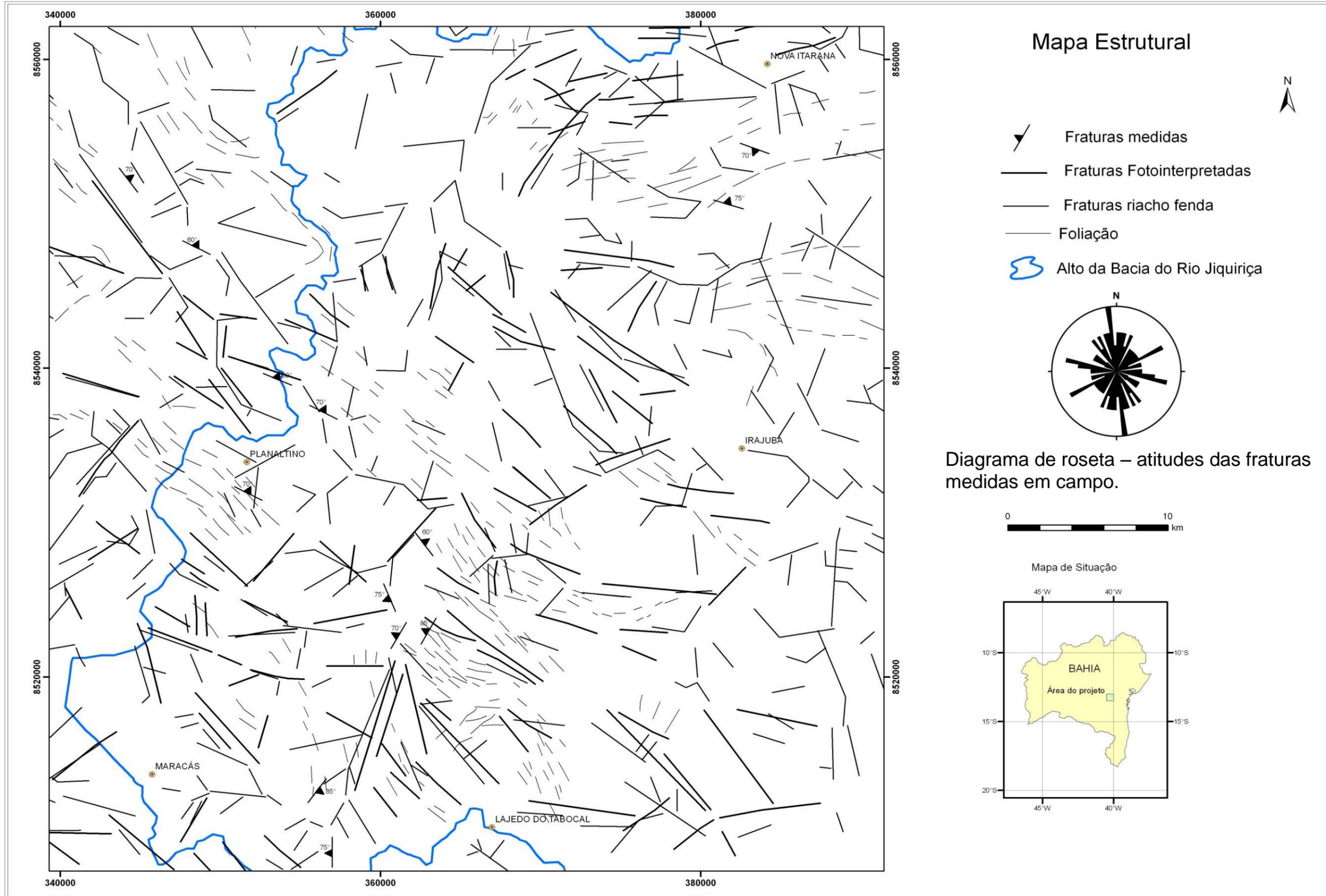
Regionalmente, a análise desse mapa mostrou a distribuição das estruturas rúpteis, e permitiu visualizar dois sistemas preferenciais de fraturamentos extensionais relacionados à ação de esforços regionais de direções Norte – Sul e Leste – Oeste. Tais esforços geraram, sistemas diagonais de cisalhamentos nas direções Nordeste – Sudoeste e Noroeste – Sudeste.

O mapa de drenagem mostra áreas com densidades de fraturas variadas, sendo classificadas de forma relativa como: alta, média e baixa. A densidade alta, onde o embasamento cristalino sofreu forte comportamento rúptil, ocorre nas partes central e SSW da área. A densidade média revela zonas do Embasamento com transição de comportamento dúctil-rúptil, como nas partes NNE e SE. As áreas de baixas densidades correspondem as áreas onde ocorrem depósitos aluviais e coberturas detríticas, como nas partes Sul e Sudeste.

A recarga dos mananciais hídricos subterrâneos se processa diretamente através das precipitações pluviométricas. A infiltração através da rede hidrográfica exerce também papel nessa recarga. O fluxo subterrâneo é dominado por escoamento em direção aos rios, em função da morfologia do terreno e das diferenças de permoporosidade dos materiais. As perdas de água do sistema estão associadas à evapotranspiração nas redes hidrográficas e nas fontes naturais do embasamento cristalino.

O mapa da Figura 5.2 mostra os lineamentos extraídos das fotografias aéreas, superpostas a rede de drenagem. A densidade de lineamentos ou fraturas é bastante variável, mas segue o mesmo padrão de densidade da rede de drenagem. Nesse mapa, nota-se o desenvolvimento dos dois sistemas mais frequentes de fraturamento orientados segundo NNE-SSW e NW-SSE.

Neste mapa, as maiores falhas se apresentam concentradas na região central, sendo que as porções sudeste e sudoeste mostram áreas com menor frequência de falhas. A redução nessas zonas, se devem, à presença das coberturas inconsolidadas e à intensa ocupação do solo, que dificultam a identificação de lineamentos estruturais nas fotografias aéreas.



5.3 CARACTERIZAÇÃO DOS DOMÍNIOS GEOLÓGICOS

5.3.1 Embasamento Cristalino

Este domínio se caracteriza por rochas de composição granítica-granodioríticas contendo aquíferos fissurais, com vazões diretamente relacionadas a presença de densos fraturamentos. É representado por rochas do Complexo Jequié, que se estende continuamente desde o município de Jequié, com prolongamento para sul até Poções, e para norte passando por Milagres, até Feira de Santana, conforme descrito no capítulo 4 (Figura 4.12). É composto por diversos litotipos, representados principalmente por rochas metamórficas de fácies granulito, gnaisses quartzofeldspáticos e granada-biotita-gnaisses. Formações ferríferas, mármore, rochas calcossilicáticas, gnaisses e anfibólitos ocorrem em quantidades subordinadas.

Todas as rochas foram afetadas por, pelo menos, dois episódios de deformações dúcteis e rúpteis e experimentaram um mesmo episódio metamórfico, com temperaturas da ordem de 840°C e pressões de até 7 Kbar (Barbosa, 1990) Estes processos tectônico/metamórfico ocorreram durante o Ciclo Geotectônico Transamazônico (Ledrud et al.,1994 apud Barbosa e Dominguez, 1996).

5.3.2 Coberturas Detríticas Terciárias

Estas coberturas estão ligadas ao ciclo de aplainamento do final do Fanerozóico, distribuindo-se nas superfícies elaboradas por estes ciclos. Segundo Ghignone (1979), esses sedimentos constituem coberturas que ocupam grandes áreas do interior do Estado da Bahia, tais como os extensos planaltos terrígenos de Poções, Vitória da Conquista, Belo Campo e Jaguaquara- Maracás.

Na parte alta da bacia do rio Jiquiriça predominam coberturas TQd1 acima de 900 m de altitude (figura 5.3). São compostas essencialmente por depósitos arenosos, de granulação média e, em geral, de grãos subarredondados. Sobrepõe-se ao embasamento cristalino como uma capa de material detrítico, amarelado, conglomerático, mal consolidado, contendo lentes finas de arenitos horizontalmente estratificados. Coberturas TQd2, acima de 700 m, também ocorrem de

forma subordinada. Estas são compostas de materiais de origem residual laterítico, havendo em alguns casos evidências de deposição de conglomerados e camadas argilosas.

Na maior parte dos casos, a composição do material residual é síltico-argiloso, com grãos de quartzo esparsos, angulosos, evidenciando a sua origem *in situ*. Em suma, é representado como uma sedimentação clástica, constituída principalmente de arenitos argilosos pouco consolidados, mal selecionados com estratificação incipiente, com intercalações de siltitos e argilas de cores variegadas, assim como lentes conglomeráticas e caulim.

Representam o regolito ou manto de intemperismo presente principalmente na parte central e sudoeste da área.

Hidrogeologicamente, comporta-se como um sistema aquífero livre de porosidade intergranular, podendo, em certas circunstâncias, apresentar níveis confinados ou semi-confinados (TQd1).

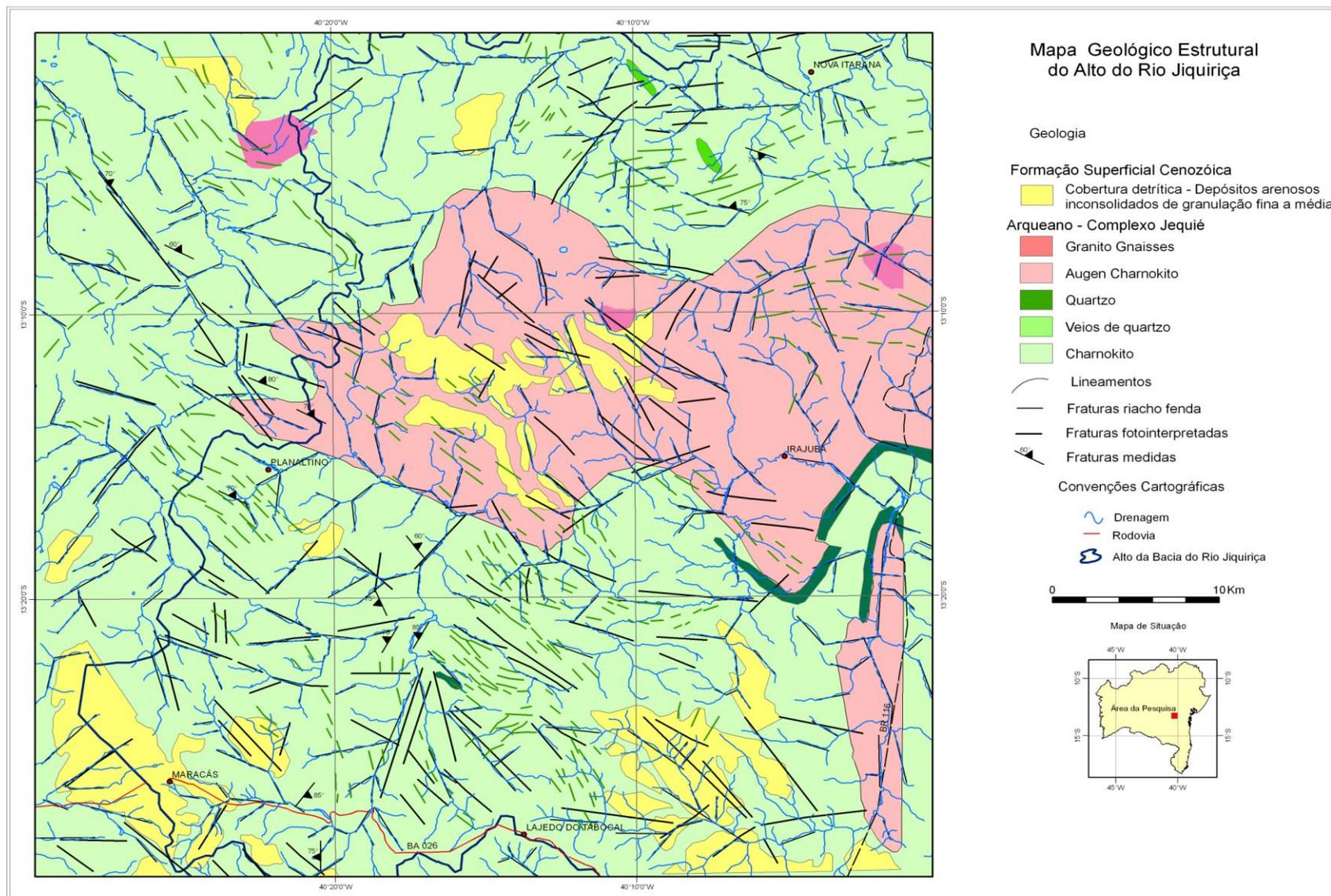


Figura 5.3: Mapa Geológico/ Estrutural da área de pesquisa

5.4 DESCRIÇÃO DOS DOMÍNIOS ESTRUTURAIS – VERIFICAÇÃO DE CAMPO

A área foi dividida em domínios estruturais para melhor entendimento em relação a prospecção de água, desta forma dividiu-se a área em dois domínios estruturais:

- Domínio Estrutural do Embasamento Cristalino;
- Domínio Estrutural das Coberturas Detríticas Terciária (Figura 5.4)

5.4.1 Domínio Estrutural do Cristalino - Complexo Granulítico - Complexo Jequié

O domínio do embasamento cristalino, em razão da existência de duas zonas de características distintas, foi dividido em dois subdomínios, denominadas de Domínios Estruturais A e B.

No domínio A, as rochas se apresentam mais densamente fraturadas com comportamento rúptil dominante.

Neste domínio a foliação metamórfica se orienta na direção NNW-SSE, com caimentos variáveis para SW e NE. Os fraturamentos são na grande maioria, abertos com duas direções predominantes: o primeiro transversal à foliação, tem direção variando de N20E, N60E e N215W, com mergulhos sub-verticais ora para Leste ora para Oeste.

O segundo, sub-paralelo aos lineamentos, tem direções variando de N140W e N345E (Fotos 5.1 a 5.4). Na parta sudoeste da área, as rochas se apresentam mais alteradas por intemperismo químico em relação as demais áreas, com solos de aspectos arenosos, com grãos de quartzo de diferentes granulometrias.

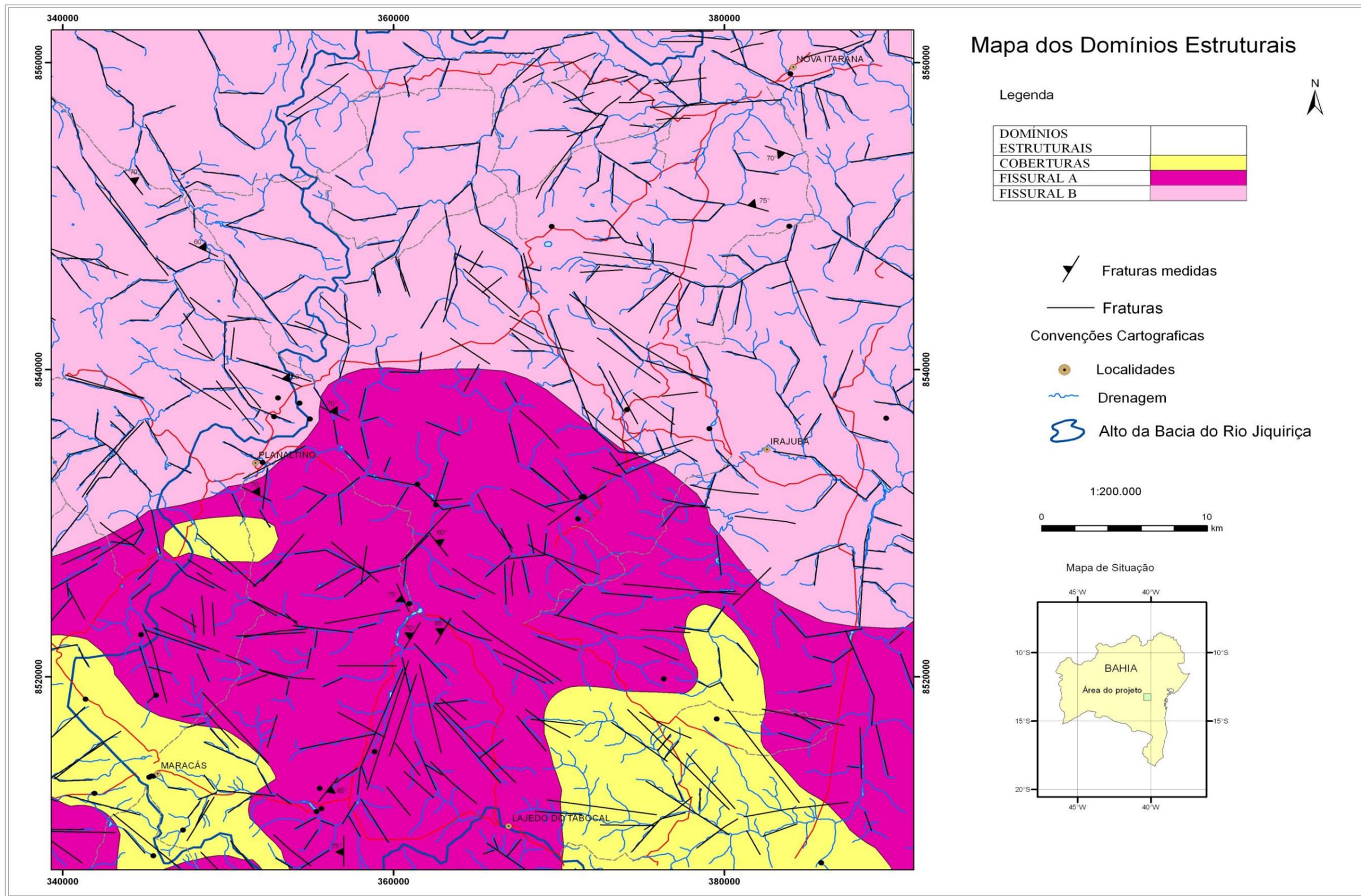


Figura 5.4 –Mapa de Domínios Estruturais da área.

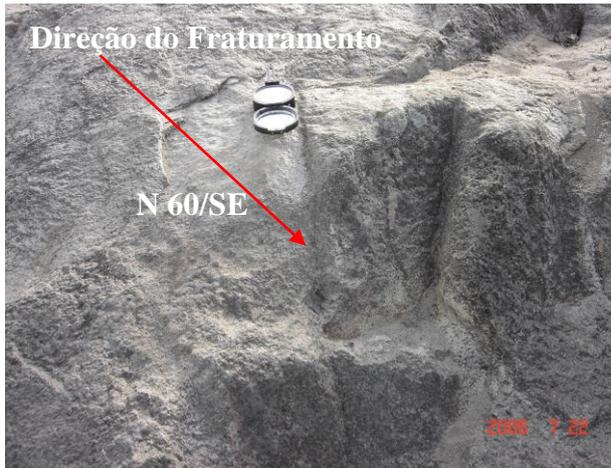


Foto 5.1- Rocha do embasamento mostrando fraturamento predominante na área.



Foto 5.2- Rochas do embasamento (granulítica) mostrando fraturamento predominante na área



Foto 5.3- Rocha do embasamento mostrando fraturamento aberto transversal ao lineamento principal da área.



Foto 5.4- Embasamento alterado pelo intemperismo químico.

Neste subdomínio estrutural foram cadastrados 19 poços tubulares (Apêndice-1). No quadro 5.1 se resume dados de 9 (nove) desses poços.

Esses resultados mostram que no subdomínio A, os fraturamentos de direções NE-SW são dominados por fraturas abertas, e que há boas interconexões entre elas. A existência de circulação e armazenamento de água nesses fraturamentos, caracteriza-os como de média a alta potencialidade hídrica.

Assim, esse aquífero fissural mostra aptidão para abastecimento de pequenas comunidades rurais, dessedentação animal e aproveitamento em pequenos projetos de irrigação.

Quadro 5.1: Poços cadastrados no subdomínio-A.

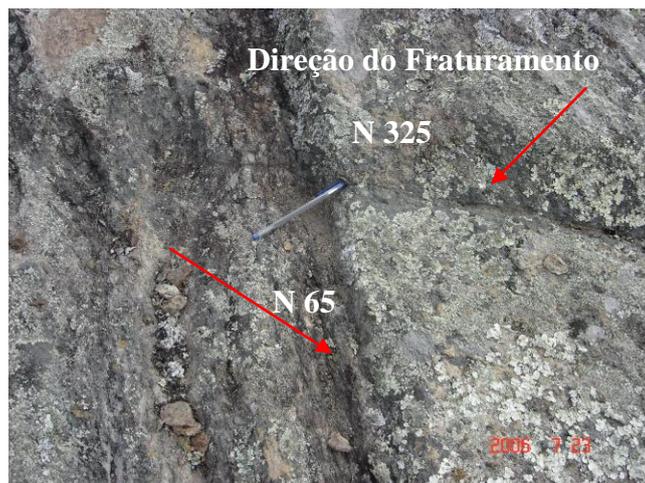
Município	Localidade	Direção principal de Fraturamentos	Vazão (m³/h)
PLANALTINO	BARRO VERMELHO	Leste-Oeste	1,040
MARACÁS	FAZ. SANTO ANTÔNIO	NE-SW	14,000
MARACÁS	FAZ. ALIANÇA	NE	4,932
MARACÁS	FAZ. ABERTURA DOIS	Leste-Oeste	0,648
JAGUAQUARA	BAIXAO DE IPIUNA	NW-SE	1,700
MARACÁS	ASSENT. BOQUEIRÃO	NE	3,000
PLANALTINO	ASSENT.SÃO DIOGO	NE-SW	15,000
LAJEDO DO TABOCAL	CALEMBE	Leste-Oeste	0,249
ITIRUÇU	FAZ. INDEPENDÊNCIA	NW-SE	2,700

As rochas do subdomínio B, mostram comportamento mais dúcteis com moderada densidade de fraturamento. A parte nordeste desse subdomínio é mais fraturada que a parte noroeste. Predomina uma foliação metamórfica na direção E-W. As fraturas, na grande maioria são fechadas ou preenchidas, apresentando três direções predominantes: a primeira paralela à foliação, com direção E-W, e mergulho sub-vertical ora para norte ora para sul; o segundo diagonal, com direção variando de N 70E a S260W e o terceiro também diagonal com direção S160E e N300W (Fotos 5.5 a 5.8).

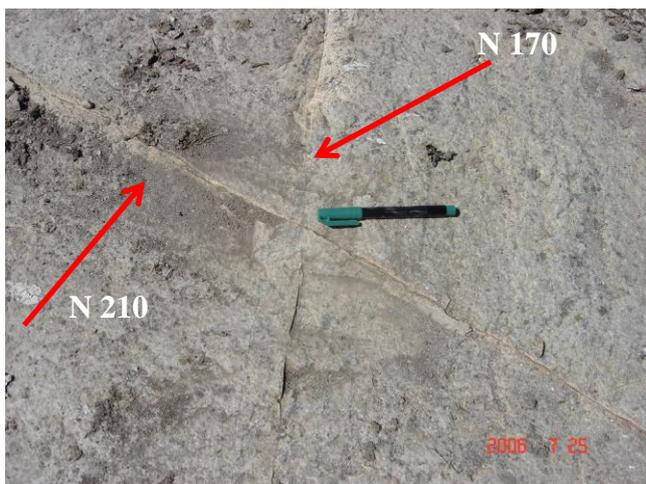
Nas partes Leste e Noroeste da área, as rochas cristalinas apresentam-se com dobramentos, e menos alterada por intemperismo químico em relação as demais.



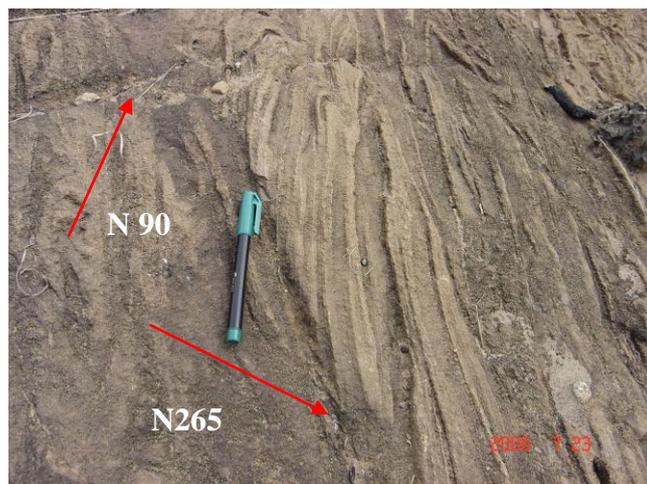
5.5- Rocha do embasamento mostrando os dois principais sistemas de fraturas do subdomínio B.



5.6- Rocha do embasamento mostrando os dois principais sistemas de fraturas do subdomínio B, com fraturas fechadas..



5.7: Rocha do embasamento mostrando os dois principais sistemas de fraturas do subdomínio B.



5.8: Rocha com muitas dobras, característico do subdomínio B.

Neste subdomínio estrutural foram cadastrados 14 (quatorze) poços tubulares (Apêndice-1). No quadro 5.2 se apresenta 5 (cinco) desses poços objetivando mostrar suas relações com as direções dos fraturamentos.

Quadro 5.2: Poços cadastrados no subdomínio-B.

Município	Localidade	Direção principal dos Fraturamento	Vazão (m ³ /h)
IRAJUBA	FAZ. CONCEIÇÃO DO BAIXÃO	Leste - Oeste	1,296
JAGUAQUARA	FAZ. TATU	Norte-Sul	1,235
IRAJUBA	CHARCO	NW-SE	5,000
NOVA ITARANA	SEDE	NE-SW	2,808
PLANALTINO	FAZ. SENHOR DO BONFIM	NW-SE	2,988

Os resultados mostram que no subdomínio-B, os poços perfurados em fraturamentos de direções NW-SE e NE-SW atravessam fraturas mais abertas e com maiores densidades em relação aos poços que cortam fraturamentos de direções Leste-Oeste e Norte-sul. De acordo com as avaliações estruturais, há baixa interconexão entre estas fraturas, devido ao preenchimento das mesmas, indicando a baixa circulação e armazenamento de água nesses fraturamentos. Portanto, o subdomínio estrutural B, pode ser caracterizado como de média a baixa potencialidade hídrica.

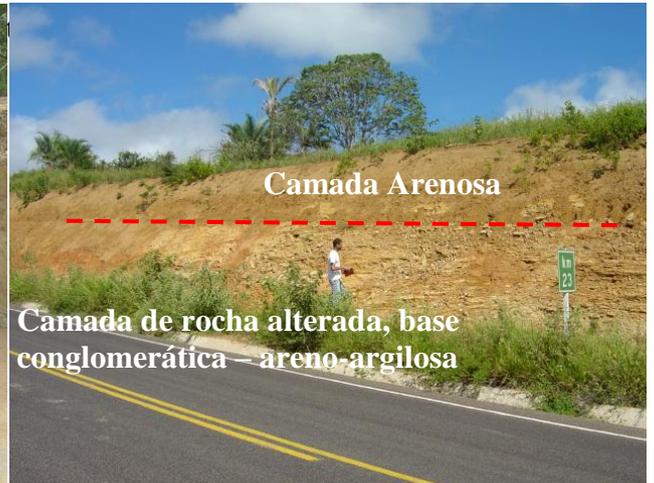
5.4.2 Coberturas Detríticas.

Na área existem dois tipos de coberturas, uma denominada de Cobertura de Regolito e a outra de Cobertura Sedimentar. As coberturas de regolito ocorrem na forma de manchas disformes sobrepostas ao Embasamento, principalmente na parte central e sudoeste da área. São materiais arenosos de granulação média podendo, localmente serem areno-argilosos constituídos no topo, por níveis arenosos e na base por materiais arenosos – conglomeráticos. Possuem coloração cinza a amarelada, e espessura média de aproximadamente 15 metros. Abaixo dessa zona de intemperismo encontra-se a rocha decomposta, que apresenta feições estruturais da rocha original (Fotos 5.9 a 5.11).

Devido a composição granular deste domínio, ele possui porosidade e permeabilidade significativa para a recarga, armazenamento e circulação das águas, tendo como consequência um aumento do potencial hidrogeológico das rochas subjacentes. Verifica-se a presença deste domínio na parte central da área recobrindo uma pequena área dos domínios A e B, e na parte



Foto 5.9- Mostrando aspectos da cobertura de regolito



5.10- Diferentes níveis texturais da cobertura de regolito.

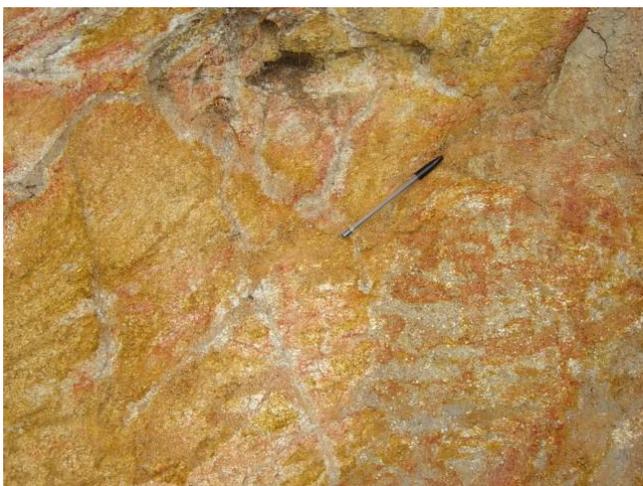


Foto 5.11- Mostrando feições da rocha original.

O domínio das Coberturas Sedimentar possui boa favorabilidade hidrogeológica, sendo constituído de arenitos e argilitos associados a conglomerados de matriz arenosa, de

coloração variada (Fotos 5.12 e 5.13). Ocorrem principalmente na parte sudeste (município de Itiruçu e parte dos municípios de Lagedo do Tabocal e Jaguaquara), recobrendo rochas do subdomínio estrutural A, com espessura média de 60 metros.



Foto 5.12- Sedimentos areno-argilosos da cobertura sedimentar.



Foto 5.13- Cobertura sedimentar com diferentes níveis texturais.

Foram cadastrados neste domínio 20 (vinte) poços tubulares (Apêndice 1). O quadro 5.3 apresenta 5 (cinco) desses poços, objetivando mostrar suas relações com as direções dos fraturamentos.

Quadro 5.3: Poços cadastrados no Domínio Estrutural das Coberturas Detríticas/Sedimentar

Município	Localidade	Direção principal dos Fraturamento	Vazão (m ³ /h)
PLANALTINO	FAZ. SAMBAMBAIA	NW-SE	4,644
ITIRUÇU	FAZ. PEDRA	Leste-Oeste	0,500
MARACÁS	BAIXA FUNDA	NE-SW	15,230
ITIRUÇU	JATOBA 2	NW-SE	3,492
JAGUAQUARA	ENTRONCAMENTO DE JAGUAQUARA	Leste-Oeste	1,970

Estes resultados mostram que, no domínio das coberturas detríticas, os poços com maiores vazões foram perfurados cortando fraturamentos com direção NE-SW - NW-SE. Isso indica também que a maior contribuição está relacionada ao grau de fraturamento e a interconexão entre as fraturas. Nos municípios de Maracás, Planaltino e Itiruçu, há um maior armazenamento de água, devido a contribuição da parte sedimentar sotoposta. Esse domínio é

caracterizado, como de boa potencialidade hídrica, devido principalmente ao grau de fraturamento das rochas subjacentes.

Neste domínio verifica-se que fraturas de direção Leste-oeste não são favoráveis à circulação de água, tendo com consequência a diminuição do potencial hidrogeológico do domínio.

No domínio das coberturas sedimentares, onde estas possuem composição argilosa predominante sua baixa permeabilidade não contribui de maneira significativa para a produtividade do aquífero subjacente.

Adicionalmente aos estudos geológicos e estruturais realizados a partir da interpretação de mapa topográfico e de fotografias aéreas, foram realizados estudos geofísicos, distribuídos pelos domínios estruturais identificados objetivando determinar a favorabilidade destes para a acumulação e circulação de água subterrânea.

6. PROSPECÇÃO GEOFÍSICA

A caracterização hidrogeológica de uma área não está restrita às atividades invasivas como o método direto de amostragem e subsequente análise química. O uso de métodos indiretos é atrativo, em especial a prospecção geofísica, que será abordada neste capítulo enfocando a eletrorresistividade. A prospecção geofísica se constitui em um conjunto de técnicas físicas e matemáticas aplicadas à exploração do subsolo visando identificar estruturas, falhamentos ou corpos estranhos. Baseia-se na variação de uma ou mais propriedades físicas do solo e no contraste entre materiais, sejam eles corpos ou estruturas presentes no meio hospedeiro ou interfaces naturais, produto de estratificações, contatos litológicos, falhamentos, lentes, paleocanais etc. Como as interfaces da subsuperfície são expressões de um contraste entre parâmetros físicos, a prospecção geofísica se constitui em um processo indireto de investigação (Fernandes, 1984). Além do método elétrico, existem outros métodos de prospecção geofísica como o sísmico, o gravimétrico, o radiométrico, o térmico, o da luminescência e o magnético, cada um deles baseado em uma propriedade física do solo/rocha, como a condutividade elétrica, a elasticidade, a densidade, a radioatividade, a condutividade térmica, a fluorescência e o magnetismo, respectivamente.

A adequabilidade de cada método é função da propriedade física mais marcante no meio investigado, de forma que as medidas geofísicas permitam discriminar as anomalias existentes. A prospecção eletromagnética engloba o uso de métodos como o eletrorresistivo, o da polarização induzida, o eletromagnético e o radar de penetração no solo (GPR).

O estudo geofísico se faz necessário também, para uma melhor visualização do comportamento geológico de uma área, que complementam a definição de seu modelo hidrogeológico (Mello, 1997). O método da eletrorresistividade, por usar condução direta de corrente, é provavelmente o mais simples para manipulação e entendimento. Ele tem sido empregado em pesquisas de águas subterrâneas visando o monitoramento de aquíferos em terrenos sedimentares, na prospecção de minérios condutivos, em estudos arqueológicos, em estudos ambientais e de fontes geotermiais, e na geologia de engenharia (Telford et al., 1990).

Capítulo 6 – Geofísica elétrica

6.1 OBJETIVO

O estudo geofísico realizado neste trabalho, com o uso do método da eletrorresistividade, teve como objetivo a caracterização geométrica das unidades geológicas e dos aquíferos, quanto as suas resistividades e espessuras. Integrado as informações hidrogeológicas, torna possível a avaliação quantitativa da potencialidade hídrica dos aquíferos existentes. Esses conhecimentos contribuem para melhor planejamento dos trabalhos de prospecção direcionados para locação de poços tubulares profundos.

6.2 O MÉTODO GEOFÍSICO DA ELETORRESISTIVIDADE

O método eletrorresistivo tem sido usado extensivamente desde os anos 70 na pesquisa de aquíferos produtivos, no monitoramento de plumas de contaminação, em levantamentos de engenharia para localizar cavidades, falhas, fissuras, galerias etc, na arqueologia e em outras aplicações (Reynolds, 1997).

Qualitativamente, a resistividade é uma medida de dificuldade que um determinado material impõe a passagem de uma corrente elétrica (Quadro 6.1), correspondendo ao inverso da condutividade. A resistividade é designada por (ρ), dada em ohm.m. A condutividade (σ) é dada em S/m.

A medida da resistividade aparente do subsolo pode ser feita através de duas técnicas:

- a) **Sondagem Elétrica Vertical** (SEV), caracterizada pela investigação das variações verticais de resistividade com a profundidade (Figura 6.1);
- b) **Caminhamento Elétrico**, que corresponde à investigação das variações laterais de resistividade a uma ou a várias profundidades determinada;

Os arranjos correspondem à disposição dos quatro eletrodos na superfície do terreno são: (*Schlumberger*, *Wenner*, Dipolo-Dipolo, etc).

Capítulo 6 – Geofísica elétrica

O quadro 6.1, apresenta valores de resistividade elétrica de alguns materiais geológicos, onde pode ser observada a influência da sua saturação e porosidade. Adaptado de TELFORD et al. (1990) e REYNOLDS (1997).

MATERIAL	RESISTIVIDADE ($\Omega.m$)
Água do mar	0,2
Água superficial	10 - 100
Areia aluvionar	10 -1000
Areias recente saturada	50 - 100
Areias argilosas saturada	30 - 215
Arenito	1 - $7,4 \times 10^3$
argilas saturada	1 - 10
Argilas (muito secas)	50 -150
Calcário	100 - 5000
Conglomerado	2000 - 10000
Gnaise	300000
Grafite	0,0001 - 0,00005
Granito	300 - 15000
Granito intemperizado	30 - 500

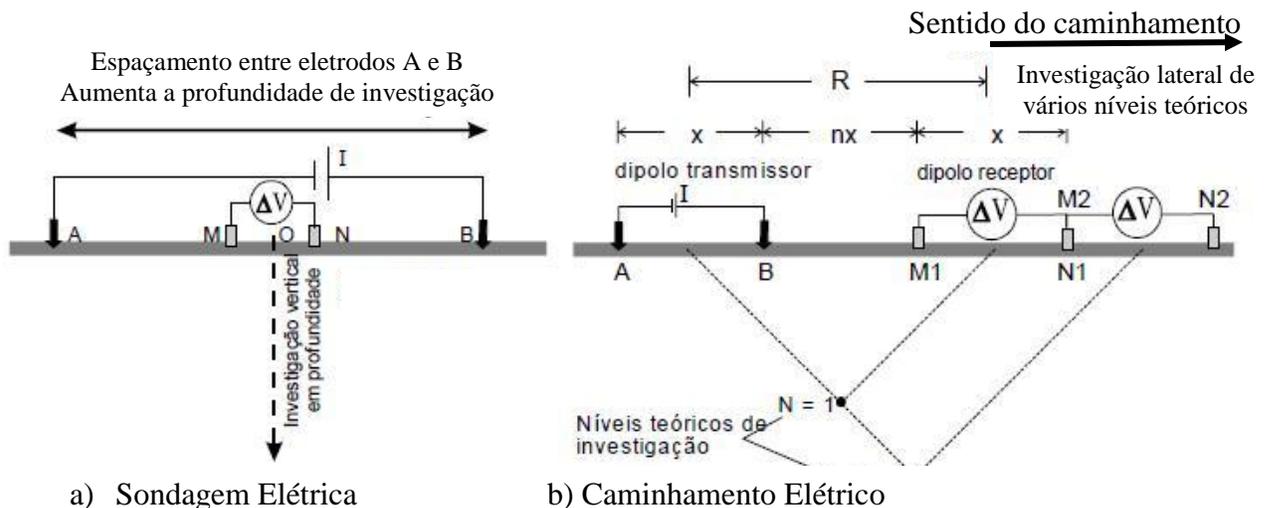


Figura 6.1 – Representação simplificada das técnicas referentes ao método da Eletrorresistividade (modificado de Braga,2005).

No método eletrorresistivo, a imposição da corrente e a medida do potencial é feita segundo diversos arranjos de eletrodos. Os mais usuais são os arranjos simétricos Schlumberger (Figura 6.2) e o Wenner. No arranjo Schlumberger a distância AB deve ser, no mínimo, igual a cinco vezes a distância MN.

Capítulo 6 – Geofísica elétrica

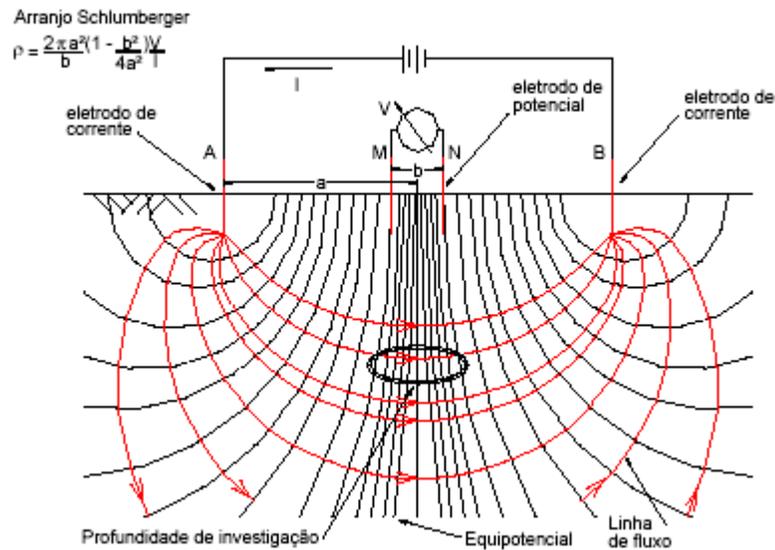


Figura 6.2 - Configurações de eletrodos no método eletrorresistivo. Arranjo Schlumberger (apud REYNOLDS, 1997).

Na prática, a profundidade de investigação é aproximadamente tomada como sendo um terço da distância AB para o arranjo Wenner e a semidistância AB/2 ou um quarto da distância AB no caso do arranjo Schlumberger. Deste modo, para que as linhas de corrente, alcancem profundidades maiores, faz-se necessário aumentar cada vez mais a distância AB, obedecendo a proporcionalidade de $MN \leq AB/5$ no arranjo Schlumberger (Quadro 6.2). Neste trabalho optou-se pelo arranjo simétrico Schlumberger para a realização das sondagem elétrica vertical (SEV).

Capítulo 6 – Geofísica elétrica

Quadro 6.2 – Valores do fator geométrico K normalmente utilizados em SEV para o arranjo Schlumberger (apud Souza, 2002).

TABELA DE VALORES K NO CÁLCULO DA RESISTIVIDADE APARENTE									
AB/	MN/	MN/	MN/	MN/	MN/	MN/	MN/	MN/	MN/
	0,3	1	3	10	20	30	40	80	100
1,5	11,	2,0							
2	20,	4,7							
2,5	32,	8,2							
3	46,	12,							
4	83,	23,	3,7						
5	130,	37,	8,4						
6	188,	55,	14,						
8	334,	99,	28,						
10	523,	155,	47,						
12,5	817,	243,	77,	8,8					
15	1177,	351,	113,	19,					
20	2093,	626,	204,	47,					
25	3271,	980,	322,	82,	17,				
30	4711,	1412,	466,	125,	39,				
40	8376,	2511,	833,	235,	94,	36,			
50	13089,	3925,	1304,	377,	164,	83,	35,		
60	18848,	5653,	1880,	549,	251,	141,	78,		
80	33508,	10051,	3346,	989,	471,	288,	188,		
100	52357,	15705,	5231,	1555,	754,	476,	329,	70,	
125	81809,	24541,	8176,	2438,	1195,	771,	550,	181,	88,
150	117805,	35340,	11775,	3518,	1735,	1130,	820,	316,	196,
200	209432,	62828,	20938,	6267,	3110,	2047,	1507,	659,	471,
250	327239,	98170,	32719,	9801,	4877,	3225,	2391,	1101,	824,
300	471224,	141365,	47117,	14121,	7037,	4665,	3471,	1641,	1256,
400	837732,	251318,	83768,	25116,	12534,	8330,	6220,	3015,	2356,
500	1308957,	392685,	130891,	39253,	19603,	13042,	9754,	4782,	3769,
600	1884899,	565468,	188485,	56531,	28242,	18801,	14073,	6942,	5497,
800	3350932,	1005278,	335088,	100512,	50232,	33462,	25069,	12440,	9895,
1000	5235832,	1570748,	523578,	157059,	78506,	52311,	39205,	19508,	15550,

MN/2
<ou=
AB/5

Em **VERMELHO** os valores onde /MN > OU = AB/5
Em **Caixa de texto** os valores ideais de MN<ou=AB/5

6.3 BASES FÍSICAS DO MÉTODO DA ELÉTRICO

O método geofísico de eletrorresistividade utiliza o acoplamento dos campos eletromagnéticos, dados pelas equações de Maxwell, na presença de cargas elétricas a eles suscetíveis (elétrons dos materiais metálicos e íons das soluções eletrolíticas que permeiam poros e descontinuidades das rochas), ou seja:

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}, \quad (6.1)$$

e

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}, \quad (6.2)$$

Capítulo 6 – Geofísica elétrica

Onde \mathbf{J} é a densidade de corrente elétrica, \mathbf{D} é o deslocamento elétrico, \mathbf{E} e \mathbf{H} representam os campos elétrico e magnético, \mathbf{B} é o vetor indução magnética e t é a variável tempo.

A relação constitutiva para meios condutivos é expressa pela lei de Ohm,

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E}, \quad \text{Onde } \sigma \text{ é condutividade elétrica.} \quad (6.3)$$

Em meios isotrópicos σ é uma grandeza escalar, enquanto em meios anisotrópicos corresponde a um tensor (Keller, 1988). Em condições estacionárias, as derivadas dos campos em relação ao tempo são nulas, e a equação (6.2), junto com a condição da conservação de carga elétrica ($\nabla \cdot \mathbf{J} + \partial q / \partial t = 0$), se reduzem, respectivamente, a:

$$\nabla \times \mathbf{E} = 0, \quad (6.4)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{J} = 0 \quad (6.5)$$

Se o rotacional do campo elétrico é nulo, significa que ele é conservativo, e há uma função escalar V , denominada potencial, tal que.

$$\mathbf{E} = -\nabla V. \quad (6.6)$$

Substituindo-se a expressão da lei de Ohm (equação 6.3) na equação 6.5 para meios isotrópicos e lineares, pode-se escrever:

$$\nabla \cdot \mathbf{J} = \nabla \cdot (\sigma \mathbf{E}) = 0. \quad (6.7)$$

Substituindo, na equação 6.7, o campo dado por 6.6, conclui-se que o potencial elétrico V deve satisfazer a,

$$\nabla \cdot (\sigma \nabla V) = 0 \quad (6.8)$$

ou

$$\nabla \sigma \cdot \nabla V + \sigma \nabla^2 V = 0. \quad (6.9)$$

Se a região de interesse apresentar condutividade constante e diferente de zero, o primeiro termo do primeiro membro da equação acima se anula, e a relação a ser satisfeita pelo potencial passa a ser a equação de Laplace, ou seja,

$$\nabla^2 V = 0 \quad (6.10)$$

Capítulo 6 – Geofísica elétrica

6.4 SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL (SEV)

A sondagem elétrica vertical (SEV) é preferencialmente aplicada em áreas planas a suavemente onduladas, onde a disposição das camadas geológicas acredita-se que se apresentam de modo horizontal a sub-horizontal. Ela é útil na localização de aquíferos potáveis, do embasamento cristalino e de acentuadas mudanças estratigráficas decorrentes de acamamentos plano-paralelos (Kunetz, 1996). A resistividade elétrica dos materiais terrestres está íntima e diretamente relacionada com a presença de água. Os ambientes sedimentares ou cristalinos com camadas planas e de mergulhos suaves constituem-se, boas aproximações com o modelo de N-camadas e assim esta técnica é bastante adequada Parasnis, 1997, Orellana e Mooney, 1966).

A utilização do método da eletrorresistividade tem sido frequente nas pesquisas desenvolvidas na Universidade Federal da Bahia pelo CPGG – Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia, seja para caracterização geológica-estrutural, hidrogeológica ou determinação de plumas de contaminação a exemplos de trabalhos como os de Medeiros e Lima (1990), Monteiro (1999), Junior e Lima (2003), Mota (2004) e Rosa (2004), entre outros desenvolvidos no Estado da Bahia

6.5 APRESENTAÇÃO DOS DADOS GEOFÍSICOS.

Para execução do estudo geofísico de eletrorresistividade, foram realizadas 60 sondagens elétricas verticais totalizando 50.000 m lineares de levantamento geofísico. Essas sondagens foram realizadas em cinco perfis transversais com 10 sondagens em cada uma deles, equiespaçadas de 1000 metros entre si (perfis A, B, C, D e E), além de um perfil com 10 sondagens equiespaçadas de 100 metros, e duas sondagens realizadas na área urbana da cidade de Maracás, sendo que o perfil com espaçamento de 100 m e as sondagens na zona urbana não foram utilizadas na pesquisa. A localização dos cinco perfis com as sondagens é mostrada na (Figura 6.3). Essas sondagens foram realizadas nos diferentes domínios estruturais/geológicos descritos no capítulo 5.

Capítulo 6 – Geofísica elétrica

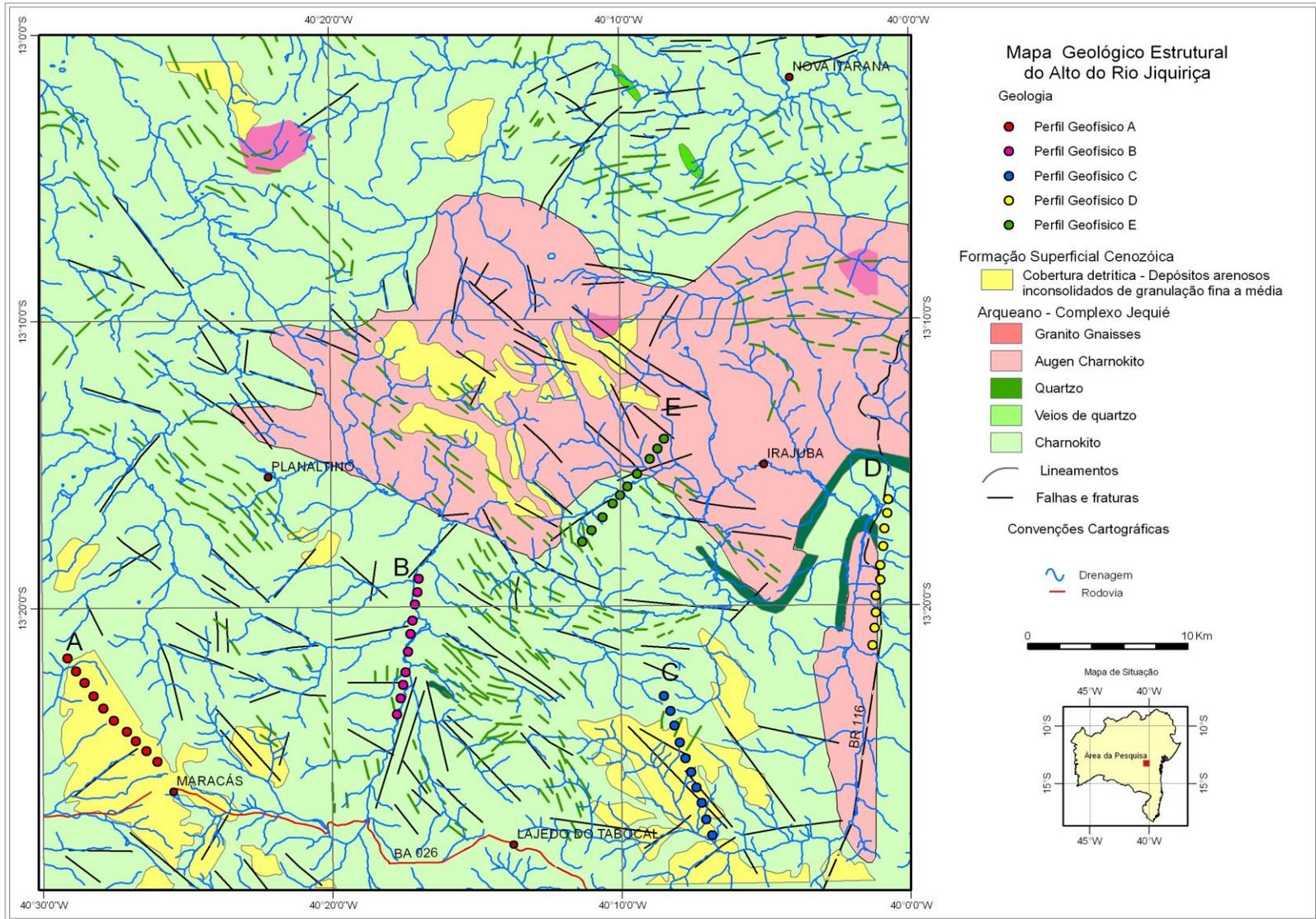


Figura 6.3 – Mapa geológico com localização das sondagens elétricas realizadas no alto da bacia do rio Jiquiriçá

Avaliação Hidrogeológica do Alto da Bacia do Rio Jiquiriçá (Ba) – SANTOS (2010)

As sondagens elétricas verticais, realizadas em diferentes litologias, foram distribuídas nas áreas a seguir discriminadas:

- ✓ **O perfil A**, foi realizado no limite da bacia do rio Jiquiriçá com a bacia do rio de Contas, próxima a cidade de Maracás, sentido Planaltino. Nessa seção as sondagens foram executadas no domínio das coberturas detríticas. Próximo a seção A, realizou-se uma seção de detalhe na cobertura. Essa **seção F**, foi realizada fora da área da bacia na estrada de acesso à cidade de Marcionilio Souza, com espaçamento de 100 metros entre os centros das sondagens;
- ✓ **O perfil B**, foi realizado no município de Planaltino, próximo a fazenda Vicente, sentido ao povoado do Peixe, distrito de Lagedo do Tabocal. As sondagens foram executadas no domínio estrutural do cristalino, sub-domínio A;
- ✓ **O perfil C**, foi realizado no município de Itiruçu, próximo a fazenda Varzea. As sondagens foram executadas sobre a cobertura sedimentar existente. Essa cobertura é mais espessa do que a cobertura encontrada na região de Maracás. A primeira sondagem foi iniciada no contato entre o domínio da cobertura e o domínio do cristalino, sub-domínio A;
- ✓ **O perfil D**, foi realizado no município de Irajuba, ao longo da BR-116, em direção ao entroncamento de Jaguaquara, parte lesta da área. As sondagens foram executadas no domínio estrutural do cristalino, sub-domínio B;
- ✓ **O perfil E**, foi realizado no município de Planaltino, no distrito de Angélica, em direção a Irajuba. As sondagens foram executadas entre os domínios estruturais do cristalino A e B.

Quadro 6.3 Relação das SEV's e suas respectivas coordenadas UTM e os valores de cota altimétrica dos pontos onde foram realizadas.

SEV's	X (m)	Y (m)	Z (m)	SEV's	X (m)	Y (m)	Z (m)
SE - 01 A	342692	8517438	966	SE - 12 B	361033	8527428	651
SE - 02 A	341956	8518250	933	SE - 13 B	361374	8526476	691
SE - 04 A	344735	8515638	930	SE - 14 B	361752	8525508	690
SE - 05 A	344050	8516312	946	SE - 15 B	361777	8524366	660
SE - 06 A	343379	8516960	954	SE - 16 B	361434	8523508	670
SE - 07 A	341002	8518794	954	SE - 17 B	360989	8522606	693
SE - 08 A	340446	8519638	947	SE - 18 B	360597	8521286	612
SE - 09 A	339770	8520384	937	SE - 19 B	360755	8520326	612
SE - 10 A	339260	8521254	922	SE - 20 B	360244	8519506	647
SE - 11 A	339107	8522288	915	SE - 21 B	359686	8518676	668
SEV's	X (m)	Y (m)	Z (m)	SEV's	X (m)	Y (m)	Z (m)
SE - 1 C	376341	8519880	804	SE- 11 D	390167	8532568	507
SE - 2 C	376798	8518974	827	SE- 12 D	389895	8531696	522
SE - 3 C	377071	8518026	830	SE- 13 D	389369	8530834	540
SE - 4 C	377343	8516890	806	SE- 14 D	389059	8529682	537
SE - 5 C	377838	8515914	826	SE- 15 D	389197	8528356	545
SE - 6 C	378435	8515160	817	SE- 16 D	389879	8527402	554
SE - 7 C	378788	8514196	774	SE- 17 D	389901	8526280	567
SE - 8 C	378972	8513081	738	SE- 18 D	389918	8525158	572
SE - 9 C	379138	8511991	716	SE- 19 D	389947	8524100	590
SE - 10 C	379365	8510924	703	SE- 20 D	389864	8523080	589
SEV's	X (m)	Y (m)	Z (m)	SEV's	X (m)	Y (m)	Z (m)
SE - 21 E	371230	8529802	754	SE - 1 F	339107	8522288	915
SE - 22 E	372170	8530208	766	SE - 2 F	339169	8522070	902
SE - 23 E	373067	8530748	742	SE - 3 F	339122	8522166	910
SE - 24 E	373976	8531502	775	SE - 4 F	339060	8522384	924
SE - 25 E	373897	8532470	690	SE - 5 F	339013	8522474	927
SE - 26 E	374203	8533332	662	SE - 6 F	338964	8522562	928
SE - 27 E	374969	8534000	642	SE - 7 F	338921	8522658	930
SE - 28 E	375542	8535114	654	SE - 8 F	338836	8522718	930
SE - 29 E	375402	8536108	728	SE - 9 F	338755	8522780	932
SE - 30 E	376352	8536442	668	SE - 10 F	339219	8521988	901

No apêndice 03 são mostradas todas as sondagens realizadas no alto do rio Jiquiriçá e o modelo interpretado para cada sondagem.

6.6 RESULTADOS OBTIDOS

Foram feitas as interpretação das SEV,s os resultados obtidos são comparados com os perfis geológicos dos poços construídos na área localizados próximos as perfilagens elétricas no sentido de validar o modelo. Esta pesquisa produziu dados importantes para elaboração de modelo hidrogeológico conceitual, estimativa de reservas, e avaliação de vulnerabilidade à contaminação do aquífero, além de contribuir para a elaboração de projeto de poços tubulares.

As Figuras 6.4 a 6.7 apresentam os resultados das inversões e os modelos interpretados de duas das 10 (dez) sondagens do perfil A, realizada sobre as coberturas tércio-quarternarias. As figura 6.4 e 6.6, mostram gráficos AB/2 versus resistividade aparente que apresentam os dados de campo pontos (+), sobrepostos a uma curva contínua que representa a resposta do modelo geoeletrico calculado que é dado no topo do gráfico em termos de resistividade verdadeira, espessura e profundidade do topo de cada camada. A linha pontilhada representa o modelo de resistividade das camadas. O ajuste obtido (diferença entre os valores medidos e os calculados a partir do modelo) é avaliado através do erro médio quadrático (*RMS error*) também apresentado no lado esquerdo superior nessas figuras. Ns figuras 6.5 e 6.7, se mostra os modelos interpretados, onde ρ = resistividade e h = espessura. Esse procedimento foi adotado também paras os perfis **B, C, D e E**.

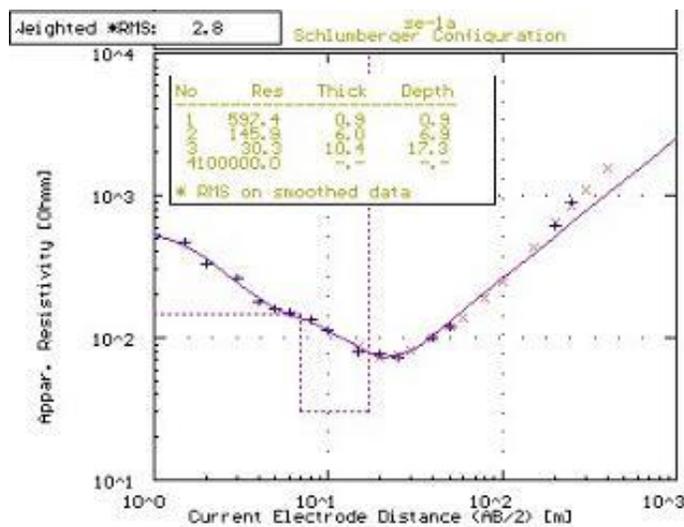


Figura 6.4: Sondagem 1A –Iniciada próximo a Maracás

SEV - 1 A			
Modelo interpretado de camadas			
Camada	ρ	h (m)	Geologia
1	597,40	0,90	Solo Umido
2	145,90	6,00	Saprólito
3	30,30	10,40	Rocha Fraturada
4	100000,00		Embasamento Compacto

Figura 6.5: Camadas geológicas interpretadas.

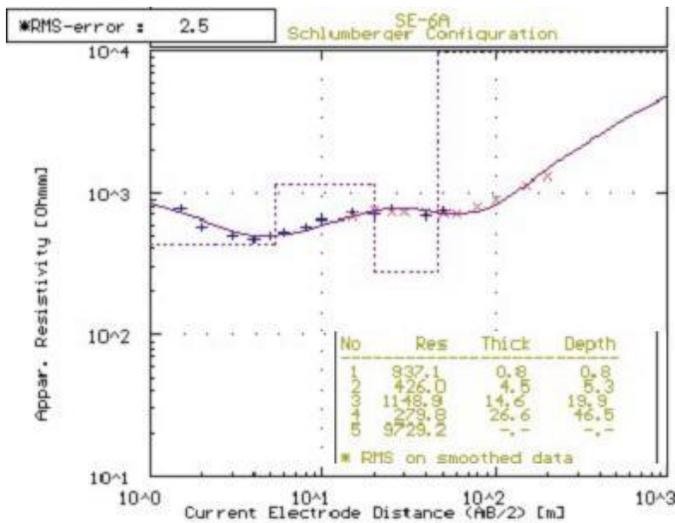


Figura 6.6- Sondagem 6A – Realizada a 5 km da 1ª sondagem na mesma direção.

SEV - 6 A			
Modelo interpretado de camadas			
Camada	ρ	h (m)	Geologia
1	937,10	0,80	Solo Arenoso
2	426,20	4,50	Saprólito
3	1148,90	14,60	Rocha Fraturada
4	279,80	26,60	Embasamento Compacto
5	9729,20		

Figura 6.7- Camadas geológicas interpretadas.

No perfil A, se identifica 4 camadas geoeletricas, sendo a camada 1 interpretada com a cobertura superficial de solo com espessura média de 2,0 metros e valores de resistividade variando de 300 a 600 Ω m (solo argiloso úmido) a 900 a 2200 Ω m (Solo arenoso seco).

A camada 2 corresponde a um material mais arenoso (saprólito) saturado, com resistividade média de 300 Ω m e profundidade de sua base em torno de 11 m (espessura 9 m).

A camada 3 foi interpretada como rocha fraturada/Alterada, com resistividade média de 230 Ω m e espessura 34 m. A pequena variação de resistividade entre as camadas 2 e 3 é devida a composição semelhante, bem como a presença de água em seus interstícios/fratura.

A camada 4 representa o topo da rocha sã, que está em média a 48 metros de profundidade com resistividade em torno de 23.000 Ω m. Com base nos valores de resistividade e espessura obtidos no perfil A construiu-se uma seção geoeletrica (A), que representa a geologia de subsuperfície da área, figura 6.8.

Seção Geolétrica Interpretada - A

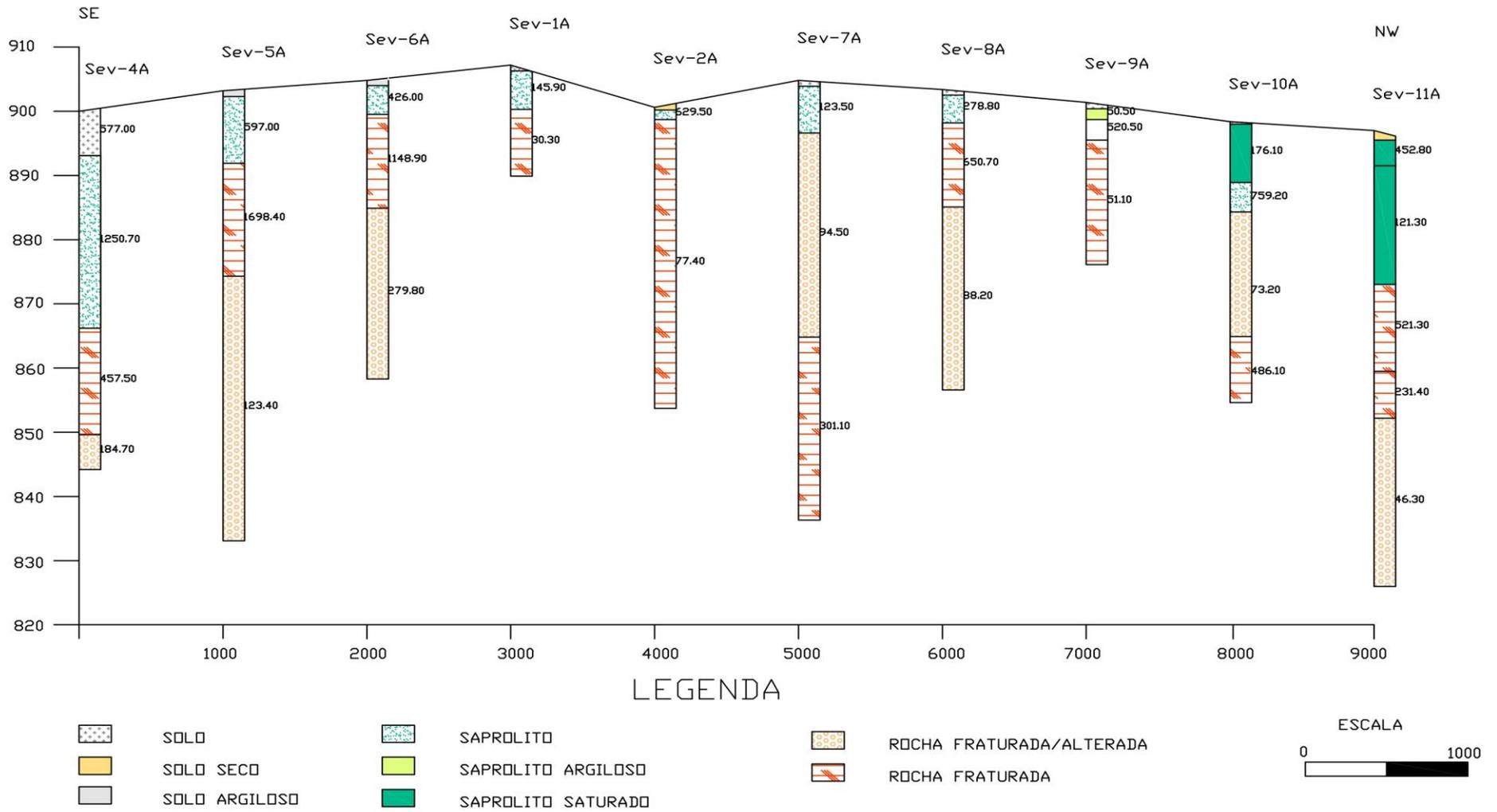


Figura 6.8-Seção Geolétrica - A

As Figuras 6.9 a 6.28 apresentam os resultados das inversões de duas das dez sondagens dos perfis B, C, D e E e suas seções geoelétricas interpretadas, respectivamente.

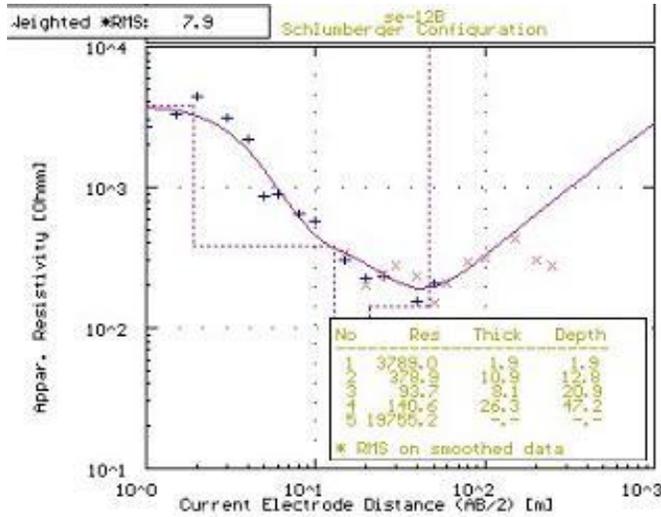


Figura 6.9- Sondagem 12B – mostrando uma curva típica do cristalino

SEV - 12 B			
Modelo interpretado de camadas			
Camada	ρ	h (m)	Geologia
1	3788,00	1,90	Solo Seco
2	378,90	10,90	Saprólito
3	93,70	8,10	Rocha Fraturada
4	140,60	26,30	Embasamento Compacto
5	19755,2	-	

Figura 6.10- Camadas geológicas interpretadas.

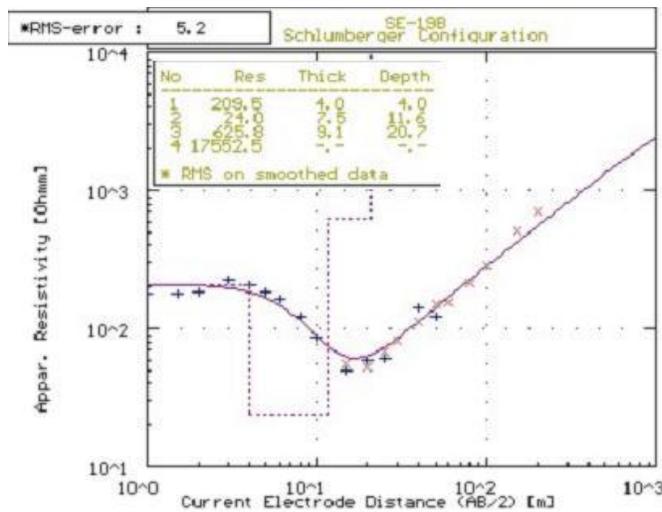


Figura 6.11- Sondagem 19B – mostrando uma curva típica do cristalino.

SEV - 19 B			
Modelo interpretado de camadas			
Camada	ρ	h (m)	Geologia
1	209,50	4,00	Solo Argiloso
2	24,00	7,50	Saprólito Argiloso
3	625,80	9,10	Rocha Fraturada
4	17552,50	-	Embasamento Compacto

Figura 6.12- Camadas geológicas interpretadas.

Para o perfil B, também foram identificadas 4 camadas geoelétricas, tendo a camada 1 uma resistividade com maior variação quando comparada com a do perfil A. Interpretada como uma cobertura superficial de solo com espessura média de 3 m e valores de resistividade variando de 3700 a 1500 Ω m (solo arenoso/seco) e 370 a 5,3 Ω m (solo argiloso/úmido). Essa

resistividade muito baixa, pode ser considerada como uma camada argilosa de baixa permeabilidade.

A camada 2, apresenta resistividade média de 140 Ω m, sendo interpretada como um saprólito argiloso, com espessura média de 8 m.

A camada 3 foi interpretada como rocha fraturada, com resistividade média de 200 Ω m e espessura de 25 m.

A camada 4 representa o topo da rocha sã, que está em média a 36 metros de profundidade, com resistividade em torno de 21.900 Ω m. Com base nos valores de resistividade e espessura obtidos no perfil B construiu-se uma seção geoeletrica, que representa a geologia de subsuperfície da área (figura 6.25).

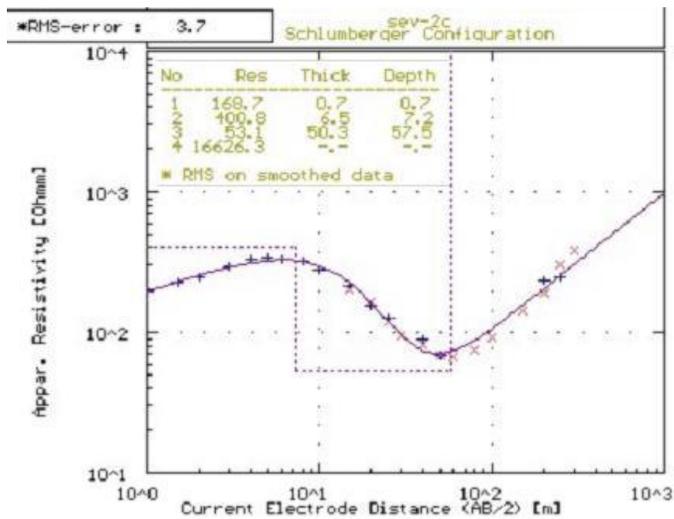


Figura 6.13- Sondagem 2C, realizada sobre as coberturas sedimentares.

SEV - 2 C			
Modelo interpretado de camadas			
Camada	ρ	h (m)	Geologia
1	168,70	0,70	Solo Argiloso
2	400,80	6,50	Areia saturada
3	53,10	50,30	Argila
4	16626,00		Embasamento

Figura 6.14- Camadas geológicas interpretadas.

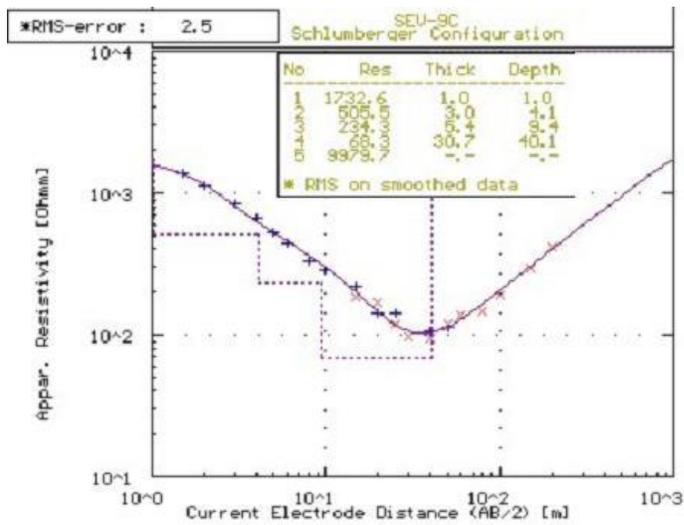


Figura 6.15- Sondagem 9C, realizada sobre a cobertura sedimentar.

SEV - 9 C			
Modelo interpretado de camadas			
Camada	ρ	h (m)	Geologia
1	1732,60	1,00	Solo Seco
2	505,50	3,00	Areias
3	234,30	5,40	Areia saturada
4	68,30	30,70	Argilas
5	9979,70		Embasamento

Figura 6.16- Camadas geológicas interpretadas.

Para o perfil C, foram identificadas 5 camadas geoeletricas, sendo a camada 1 interpretada como uma cobertura superficial de solo argiloso com espessura média de 1 m e valor médio de resistividade de 450 Ω m. A camada 2 apresenta resistividade média de 900 Ω m, interpretada como uma camada de areia seca, com espessura média de 3 m.

A camada 3 foi interpretada como uma camada de areia saturada, com resistividade média de 310 Ω m e espessura de 11 m.

A camada 4 foi interpretada como uma camada argilosa com resistividade média de 60 Ω m e espessura de 47 m, e a camada 5 representa o topo da rocha sã, que está em média a 63 m de profundidade com resistividade em torno de 6.600 Ω m. Com base nos valores de resistividade e espessura obtidos no perfil C construiu-se uma seção geoeletrica, que representa a geologia de subsuperfície da área (figura 6.26).

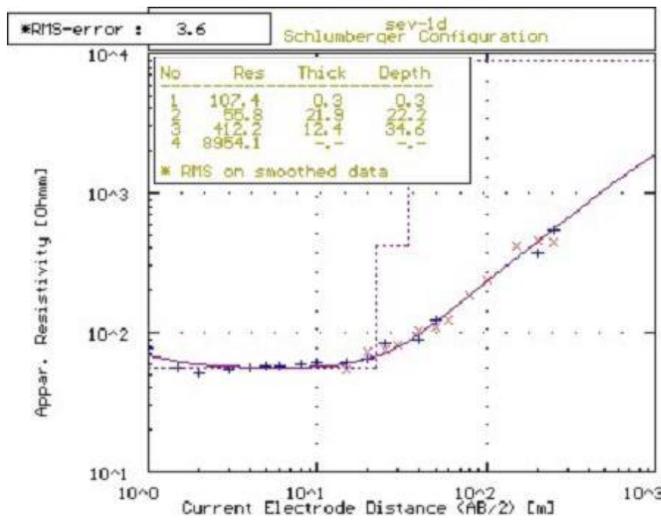


Figura 6.17- Sondagem 1D, realizada próximo a entrada de Irajuba.

SEV - 1 D			
Modelo interpretado de camadas			
Camada	ρ	h (m)	Geologia
1	107,40	0,30	Solo Argiloso
2	55,80	21,90	Saprólito
3	412,20	12,40	Rocha Fraturada
4	8954,10		Embasamento Compacto

Figura 6.18- Camadas geológicas interpretadas.

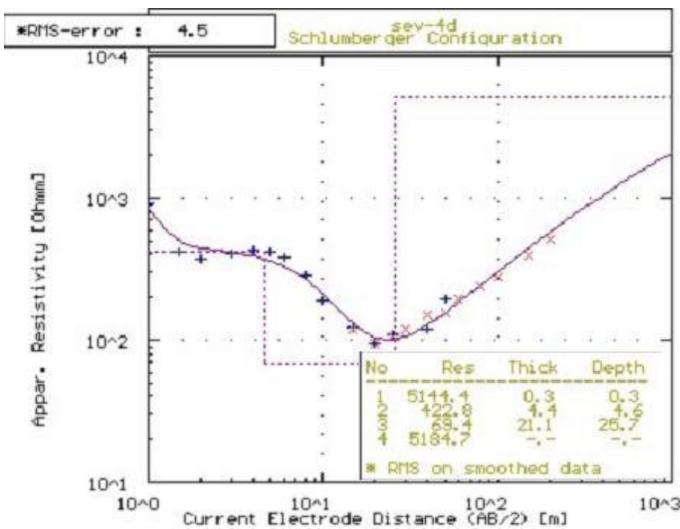


Figura 6.19- Sondagem 4D, realizada próximo a entrada de Irajúba, ao longo da BR-116 sul.

SEV - 4 D			
Modelo interpretado de camadas			
Camada	ρ	h (m)	Geologia
1	5144,40	0,30	Solo Seco
2	422,80	4,40	Saprólito
3	69,40	21,20	Rocha Fraturada e alterada
4	5184,70		Embasamento Compacto

Figura 6.20- Camadas geológicas interpretadas.

Para o perfil D, foram identificadas 4 camadas geoeletricas, sendo a camada 1 interpretada como um solo seco com espessura média de 0,5 m e valor de resistividade de 2.230 Ω m. A camada 2, apresenta resistividade média de 325 Ω m, interpretada como um saprólito arenoso, com espessura média de 4,5 m.

A camada 3 foi interpretada como rocha fraturada/alterada, com resistividade média de 109 Ω m e espessura de 25 m. A camada 4 representa o topo da rocha sã, que está em média a 32

m de profundidade, com resistividade em torno de 9.600 Ω m. Com base nos valores de resistividade e espessura obtidos no perfil D construiu-se uma seção geolétrica, que representa a geologia de subsuperfície da área figura 6.27.

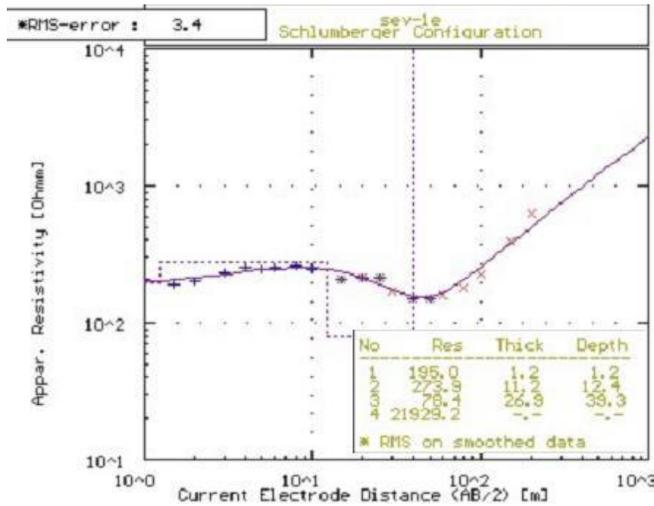


Figura 6.21- Sondagem 1E realizada no Distrito de Angélica

SEV - 1 E			
Modelo interpretado de camadas			
Camada	ρ	h (m)	Geologia
1	195,00	1,20	Solo Argiloso
2	273,90	11,20	Saprólito
3	78,40	26,90	Rocha Fraturada e Alterada
4	21929,20		Embasamento Compacto

Figura 6.22- Camadas geológicas interpretadas

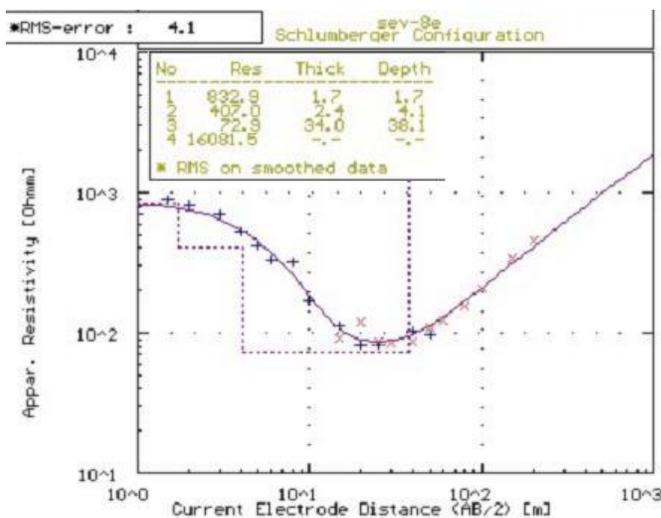


Figura 6.23- Sondagem 8 E e, mostrando profundidade do topo da rocha sã com aproximadamente 40 m.

SEV - 8 E			
Modelo interpretado de camadas			
Camada	ρ	h (m)	Geologia
1	832,90	1,70	Solo Arenoso
2	407,00	2,40	Saprólito
3	72,90	34,00	Rocha Fraturada e Alterada
4	16081,50		Embasamento Compacto

Figura 6.24- Camadas geológicas interpretadas.

Para o perfil E, também foram identificadas 4 camadas geolétricas. A camada 1 foi interpretada como uma cobertura superficial de solo e uma espessura média de 1,2 m e valores de resistividade variando de 1563 a 721 Ω m (Solo arenoso/seco) e 590 a 195 Ω m (solo

argiloso/úmido). A camada 2 apresenta resistividade média de 340 Ω m, interpretada como um saprólito arenoso, com espessura média de 7 m. A camada 3 foi interpretada como rocha fraturada/alterada, com resistividade média de 51 Ω m e espessura de 26 m. A camada 4 representa o topo da rocha sã, que está em média a 40 m de profundidade, com resistividade em torno de 11.400 Ω m. Com base nos valores de resistividade e espessura obtidos no perfil E construiu-se uma seção geoeletrica, que representa a geologia de subsuperfície da área figura 6.28.

Em cada seção foi possível inferir a posição do nível freático, a profundidade até a base do manto de alteração ou cobertura detrítica, e a profundidade da rocha sã. Além disso, os valores de resistividade da zona saturada auxiliam a inferir sobre a qualidade de água armazenada. Espera-se com esses resultados melhorar o desempenho da perfuração de poços na parte alta da bacia. Essas seções permitem complementar a visualização regional do comportamento estrutural do aquífero.

Seção Geoeletrica Interpretada - B

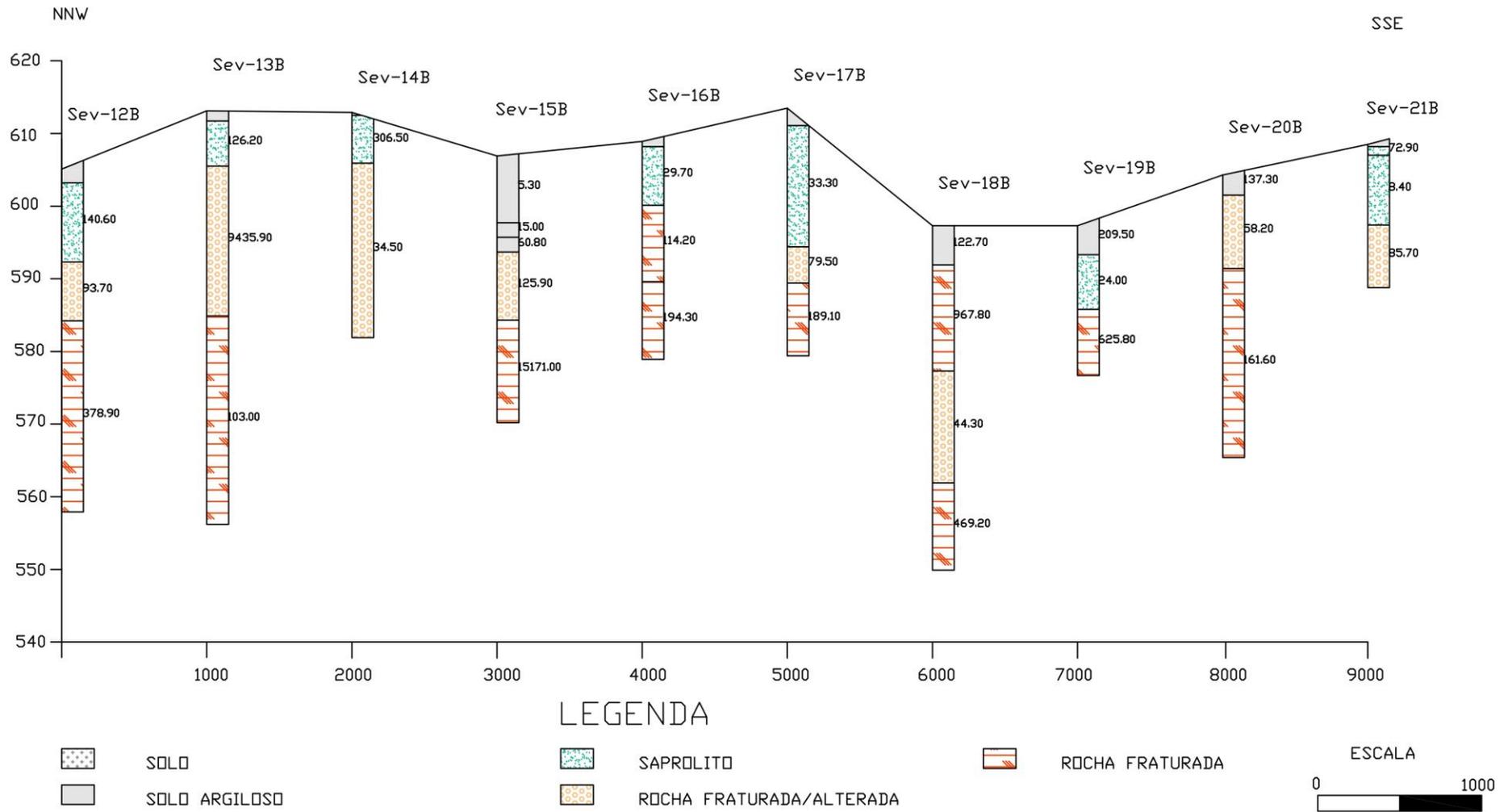


Figura 6.25-Seção Geoeletrica - B

Seção Geolétrica Interpretada - C

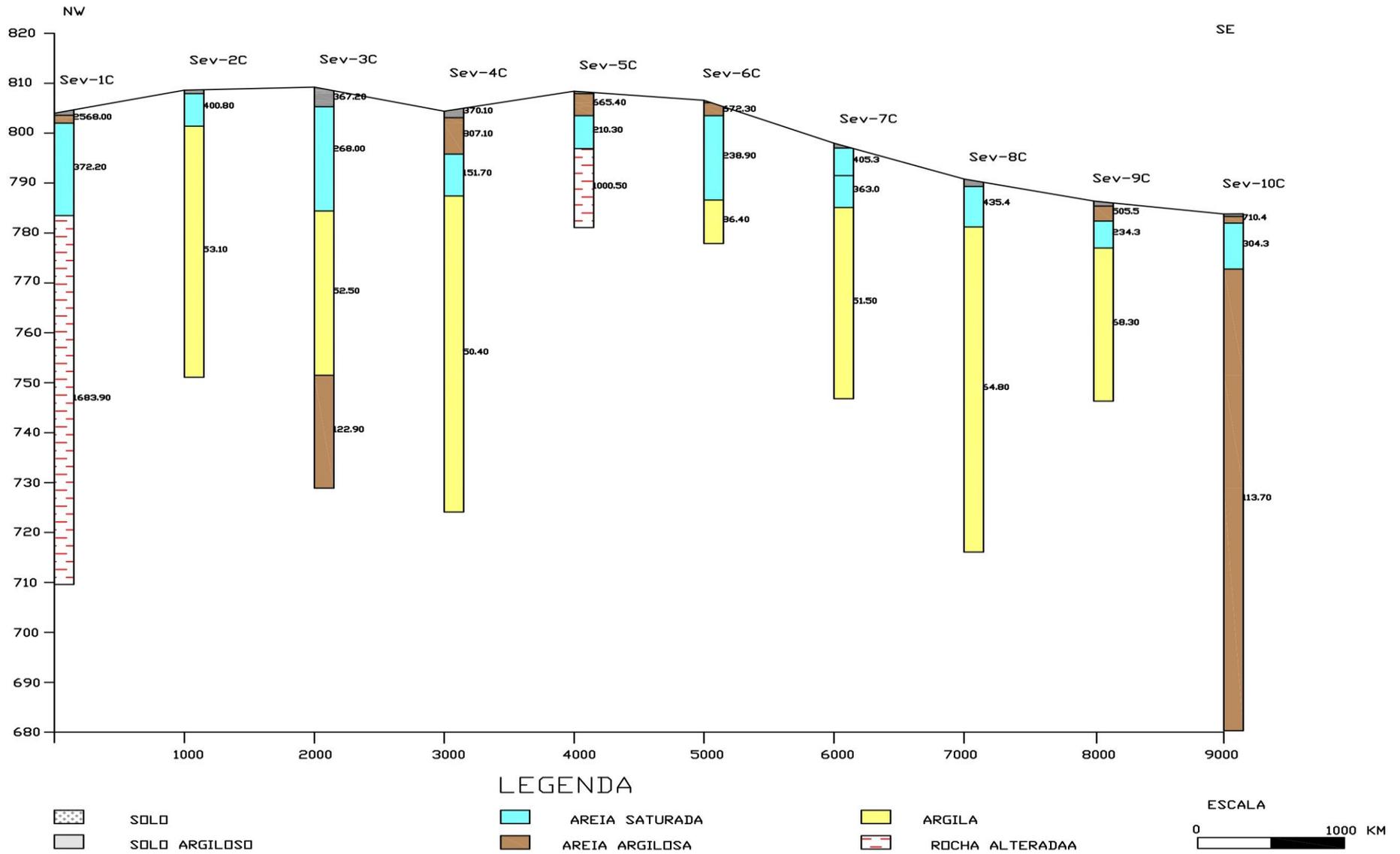


Figura 6.26-Seção Geolétrica - C

Seção Geométrica Interpretada - D

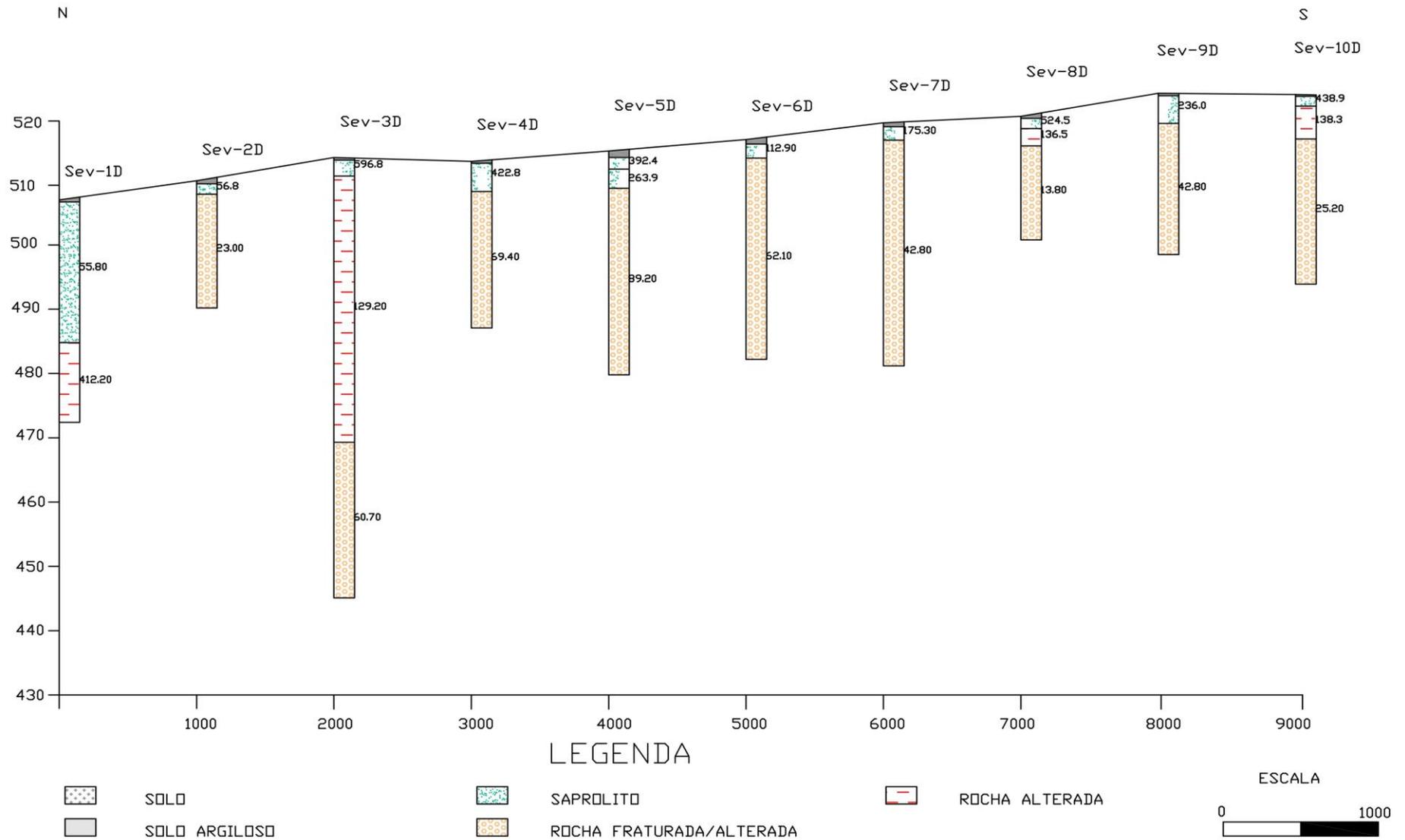


Figura 6.27-Seção Geométrica - D

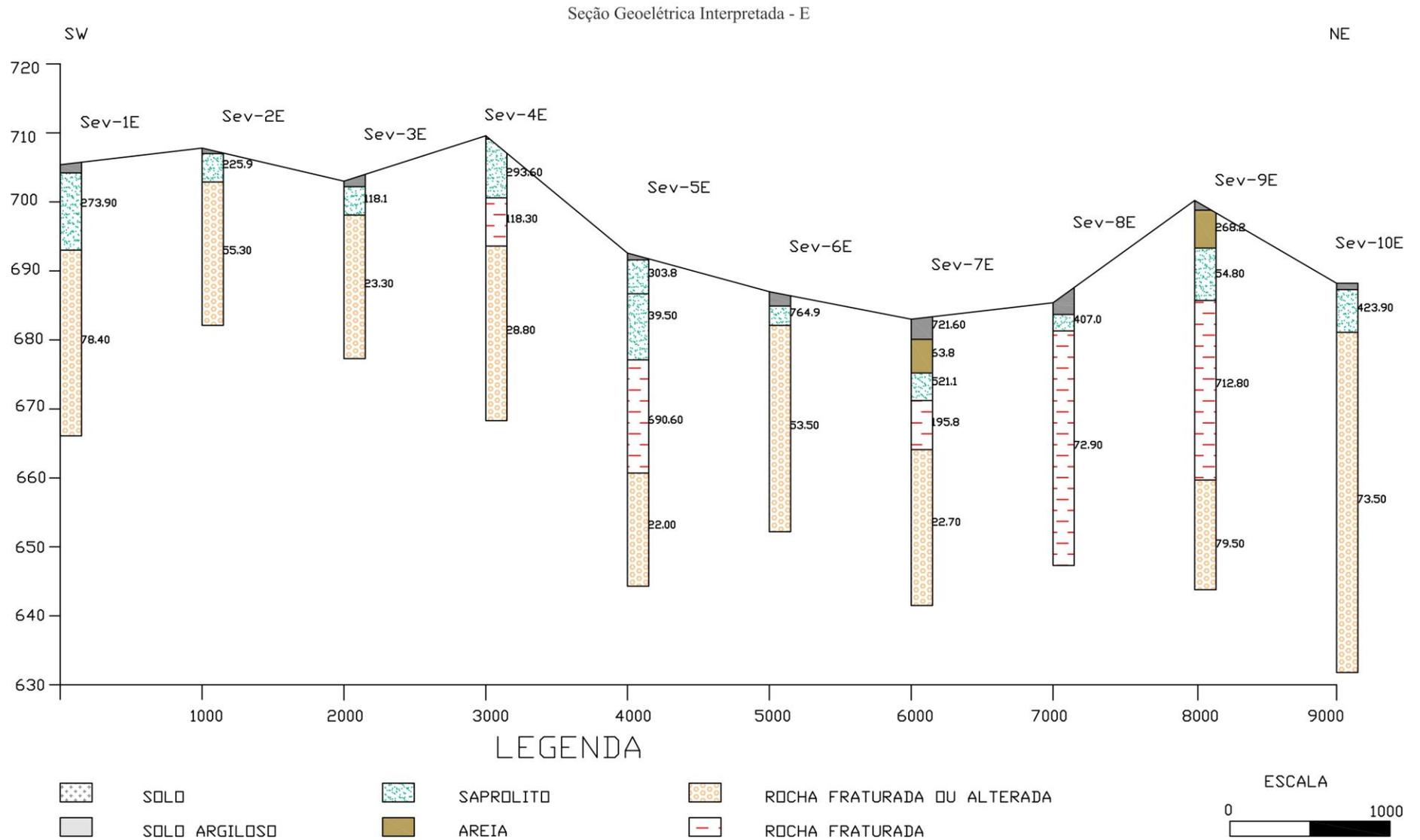


Figura 6.28-Seção Geolétrica - E

7. CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E HIDROGEOQUÍMICA DA ÁREA

Para avaliação do comportamento dos sistemas aquíferos da área de estudo, os dados básicos utilizados foram extraídos do cadastro de poços tubulares que exploram o sistema aquífero do alto da bacia do rio Jiquiriçá. Dados de poços de áreas adjacentes foram utilizados no sentido de melhorar a representatividade das amostras, uma vez que as características geológicas dessas áreas são similares. Os dados de poços foram obtidos dos arquivos da CERB, empresa pública do Estado da Bahia, além de dados coletados em campo, como mencionado no Capítulo-2.

São apresentados inicialmente neste capítulo, uma avaliação da qualidade dos dados disponíveis e uma análise da evolução do número de poços perfurados por litologia, em seguida, apresenta-se a caracterização dos sistemas aquíferos, suas potencialidades e, concomitantemente, apresenta-se a hidroquímica e a qualidade das águas do alto Jiquiriçá.

7.1 BANCO DE DADOS DE POÇOS TUBULARES

No banco de dados existem cadastrados, na parte alta da bacia 263 poços. Destes, 179 se incluem na área específica da pesquisa, sendo que aproximadamente 40% deles não puderam ser usados por terem dados incorretos ou inexistentes. A falta de consistência nos dados tem sido um grande empecilho ao desenvolvimento de trabalhos acadêmicos ou daqueles referentes à gestão dos recursos hídricos subterrâneos.

A ausência de dados importantes, como vazão de exploração, níveis estático e dinâmico, coordenadas geográficas, dificulta ou impossibilita a correta avaliação da potencialidade hídrica de área. O gráfico da Figura 7.1 mostra em porcentagem os dados incorretos ou inexistente no banco de dados da CERB.

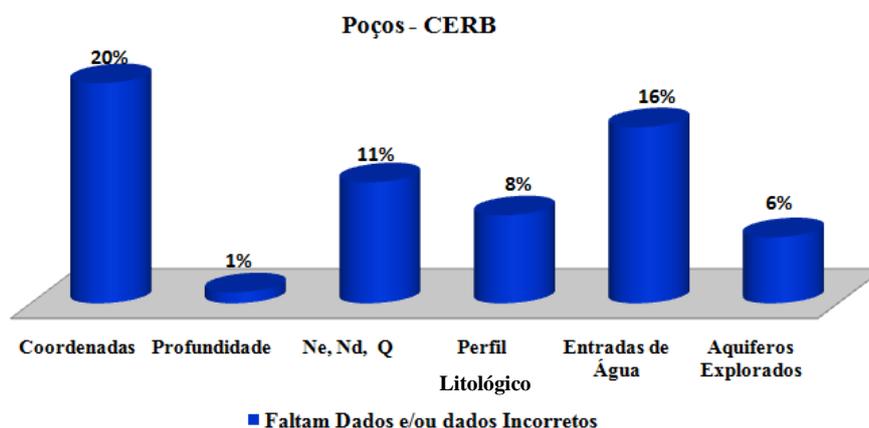


Figura 7.1- Gráfico mostrando o percentual de falha do banco de dados da CERB

7.2 ESTATÍSTICA DOS DADOS DOS POÇOS DO ALTO DA BACIA DO JQUIRIÇÁ.

Com base nos dados disponíveis, foi realizada uma avaliação preliminar das características do aquífero, considerando-se toda a região. Ressalta-se que essa avaliação não levou em consideração os diferentes tipos de aquíferos. A tabela 7.1 mostra um sumário estatístico dos parâmetros físicos disponíveis (profundidade, nível estático e vazão). Observa-se que a distribuição é dada em períodos de cinco anos.

Existem seis períodos, totalizando 30 anos. Ou seja, os dados de poços utilizados cobrem o período de 1973 a 2002. Esta distribuição foi feita para diminuir a dispersão dos resultados e o conseqüente erro padrão. Este último é definido como a razão entre o desvio padrão e a raiz quadrada do número de dados. A análise dos dados mostrou uma dispersão muito grande nos valores do erro padrão.

Curiosamente, o fator N (número de dados) em determinados períodos, apontaram baixas dispersões para os parâmetros nível estático e vazão, mesmo com o baixo número de amostras, como é o caso dos períodos de 88-92 e 93-97. Entretanto, o parâmetro profundidade apresentou dispersão significativa em quase todos os períodos atingindo, inclusive, no período de 78-82, um valor de 14,25 m. Neste caso, o baixo número de amostras (8) deve ter influenciado no resultado.

O intervalo de 83-87 foi aquele em que se realizaram mais perfurações e, portanto o que tem mais dados. Entretanto, os erros padrões aparecem altos nos três parâmetros. Isso mostra que estes dados apresentam grande variabilidade. Outro fato relevante na

determinação de erro padrão está na diferença de amostras coletadas entre parâmetros de perfuração e os de nível estático e vazão. Normalmente, há muito mais amostras de poços perfurados do que medidas de níveis estáticos e de vazões. Isso ocorre devido ao baixo aproveitamento dos poços na região, pois os poços secos são imediatamente abandonados e os poços com baixas vazões ou vazões insuficientes não são aproveitáveis.

Tabela 7.1: Sumário Estatístico para toda a região.

Período	Parâmetros	N	Média	Desvio Padrão	Erro Padrão
1973-1977	Profundidade	32	50,13	12,82	2,27
	Nível Estático	25	5,32	13,92	2,78
	Vazão	22	3,44	13,12	2,8
1978-1982	Profundidade	8	65	40,31	14,25
	Nível Estático	8	9	0,71	0,25
	Vazão	7	2,56	3,12	1,2
1983-1987	Profundidade	142	63	55,86	4,68
	Nível Estático	80	5,7	52,54	5,87
	Vazão	79	3,37	53,48	6,02
1988-1992	Profundidade	16	61,12	31,9	7,98
	Nível Estático	8	4,19	2,69	0,95
	Vazão	8	5,45	1,8	0,64
1993-1997	Profundidade	23	73,23	35,52	7,41
	Nível Estático	9	6,68	1,64	0,55
	Vazão	10	2,91	5,01	1,59
1998-2002	Profundidade	58	76,72	13,24	1,74
	Nível Estático	40	3,74	25,64	4,05
	Vazão	40	3,28	25,96	4,11

Ao se interpretar os parâmetros físicos supracitados, os dados de geologia dos poços tem sua relevância. Por exemplo, poços em rochas sedimentares, normalmente, apresentam maiores vazões do que as de rochas cristalinas. O gráfico da Figura 7.2 mostra em que tipo de rocha (cristalina, sedimentar ou sedimentar/cristalina) os poços foram perfurados nos períodos estabelecidos. Daí a importância de se estudar a hidrogeologia por tipo de aquífero.

Capítulo 7 – Caracterização Hidrogeológica e Hidroquímica

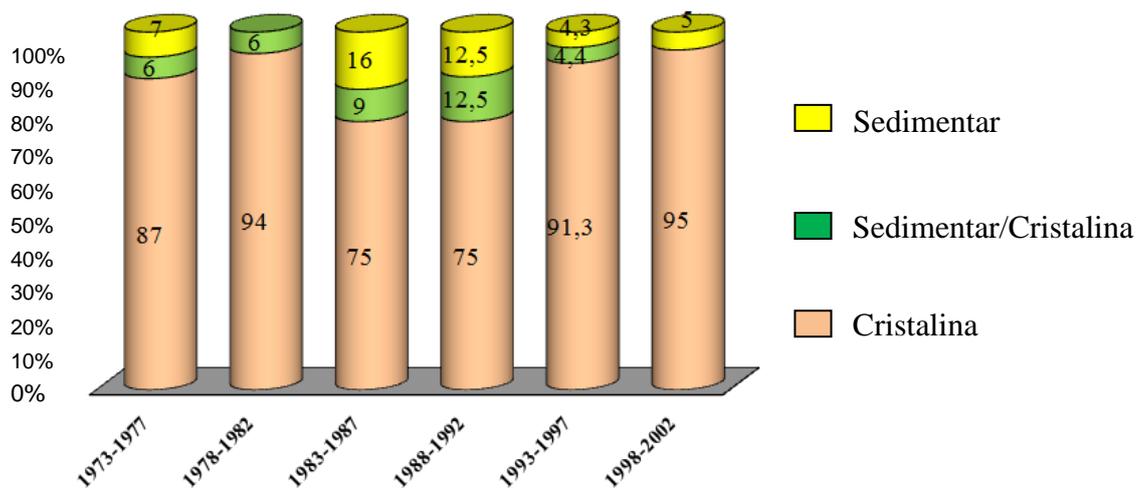


Figura 7.2.-: Gráfico mostrando a Porcentagens dos poços perfurados por litologias entre os períodos 1973-1977, 1978-1982, 1983-1987, 1988-1992, 1993-1997 e 1998-2002 – Alto Jiquiriçá.

Desta forma, aproximadamente, noventa por cento (90%) dos poços no alto Jiquiriçá foram perfurados no domínio cristalino. Isso reforça a importância da separação por Domínios Hidrogeológicos, na caracterização dos parâmetros acima citados. A figura 7.3 mostra o percentual médio para o período de 30 anos dos poços perfurados por litologia.

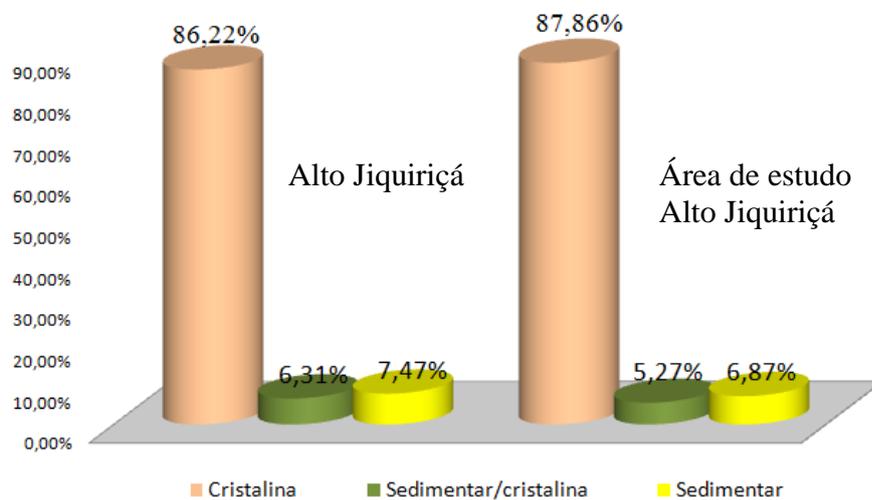


Figura 7.3- gráfico mostrando o percentual dos poços perfurados por litologia.

7.3 DOMÍNIOS AQUÍFEROS DA ÁREA.

Na área de estudo, acham-se representados, basicamente, aquíferos fissurais e, em área restritas, aquífero misto granular/fissural. Estes, para efeito de avaliação, foram agrupados em domínios homogêneos, de acordo com suas características hidrogeológicas. Assim, temos os seguintes domínios identificados: **Domínio Aquífero Fissural, Domínio Aquífero Misto - Granular/Fissural e Domínio Granular.**

Os aquíferos fissurais, estão representados pelas rochas do embasamento cristalino constituídas basicamente por rochas metamórficas de fácies granulito do Complexo Jequié (**Domínio I**), aqueles representados por litotipos também do complexo Jequié, porém com maior espessura de manto de intemperismo e/ou Cobertura Detrítica (**Domínio II**) e o grupo de aquíferos granulares, representados pelas Coberturas Detríticas Sedimento Tercio-Quaternário que recobrem parcialmente rochas do Embasamento Cristalino (**Domínio III**).

A seguir, são apresentados os resultados das diferenças entre os parâmetros dos poços em função de sua localização e devido aos aspectos geológicos estruturais descritos nos capítulos anteriores, além de mostrar a diferenciação quantitativa e qualitativa entre os domínios hidrogeológicos, principalmente do domínio fissural de maior extensão na área.

Para o meio fissural, as informações reunidas e tratadas regionalmente vieram indicar que os fatores mais determinantes e que influenciam quantitativa e qualitativamente as águas subterrâneas deste domínio são o condicionamento estrutural e as litologias derivadas.

A análise integrada destas informações permitiu a compartimentação deste domínio em dois sub-domínios hidrogeológicos com características diferenciadas, denominados de Domínios Hidrogeológicos A e B (Figura 7.4). Tais considerações foram fundamentadas e verificadas utilizando-se como parâmetro hidráulico a capacidade específica ($m^3/h/m$) e como parâmetros físico-químicos a dureza, cloreto e sólidos totais dissolvidos, além das características construtivas dos poços e as interpretações da geofísica.

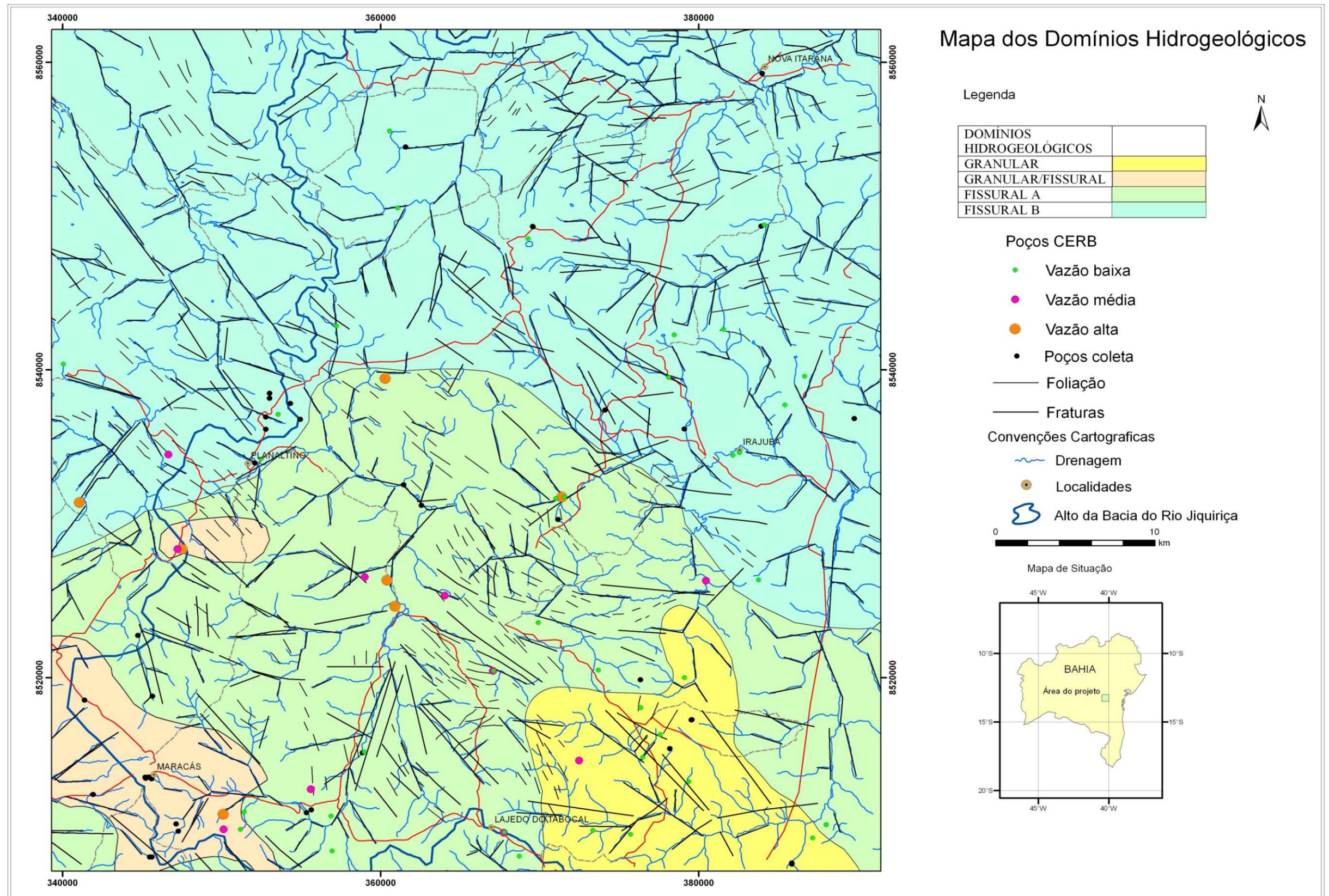


Figura 7.4: Mapa de Domínios Hidrogeológico do alto Jiquiriçá.

7.4 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DOS DOMÍNIOS AQUÍFEROS

Os aquíferos fissurais se caracterizam pela baixa capacidade de armazenamento e elevado índice de salinização de suas águas, especialmente quando submetidos a condições de baixas precipitação pluviométricas e elevadas evapotranspiração. Suas reservas são sempre modestas, entretanto, importantes para atender às demandas dos rebanhos, das pequenas comunidades e da população dispersa no meio rural.

Nas avaliações que se seguem tomou-se como base dados locais como precipitação média sobre o domínio, área de ocorrência deste, dados de poços contidos no cadastro, além de dados de porosidade e taxas de infiltração estimada com base em experiências de outras áreas do Nordeste Brasileiro.

No caso específico tem-se uma precipitação pluviométrica média de 670 mm/ano, o que propicia a ocorrência de solos pouco espessos e Coberturas Detríticas/Sedimentar esparsas. Estas últimas podem propiciar um aumento na taxa de recarga e funcionar, em muitas situações, como aquífero de transferência para o sistema de fraturas.

7.4.1 – Domínio Hidrogeológico A

Esse domínio ocupa parte da área central, região sul, sudeste e sudoeste, representado geologicamente por rochas dos Complexos Jequié, com direção predominante NE-SW e NW-SE. Cobre assim, uma área de 1.002 km², perfazendo 34 % do total da região de estudo. Os traços estruturais se caracterizam por serem espaçados, tendo as principais direções dos fraturamentos transversal à direção geral de foliação NNW-SSE. Os aquíferos desse domínio são fraturados, descontínuos, livres e semiconfinados, restritos a juntas e fraturas, recobertos pela presença de coberturas indiferenciadas e aluviões, associados a linhas de drenagem superficial. As coberturas aluvionares e rochas intemperizadas são os principais contribuintes para a recarga dessa unidade aquífera. Apresenta-se mais fraturado que o domínio B, mostra maior densidade de traços estruturais, tanto na faixa central da área de estudo, como também na porção sudeste. Esses fatores, associados à presença de rochas, representadas principalmente por granulitos, charnockitos e granitos diversos, em sua maioria de caráter estrutural rúptil, com menos plasticidade, produziram falhas abertas com menor espaçamento, favorecendo a existência de poços de boa produtividade. Com a concentração de Cloreto

apresentando um valor médio de 1.240,30 mg/l, as águas subterrâneas desse domínio mostram-se bem menos salinizadas quando comparadas com as do domínio hidrogeológico B, devido a um maior grau de fraturamento que favorecem uma maior circulação das águas.

7.4.2 - Domínio Hidrogeológico B

Esse domínio ocupa parte da área central, bem como as áreas nordeste e noroeste representada geologicamente por rochas do Complexo Jequié de idade arqueana e proterozóica, e cobre uma área de 1.583 km², perfazendo 53,81% do total da área pesquisada. Nesse domínio, os aquíferos são poucos fraturados, restritos a juntas e fraturas. A recarga da unidade aquífera tem na rede de drenagem superficial e nas chuvas, os maiores contribuintes, sendo mais eficiente nas áreas onde o controle estrutural da drenagem se dá através das fraturas, que permitem uma contínua realimentação por meio dos aluviões, principalmente durante o período das chuvas.

Apresenta-se menos fraturado que o domínio A, mostrando traços estruturais espaçados, principalmente na parte nordeste e leste, cujas rochas, em sua grande maioria, possuem um caráter estrutural incompetente, ou seja, de comportamento geomecânico dúctil. Além disso, por serem rochas ricas em minerais máficos e feldspatos, são mais susceptíveis ao intemperismo químico, sofrem dissolução e precipitação de material argiloso nas fraturas, podendo reduzir a permeabilidade do meio.

Com a concentração de cloreto apresentando um valor médio de 3.358,82 mg/l, as águas subterrâneas desse domínio mostram-se bem mais salinizadas quando comparadas com as do domínio hidrogeológico A. Outra resposta ao menor grau de fraturamento desse domínio é verificada no alto teor de sais dissolvidos nas águas analisadas desse domínio. Esse fato é justificável pelo maior tempo de contato dessas águas com a rocha, em função da menor circulação, proporcionando aumento nos mecanismos de dissolução de mineral e menor renovação das águas nas zonas mais superiores.

7.4.3 Domínio Hidrogeológico – Granular/Fissural (Misto)

O domínio misto Granular/Fissural que explora tanto o domínio cristalino quanto as coberturas, caracterizam-se por apresentar seção filtrante na cobertura e entrada de água no embasamento. Estes domínios mistos se diferenciam dos domínios fissurais basicamente por sua maior porosidade efetiva e maior espessura da zona saturada. Isto lhes confere melhores condições de recarga, circulação e armazenamento, cobre uma área de 154,98 km², perfazendo 5,27 % do total da área.

Apresenta áreas localizadas de melhor desempenho, com poços de vazões consideradas elevadas, considerando a situação geológica e climática da região, situados em faixas de maior concentração de fraturamento, sempre associadas a eventos geológicos estrutural. Ocorrem na forma de manchas disformes sobrepostas ao embasamento, principalmente na parte sudoeste da área são depósitos arenosos com granulação média, podendo ser localmente areno-argilosos, constituído no topo por níveis arenosos e na base por sedimentos arenosos – conglomeráticos. Esse domínio constitui os aquíferos superficiais associados ao manto de alteração das rochas (saprólitos, elúvios e colúvios) e aos depósitos detríticos de cobertura do Terciário-Quaternário. Possuem coloração cinza a amarelado, com espessura média de aproximadamente 15 metros, principalmente na parte sudoeste da área, abaixo dessa zona encontra-se a rocha decomposta, que apresenta feições estruturais da rocha original.

Devido a composição granular deste domínio, este possui porosidade e permeabilidade significativa para a recarga, o armazenamento e a circulação das águas, tendo como consequência um aumento do potencial hidrogeológico das rochas sobrepostas. Constitui numa importante fonte de recarga das rochas fraturadas subjacentes, pois atua como um meio de captação da água precipitada em toda a superfície permeável (ou semipermeável), diminuindo a perda por escoamento e minimizando o processo de evaporação. Sua mineralogia e espessura são variáveis e guardam íntima relação com a litologia de origem e as condições climáticas atuantes.

As águas subterrâneas desse domínio mostram-se bem menos salinizadas quando comparadas com as do domínio hidrogeológico Fissural (A+B), e mais salinizado quando comparado com o domínio Granular. Apresenta-se com características estruturais semelhantes

as que ocorrem no domínio fissural A, refletindo os traços estruturais das rochas sobrepostas, predominando as fraturas na direção NNE-SSW.

7.4.4 Domínio Hidrogeológico – Granular

O Domínio Hidrogeológico da Cobertura Sedimentar é representado por um aquífero granular, de boa favorabilidade hidrogeológica, sendo constituído de arenitos e argilitos associados a conglomerados de matriz argilosa, de coloração variada. Essas coberturas possuem estruturação interna semelhante à Formação Barreiras. Ocorrem principalmente na parte sudeste, abrangendo o município de Itiruçu e parte dos municípios de Lagedo do Tabocal e Jaguaquara, com espessura média de 60 metros. As águas desse domínio mostram-se com as menores concentrações de sais sendo as águas de melhor qualidade química. Cobre uma área de 201,8 km² perfazendo 6,86 % do total da área

As figuras 7.5 a 7.8, mostram quatro perfis geológico/construtivos dos poços perfurados, representativos de cada domínio hidrogeológico.

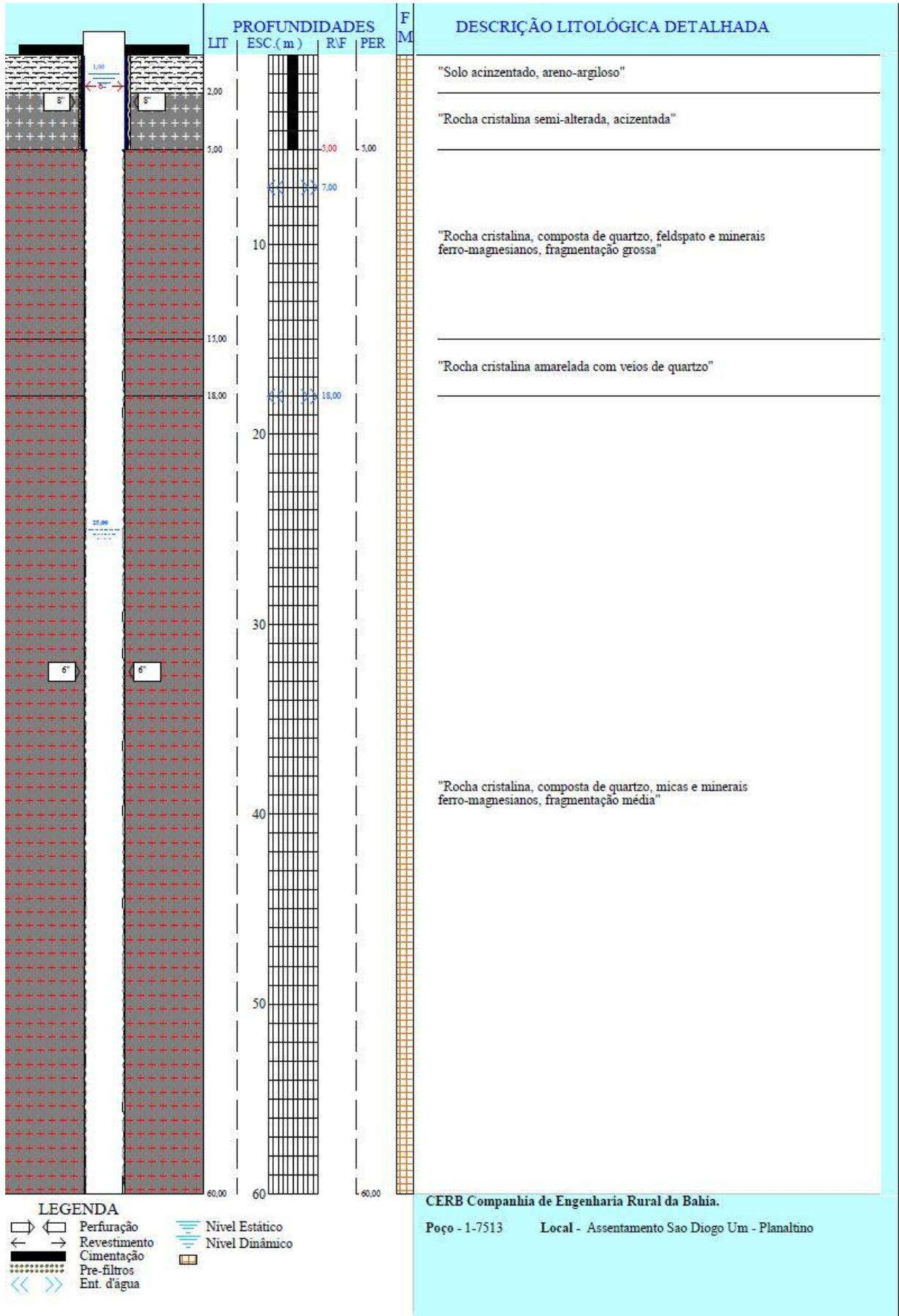


Figura 7.5- Perfil litológico do poço tubular – localidade de Angelica – Planaltino – (Domínio Hidrogeológico Fissural A).

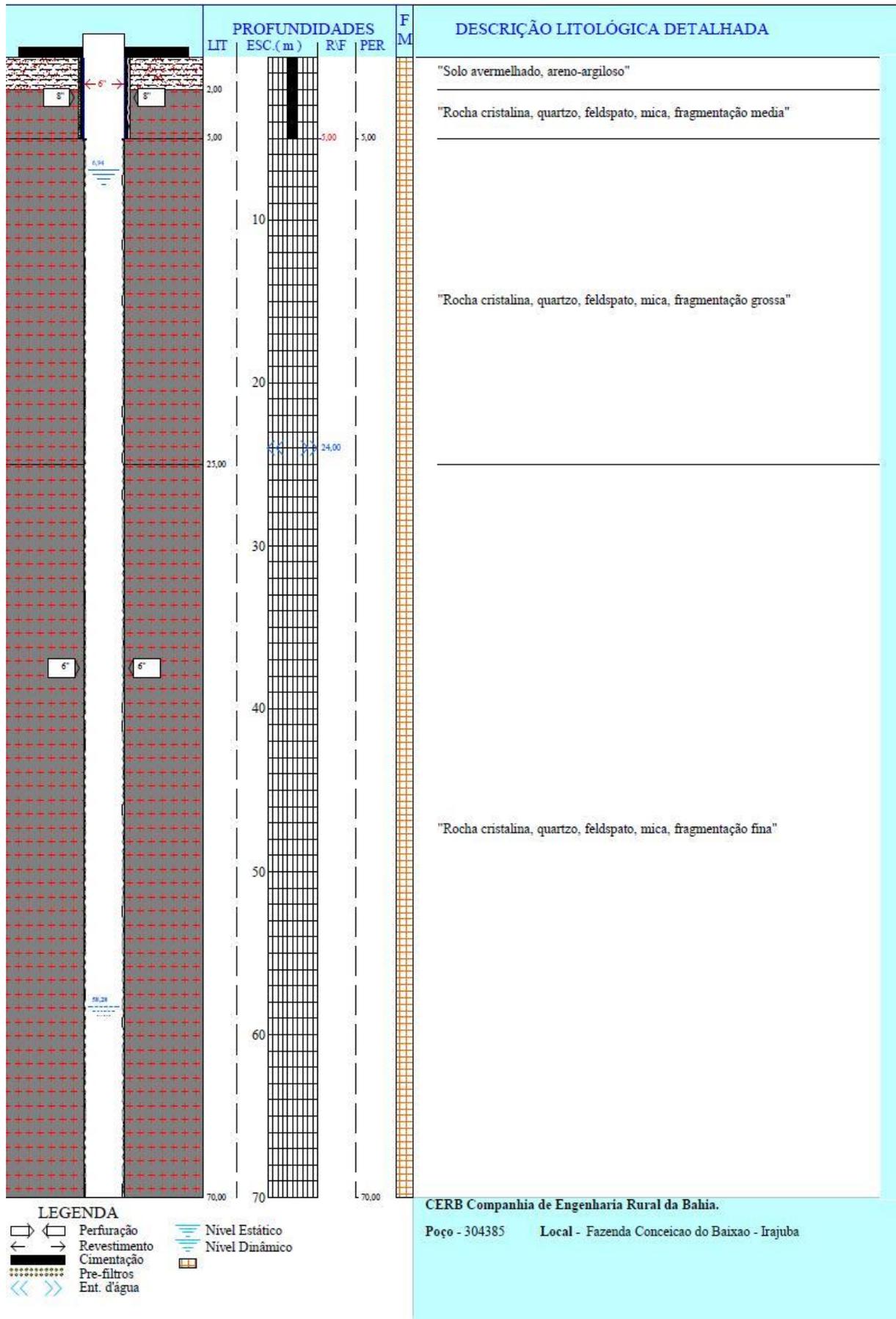


Figura 7.6- Perfil litológico do poço tubular – localidade Faz. Conceição do Baixão – Irajuba – (Domínio Hidrogeológico Fissural B).

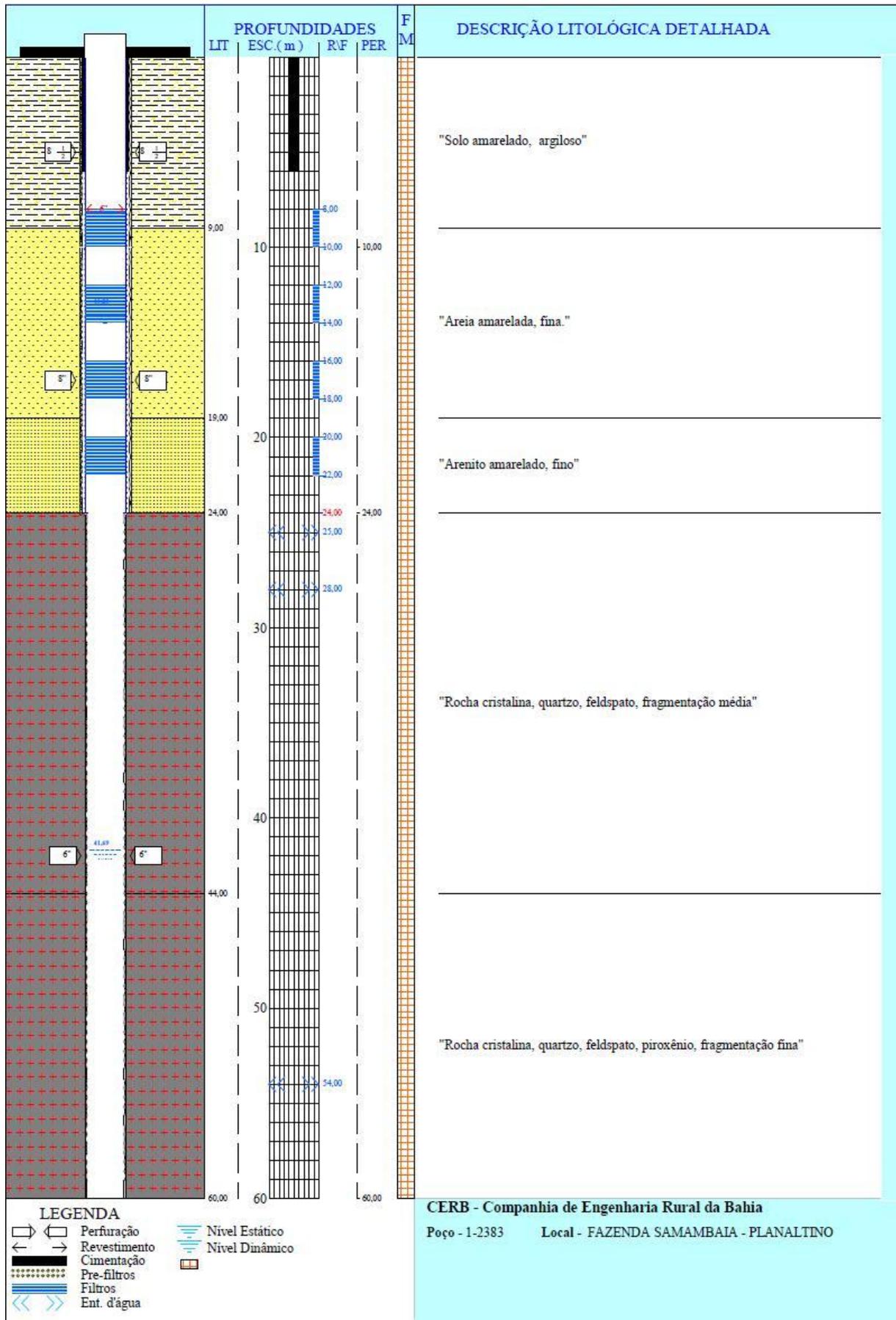


Figura 7.7- Perfil litológico do poço tubular – localidade Faz. samambaia – Planaltino – (Domínio Hidrogeológico Granular/Fissural ou misto).

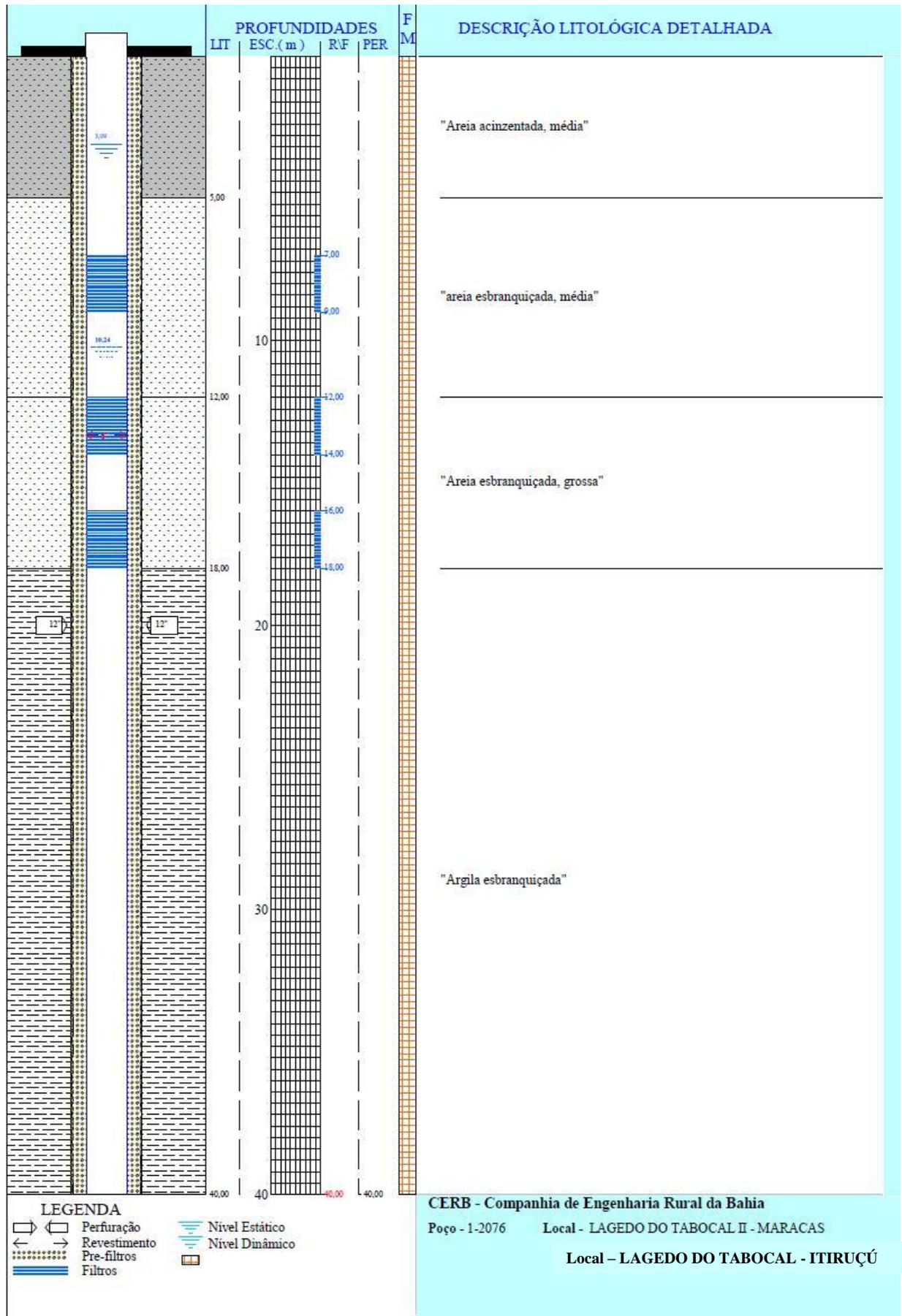


Figura 7.8- Perfil litológico do poço tubular – localidade Lagedo do Tabocal II – Itirucú – (Domínio Hidrogeológico Granular).

7.5 DIFERENCIAÇÃO QUANTITATIVA ENTRE OS DOMÍNIOS HIDROGEOLÓGICOS A, B, GRANULAR/ FISSURAL E GRANULAR

Considerando a capacidade específica o parâmetro que melhor reflete as características hidráulicas dos aquíferos, verifica-se para os 74 poços cadastrados no Domínio Fissural (apêndice 1) o valor médio é de 0,1452 m³/h/m, quando esse domínio é dividido em Domínio Hidrogeológico A, verifica-se para os 44 poços existentes obtêm-se um valor médio de 0,1825 m³/h/m, enquanto para os 30 poços do Domínio Hidrogeológico B, encontrou-se um valor médio de 0,0827 m³/h/m. Utilizando-se da relação entre a frequência da capacidade específica com o número de poços correspondentes para cada domínio hidrogeológico, verifica-se que o aquífero do Domínio Hidrogeológico A apresenta a maior capacidade específica, quando comparado com o domínio B.

A tabela 7.2 mostra os valores das capacidades específicas encontradas para cada domínio hidrogeológico da área. Nas figuras 7.9 e 7.10 são mostrados dados de capacidade específica média dos domínios, onde considerou-se só poços da área e também poços das áreas adjacentes.

Tabela 7.2- Capacidade Específica do Domínio Fissural, dos Sub-Domínios A e B e dos Domínios Granular/Fissural e Granular.

Domínio Hidrogeológico	Valores (m ³ /hora por metro de rebaixamento)			
	Média	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo
Fissural	0,1452	0,1869	0,9224	0,0048
Sub_Domínio Fissural - A	0,1825	0,2708	0,9224	0,0051
Sub_Domínio Fissural - B	0,0827	0,1001	0,4004	0,0048
Granular/Fissural	0,7117	1,0612	2,5883	0,0333
Granular	0,3251	0,1666	0,5909	0,0928

Analisando as capacidades específicas dos poços entre os domínio hidrogeológico A e B, mostrado na tabela 7.2, verifica-se que o valor médio é de 0,1825 m³/h/m, com uma amplitude entre o mínimo de 0,0051 m³/h/m e o máximo de 0,9224 m³/h/m, para o sub-domínio A, indicando que esse sub-domínio é mais favorável à prospecção de água do que o sub-domínio B.

Por outro lado tem-se que, os valores médios das capacidades específicas encontradas revelam que os aquíferos do domínio misto granular/fissural possuem as maiores produtividades, mesmo com a restrita ocorrência em área e o baixo número de poços

perfurados. Portanto, caracteriza-se como um importante aquífero para a solução do déficit hídrico da área. E os aquíferos fissurais das rochas do embasamento, apresentam-se com as menores capacidades específicas da área.

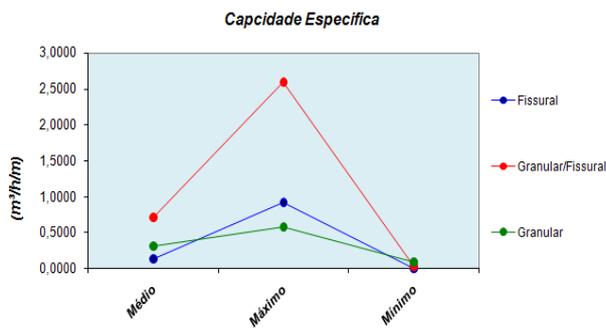


Figura 7.9- Capacidade Específica com os poços da área e áreas adjacentes.

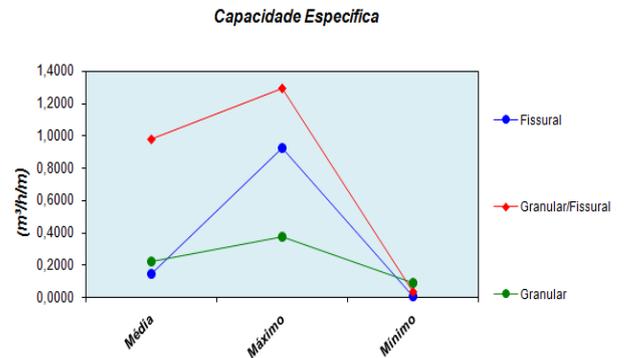


Figura 7.10- Capacidade Específica com os poços da área.

As figuras 7.11 a 7.19, mostram a distribuição da profundidade, vazão e capacidade específica de poços dos domínios hidrogeológicos. A profundidade dos poços é uma propriedade que varia com o tipo de uso ou a necessidade do cliente e tem influência direta nos parâmetros estáticos e dinâmicos aqui mencionados. Os poços que exploram água do domínio fissural tem profundidade média de 66 m, valor mínimo de 40 m e máximo de 92 m.

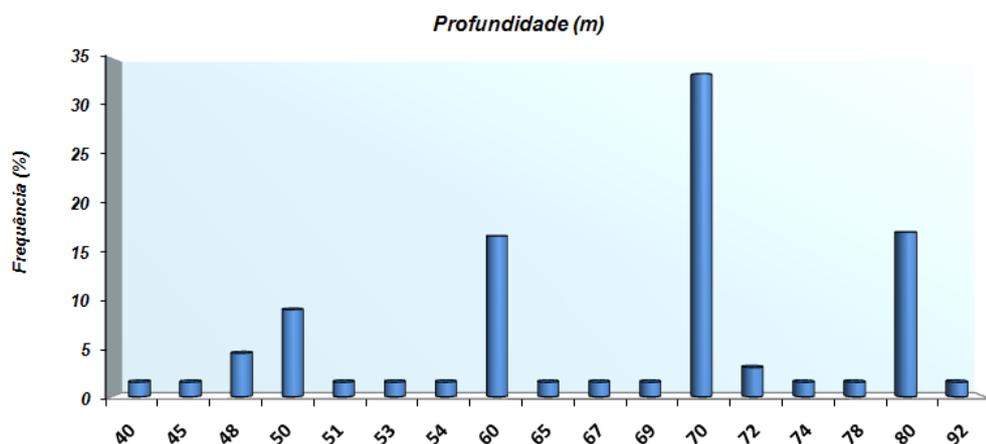


Figura 7.11- Frequência da profundidade dos poços do domínio fissural

No ambiente fissural, o número de poços perfurados pode ter ou não, relação com a vazão. Isto depende de como as fratura ou falhas estão arrumadas, se de forma independente ou conectadas. A vazão dos poços apresenta grande quantidade de valores baixos e pequena quantidade de valores altos, típico dos aquíferos fissurais. A vazão média é de 3,85 m³/h, o

valor mínimo encontrado é de $0,30 \text{ m}^3/\text{h}$ e o valor máximo de $15,22 \text{ m}^3/\text{h}$. A Figura 7.12 abaixo mostra que em aproximadamente 80% dos poços a vazão de estabilização é menor de $6 \text{ m}^3/\text{h}$.

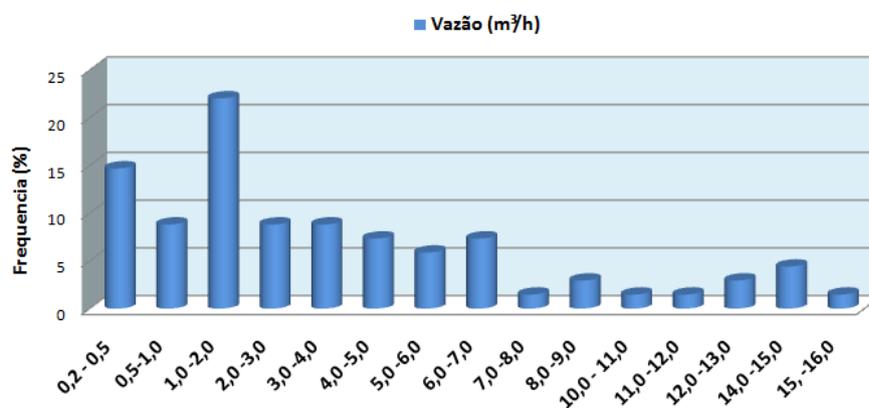


Figura 7.12- Frequência da vazão dos poços do domínio fissural

A capacidade específica é considerada o parâmetro mais representativo da produtividade de um poço. O valor máximo foi de $0,93 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, e o mínimo de $0,0048 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, com média de $0,1402 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. Isso caracteriza o domínio como de produtividade média, comparado aos outros domínios estudados.

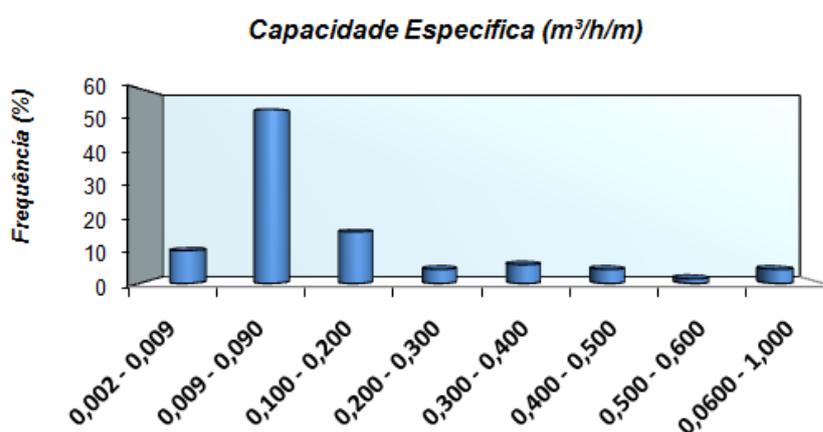


Figura 7.13- Frequência da capacidade específica dos poços do domínio fissural

Os poços que exploram o aquífero misto tem profundidade média de 54 metros, com valor mínimo de 24 m e máximo de 70 m (figura 7.14). A vazão média é de $6,81 \text{ m}^3/\text{h}$, quase o dobro do valor encontrado no domínio fissural, o valor mínimo encontrado é de $0,50 \text{ m}^3/\text{h}$ e o valor máximo $15,53 \text{ m}^3/\text{h}$. A Figura 7.15 mostra que em aproximadamente 50% dos poços a vazão de estabilização é maior de $6 \text{ m}^3/\text{h}$.

Para a capacidade específica o valor máximo foi de $2,5883 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, valor mínimo de $0,0333 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ e valor médio de $0,7117 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ (figura 7.16).

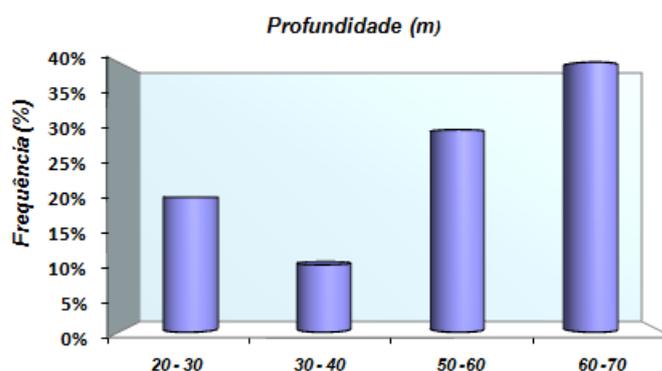


Figura 7.14- Frequência da profundidade dos poços que exploram o Domínio Granular/Fissural

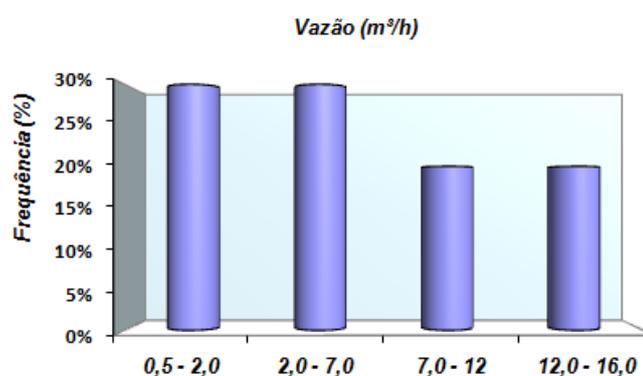


Figura 7.15- Frequência da vazão dos poços que exploram o Domínio Granular/Fissural

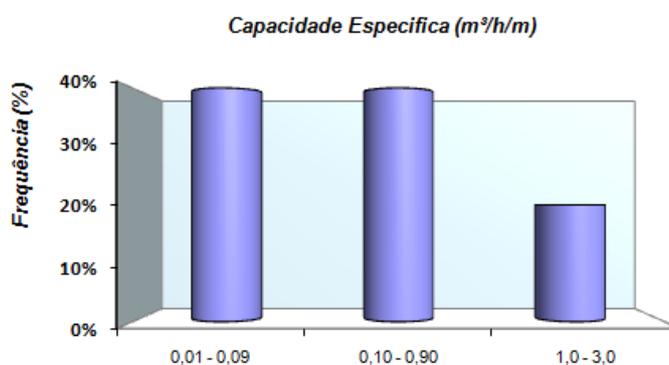


Figura 7.16- Frequência da capacidade específica dos poços que exploram o Domínio Granular/Fissural

A distribuição da profundidade, vazão e capacidade específica dos poços que exploram o domínio granular é mostrado nas figuras 7.17 a 7.19. Observa-se que a profundidade média é de 43,62 m, valor mínimo de 14,25 m e máximo de 63,70 m. A vazão média é de 6,57 m³/h, o valor mínimo encontrado é de 1,44 m³/h e o valor máximo 13,00 m³/h, sendo as vazões menores que o sistema granular/fissural, refletindo a baixa profundidade dos poços neste aquífero e também as características geológicas da formação.

A figura 7.18, mostra que aproximadamente que 50% dos poços a vazão de estabilização é menor de 5 m³/h. Para a capacidade específica o valor máximo foi de 0,5909 m³/h/m, valor mínimo de 0,0928 m³/h/m e médio de 0,3251 m³/h/m.

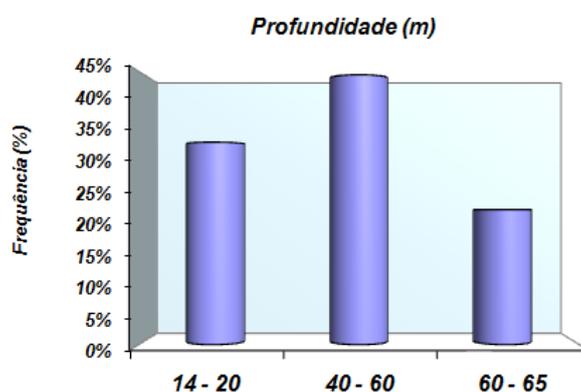


Figura 7.17- Frequência da profundidade dos poços que exploram o Domínio granular

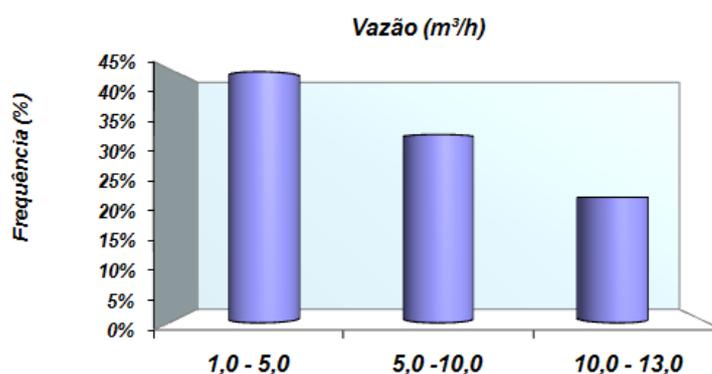


Figura 7.18- Frequência da vazão dos poços que exploram o Domínio granular

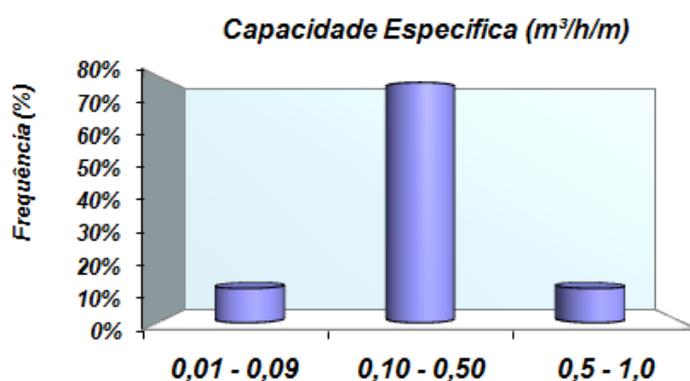


Figura 7.19- Frequência da capacidade específica dos poços que exploram o Domínio granular

A distribuição das profundidades dos poços varia pouco em relação aos domínios **A** e **B**, sendo o valor médio de 67,63 metros para o **A** e 64,04 metros para o **B**. A variação do nível estático (NE) e nível dinâmico (ND), também não apresentam variação significativa,

o mesmo ocorre entre os Domínios Granular/Fissural e Granular, como pode ser observado na tabela 7.3. O parâmetro profundidade do poço não exerce influência direta na produção dos poços, pois não é representativo das características hidráulicas do meio aquífero. A vazão é função unicamente das características de cada zona fraturada e cada uma delas tem características distintas relativamente à produtividade de água.

Tabela 7.3- Mostra a variação do Nível Estático (NE), Nível Dinâmico (ND) e Profundidade dos poços no Domínio Fissural, nos Sub-Domínios A, B e nos Domínios Granular/Fissural e Granular.

	Domínio Hidrogeológico	Valores		
		Média	Máximo	Mínimo
Fissural	Profundidade (m)	65,68	92,00	40,00
	NE (m)	3,54	18,10	0,00
	ND (m)	44,91	65,84	20,50
Sub_Domínio Fissural - A	Profundidade (m)	67,63	92,00	48,00
	NE (m)	3,59	15,02	0,00
	ND (m)	44,81	65,84	20,50
Sub_Domínio Fissural - B	Profundidade (m)	64,04	80,00	40,00
	NE (m)	2,40	9,69	0,00
	ND (m)	46,00	64,00	23,20
Granular/Fissural	Profundidade (m)	54,20	70,00	24,00
	NE (m)	6,33	22,49	0,43
	ND (m)	28,50	56,35	8,00
Granular	Profundidade (m)	43,62	63,70	14,25
	NE (m)	6,58	33,40	0,56
	ND (m)	26,48	54,63	10,24

A figura 7.20 mostra a diferença de vazão entre os sub-domínios **A** e **B**, sendo essa diferença de vazão basicamente em função das características estruturais, uma vez que as condições climáticas e geológicas da área são semelhantes.

Nos domínios granular/fissural e granular a diferença de vazão se dá em função dos poços do domínio granular/fissural situarem-se em faixas de maior concentração de fraturamento, sempre associados a eventos geológicos estrutural e possui uma cobertura de composição arenosa, com seção filtrante nessa cobertura e entrada de água no embasamento, enquanto que no domínio granular a composição é mais argilosa, diminuindo a permeabilidade deste domínio como consequência tem-se a diminuição das vazões.

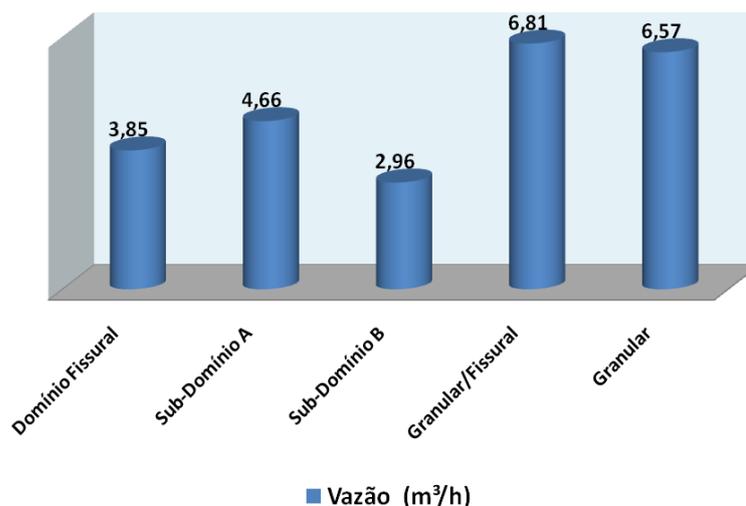


Figura 7.20- Gráfico mostrando a diferença de vazão entre o domínio fissural, sub-domínios A, B e domínios granular/fissural e granular

É fundamental, no entanto, no estudo hidrogeológico de aquíferos, a definição das entradas d'água mais profundas dos poços, pois é ela que vai definir a profundidade útil do poço e não a profundidade deste. As quantidades das entradas d'água nos poços dependem substancialmente dos esforços tectônicos aos quais as rochas foram submetidas e das respostas destas aos esforços. Estes esforços estão relacionados à pressão litostática, em consequência do peso dos materiais sotopostos e principalmente à tectônica de placas, onde o movimento de placas litosféricas constitui a fonte principal dos esforços atuantes nas rochas como descrito no capítulo 3. Assim, em maiores profundidades, onde reinam altas pressões e temperaturas, o meio rochoso se comporta de maneira dúctil e as estruturas geradas são caracterizadas por dobras e recristalização de minerais. Nas porções mais superficiais da crosta, devido à pressão e temperatura serem mais amenas, os litotipos sofrem uma deformação rúptil representadas por fraturas diversas. Estudos hidrogeológicos em terrenos cristalinos concentram-se na porção da crosta onde atua a deformação rúptil, tendo em vista que a deformação que envolve a plasticidade dos maciços rochosos (dúctil) diminui as condições de permeabilidade destes, ou seja, quanto mais rígidas (rúptil) as rochas, maior a possibilidade da existência de fraturas, aumentando a probabilidade de se encontrar água nas mesmas, como acontece no sub-domínio A.

Na tabelas 7.4 é mostrado os parâmetros de alguns dos poços localizados nos sub-domínios A e B, a relação de vazão com a direção dos fraturamentos e as profundidades úteis dos poços.

Tabela 7.4- Poços cadastrados nos sub-domínios A e B .

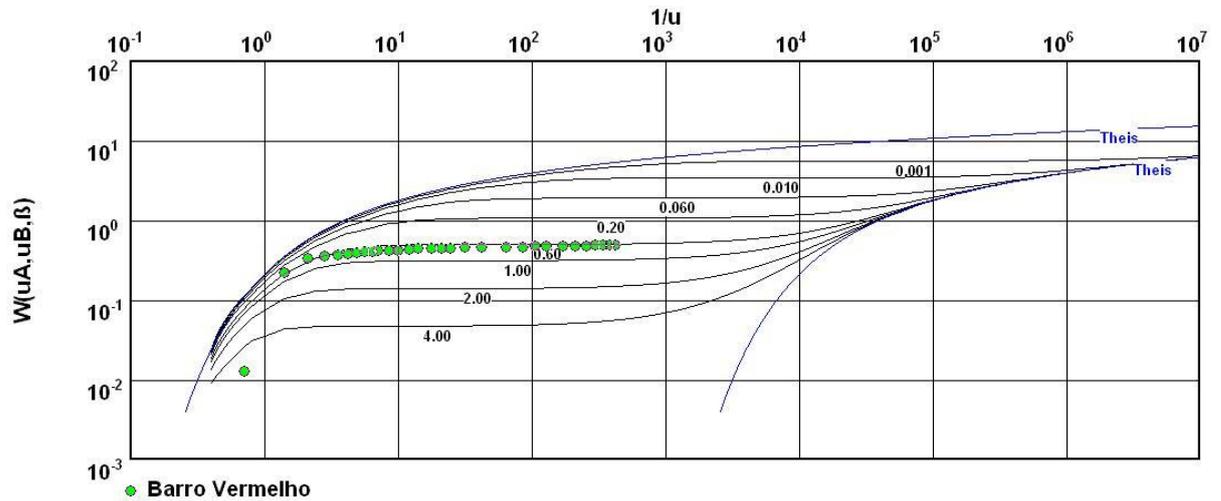
Município	Localidade	Direção principal dos Fraturamento	Profundidade (m)	Entradas de Água (m)	Vazão (m ³ /h)	
PLANALTINO	BARRO VERMELHO	Leste-Oeste	70,00	36, 43	1,040	Sub-Domínio A
MARACÁS	FAZ. SANTO ANTÔNIO	NE-SW	50,00	22, 27	14,000	
MARACÁS	FAZ. ALIANÇA	NE	80,00	12, 17, 48	4,932	
MARACÁS	FAZ. ABERTURA DOIS	Leste-Oeste	92,00	19, 27, 82	1,188	
MARACÁS	FAZ. ABERTURA DOIS	Leste-Oeste	60,00	26	0,648	
JAGUAQUARA	BAIXAO DE IPIUNA	NW-SE	80,00	25	1,700	
MARACÁS	ASSENT. BOQUEIRÃO	NE	54,00	18, 28	3,000	
PLANALTINO	ASSENT.SÃO DIOGO	NE-SW	60,00	7, 18	15,000	
LAJEDO DO TABOC	CALEMBE	Leste-Oeste	72,00	35	0,249	
IRAJUBA	FAZ. CONCEIÇÃO DO BAIXÃO	Leste - Oeste	70,00	24	1,296	
JAGUAQUARA	FAZ. TATU	Norte-Sul	50,00	14	1,235	
IRAJUBA	CHARCO	NW-SE	50,00	38	5,000	
PLANALTINO	FAZ. SENHOR DO BONFIM	NW-SE	60,00	46, 54	2,988	
NOVA ITARANA	SEDE	NE-SW	47,50	24, 26, 29	2,808	

Considerando-se as entradas d' água como parâmetro para definir a profundidade útil do poço, temos na área de pesquisa o valor médio de 35 m para o domínio fissural. Nos subdomínios A e B, tem-se valores médio de 36 m e 31 m respectivamente. Para o domínios granular/fissural o valor médio é 35 m e granular observando-se as posições dos filtros valor médio encontrado é de 41 m. Observa-se também, que as fraturas de tração (NE-SW) tendem a ser mais abertas que as de cisalhamento (L-W) e, por isto, apresentam maior capacidade de armazenamento, funcionando como drenos que coletam a água de fraturas menores. Neste caso, as fraturas com direção NE e NW são fraturas de tração mais abertas em relação as demais fraturas. Percebe-se que as fraturas com direção Leste-Oeste são fraturas de cisalhamento, fechadas que não armazenam água em quantidade significativas e/ou não há interconexões entre essas fraturas. Embora exista controle litológico na produtividade dos poços que exploram os sub-domínios A e B, os aspectos estruturais no caso específico da área exerce maior controle na produtividade. Este fato foi demonstrado no capítulo 5, na descrição dos domínios estruturais.

7.6 CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS

Para a determinação dos parâmetros dos poços perfurados, foram utilizados os resultados dos testes de bombeamento, que avalia a capacidade produtiva do aquífero. Os resultados dos testes foram interpretados com o auxílio do programa Aquifer Test, e inserido no programa dados como: nível estático, vazão de teste, espessura do aquífero, tempo de

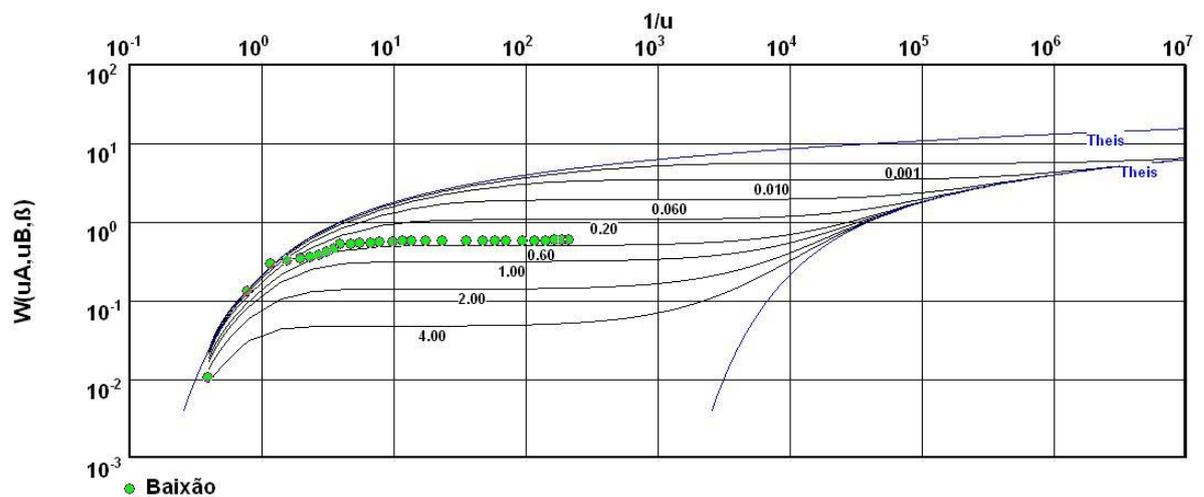
bombeamento e rebaixamento. Para cada domínio hidrogeológico foi calculado a transmissividade, armazenamento e condutividade hidráulica. As figuras 7.21 a 7.24, representam curvas obtidas com a utilização do aplicativo matemático, onde utilizou-se o método de Cooper & Jacob, Hantush e Theis.



Transmissividade (m^2/mim) : $1,22 \times 10^{-3}$

Coefficiente de Armazenamento: 1.11×10^{-4}

Figura 7.21- Interpretação do teste de vazão pelo método de Hantush – Poço 1-2118 – Sub-Domínio Fissural A



Transmissividade (m^2/mim) : $2,48 \times 10^{-4}$

Coefficiente de Armazenamento: 1.01×10^{-3}

Figura 7.22- Interpretação do teste de vazão pelo método de Hantush – Poço 1-3043 – Sub-Domínio Fissural B

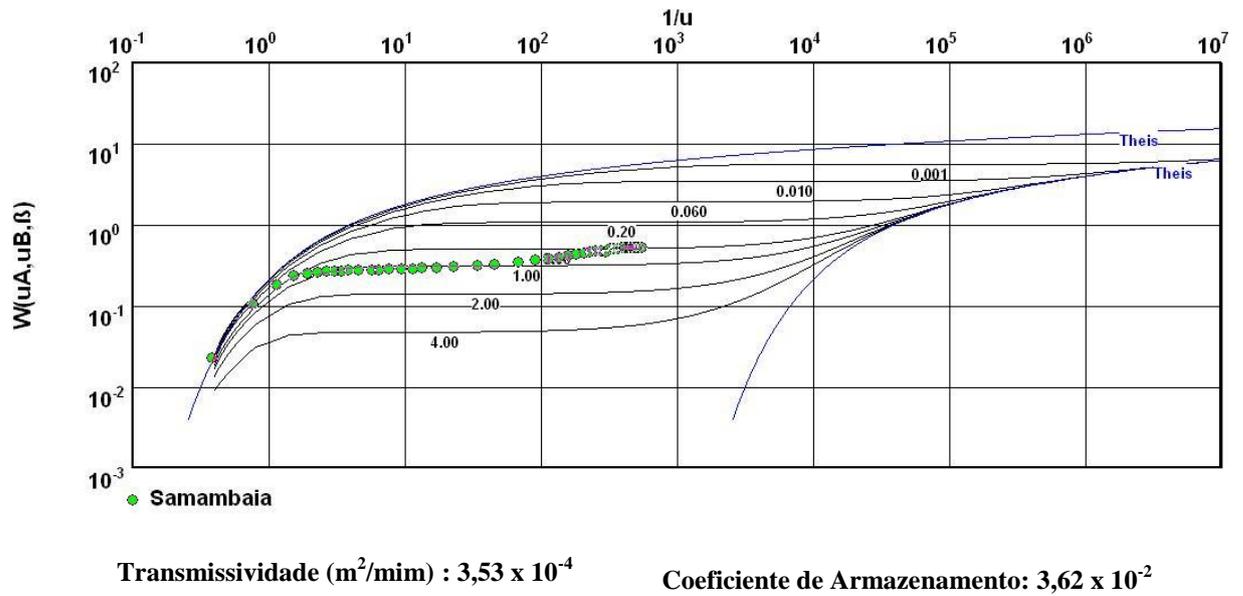


Figura 7.23- Interpretação do teste de vazão pelo método de Huntush – Poço 1-2383 – Domínio Granular/Fissural

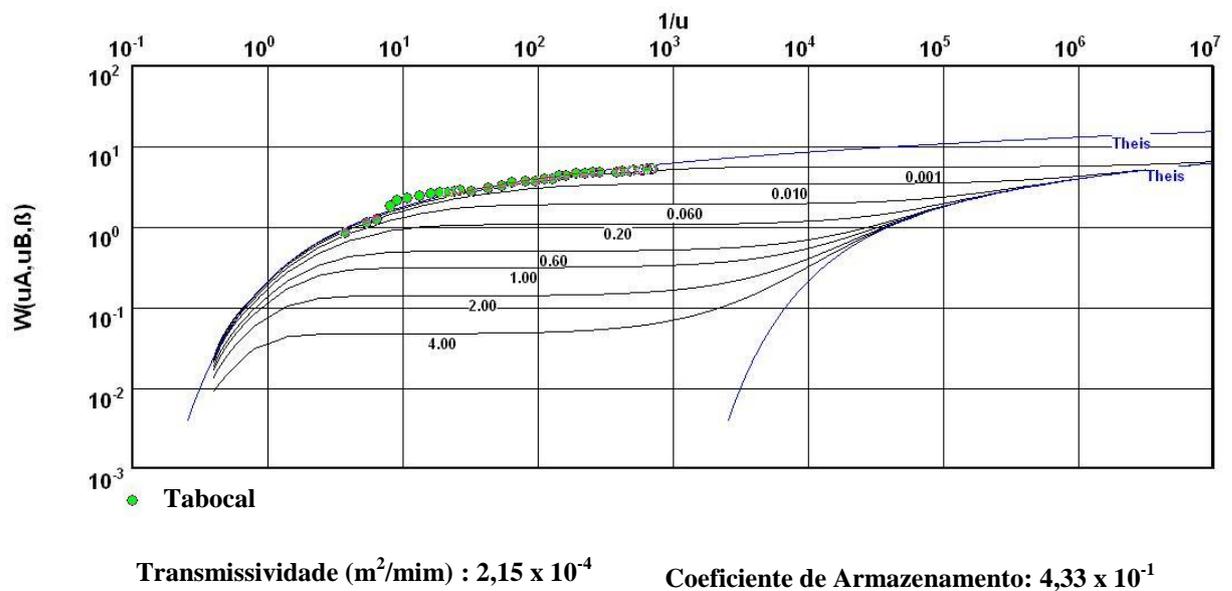


Figura 7.24- Interpretação do teste de vazão pelo método de Huntush – Poço 1-2067 – Domínio Granular

Os valores de transmissividade, armazenamento e condutividade hidráulica encontrados para o fissural, estão dentro da faixa de valores encontrados em outros estudos realizados na Bahia e Nordeste, a exemplo de trabalhos realizados por: Manoel F° (1996), Vidal (2003), Nascimento (2008) e Negrão (2007).

A transmissividade no Domínio Fissural é maior que no Domínio Granular/Fissural e Granular, sendo a transmissividade do Fissural A, maior em função deste Domínio ter maior fraturamento, por outro lado é o que apresenta o menor armazenamento. O Domínio Granular é o que apresenta maior armazenamento em função da sua maior porosidade e por sua composição mais argilosa, sendo também a que possui menor transmissividade.

Os valores de transmissividade no domínio fissural variam de $2,95 \times 10^{-5}$ m²/mim a $1,22 \times 10^{-3}$ m²/mim. Já o armazenamento tem uma variação de $7,94 \times 10^{-4}$ a $2,98 \times 10^{-2}$. No domínio granular/fissural os valores variam de $4,39 \times 10^{-5}$ m²/mim a $2,15 \times 10^{-4}$ m²/mim e o armazenamento de uma variação de $5,96 \times 10^{-4}$ a $3,62 \times 10^{-2}$. Para o granular a variação encontrada é $7,11 \times 10^{-5}$ m²/mim a $3,63 \times 10^{-3}$ m²/mim, sendo a variação do armazenamento de $1,02 \times 10^{-4}$ a $4,33 \times 10^{-1}$. Os valores encontrados para a condutividade hidráulica não diferenciaram significativamente entre os domínios, apresentando variação de $5,29 \times 10^{-6}$ m/mim a $1,66 \times 10^{-5}$ m/mim.

7.7 POTENCIALIDADES E RESERVAS DOS DOMÍNIOS HIDROGEOLÓGICOS

A avaliação das reservas subterrâneas permanentes e reguladoras, das potencialidades e disponibilidades de aquíferos, é grandemente dificultada pela insuficiência de dados e estudos básicos de hidrogeologia

Nas avaliações que se segue tomou-se como base dados locais, como precipitação média sobre os domínios, área de ocorrência destes, dados de poço contidos no cadastro, além de dados de porosidade e taxas de infiltração (recarga) estimada com base em experiências de outras áreas do Nordeste Brasileiro. Adotamos em nossa avaliação a linha metodológica proposta por Costa (1998). Essa metodologia também foi usada na avaliação de reservas dos domínios aquíferos do Estado da Bahia por Guerra & Negrão para o Plano Estadual de recursos Hídricos (Bahia, 2003). Normalmente usa-se a diferença entre o nível dinâmico e o nível estático para determinar a espessura saturada de aquíferos ou adota-se a profundidade útil do poço como espessura saturada.

Neste trabalho para efeito de cálculos de reserva permanente, adotou-se duas metodologias distintas: i) utilizando-se dos dados dos poço, determinou-se a espessura saturada dos aquíferos, usando a diferença entre as profundidades úteis dos poços e os níveis

estáticos destes; ii) usando os resultados obtidos com o estudo da geofísica, onde utilizou-se a diferença da profundidade ao topo do embasamento e o nível estático inferido nos perfis geoeletricos. Na tabela 7.5 é mostrado os valores das espessuras de saturação nos diferente domínios, usados nos cálculos de reservas.

Tabela 7.5- valor estimado da espessura saturada nos domínios aquíferos

Domínio Hidrogeológico	Espessura saturada (m)	
	Entrada de água - nível estático do poço	Topo do embasamento - nível estático do perfil geoeletrico - SEV
fissural	31 m	34 m
Fissural A	32 m	39 m
Fissural B	28,5	29 m
Granular/Fissural	28,5	41 m
Granular	34,5 m	59 m

Adotou-se a porosidade média de 1% para o domínio fissural. Poderíamos usar também como taxa de recarga média 1%. Estes valores são médios regionalizados utilizados para o embasamento cristalino do Nordeste. Deve-se considerar sempre, que existem situações localizadas, normalmente associadas a eventos geológicos de ordem estrutural, cujos valores dos parâmetros utilizados nestes cálculos se diferem em muito das médias regionais. Para o domínio granular/fissural, usou-se como porosidade média 1,5% e infiltração de 1,2% no granular a porosidade de 5% e taxa de infiltração de 10%

Reserva Permanente - Rp. (Domínio Fissural)

a) $R_p = (A \cdot b \cdot \mu)$, ou b) $R_p = 10 (A \cdot P \cdot I)$, em que:

A - área de ocorrência - 2.585 km².

b - espessura saturada média - 31 m.

μ - porosidade efetiva 1%

P - precipitação média - 671 mm/ano.

I - taxa de infiltração média - 1%.

As duas fórmulas conduzem a valores de ordem de grandeza próximos, diferenças significativas resultam da imprecisão nos valores dos dados, especialmente da porosidade efetiva ou da taxa de infiltração. Desta forma, para o cálculo da reserva permanente, optou-se pela fórmula **a**, em virtude de não termos um monitoramento do nível potenciométrico, onde poderíamos obter o volume de água acumulado e calcular a real taxa e infiltração.

$$R_p = (A \cdot b \cdot \mu) \text{ logo: } R_p = (2585000000 \times 31 \times 0,01)$$

$$R_p = 801.350.000 \text{ m}^3$$

Reserva Reguladora – R_r

$$R_r = A \cdot P \cdot I \quad \text{Em que:}$$

A - área de ocorrência - 2.585 km².

P - precipitação média - 671 mm/ano.

I - taxa de infiltração média - 1.%.

$$R_r = A \cdot P \cdot I (2.585.000.000 \times 0,671 \times 0,01)$$

$$R_r = 17.345.350 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Potencialidade – P_o.

Convencionalmente usa-se como potencialidade a própria reserva reguladora acrescida de 15%. Neste caso temos:

$$P_o = R_r \times 15\%$$

$$P_o = 17.345.350 \times 15\%$$

$$P_o = 19.947.152 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Disponibilidade Efetiva Instalada

$$D_{ei} = n \cdot Q_m \quad \text{em que:}$$

n = número de poços

Q_m – vazão média dos poços

$$D_{ei} = N \times Q \times 6/24 \text{ horas} \times 365 \text{ dias}$$

$$D_{ei} = 74 \text{ poços} \times 3,85 \text{ m}^3/\text{h} \times 1.460 \text{ horas}$$

$$D_{ei} = 415.954 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Na tabela 7.6 é mostrado os valores das reservas, potencialidades e disponibilidades, encontrados nos diferentes domínios hidrogeológicos da área estudada. Pode-se observar que os percentuais do potencial explorável são pequenos, destacando-se o aquífero granular.

Tabela 7.6- valores das reservas e potencialidades nos diferentes domínios aquíferos da área.

Domínio Hidrogeológico	Reserva Permanente m ³	Reserva Reguladora m ³ /ano	Potencialidade m ³ /ano	Disponibilidade Efetiva m ³ /ano
Metodologia 1: Diferença entre a profundidade útil do poço e o nível estático				
Fissural	801.350.000	17.345.350	19.947.152	415.954
Sub-domínio A	320.640.000	6.723.420	7.731.933	299.358,4
Sub-domínio B	451.155.000	10.621.930	12.215.219	129.648
Granular/Fissural	66.253.950	1.247.899	1.435.083,8	109.368,6
Granular	343.060.000	13.540.780	15.571.897	86.329.8
Metodologia 2: Dados obtidos com a interpretação geofísica				
Fissural	878.900.000	17.345.350	19.947.152	415.954
Sub-domínio A	390.780.000	6.723.420	7.731.933	299.358,4
Sub-domínio B	459.070.000	10.621.930	12.215.219	129.648
Granular/Fissural	95.312.700	1.247.899	1.435.083,8	109.368,6
Granular	595.310.000	13.540.780	15.571.897	86.329.8

Observa-se um aumento significativo de aproximadamente 10% das reservas permanentes, quando compara-se as duas metodologias, principalmente no domínio granular em função da maior espessura de saturação. O valor da disponibilidade efetiva é pequena em todos os domínios, quando comparado com a reserva reguladora e a potencialidade.

7.8 POTENCIOMETRIA E DISPONIBILIDADE HÍDRICA

A avaliação do fluxo subterrâneo foi realizada a partir da elaboração de mapas isotenciométricos, considerando os dados de nível estático dos poços, medidos na época de sua perfuração e os valores de altimetria no local de cada poço (Figura 7.25). Nota-se que as linhas de fluxo convergem para o centro da área, principalmente nos domínios fissural A, granular e misto, tendo esses domínios maior circulação de água, sendo também mais vulneráveis, principalmente o domínio A.

Os principais divisores de água subterrânea situa-se nas porções sudoeste e sudeste da área, onde os fluxos possuem movimento radial e convergente, sendo essa região a principal zona de recarga dos aquíferos.

As principais linhas de escoamento e convergência, situam-se nas porções sudoeste, sudeste, tendo as principais direções de fluxo ocorrendo preferencialmente nos sentidos SW-NE.

Para a elaboração do mapa de disponibilidade, usou-se valores da capacidade específica de cada poço. A disponibilidade das águas subterrâneas na área é um indicador associado à potencialidade dos domínios aquíferos (figura 7.26). A disponibilidade de água nos aquíferos está condicionada a fatores como: qualidade das águas; sucesso na locação; tecnologia na construção de poços e capacidade de armazenamento.

O mapa da disponibilidade mostra que as capacidades mais altas, entre 0,197m³/h/m e 1 m³/h/m, estão concentradas nos domínios granular, granular/fissural e fissural A. As capacidades baixas entre 0,02 m³/h/m e 0,047 m³/h/m são mais freqüentes no domínio fissural B, sendo o domínio granular, em função da características geológicas, o que possui maior potencialidade e disponibilidade. Usando a capacidade específica como indicador, a produtividade do alto Jiquiriçá se enquadra como de fraca a média.

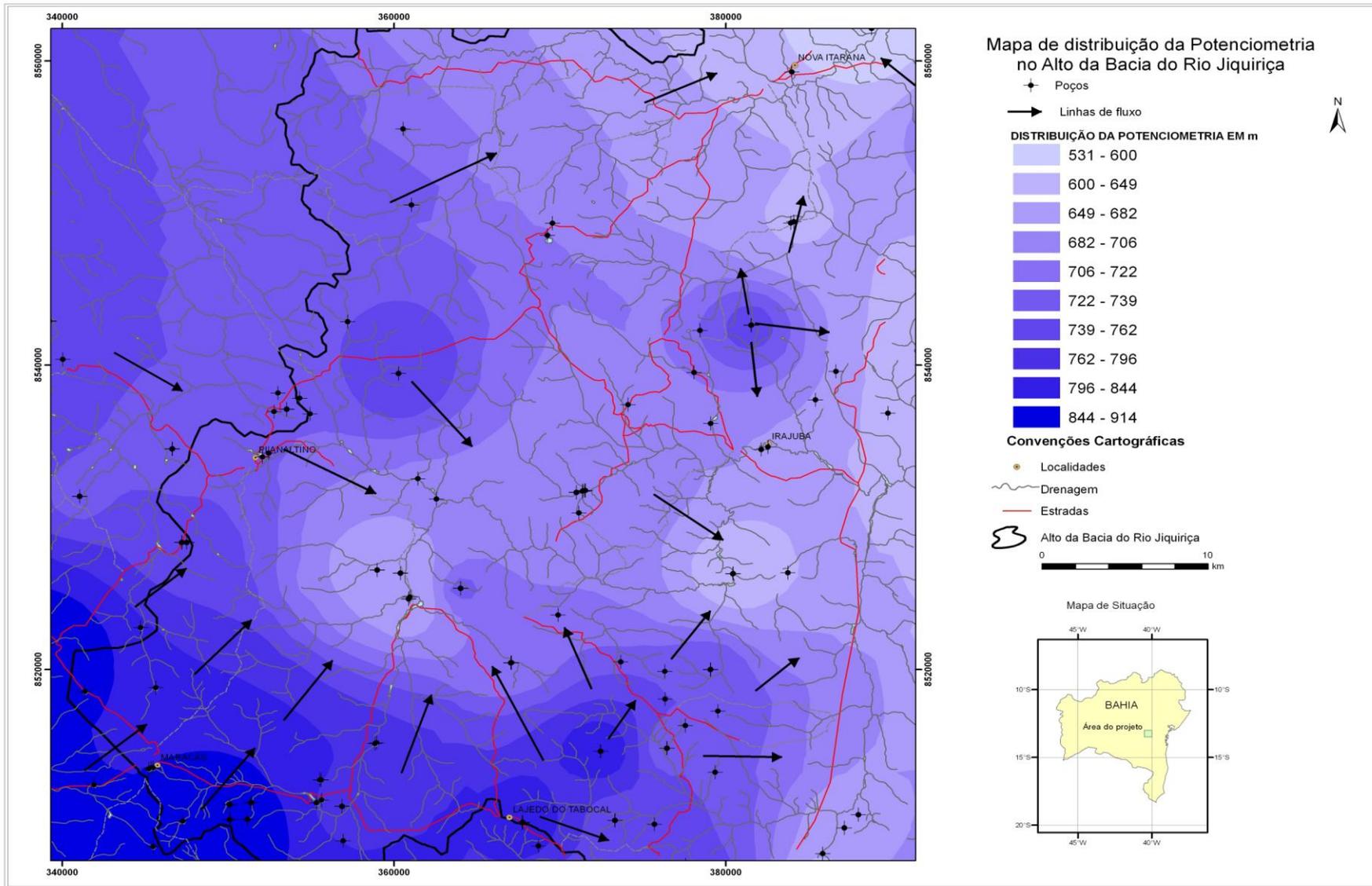


Figura 7.25 – mapa potenciométrico do alto da bacia do rio Jiquiriçá.

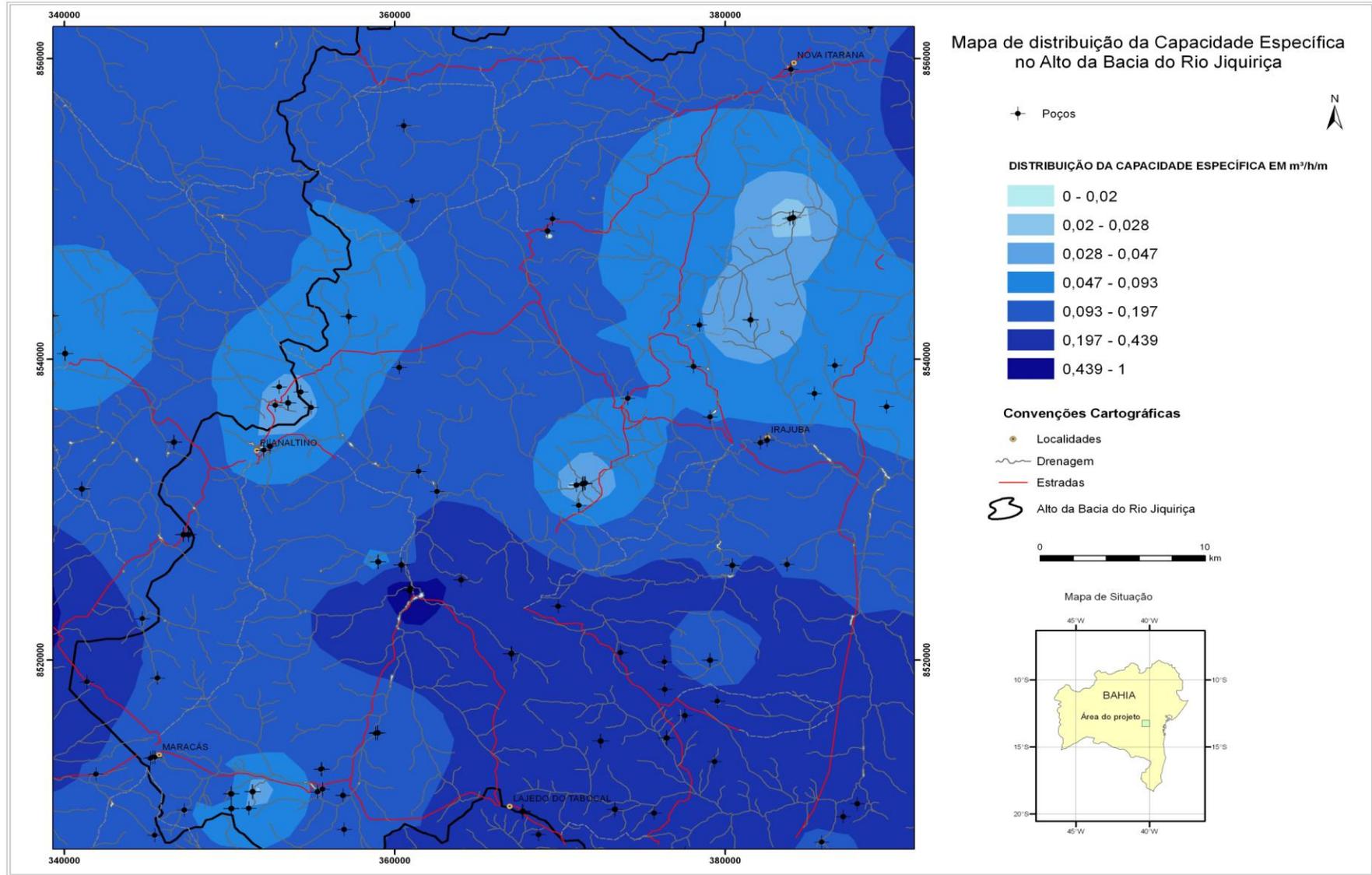


Figura 7.26 – mapa potenciométrico do alto da bacia do rio Jiquiriçá.

7.9 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA DOS DOMÍNIOS AQUÍFEROS

O estudo hidrogeoquímico tem como finalidade a caracterização da composição química das águas dos domínios aquíferos e conseqüentemente a avaliação de sua potabilidade. Para tanto, são utilizados parâmetros físicos tais como, cor, turbidez, pH, condutividade elétrica e dureza, e químicos como cloretos, ferro, magnésio, sílica, flúor, sulfatos e nitratos. A característica hidrogeoquímica das águas está diretamente relacionada ao clima da área, às litologias dos aquíferos, à recarga, à profundidade, ao fluxo da água e ao tempo de permanência da água no sistema.

Para a caracterização da composição química da água subterrânea, foram analisadas e determinadas as concentrações de 15 parâmetros. Os resultados das análises das águas são apresentados no apêndice 2. A partir dos resultados obtidos, as concentrações dos elementos foram comparadas aos valores máximos permitidos pelos padrões de potabilidade da água para consumo humano, segundo a Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde. Como o objetivo das análises era determinar a assinatura da água subterrânea, ressaltamos que as amostras não foram filtradas. A filtração das amostras é indispensável quando se pretende avaliar apenas a fração solúvel dos metais.

As características geoquímicas das águas subterrâneas naturais refletem os meios por onde percolam, guardando uma estreita relação com os tipos de rochas e com os produtos das atividades humanas (ex: efluentes líquidos industriais e domésticos, vazamentos de depósitos de combustíveis, depósitos de lixo doméstico, etc) adquiridos ao longo de seu trajeto. Nas proximidades dos centros urbanos encontra-se uma forte marca dessas atividades na qualidade química das águas. Esta relação é em particular marcante onde predominam os aquíferos do tipo fissural, passíveis de serem facilmente influenciados por atividades humanas.

As águas subterrâneas tendem a ser mais ricas em sais dissolvidos do que as águas superficiais. As quantidades presentes refletem não somente os substratos rochosos percolados mas variam também em função do comportamento geoquímico dos compostos químicos envolvidos. Como há sensíveis variações nas composições químicas das rochas, é de se esperar uma certa relação entre a composição da água e das rochas preponderantes na área estudada.

É necessário, contudo, frisar que o comportamento geoquímico dos compostos e elementos é o fator preponderante na sua distribuição nas águas (Deutstch, 1997; Zimbres, 2003 *in* Santos 2005). Tal característica pode ser ilustrada pelo comportamento do sódio e do potássio, pois são dois elementos que ocorrem com concentrações muito próximas na crosta continental e participam em quantidades sensivelmente diferentes nas águas subterrâneas.

O potássio é um elemento químico que ocorre em pequena quantidade nas águas subterrâneas, pois é facilmente fixado pelas argilas e intensivamente absorvido pelos vegetais. Dentre os seus principais minerais fontes destacam-se o feldspato potássico, moscovita e biotita, que são menos resistentes aos intemperismo físico e químico. Nas águas subterrâneas seu teor médio geralmente é inferior a 10mg/l, sendo mais freqüente valores entre 1 e 5 mg/l.

O sódio é um elemento químico quase sempre presente nas águas subterrâneas. Seus principais minerais fonte (feldspatos plagioclásios) são pouco resistentes aos processos intempéricos, principalmente os químicos. Os sais formados nestes processos são muito solúveis. Nas águas subterrâneas o teor médio de sódio varia entre 0,1 e 100 mg/l, sendo que há um enriquecimento gradativo deste metal a partir das zonas de recarga.

O teor de cálcio nas águas subterrâneas varia, de uma forma geral, de 10 a 100 mg/l. As principais fontes de cálcio são os plagioclásios cálcicos, calcita, dolomita, apatita, entre outros. As águas subterrâneas de aquíferos cársticos apresentam valores mais elevados de cálcio que os aquíferos fissurais de rochas cristalinas, devido a presença de minerais mais facilmente solúveis em água, como a calcita e dolomita.

Bicarbonato (HCO_3) – Este íon não se oxida nem se reduz em águas naturais, porem pode se precipitar com muita facilidade como carbonato de cálcio.

O cloreto está freqüentemente presente em teores inferiores a 100 mg/l, formando compostos muito solúveis e tende a se enriquecer, junto com o sódio, a partir das zonas de recarga das águas subterrâneas. O cloreto é um íon que possui características que lhe confere grande utilidade na interpretação das análises das águas subterrâneas, pois estão presentes em vários tipos de rochas em baixas concentrações, não participa de forma significativa em reações de oxiredução, não forma nenhum complexo com outros íons, a menos que a concentração seja extremamente alta, não forma sais de baixa solubilidade e não são

adsorvidos de forma significativa nas superfícies minerais. Estas características o tornam um íon muito pouco reativo.

O ferro é um elemento persistentemente presente em quase todas as águas subterrâneas em teores abaixo de 0,1mg/l. Suas fontes naturais são os minerais escuros (máficos) portadores de ferro, tais como: magnetita, biotita, pirita, piroxênios e anfibólios. Em virtude de afinidades geoquímicas, o ferro quase sempre é acompanhado pelo manganês que ocorre nas águas naturais com teores geralmente abaixo de 0,1 mg/l (Deutsch, 1997).

O magnésio é um elemento cujo comportamento geoquímico é muito parecido com o do cálcio e, em linhas gerais, acompanha este elemento nas águas subterrâneas. Diferentemente do cálcio, contudo, forma sais mais solúveis. Os minerais mais comuns fornecedores de magnésio para as águas subterrâneas são: biotita, anfibólios e piroxênios. Estes minerais são mais estáveis diante do intemperismo químico, do que os minerais fornecedores de cálcio, por isso seu teor nas águas subterrâneas é significativamente menor. Nas águas subterrâneas ocorre com teores entre 1,0 e 40,0 mg/l. O magnésio, depois do cálcio, é o principal responsável pela dureza das águas.

Nas águas subterrâneas os nitratos ocorrem em teores em geral abaixo de 5,0 mg/l. Nitritos são ausentes, pois são rapidamente convertidos a nitrato pelas bactérias. Assim, pequenos teores de nitrito é sinal de poluição orgânica recente.

O balanço iônico dos principais cátions e ânions analisados para as águas subterrâneas do alto Jiquiriçã apresentou valores dentro da faixa de erro recomendado, que é de até 10%. Quando este valor excede essa faixa, é porque pode haver falta de informações ou erros de amostragem e no acondicionamento das amostras. Nas tabelas 7.7, 7.8 e 7.9, são mostrados os valores dos principais cátions e ânions das águas subterrâneas coletadas nos diferentes domínios hidrogeológico do alto Jiquiriçã. De modo geral, observa-se que as águas subterrâneas do alto jiquiriçã apresentam altas concentrações de Na, Ca, Mg, Fe, e Cl e menores valores de K, SO₄, HCO₃, Mn e NO₃.

As águas do domínio Granular apresentam as menores concentrações de cátions e ânions, estando todos os valores das análises dentro da faixa de erro. Os valores negativos encontrados no balanço iônico, se devem em função da elevada concentrações dos

parâmetros, principalmente os ânions. A comparação dos resultados da amostragem, realizadas no período chuvoso e no seco, revelam em geral não haver variações significativas no padrão geral de concentrações dos parâmetros analisados.

Capítulo 7 – Caracterização Hidrogeológica e Hidroquímica

Tabela 7.7- Concentração dos elementos analisados nas águas subterrâneas obtidas nos poços do Domínio Fissural.

Parâmetros (mg/L)	PT-CB-1	PT-CB-2	PT-CB-3	PT-CB-4	PT-CB-5	PT-CB-6	PT-CB-7	PT-CB-8	PT-CB-9	PT-CB-10	PT-CB-11	PT-CB-12	PT-CB-13	Domínio Fissural
Na	375,13	558,74	700,64	547,36	238,73	1249,18	974,47	359,88	178,79	78,54	68,23	236,78	20,37	Soma dos cátions
K	45,63	14,93	47,55	16,27	4,69	92,29	39,99	30,18	5,26	5,92	16,1	14,85	7,22	
Ca	196,53	598,74	343,58	323,45	22,89	515,51	90,01	17,04	30,8	35,87	19,23	20,15	4,39	
Mg	188,05	624,87	431,87	348,87	23,47	324,66	68,11	24,91	28,73	35,46	12,28	20,36	3,24	
Mn	1,27	13,49	1,36	7,16	0,39	5,82	0,05	0,57	0,51	0,1	0,15	0,07	0,22	
Al	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	
Fe	113,62	1,01	27,89	87,3	27,64	34,19	0,09	46,31	0,39	0,06	1,26	0,55	1,87	
cátions	920,53	1812,08	1553,19	1330,71	318,11	2221,95	1173,02	479,19	244,78	156,25	117,55	293,06	37,61	7887,81
HCO3	10	46	2,5	48	219	16	75	9	106	112	90	1,5	22	Soma dos ânions
Cl	1689	3761	2484	3952	451	3927	1112	885	281	199	148	210,14	53	
NO2	0,01	0,01	0,01	0,01	0,001	0,01	0,03	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	
NO3	0,5	0,3	0,92	0,46	1,9	0,75	21,05	2,19	12,7	1,49	2,37	11,25	0,8	
PO4	0,12	0,34	0,18	0,15	0,34	1,5	0,14	0,32	0,5	0,13	0,37	0,1	0,16	
SO4	3,36	97,52	7,8	1,98	44,66	2,03	42,84	167,9	143,5	8,39	13,33	0,4	29,81	
ânions	1702,99	3905,17	2495,41	4002,6	716,901	3947,29	1251,06	1064,42	543,72	321,03	254,08	223,4	105,78	20533,851
Parâmetros (meq/L)	PT-CB-1	PT-CB-2	PT-CB-3	PT-CB-4	PT-CB-5	PT-CB-6	PT-CB-7	PT-CB-8	PT-CB-9	PT-CB-10	PT-CB-11	PT-CB-12	PT-CB-13	Domínio Fissural
Na	16,3182	24,3052	30,4778	23,8102	10,3848	54,3393	42,3894	15,6548	7,7774	3,4165	2,9680	10,2999	0,8861	Soma dos cátions
K	1,1636	0,3807	1,2125	0,8949	0,1196	2,3534	2,1995	0,7696	0,1341	0,3256	0,8855	0,8168	0,1841	
Ca	9,8068	29,8771	17,1446	16,1402	1,1422	25,7239	4,4915	0,8503	1,5369	1,7899	0,9596	1,0055	0,2191	
Mg	15,4577	51,3643	35,4997	28,6771	1,9292	26,6871	5,5986	2,0476	2,3616	2,9148	1,0094	1,6736	0,2663	
Mn	0,0462	0,4910	0,0495	0,2606	0,0142	0,2118	0,0018	0,0207	0,0186	0,0036	0,0055	0,0025	0,0080	
Al	0,0334	0,0334	0,0334	0,0334	0,0334	0,0334	0,0334	0,0334	0,0334	0,0334	0,0334	0,0334	0,0334	
Fe	4,0676	0,0362	0,9985	3,1253	0,9895	1,2240	0,0032	1,6579	0,0140	0,0021	0,0451	0,0197	0,0669	
cátions	46,8935	106,4879	85,4160	72,9416	14,6129	110,5729	54,7174	21,0343	11,8759	8,4860	5,9064	13,8514	1,6639	554,4601
HCO3	0,1630	0,7498	0,0408	0,7824	3,5697	0,2608	1,2225	0,1467	1,7278	1,8256	1,4670	0,0245	0,3586	Soma dos ânions
Cl	47,6298	106,0602	70,0488	111,4464	12,7182	110,7414	31,3584	24,9570	7,9242	5,6118	4,1736	5,9259	1,4946	
NO2	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0000	0,0002	0,0007	0,0002	0,0004	0,0004	0,0002	0,0002	0,0002	
NO3	0,0081	0,0048	0,0148	0,0074	0,0306	0,0121	0,3389	0,0353	0,2045	0,0240	0,0382	0,1811	0,0129	
PO4	0,0038	0,0107	0,0057	0,0047	0,0107	0,0473	0,0044	0,0101	0,0158	0,0041	0,0117	0,0032	0,0050	
SO4	0,0699	2,0284	0,1622	0,0412	0,9289	0,0422	0,8911	3,4923	2,9848	0,1745	0,2773	0,0083	0,6200	
ânions	47,8747	108,8542	70,2725	112,2823	17,2581	111,1040	33,8159	28,6416	12,8575	7,6404	5,9679	6,1432	2,4914	565,2037
Erro Analítico														
(%) por poço	-1,0354	-1,0988	9,7268	-21,2395	-8,3000	-0,2396	23,6086	-15,3139	-3,9685	5,2432	-0,5176	38,5512	-19,9138	

Capítulo 7 – Caracterização Hidrogeológica e Hidroquímica

Tabela 7.8- Concentração dos elementos analisados nas águas subterrâneas obtidas nos poços do Domínio Granular/Fissural.

Parâmetros (mg/L)	PT-CB-16	PT-CB-17	PT-CB-18	PT-CB-19	PT-CB-21	PT-CB-22	Domínio Granular/Fissural
Na	236,36	7,79	74,93	55,9	108,67	8,68	Soma dos cátions
K	17,37	4,07	21,09	18,47	10,63	11,91	
Ca	62,7	4	27,8	1,2	15,38	0	
Mg	69,64	0,27	13,19	3,83	9	0,23	
Mn	0,04	0,04	0,28	0,06	0,05	0,03	
Al	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	
Fe	0,05	8,01	0,1	0,91	0,13	0,04	
cátions	386,46	24,48	137,69	80,67	144,16	21,19	
HCO3	92	6	15	2,5	93	23	Soma dos ânions
Cl	615	8	140	143	177	9	
NO2	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	
NO3	2,46	1,63	17,8	0,86	13,75	0,99	
PO4	0,13	0	0,1	0,12	0,09	0,11	
SO4	11,06	39,14	0,2	5,33	15,7	0,4	
ânions	720,67	54,78	173,12	151,82	299,56	33,51	1433,46

Parâmetros (mcg/L)	PT-CB-16	PT-CB-17	PT-CB-18	PT-CB-19	PT-CB-21	PT-CB-22	Domínio Granular/Fissural
Na	10,2817	0,3389	3,2595	2,4317	4,7271	0,3776	Soma dos cátions
K	0,9554	0,1038	0,5378	0,4710	0,2711	0,3037	
Ca	3,1287	0,1996	1,3872	0,0599	0,7675	0,0000	
Mg	5,7244	0,0222	1,0842	0,3148	0,7398	0,0189	
Mn	0,0015	0,0015	0,0102	0,0022	0,0018	0,0011	
Al	0,0334	0,0334	0,0334	0,0334	0,0334	0,0334	
Fe	0,0018	0,2868	0,0036	0,0326	0,0047	0,0014	
cátions	20,1268	0,9860	6,3158	3,3455	6,5453	0,7361	
HCO3	1,4996	0,0978	0,2445	0,0408	1,5159	0,3749	Soma dos ânions
Cl	17,3430	0,2256	3,9480	4,0326	4,9914	0,2538	
NO2	0,0004	0,0002	0,0004	0,0002	0,0004	0,0002	
NO3	0,0396	0,0262	0,2866	0,0138	0,2214	0,0159	
PO4	0,0041	0,0000	0,0032	0,0038	0,0028	0,0035	
SO4	0,2300	0,8141	0,0042	0,1109	0,3266	0,0083	
ânions	19,1168	1,1640	4,4868	4,2021	7,0585	0,6566	17,5680
Erro Analítico (%) por poço	2,5736	-8,2770	16,9310	-11,3493	-3,7725	5,7035	

Tabela 7.9- Concentração dos elementos analisados nas águas subterrâneas obtidas nos poços do Domínio Granular

Parâmetros (mg/L)	PT-CB14	PT-CB-15	PT-CB20	Domínio Granular
Na	60,83	64	212,17	Soma dos cátions
K	3,87	9,9	20,49	
Ca	1,57	2,53	12	
Mg	2,72	0,74	30,37	
Mn	0,03	0,06	0,12	
Al	0,3	0,3	0,3	
Fe	0,11	0	0,38	
cátions	69,43	77,53	275,83	
HCO3	6	14	9	Soma dos ânions
Cl	112	94	374	
NO2	0,01	0,02	0,02	
NO3	1,01	2,79	3,4	
PO4	0,11	0,11	0,11	
SO4	2,37	0,4	92,09	
ânions	121,5	111,32	478,62	711,44

Parâmetros (mcg/L)	PT-CB14	PT-CB-15	PT-CB20	Domínio Granular
Na	2,6461	2,7840	9,2294	Soma dos cátions
K	0,2129	0,5445	1,1270	
Ca	0,0783	0,1262	0,5988	
Mg	0,2236	0,0608	2,4964	
Mn	0,0011	0,0022	0,0044	
Al	0,0334	0,0334	0,0334	
Fe	0,0039	0,0000	0,0136	
cátions	3,1993	3,5511	13,5029	
HCO3	0,0978	0,2282	0,1467	Soma dos ânions
Cl	3,1584	2,6508	10,5468	
NO2	0,0002	0,0004	0,0004	
NO3	0,0163	0,0449	0,0547	
PO4	0,0035	0,0035	0,0035	
SO4	0,0493	0,0083	1,9155	
ânions	3,3254	2,9361	12,6676	18,9292
Erro Analítico (%) por poço	-1,9337	9,4798	3,1917	

7.9.1 Diferenciação Qualitativa entre os Domínios Hidrogeológicos A, B, Granular/Fissural e Granular.

7.9.1.1 Hidroquímica do Domínio Fissural Sub-Domínio A e B

Nesta avaliação foram utilizados dados dos poços perfurados nos domínios identificados, restando após a seleção final um numero reduzido de análises em condições de serem utilizadas. Desta forma, deve-se considerar esta avaliação semi-quantitativa em virtude dos problemas citados e do reduzido numero de análises selecionadas.

Do total, apenas 81 análises físico-química da relação de poços existente no banco de dados (apêndice 1), serviram para avaliar a qualidade da água principalmente em relação aos parâmetros Cloreto, Dureza e Sólidos Totais Dissolvidos. Entretanto não puderam ser utilizadas para construção de diagramas de Piper e Stiff, por não conter parâmetros necessários para suas confecções. Somente em 22 amostras coletadas em campo (apêndice 2) os dados químicos foram usados para a confecção dos Diagramas de PIPER, STIFF e U.S. Salinity Laboratory – SAR. Os dois primeiros visando à classificação hidroquímica dessas águas e a observação da sua amplitude de variação e o terceiro destinado a avaliar a possibilidade de uso destas águas para fins agrícolas.

Na figura 7.27 é mostrado a distribuição físico-química das águas subterrâneas nos sub-domínios **A** e **B**, sendo essas águas classificadas predominantemente como cloretadas-sódicas ou sulfatada, gradando a sódicas e mista, como pode ser observado no diagrama de Piper. Esta situação mostra que apenas com a classificação de Piper não podemos observar a influência das litologias nem associar a menor ou maior espessura da cobertura de solos. Entretanto pode-se observar a influência climática na classificação das águas nesses domínios, onde se evidenciou que nos períodos de maior precipitação predomina a ocorrências de águas cloretadas-sódicas gradando para águas sódicas/mista.

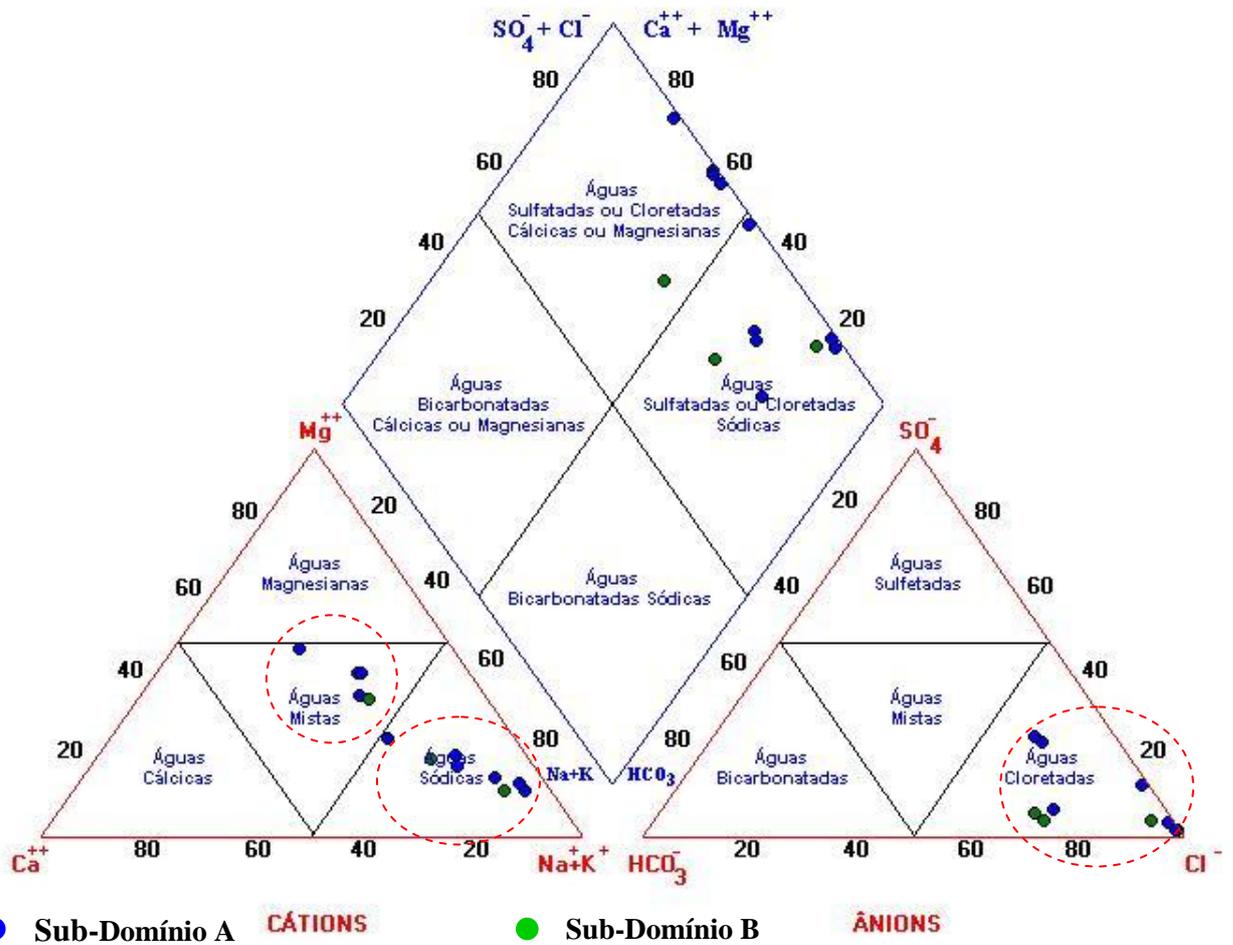


Figura 7.27: Diagrama triangular de Piper para poços perfurados no Domínio Fissural- Sub-Domínios A e B

A influencia da litologia e dos aspectos estruturais, associado a maior ou menor espessura da cobertura de solos, fica evidenciado quando utilizamos os gráficos de Stiff. As figuras 7.28 a 7.31, mostra a distribuição físico-química das águas subterrâneas nos sub-domínios **A** e **B**, onde observa-se a ocorrência de águas cloretadas-sódicas para as áreas de menor coberturas de solos e as águas mista para as áreas de maior espessura de solo.

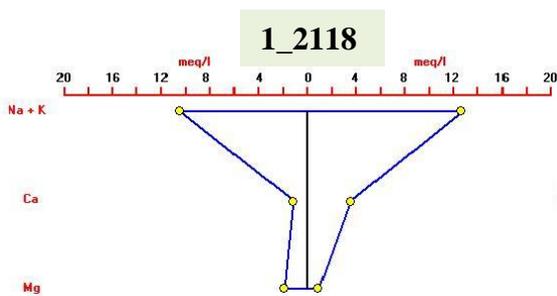


Figura 7.28 - Diagrama de Stiff - Domínio Fissural A (poço localizado próximo a Planaltino).

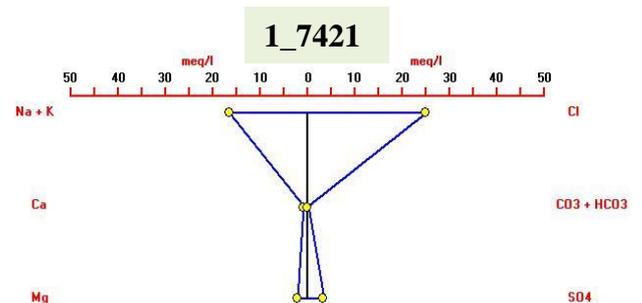


Figura 2.29 - Diagrama de Stiff - Domínio Fissural A (poço localizado próximo a Maracás)

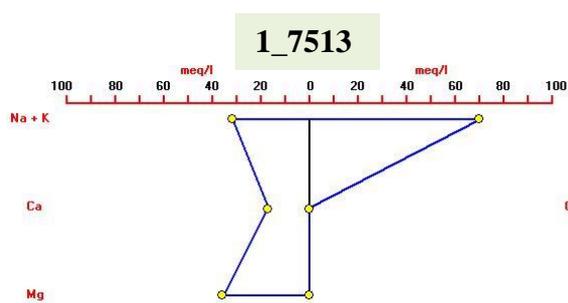


Figura 7.30 - Diagrama de Stiff - Domínio Fissural A (poço localizado próximo a L. do tabocal)

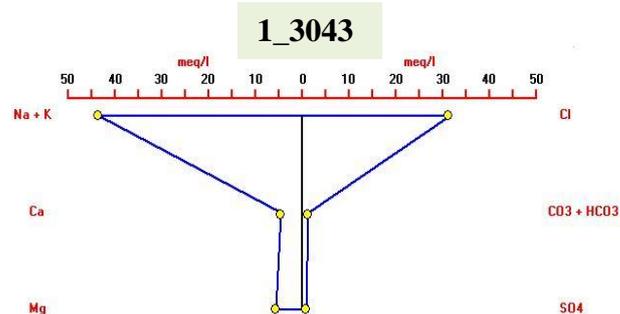


Figura 7.31 - Diagrama de Stiff - Domínio Fissural B (poço localizado próximo de Irajuba)

Embora os diagramas acima representem os resultados das análises químicas das águas do Domínio fissural, os resultados revelam que as características dessas águas são diferentes, isso se dá devido as condições climáticas locais, topografia, litologia associada e os aspectos estruturais predominantes. No Domínio B, há a predominância das águas cloretadas sódicas, principalmente por apresentar pouco solo residual e rocha pouco alterada, tendo a composição das águas influencia direta das chuvas. Já as águas do domínio A, são mistas (cloretadas cálcicas-magnesianas, bicarbonatadas magnesiana sulfatada), neste domínio há uma maior influencia da rocha alterada. Essas águas mistas são águas de transição, encontradas principalmente na parte sudoeste da área, nas áreas de maior espessura das coberturas e na parte central e sudeste, onde o embasamento apresenta-se bastante fraturado.

Através do diagrama SAR, verifica-se que a grande maioria das águas não se presta para uso agrícola, em função da predominância das classes C4S2, C4S3, C4S4 e C5S2, com alto e muito alto risco de sódio e de salinidade, representando 70% das águas. Em alguns locais ocorrem águas que indicam baixo a médio risco de salinidade ou de sódio (C1S1 e C2S1) (Figura 7.32).

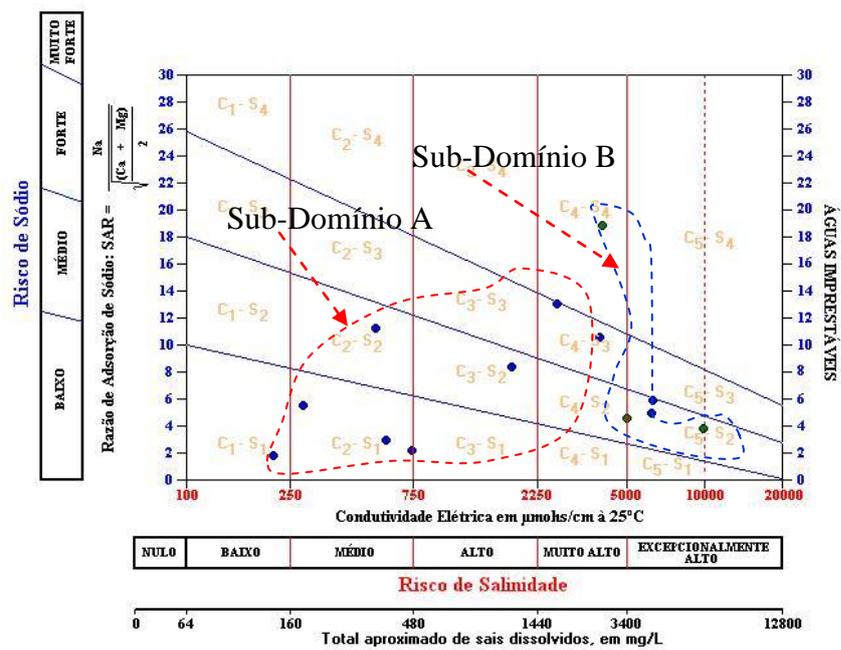


Figura 7.32- Diagrama do SAR, mostrando o risco de sódio e de salinidade das águas nos sub-domínios A e B

Verifica-se que as águas do sub-domínio A possuem menor risco de salinidade que as águas do sub-domínios B, tendo essas águas baixo teor de sódio e média salinidade, podendo ser usada para irrigar solo e culturas mais resistentes.

Do ponto de vista da potabilidade, considerando-se o abastecimento humano, tomou-se, como referência, os parâmetros STD, Cloretos e Dureza total. Na figura 7.33 é mostrado os valores médios destes parâmetros.

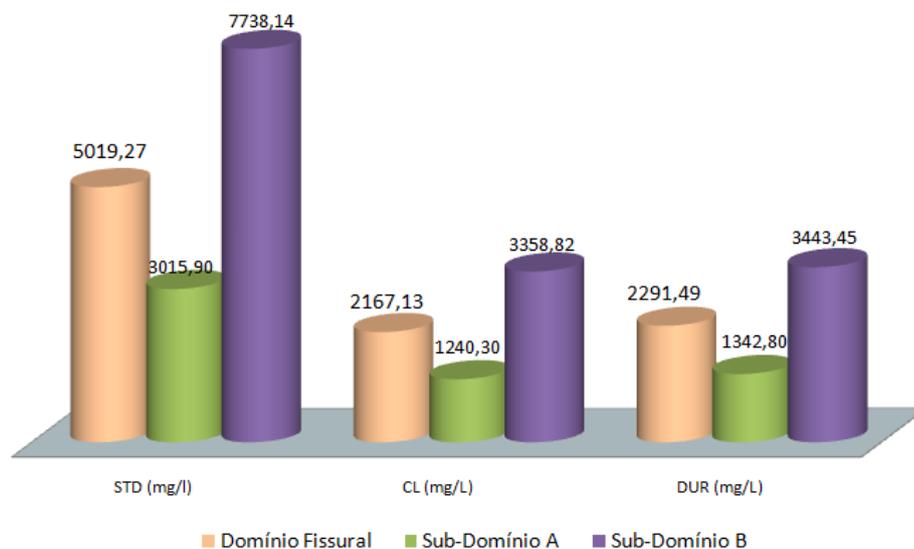


Figura 7.33- Valores médios do STD, Cl e Dureza no domínio fissural / sub-domínios A e B

Utilizando-se estes parâmetros, enquadrados nas classes de potabilidade: potável, tolerável e não potável, lançadas em porcentual num diagrama circular (figuras 7.34 e 7.35), verifica-se que a maioria das águas se enquadra como águas não potáveis, tanto para STD como para Cloreto e Dureza. Apenas uma pequena fração destas, se apresenta como potável. Sendo que o sub-domínio A, apresenta 27% das amostras analisadas podem ser classificadas como água potável, enquanto o sub-domínios B, apenas 7%. se apresenta como água é potável. Esse resultado reflete as diferenças estruturais entre os dois sub-domínios, uma vez que a circulação de água é menor em B, devido a maior plasticidade das rochas e menor abertura da fraturas nesse sub-domínios como descrito no capítulo 5.

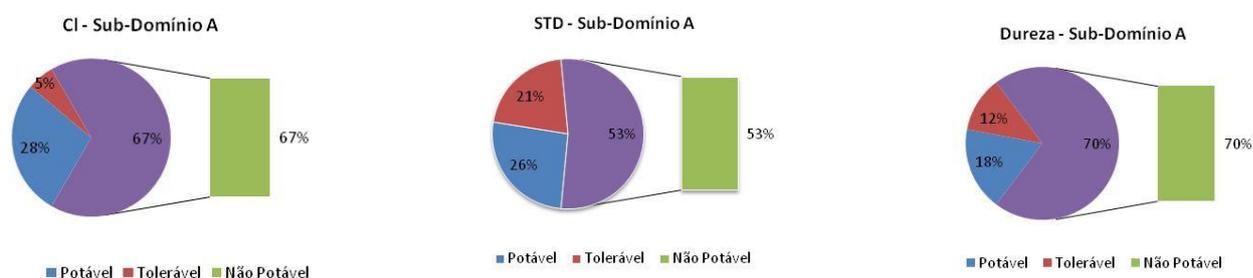


Figura 7.34- Gráfico de Pizza do Cloreto, STD e Dureza – Sub-domínio A.

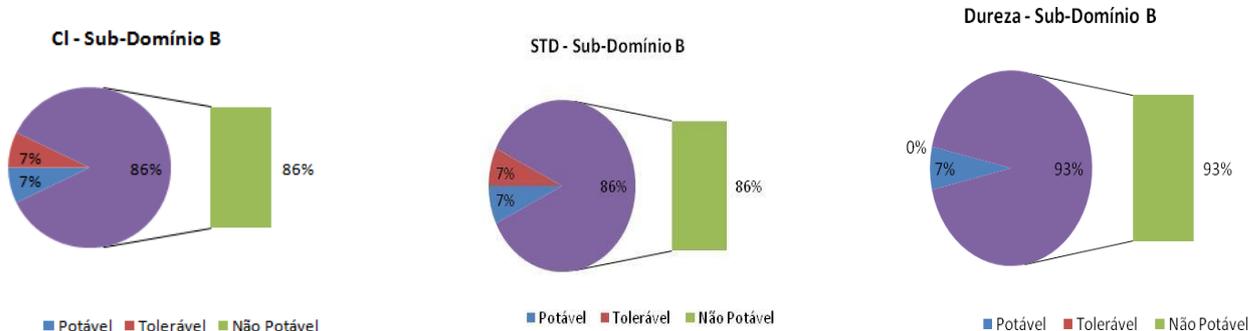


Figura 7.35- Gráfico de Pizza do Cloreto, STD e Dureza – Sub-domínio B.

7.9.2 Hidroquímica dos Domínios Aquíferos Granular/Fissural e Granular

Para a avaliação dos Domínios Granular/Fissural e Granular, foram utilizados os mesmos parâmetros do domínio Fissural. Pode-se notar na figura 7.36, que existe a predominância das águas Cloretadas-Sódicas, diferentemente do domínio fissural, onde há uma predominância das águas Mistas. As figuras 7.37 a 7.40 mostram os tipos de águas subterrâneas nesses domínios, onde observa-se a ocorrência de águas Cloretadas-Sódicas para as áreas do Domínio Granular. Através do Diagrama do USSL, Figura 7.41, verifica-se que as águas são menos salinizadas quando comparadas com as do domínio Fissural, podendo

ser utilizada na agricultura e também para o abastecimento humano, principalmente o Domínio Granular onde existe a predominância das classes C_1S_1 , que indica baixo risco de salinidade ou de sódio. Desta forma tem-se que as águas do Domínio Granular apresentam a menor salinidade, portanto melhor qualidade.

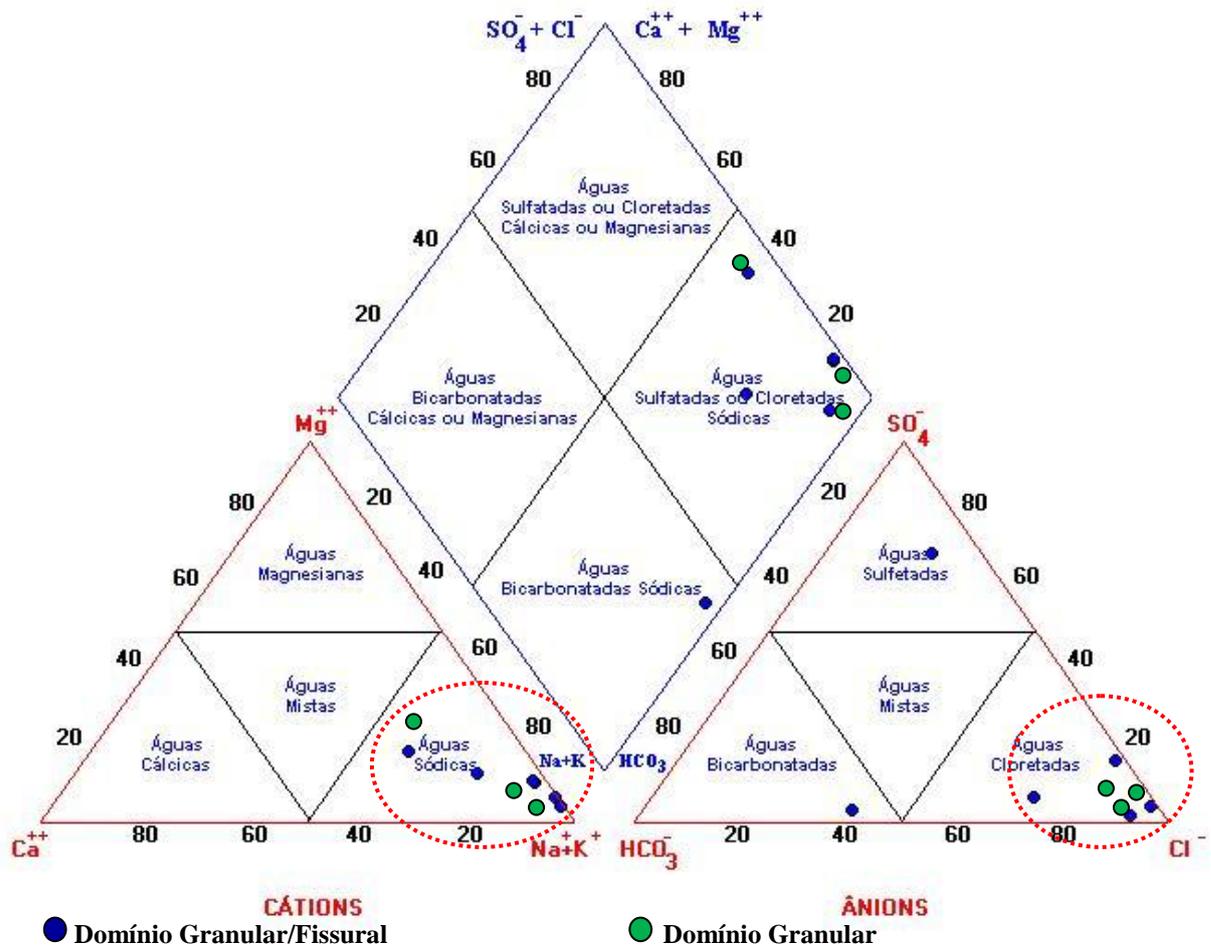


Figura 7.36- Diagrama triangular de Piper poços perfurados nos Domínios Granular/Fissural e Granular

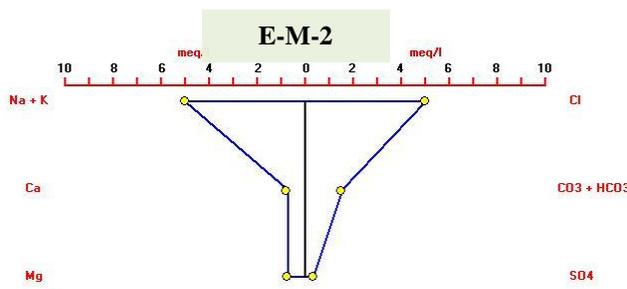


Figura 7.37- Diagrama de Stiff – Domínio Granular/Fissural.

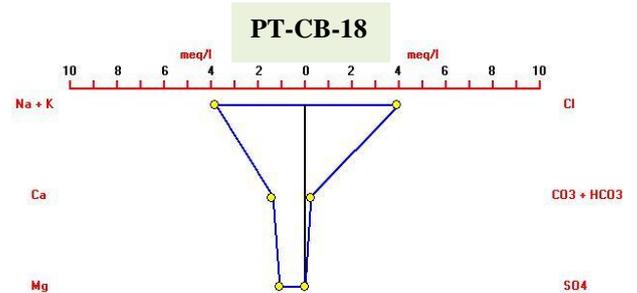


Figura 7.38 Diagrama de Stiff – Domínio Granular/Fissural.

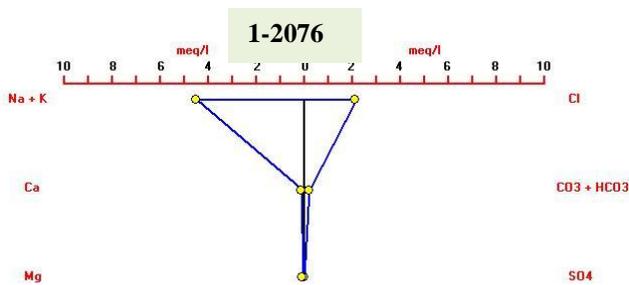


Figura3.39: Diagrama de Stiff – Domínio Granular.

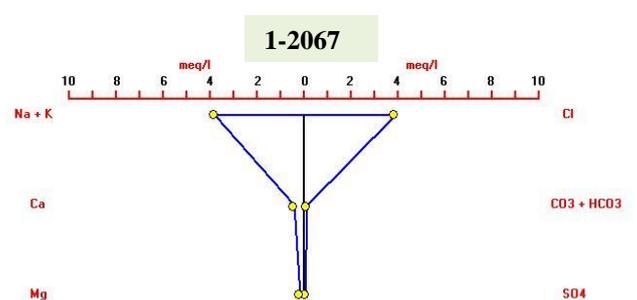


Figura7.40 Diagrama de Stiff – Domínio Granular.

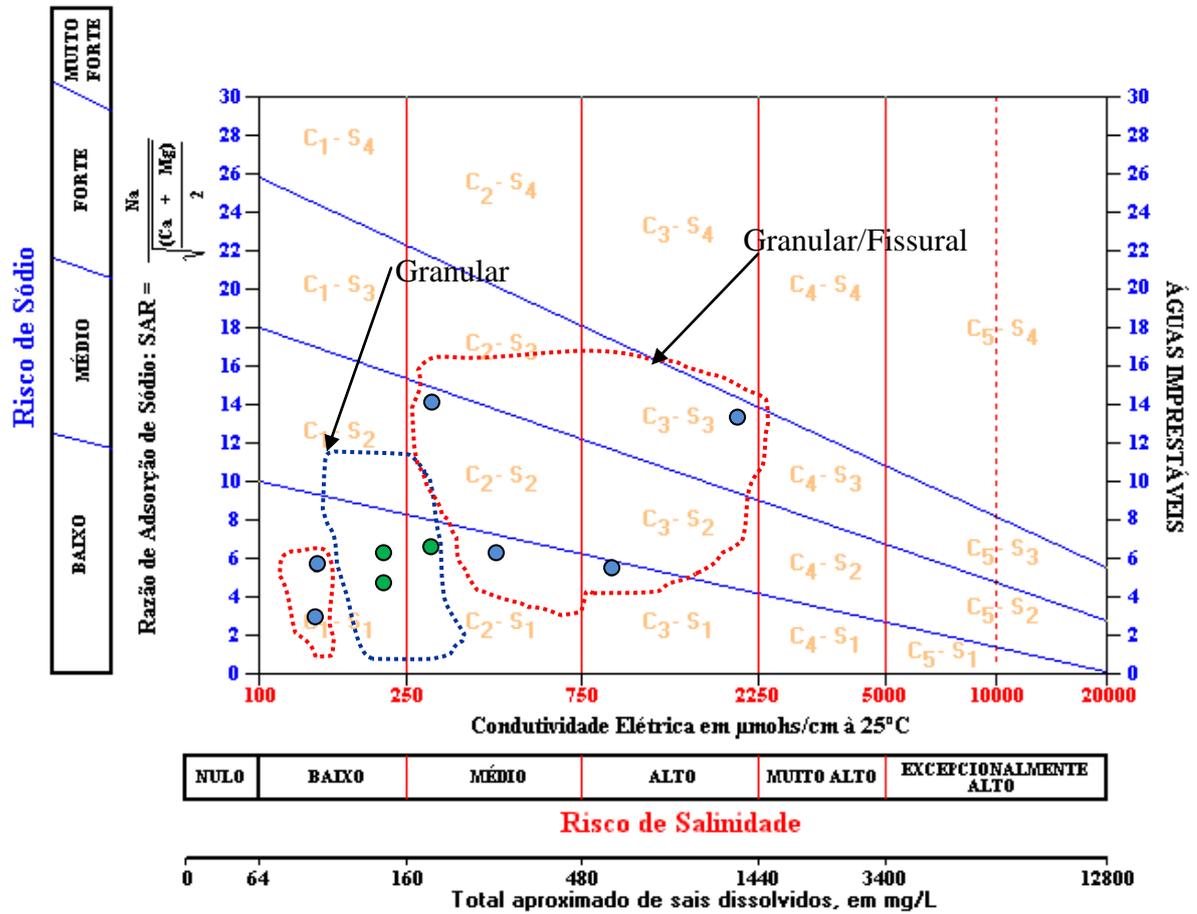


Figura 7.41: Diagrama do SAR, mostrando o risco de sódio e de salinidade das águas nos Domínios Granular/Fissural e Granular.

Na figura 7.42 é mostrado os valores médios dos parâmetros STD, Cloretos e Dureza total, já na tabela 7.10 são apresentado os valores máximos, médios, mínimos e desvio padrão, em mg/l, nos Sub-Domínios A e B e Granular/Fissural e Granular.

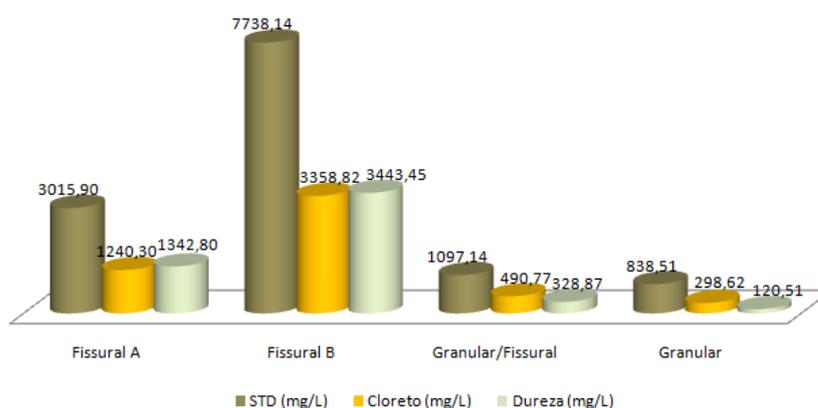


Figura 7.42: Valores médios do STD, Cl e Dureza nos Sub-Domínio A e B e domínio Granular/Fissural e Granular.

Tabela 7.10 : Valores médios, mínimos, máximos e Desvio Padrão de STD, Cl e Dureza dos Sub-Domínio Hidrogeológico A e B e dos Domínios Granular/Fissural e Granular.

Parâmetros	Sub-Domínio A	Valores em mg/l			
		Média	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo
STD		3015,90	2465,00	7278,00	198,00
Cloreto		1240,30	1107,80	3236,00	14,00
Dureza		1342,80	1165,70	3471,00	88,00
Parâmetros	Sub-Domínio B	Valores em mg/l			
		Média	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo
STD		7738,14	9436,00	35516,00	202,00
Cloreto		3358,82	4093,30	15400,00	10,00
Dureza		3443,45	4964,80	18800,00	108,00
Parâmetros	Granular/Fissural	Valores em mg/l			
		Média	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo
STD		1097,14	784,67	2384,00	486,00
Cloreto		490,77	445,57	1257,00	152,00
Dureza		328,87	330,46	904,11	52,00
Parâmetros	Granular	Valores em mg/l			
		Média	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo
STD		838,51	1297,06	4270,00	208,00
Cloreto		298,62	437,88	1444,76	58,77
Dureza		120,51	269,32	837,93	18,00

Enquadrados nas classes de potabilidade: potável, tolerável e não potável lançada em percentual num diagrama circular Figuras 7.43 e 7.44, verifica-se que a grande maioria destas águas se enquadra como águas potáveis, diferentemente do Domínio Fissural, tanto para STD como para Cloretos e Dureza. Apenas uma pequena fração destas se apresenta como não potável, sendo que o Domínio Granular/Fissural, tem aproximadamente 37% das amostras analisadas de água não potável enquanto o Domínio Granular, 90% das amostras classifica-se como água potável. Esse resultado se deve principalmente à diferença composicional das coberturas sedimentares, que filtram a água quando está percolam pelos seus poros.

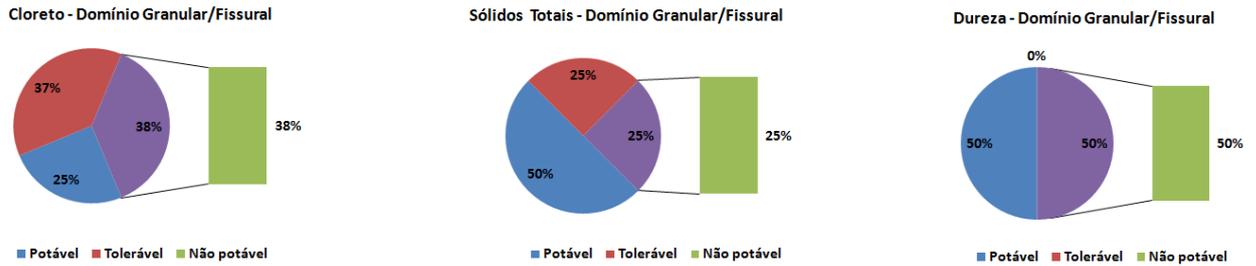


Figura 7.43: Gráfico de Pizza do Cloreto, STD e Dureza do Domínio Granular/Fissural.

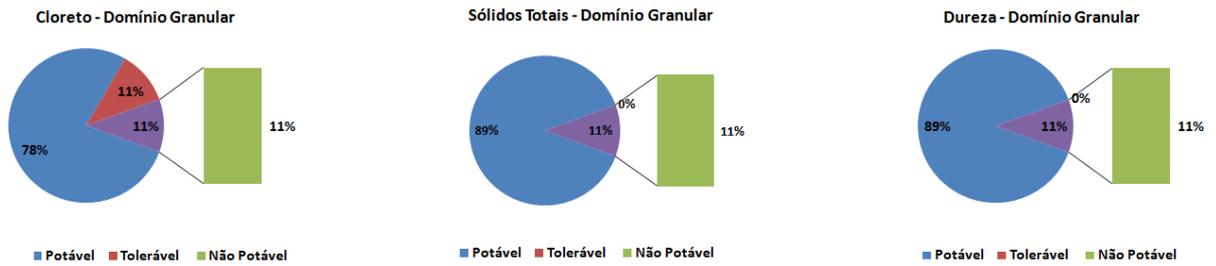


Figura 7.44: Gráfico de Pizza do Cloreto, STD e Dureza do Domínio Granular

Apesar da pequena quantidade de análises, pouco representativa comparada ao tamanho da área de estudo, os resultados apresentados se enquadram no padrão esperado, para área cristalinas, semi-áridas, com precipitações abaixo de 700 mm/ano. Nas figuras 7.45 a 7.47 são mostrados os valores médios do cloreto, sólidos totais dissolvidos e dureza total, medidos entre os anos de 73 a 2002, plotados para intervalos de 5 anos nos diferentes domínios.

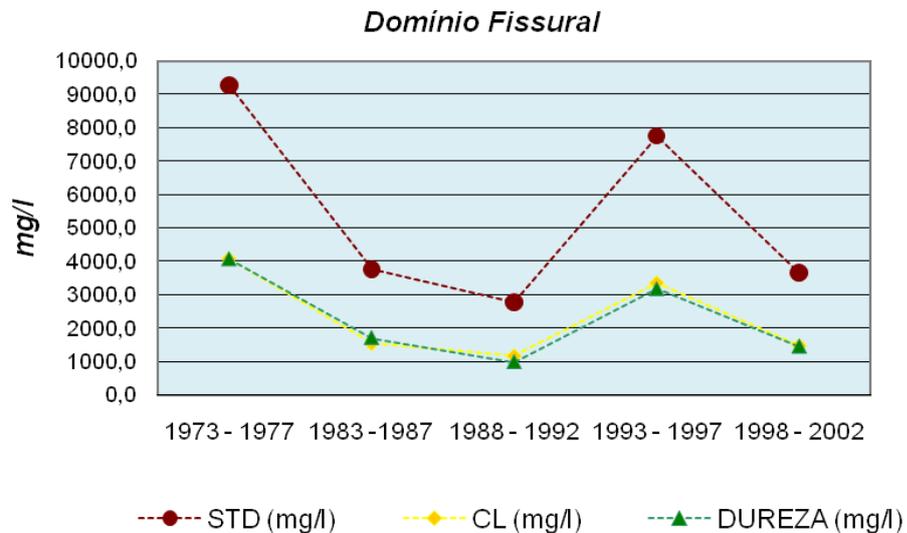


Figura 7. 45: Gráfico mostrando os valores médios de Cl, SDT e Dureza.

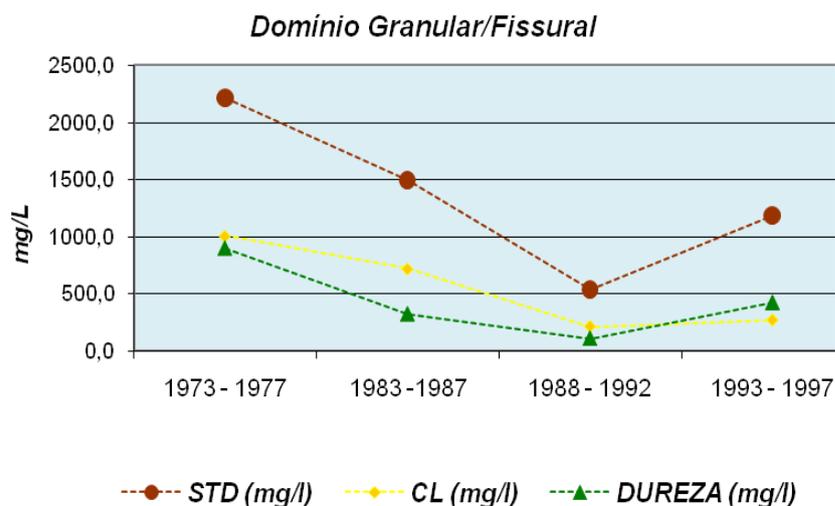


Figura 7. 46: Gráfico mostrando os valores médios de Cl, SDT e Dureza.

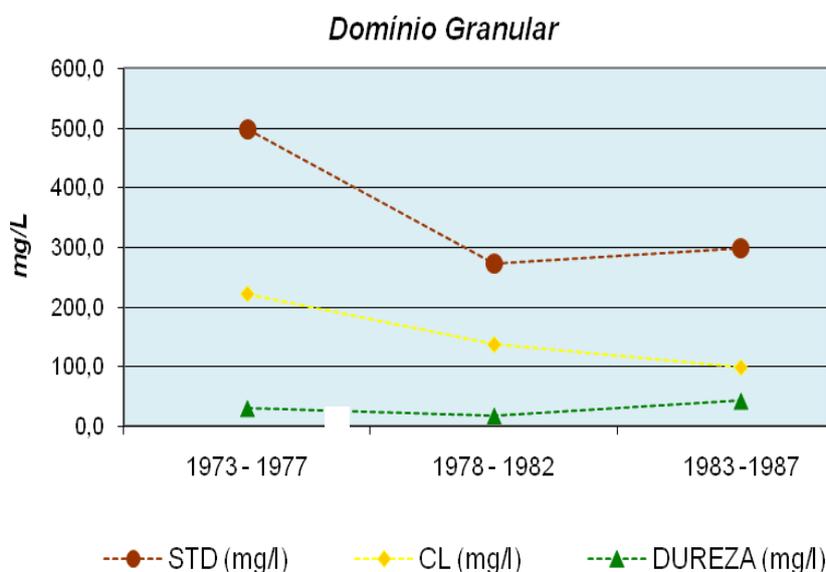


Figura 7. 47: Gráfico mostrando os valores médios de Cl, SDT e Dureza.

7.9.3 Qualidade da água no alto Jiquiriçá.

A divisão da área em domínios hidrogeológicos (Fissural, Granular/Fissural e Granular) é um elemento facilitador na interpretação e entendimento da distribuição das concentrações dos parâmetros químicos analisados na área.

Dos 15 parâmetros analisados nos poços, o sulfato, nitrito, alcalinidade, alumínio, e manganês, apresentam concentrações abaixo dos valores máximos permitidos (VMPs)

estabelecidos pelo padrão de potabilidade da Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde. Destaca-se neste contexto, os altos valores obtidos para condutividade, cloreto, sódio, magnésio, sólidos totais, e em alguns pontos o ferro apresenta valores significativamente elevados, provavelmente em função da tubulação usada nos poços ou possivelmente estão associadas a dissolução desse íon a partir dos minerais ou compostos de ferro presentes no aquífero.

Observa-se um comportamento regular da distribuição dos principais cátions e ânions, em cada domínio hidrogeológico, sendo que no Domínio Fissural A, tem-se valores mais elevados de suas concentrações quando comparados com aqueles obtidos para nos Domínios Fissural B, Granular/Fissural e Granular, sendo este último domínio caracterizado por apresentar as menores concentrações. A variação e concentração geoquímicas dos parâmetros avaliados no aquífero foram analisados por domínios hidrogeológicos. Com os seguintes resultados:

7.9.3.1 Distribuição do Cloreto, Sólidos Totais dissolvidos e Dureza.

Nas figuras 7.48 a 7.50, são mostradas a distribuição geoquímica do Cl, STD e Dureza, obtido das análises existente no banco de dados da CERB. Observa-se uma distribuição semelhante desses parâmetros nos diferentes domínios, sendo suas concentrações menores no domínios granular e fissural A de maior fraturamento, onde há maior circulação de água entre as fraturas, sendo as maiores concentrações no domínios hidrogeológico B, em função das características geológicas/estruturais e climáticas predominantes. No caso de aquíferos fraturados, se há circulação e renovação de água na zona mais superior desse aquífero, a qualidade tende a melhorar. Se nas zonas mais profundas as águas passam a uma condição mais estacionária, sem circulação ou renovação, mas mantêm comunicação com águas superficiais cada vez mais concentradas em cloretos, estas podem passar a predominar. Esse processo explica o aumento de STD e cloretos em profundidade nas águas e esclarece o padrão hidroquímico na área com os elevados teores desses parâmetros.

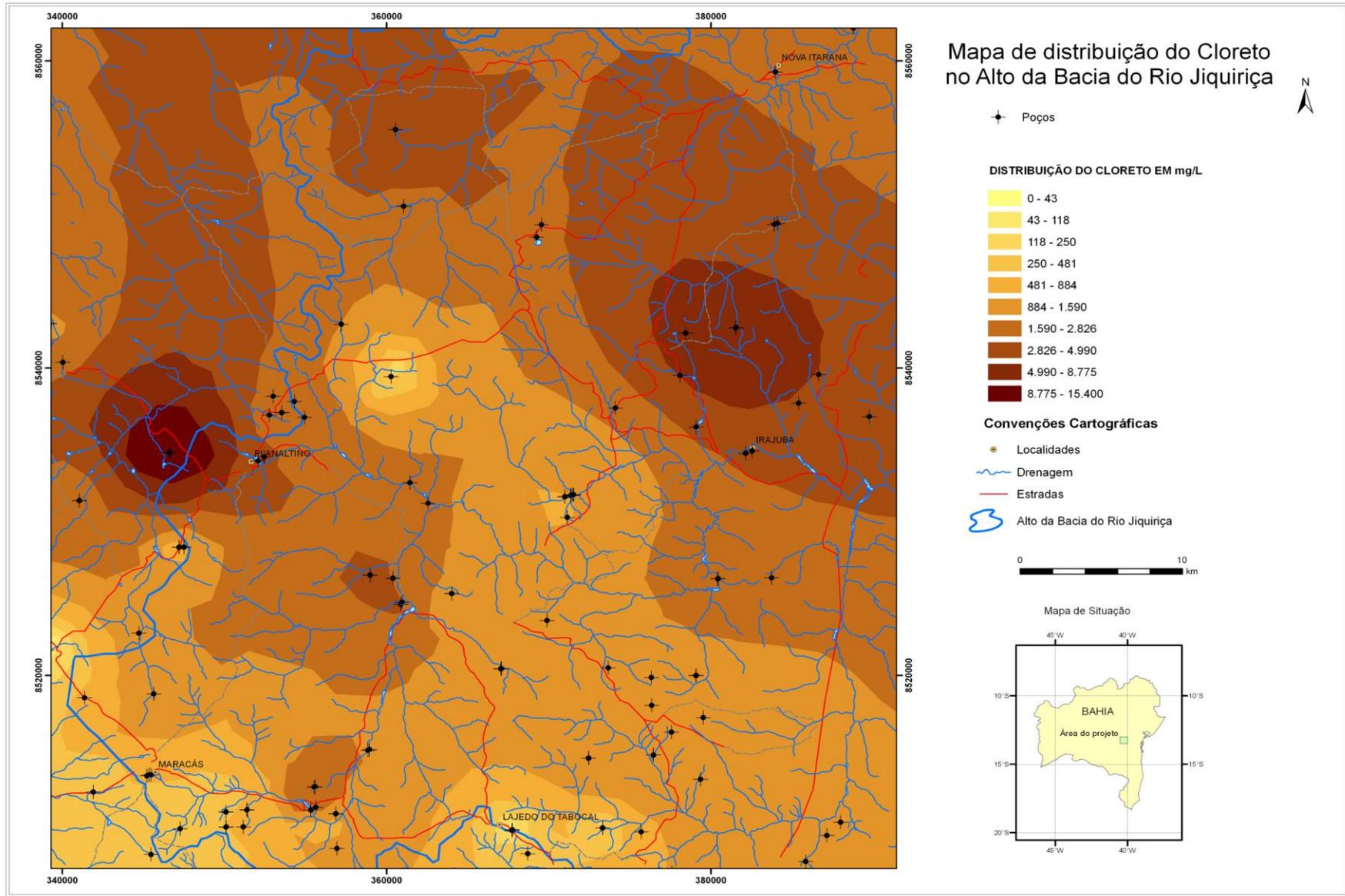


Figura 7.48 – Mapa da distribuição do Cloreto no alto da bacia do rio Jiquiriçá.

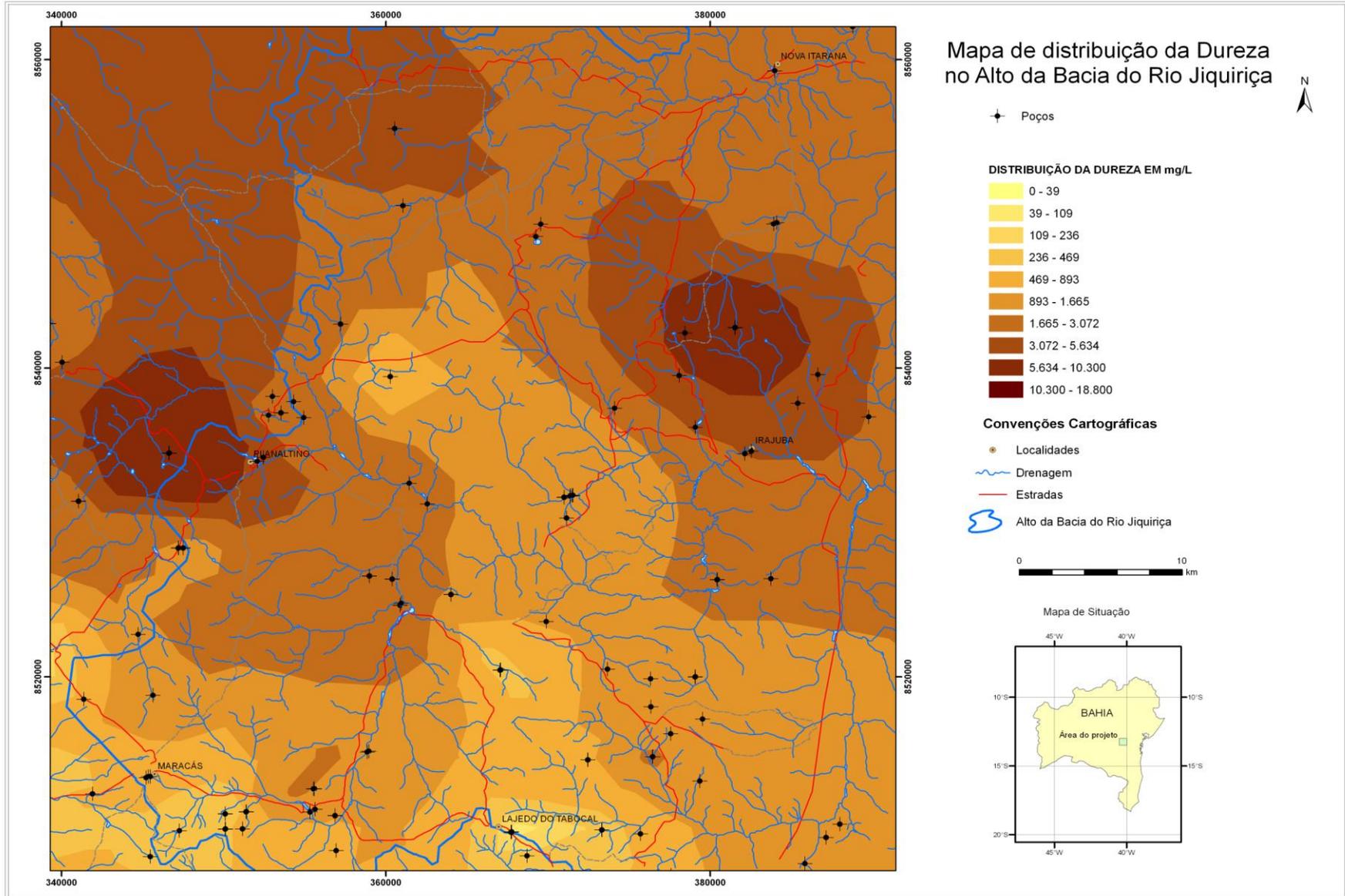


Figura 7.49 – Mapa da distribuição da Dureza no alto da bacia do rio Jiquiriçá.

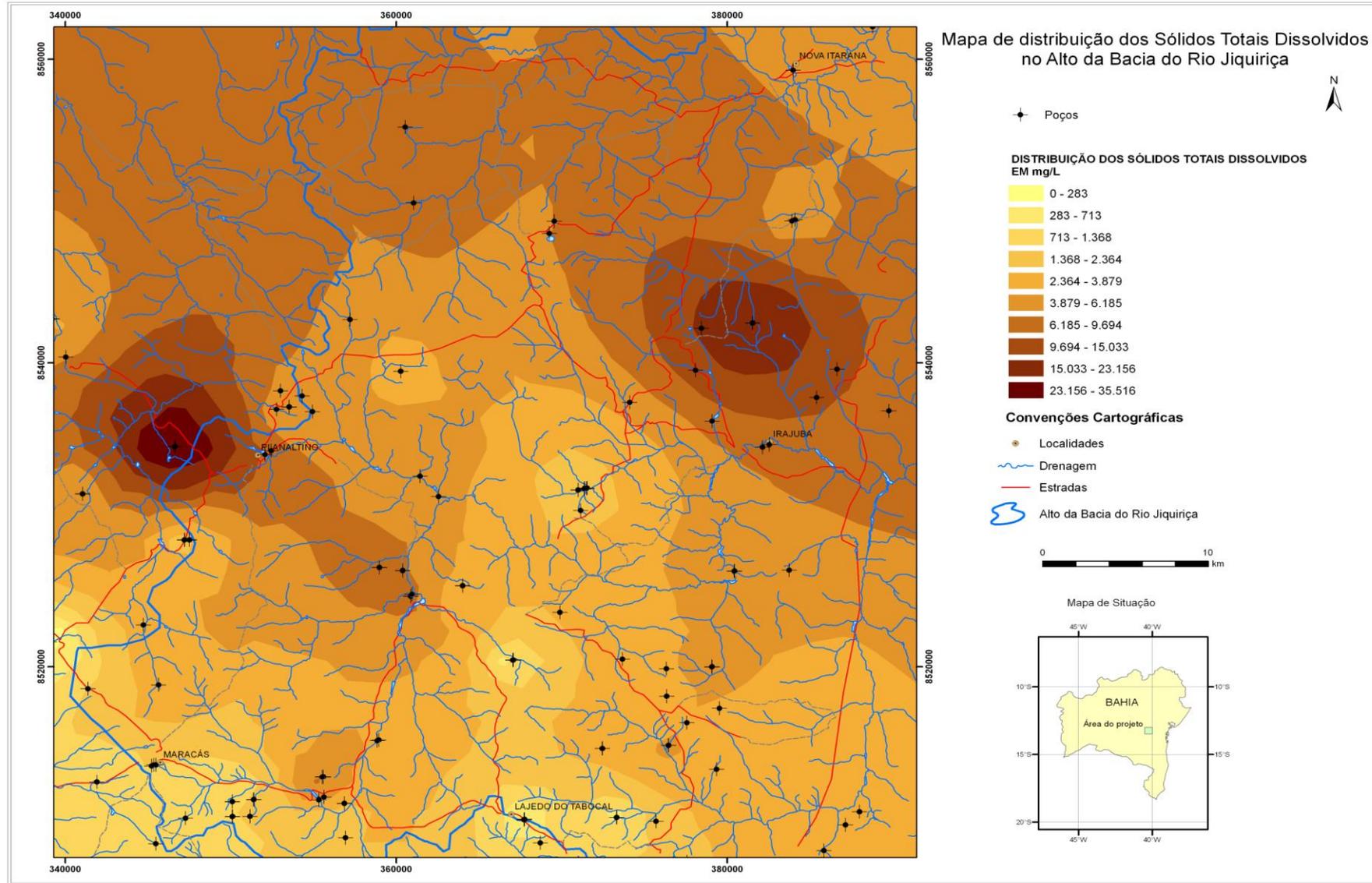


Figura 7.50 – Mapa da distribuição dos Sólidos Totais Dissolvidos no alto da bacia do rio Jiquiriçá.

Os resultados das análises físico-química, da água subterrânea foram obtidos das amostragens realizadas em campo, onde são mostrados em gráficos as concentrações iônicas dos parâmetros analisados nos diferentes domínios. É observado uma evolução normal nas concentrações dos elementos químicos, principalmente do Na e K, sendo o Domínio Fissural A, área de realimentação direta onde verifica-se maior concentração do Sódio e menor de Potássio.

Tabela 7.11. É mostrado os valores máximos mínimos e médios dos parâmetros analisados, onde observa-se que o domínio granular é o que apresenta menor concentração de íons.

Valor em mg/l												
Domínio hidrogeológico A	HCO3	NO2	NO3	PO4	SO4	Al	Fe	Mg	Mn	Ca	Na	K
média	47,83	0,01	3,47	0,396	55,22	0,3	28,16	186,14	2,63	193,78	443	29,32
Máximo	219	0,02	12,7	1,5	167,9	0,3	113,6	624,87	13,49	598,74	1249,2	92,29
mínimo	0	0,001	0,3	0,1	0,4	0,3	0,39	3,24	0,07	4,39	20,37	4,69
Valor em mg/l												
Domínio hidrogeológico B	HCO3	NO2	NO3	PO4	SO4	Al	Fe	Mg	Mn	Ca	Na	K
média	77	0,017	6,34	0,198	16,64	0,3	26,24	96,77	1,86	88,79	395,95	19,57
Máximo	112	0,03	21,05	0,37	42,84	0,3	103	271,24	7,16	210,07	974,47	39,99
mínimo	33	0,01	0,46	0,13	1,98	0,3	0,06	12,28	0,05	19,23	68,23	5,92
Valor em mg/l												
Domínio Granular/Fissural	HCO3	NO2	NO3	PO4	SO4	Al	Fe	Mg	Mn	Ca	Na	K
média	38,58	0,015	6,24	0,092	11,97	0,3	1,54	16,03	0,083	21,95	82,06	13,92
Máximo	93	0,02	17,8	0,12	39,14	0,3	8,01	69,64	0,28	87,36	236,36	21,09
mínimo	2,5	0,01	0,86	0	0,2	0,3	0,05	0,23	0,03	0	7,79	4,07
Valor em mg/l												
Domínio Granular	HCO3	NO2	NO3	PO4	SO4	Al	Fe	Mg	Mn	Ca	Na	K
média	9,6	0,016	2,4	0,11	31,62	0,3	0,16	11,27	0,07	5,36	240,31	11,42
Máximo	14	0,02	3,4	0,11	92,09	0,3	0,38	30,37	0,12	12	563	20,49
mínimo	6	0,01	1,01	0,11	0,4	0,3	0	0,74	0,03	1,57	60,83	3,87

Nas figuras 7.51 a 7.57 são mostrados a distribuição dos valores dos parâmetros analisados no alto do rio Jiquiriçá (dados no apêndice 2, parte superior).

Para o sódio quase todas as amostras investigadas ultrapassaram o padrão de potabilidade recomendados pela Portaria 518 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2004) que estabelece em 200,00 mg/L a concentração máxima em águas para o consumo humano, principalmente no domínio A, onde o poço PT-CB-6 (Faz. Santo Antônio – Maracás) e o poço PT –CB-7 (Faz. Coneição -Irajuba), apresentam as maiores concentrações com 1249 mg/l e 974 mg/l, respectivamente (figura 7.51).

Os valores do cálcio e do magnésio apresentam-se também elevados, embora o cálcio não tenha um limite de tolerância na Portaria 518 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2004). As maiores concentrações estão presente no domínio fissural A, onde os poço PT –CB 2 e 3 (Faz.

Nova Italia e Povoado Angélica – Planaltino) apresentam valor de 624,87 mg/l e 431,87 mg/l para o magnésio e 598,74 e 343,58 para o cálcio (figura 7.52).

O sulfato, manganês, alumínio e nitrito, apresentam baixas concentrações em todos os domínios (figuras 7.53, 7.54, 7.55 e 7.57)

O fósforo apresenta alta concentração no poço PT-CB-6 (Faz. Santo Antônio-Maracás), localizado no domínio fissural A. Esse parâmetro é pouco solúvel, não é facilmente transportado, logo a alta concentração pontual não é indicativo de contaminação antrópica.

A concentração de ferro total variou de 0,00 mg/L no poço PT-CB 14 Fazenda Concheta-Itiruçu (apêndice 1) a 113 mg/L no poço PT-CB 1 Fazenda Boqueirão – Maracás (figura 7.56). Em 07 amostras o valor de ferro superaram o limite de potabilidade de 0,3 mg/L estabelecido pela Portaria 518 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2004). A presença do ferro nas águas subterrâneas do alto Jiquiriça pode ter sua origem devido à presença de minerais ferromagnesianos componentes dos diversos litotipos existentes na área ou de solos lateríticos. Os altos teores desse elemento também podem estar associados à existência de colônias de ferrobactérias nos poços ou mesmo devido à corrosão dos revestimentos de aço galvanizado que são oxidados na presença de águas salinizadas.

A concentração de nitratos nas águas subterrâneas do alto Jiquiriça varia de 0,3mg/l a 21 mg/l, sendo as maiores concentrações, encontradas nos poço PT-CB 18 – Bosque das Flores –Maracas com 17,8mg/l, PT-CB-7 – fazenda Conceição – Irajuba, com 21 mg/l e poço PT-CB 12 – posto Grande Vale- Ent. Jaguaquara, com 11,25 mg/l (figura 7.57). Essa concentração elevada ocorre em alguns poço, mas parâmetros como o cloreto e sódio, não estão elevados, evidenciando provavelmente contaminação externa. Apesar do valor estabelecido pela Portaria 518 do MINISTÉRIO DA SAÚDE (2004) ser de 10,00 mg/L, os teores de NO_3^- acima de 5,00 mg/L podem ser indicativos de contaminação por atividade humana. Como os núcleos urbanos da área não possuem rede coletora de esgotos e o nitrato é um parâmetro altamente solúvel e facilmente transportado, conclui-se que as principais fontes de nitrato para as águas subterrâneas são de origem antrópica difusa, podendo-se fazer referência para a aplicação de fertilizantes e insumos nitrogenados, utilização de fossas negras e vazamentos das redes coletoras de esgoto na zona de captação de poços.

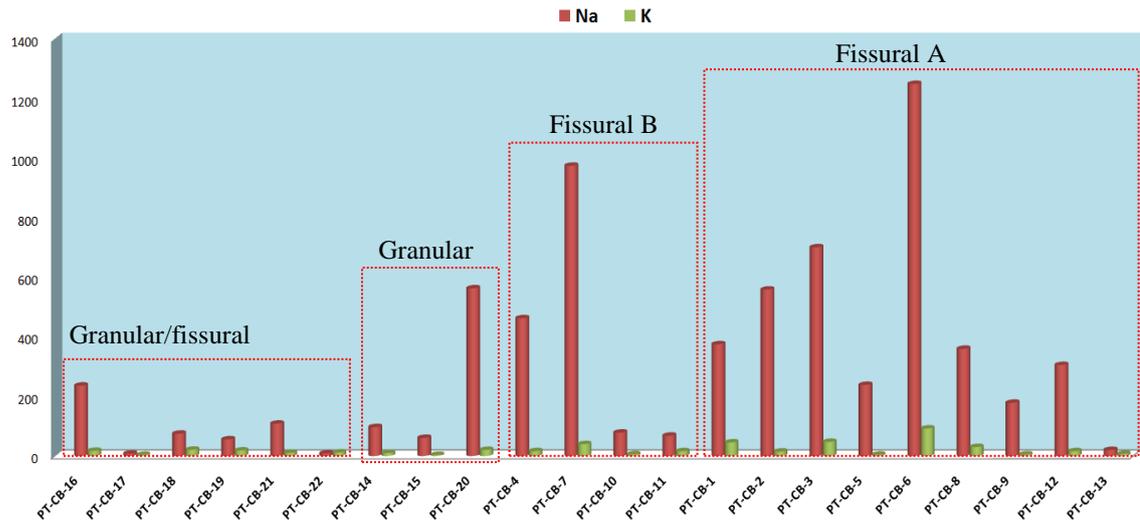


Figura 7.51 – Gráfico mostrando a distribuição do Na e K nos domínios aquíferos

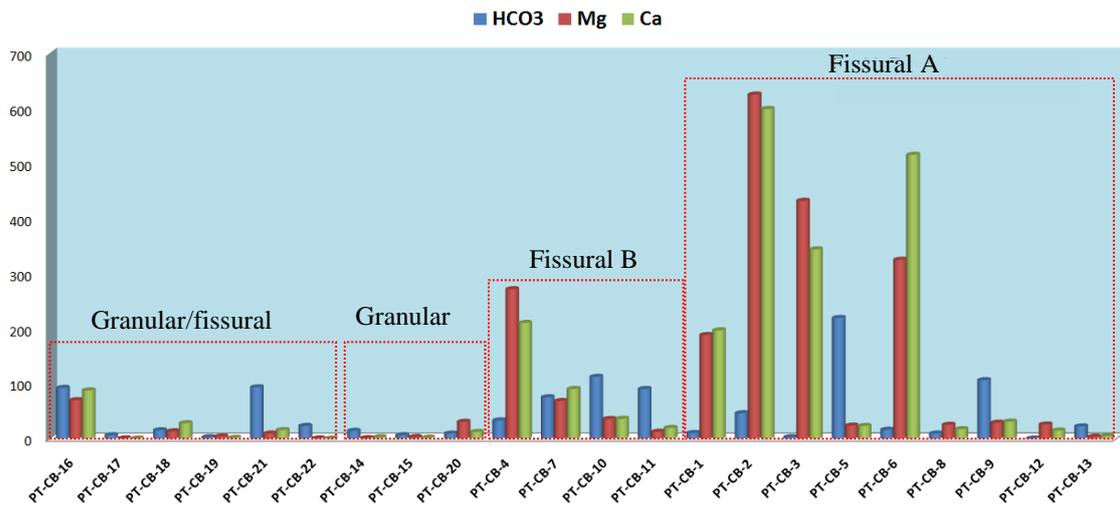


Figura 7.52 – Gráfico mostrando a distribuição do HCO₃, Mg e Ca nos domínios aquíferos.

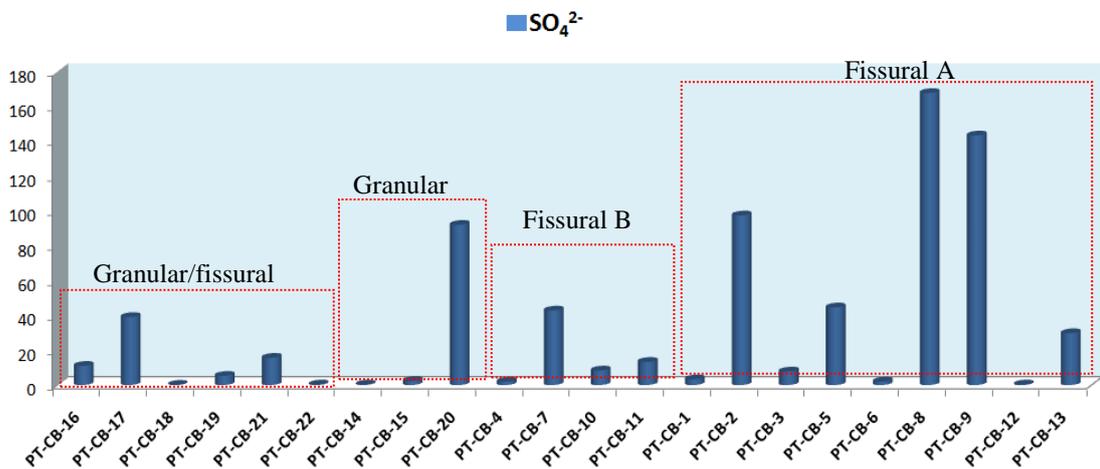


Figura 7.53 – Gráfico mostrando a distribuição do SO₄ nos domínios aquíferos.

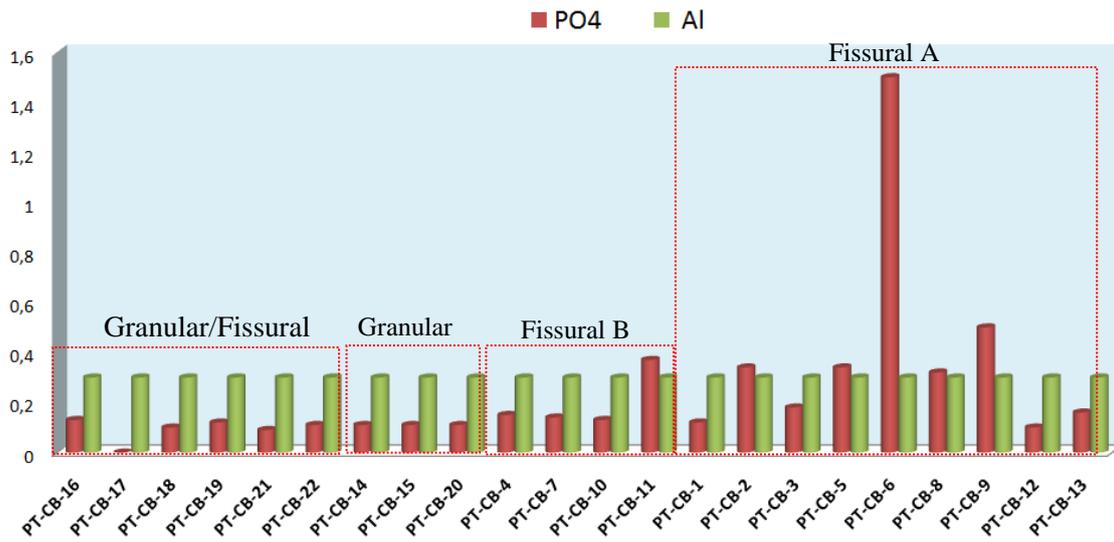


Figura 7.54 – Gráfico mostrando a distribuição do PO4 e Al nos domínios aquíferos.

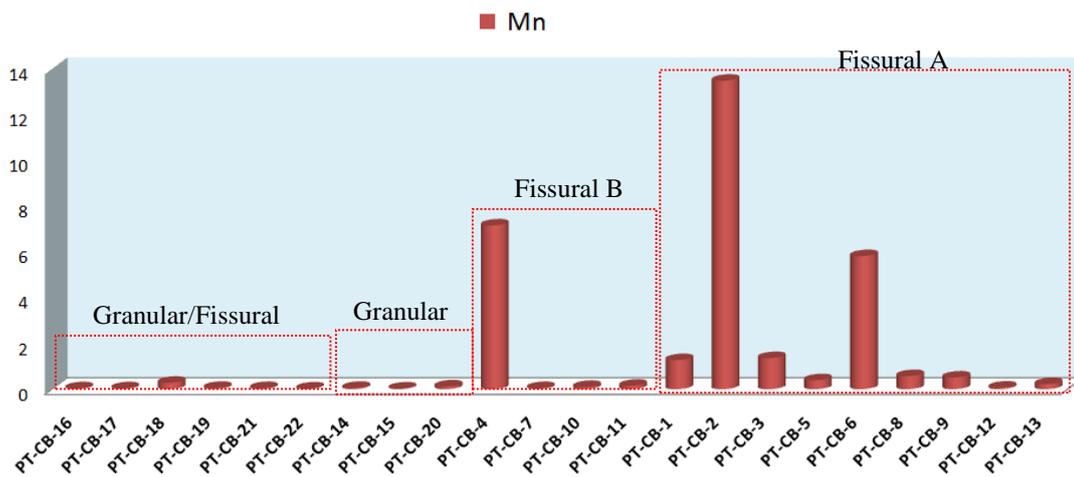


Figura 7.55 – Gráfico mostrando a distribuição do Mn nos domínios aquíferos.

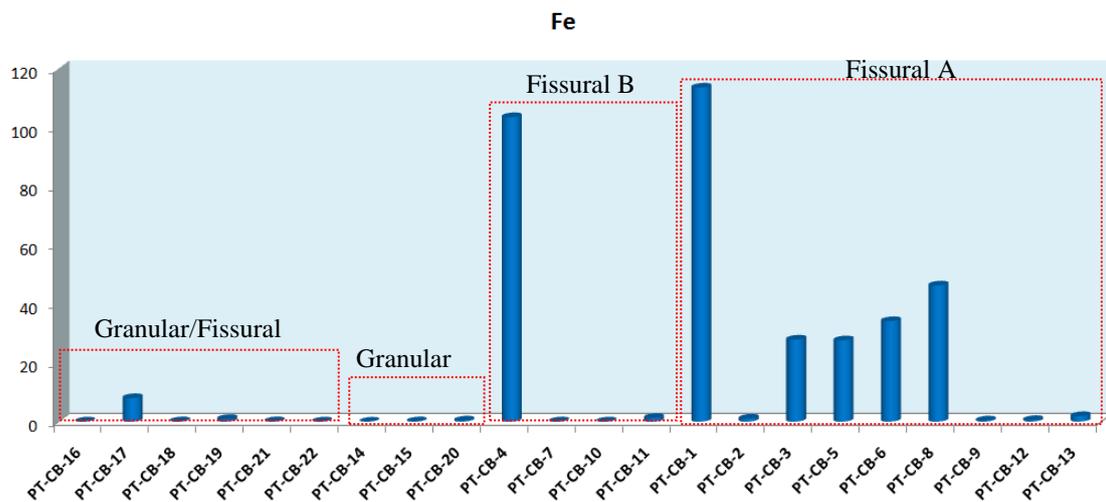


Figura 7.56 – Gráfico mostrando a distribuição do Fe nos domínios aquíferos.

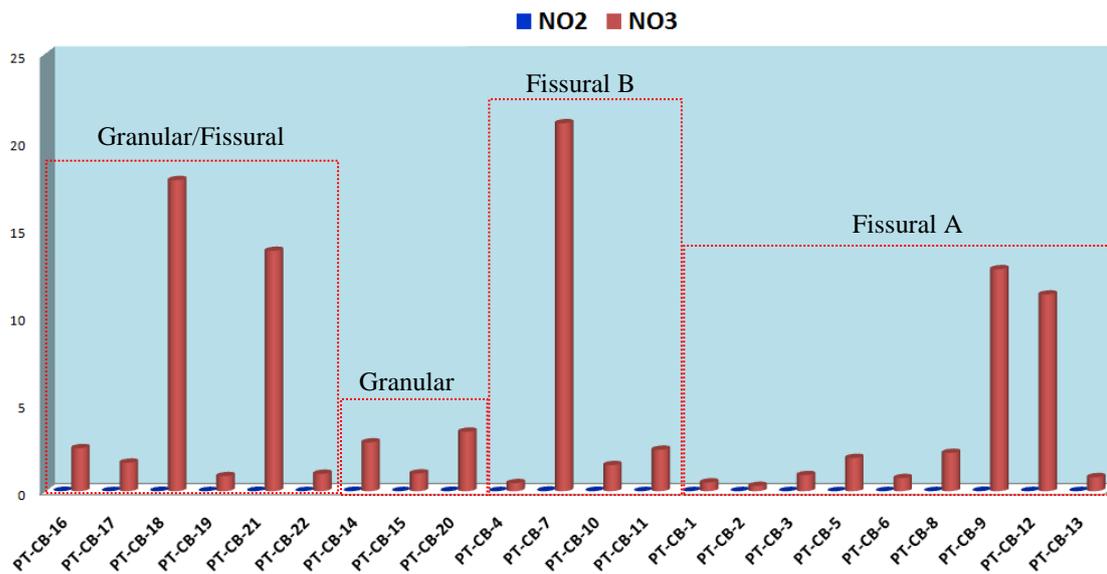


Figura 7.57 – Gráfico mostrando a distribuição do NO3 e NO2 nos domínios aquíferos.

7.10 ÁREAS POTENCIALMENTE FAVORÁVEIS A PROSPECÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

Na área foi observado que existem poços com altas vazões e poços próximos, com vazões muito baixas, sendo esses poços por vezes com profundidade maior do que os poços com altas vazões. Mesmo em situação geológica e estrutural favorável a boa produtividade de poços como é o caso do Domínio A, a heterogeneidade do meio fissural provoca situação onde um poço pode atravessar uma ou varias zonas fraturadas e interconectadas, enquanto um outro poço próximo pode não atravessar fraturas.

Para investigar essa questão foi realizado estudo geofísico em algumas áreas como já descrito no capítulo 6, nesta abordagem, buscou-se determinar através das diferenças de resistividade dos materiais, a profundidade da rocha sã e os locais mais favoráveis para a perfuração de poços.

Desta forma, com base na avaliação geológica estrutural e no estudo da geofísica, definiu-se 05 (cinco) áreas como de maior favorabilidade para a prospecção de água subterrânea:

Área 1 – Oeste de Maracás

Esta área encontra-se localizada entre o domínio estrutural das Coberturas Detríticas e o domínio estrutural A. A seção hidrogeológica construída nesta área a partir da interpretação do perfil geoeletrico A (descrito no capítulo 6), mostra os locais favoráveis à prospecção de águas. Estes locais são indicados em função das diferenças de resistividade do litotipo existente, o que pode significar presença de água ou não. Assim tem-se como locais favoráveis, os pontos representados pelas SEV's 4 A, 5 A, 7 A e 11 A. Nestes pontos, em função da baixa resistividade em torno de 250 Ω m, pode-se inferir que parte do material de cobertura é saturado e que existe fraturamento na rocha com possibilidades de estar preenchida com água de boa qualidade (Figura 7.58).

Área 2 – Parte Central da Área

Esta área encontra-se localizada no domínio estrutural A. A seção hidrogeológica construída nesta área a partir da interpretação do perfil geoeletrico B, tem-se como locais favoráveis, os pontos representados pelas SEV's 12 B, 13 B, e 18 B. Nestes pontos, as resistividades variam entre 380 Ω m a 160 Ω m, indicativo de fraturamento na rocha com possibilidades de estar preenchida com água de boa qualidade. Outros locais não são favoráveis a prospecção, pois provavelmente são constituídos por material argiloso, ou fraturas preenchidas com água salinizada, devido baixa resistividade encontrada (Figura 7.59).

Área 3 – Parte Sudeste da Área

Esta área localiza-se no domínio das coberturas sedimentares, próximo a cidade de Itiruçu. A seção hidrogeológica construída nesta área a partir da interpretação do perfil geoeletrico C, tem-se como locais favoráveis, os pontos representados pelas SEV's 1 C, 3 C, 6 C e 10 C. Nestes pontos, a resistividade do material varia entre 370 Ω m a 278 Ω m, por se tratar de área de cobertura, provavelmente, estas área seja indicativo de zonas saturadas com possibilidade de obter água de boa qualidade. Outros locais não são favoráveis a prospecção, pois são constituídos por material argiloso, não havendo circulação de água (Figura 7.60).

Área 4 – Parte Leste

Esta área localiza-se no domínio estrutural B, próximo a cidade de Irajuba ao longo da BR-116. A seção hidrogeológica construída nesta área a partir da interpretação do perfil geoeletrico D, tem-se como locais favoráveis, os pontos representados pelas SEV's 3 D, 5 D, e 10 D. Nestes pontos há rocha fraturada, com resistividade média de $109 \Omega m$, indicativo de presença de água nessas fraturas. Outros locais não são favoráveis a prospecção, pois provavelmente são constituídos por material argiloso, ou fraturas preenchidas com água salinizada, devido baixa resistividade encontrada. (Figura 7.61).

Área 5 – Nordeste

Esta área encontra-se localizada entre os domínios estruturais A e B. A seção hidrogeológica construída nesta área a partir da interpretação do perfil geoeletrico E, tem-se como locais favoráveis, os pontos representados pelas SEV's 4 E, 7 E, e 9 E. Nestes pontos, a resistividade média é de $340 \Omega m$, indicativo da rocha fraturada com possibilidades de estar preenchida com água de boa qualidade. Outros locais não são favoráveis a prospecção, principalmente por apresentarem resistividade muito baixa, sendo provavelmente constituídos por material argiloso ou fraturas preenchidas com água salinizada (Figura 7.62).

Capítulo 7 – Caracterização Hidrogeológica e Hidroquímica

Seção Hidrogeológica Interpretada - A

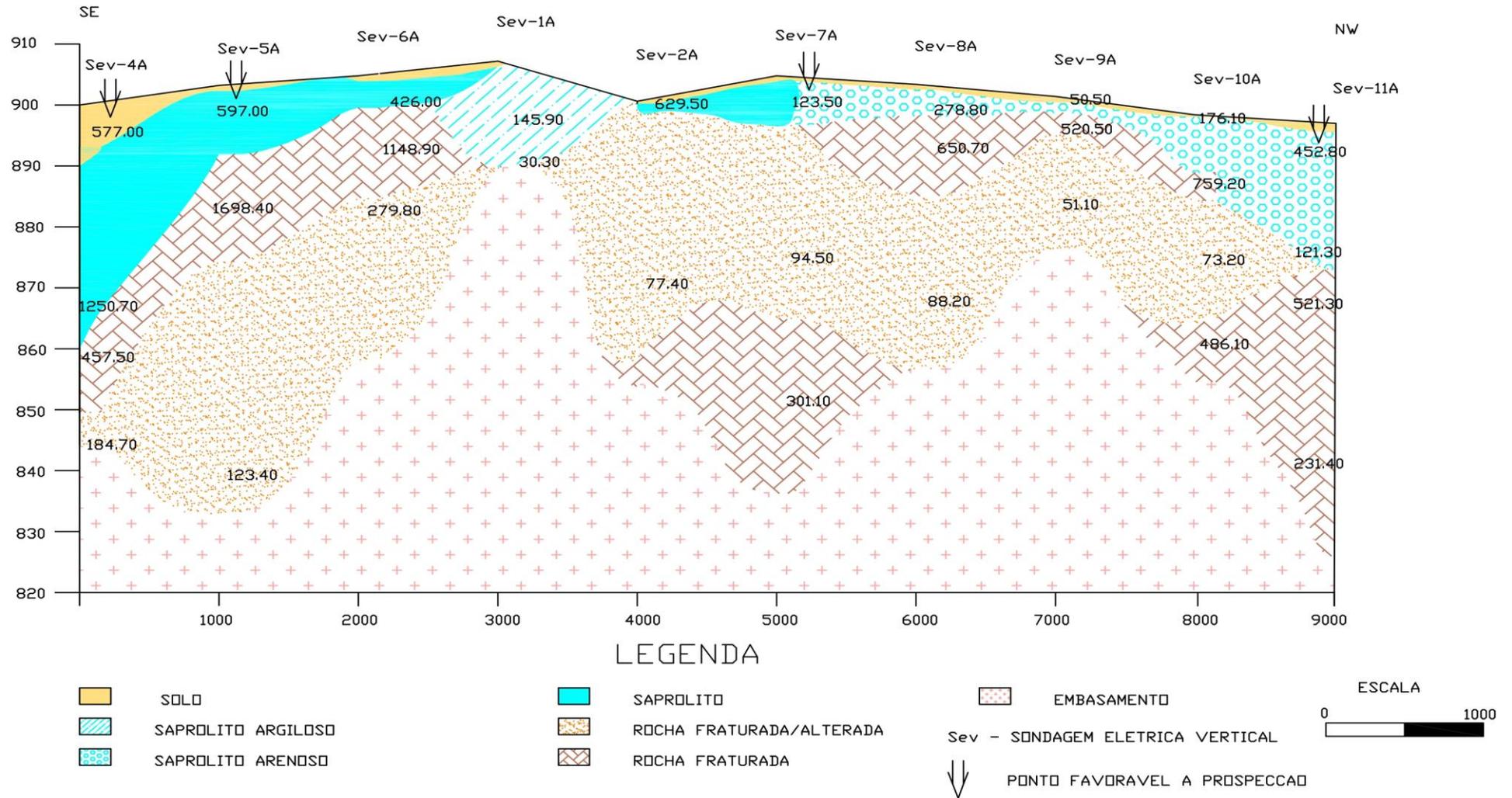


Figura 7.58 - Seção Hidrogeológica - A

Seção Hidrogeológica Interpretada - B

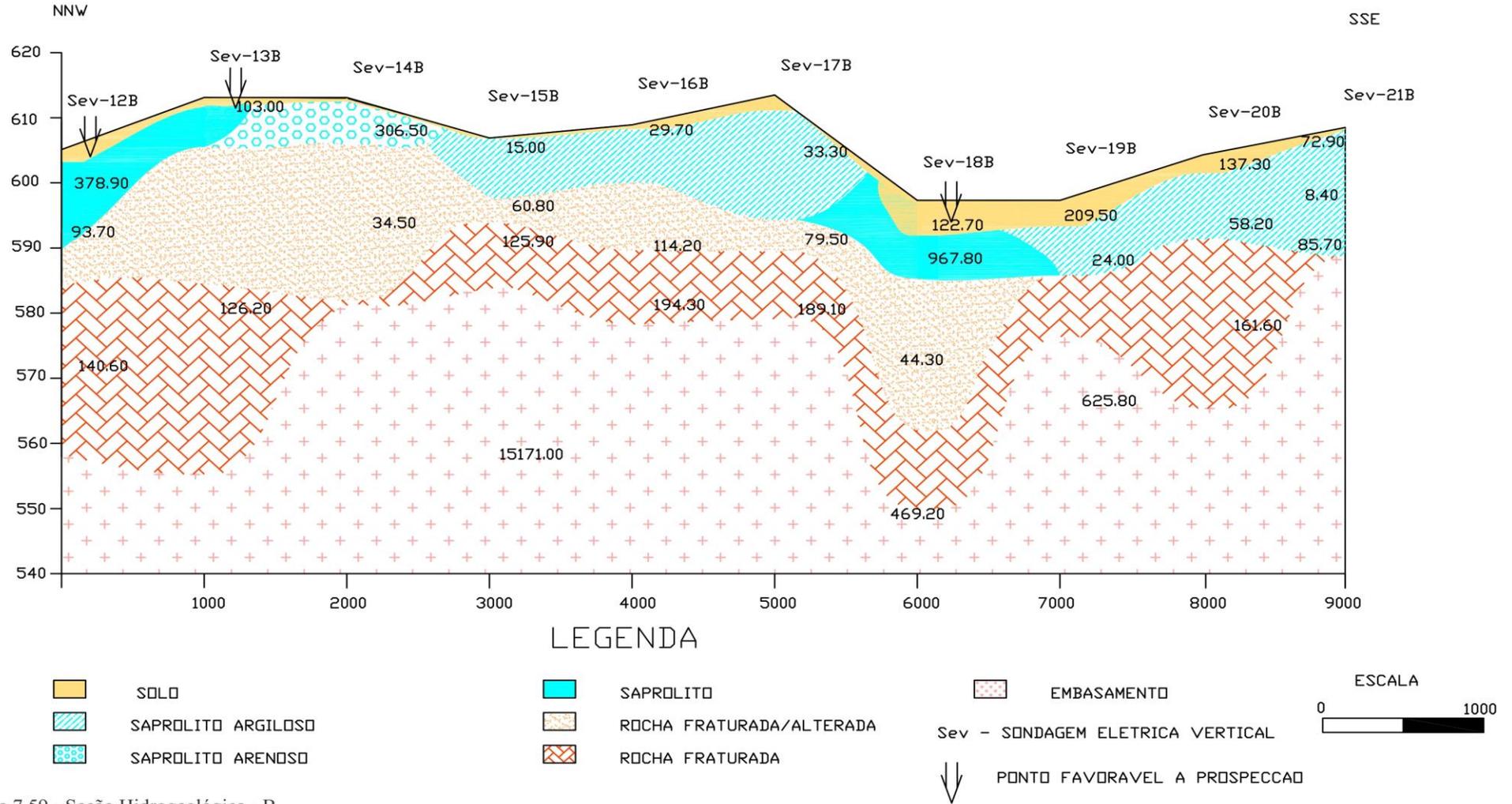


Figura 7.59 - Seção Hidrogeológica - B

Seção Hidrogeológica Interpretada - C

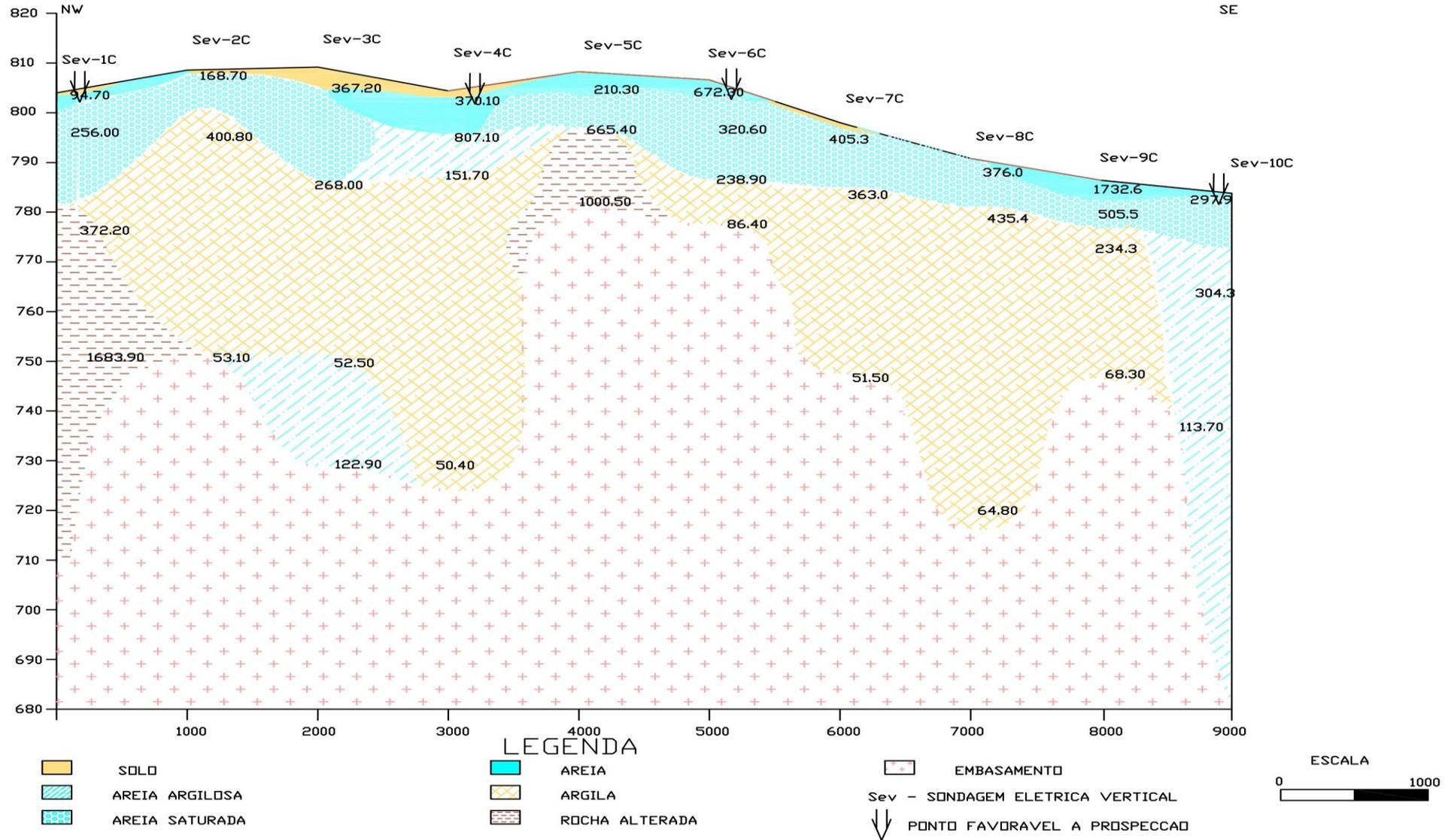


Figura 7.60 - Seção Hidrogeológica - C

Capítulo 7 – Caracterização Hidrogeológica e Hidroquímica

Seção Hidrogeológica Interpretada - D

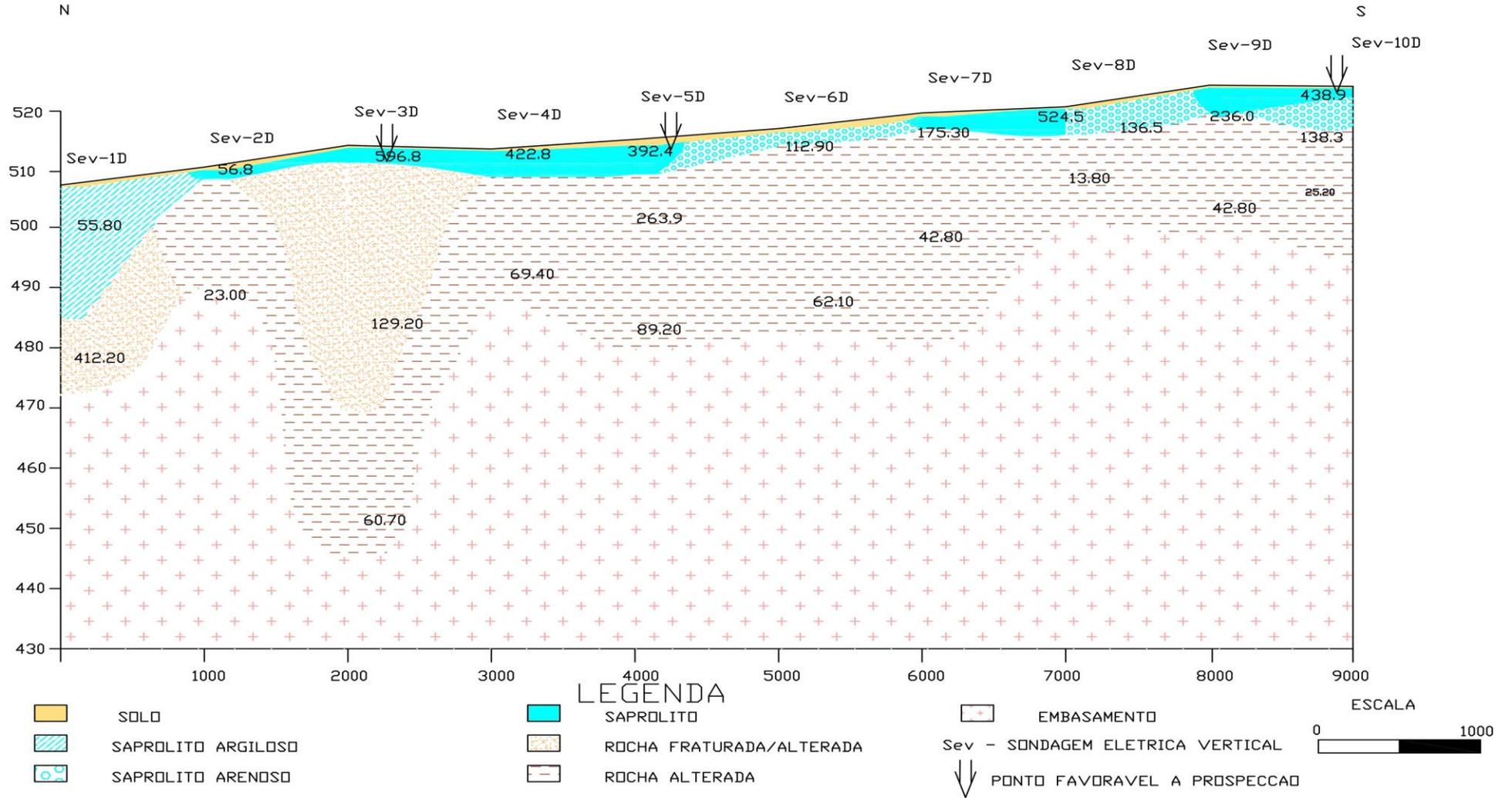


Figura 7.61 - Seção Hidrogeológica - D

Capítulo 7 – Caracterização Hidrogeológica e Hidroquímica

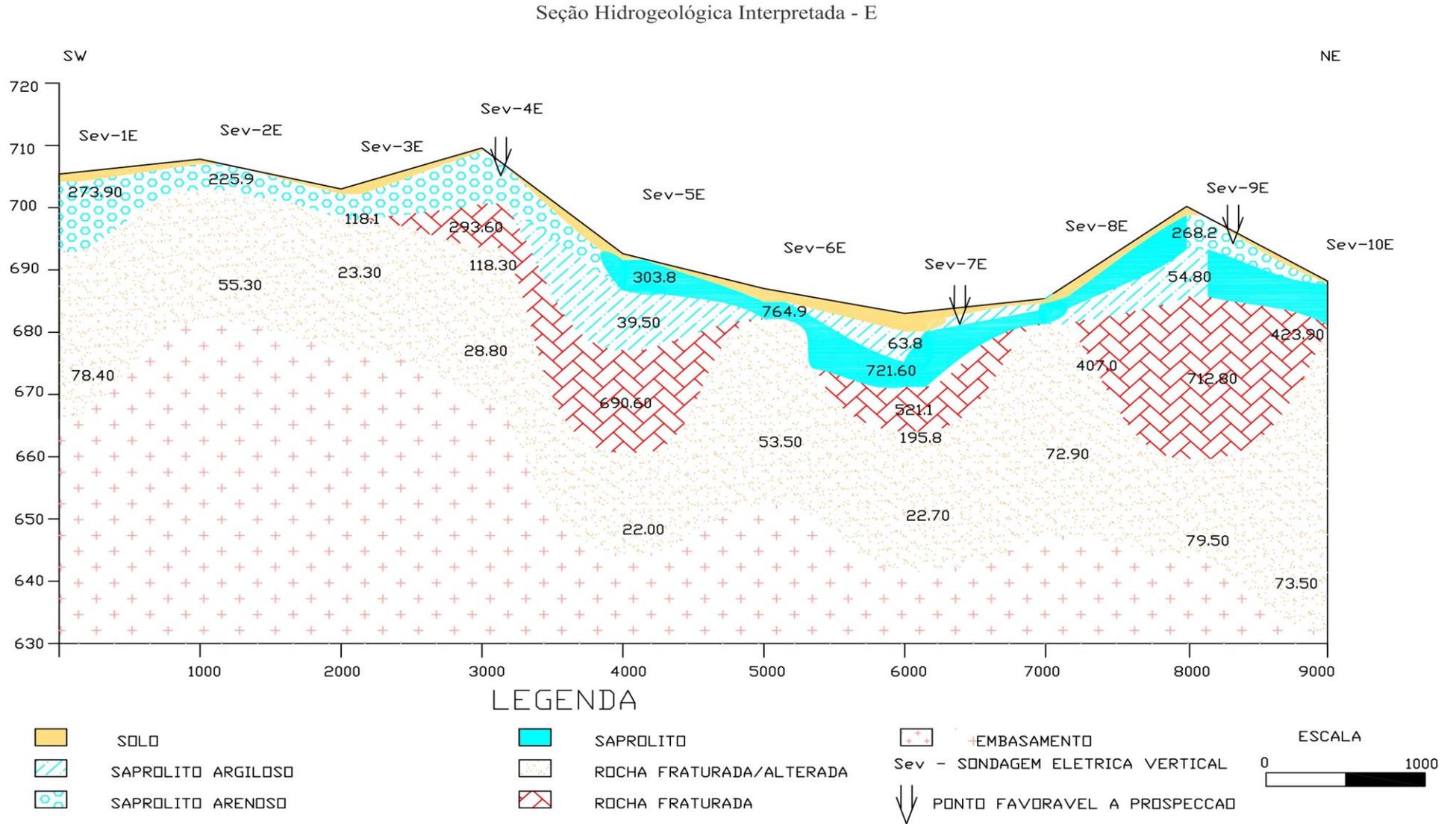


Figura 7.62 - Seção Hidrogeológica - E

710.1 Modelo Hidrogeológico Conceitual da Bacia

O Modelo Hidrogeológico do alto do rio Jiquiriçá está representado no mapa da figura 7.63. Neste mapa foram plotados as zonas de recarga e descarga dos aquíferos, as zonas principais de fluxo das águas subterrâneas, e as zonas com maior potencial e mais favoráveis à captação das águas subterrâneas. A área é representada por três domínios hidrogeológicos **domínio fissural A e B, domínio granular/fissural e domínio granular** com comportamento hidrogeológico diferentes entre si.

Observa-se que as áreas de maior potencial estão localizadas nas partes sudeste e central do domínio A, na parte noroeste do granular e na parte sudoeste e sudeste do domínio granular/fissural. Relacionando-se com as principais direções de fluxo que ocorre preferencialmente nos sentidos SW-NE.

As áreas com médio potencial ocorrem principalmente no domínio granular e parte norte do domínio A. Já a área com menor potencial de água subterrânea ocorre no domínio hidrogeológico B, sendo também a área com águas mais salinizadas

As áreas representadas pelas coberturas e a parte central do domínio A são as principais áreas de recarga do aquífero, sendo o domínio A, a área de realimentação direta. Portanto, mais vulnerável à contaminação.

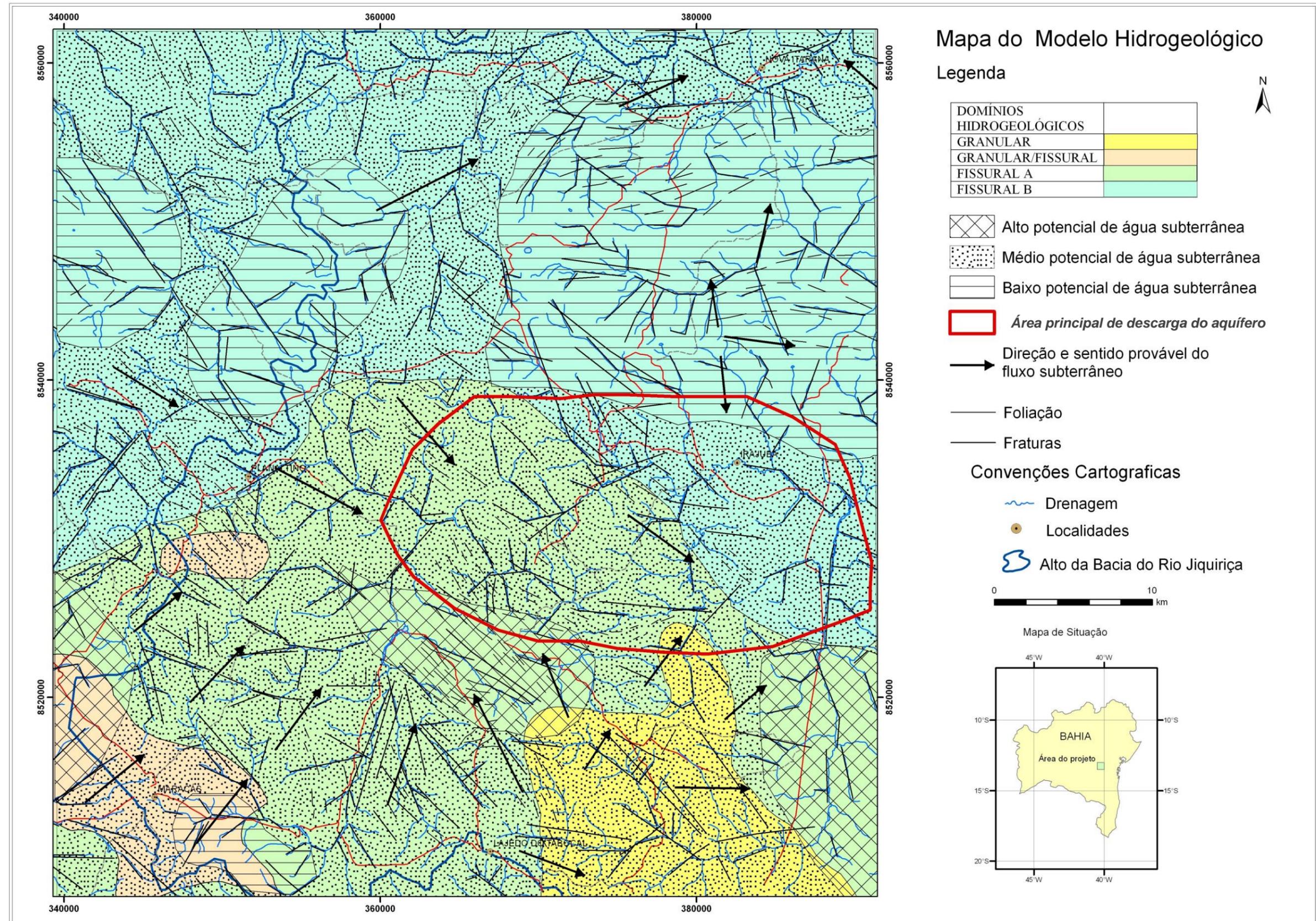


Figura 7.63 – mapa do modelo Hidrogeológico do alto rio do rio Jiquiriça.

8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir da avaliação do potencial hidrogeológico do alto da bacia do rio Jiquiriçá como fonte hídrica subterrânea, o presente estudo conclui que:

Na avaliação hidrogeológica, a divisão da área em 3 domínios aquíferos foi um elemento facilitador na sua caracterização:

- Domínio granular/fissural;
- Domínio granular;
- Domínio fissural.

O Alto Jiquiriçá é representado, por aquíferos fissurais e em áreas restritas, aquífero misto granular/fissural e granular. Os aquíferos fissurais do alto Jiquiriçá, estão representados pelas rochas do embasamento cristalino constituídas por rochas metamórficas de fácies granulito do Complexo Jequié. A análise integrada das informações geológico-estrutural, tectônica e hidrogeológica, permitiu a compartimentação do aquífero fissural em dois sub-domínios hidrogeológicos A e B.

No domínio A as rochas se apresentam mais densamente fraturadas com comportamento rúptil dominante. No domínio B, as rochas mostram comportamentos mais dúcteis com moderada densidade de fraturamento, contribuindo para um comportamento distinto em termos de potencial hidrogeológico.

As fraturas com direção NE e NW são fraturas de tração mais abertas em relação as demais fraturas. As áreas com fraturas de cisalhamento direção Leste-Oeste não armazenam água em quantidade significativas e/ou não há interconexões entre elas. Embora exista controle litológico na produtividade dos poços que exploram os sub-domínios A e B, os aspectos estruturais no caso específico da área exercem maior controle na produtividade. Este fato foi demonstrado no capítulo 5 na descrição dos domínios estruturais.

As coberturas detríticas (manto de intemperismo) e as coberturas sedimentares são importantes para manter a recarga dos aquíferos.

Capítulo 8 – Conclusões e Recomendações

A capacidade específica é o parâmetro que melhor reflete as características hidráulicas dos aquíferos e o mais representativo da potencialidade. Obteve-se um valor médio de 0,1825 m³/h/m, para o domínio A; 0,0827 m³/h/m para o B; 0,7117 no granular/fissural e 0,325 no granular. Portanto, caracteriza-se como um importante aquífero para a solução do déficit da região.

O parâmetro profundidade do poço não exerce influência direta na produção dos poços, pois não é representativo das características hidráulicas do meio aquífero. A vazão é função unicamente das características de cada zona fraturada e cada uma delas tem características distintas relativo à produtividade de água.

Nos domínios granular/fissural e granular verifica-se diferenças de vazão dos poços. Os poços do domínio granular/fissural situam-se em faixas de maior concentração de fraturamento, sempre associados a eventos geológicos de ordem estrutural com a presença de uma cobertura de composição arenosa, com seção filtrante, e também pela entrada de água no embasamento e por isso tudo apresenta melhores vazões. No domínio granular a composição é mais argilosa, diminuindo a permeabilidade deste domínio e como consequência tem-se a diminuição das vazões.

Os valores de transmissividade ($2,95 \times 10^{-5}$ m²/mim a $1,22 \times 10^{-3}$ m²/mim), armazenamento ($7,94 \times 10^{-4}$ a $2,98 \times 10^{-2}$) e condutividade hidráulica ($5,29 \times 10^{-6}$ m/mim a $1,66 \times 10^{-5}$ m/mim) encontrados para o domínio fissural, estão dentro da faixa de valores encontrados em outros estudos realizados na Bahia e Nordeste.

Nos três domínios estudados, as águas são predominantemente cloretadas-sódicas. As águas do domínio granular são menos salinizadas, portanto, de melhor qualidade podendo ser utilizada na agricultura e também para o abastecimento humano.

Dos parâmetros analisados, o sulfato, nitrito, alcalinidade, alumínio, e manganês, apresentam concentrações abaixo dos valores máximos permitidos (VMPs) segundo o padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde. Destaca-se neste contexto, os altos valores obtidos para condutividade elétrica, cloreto, sódio, magnésio, sólidos totais, e em alguns pontos, o ferro apresenta valores significativamente elevados,

provavelmente em função da tubulação usada nos poços ou possivelmente estão associados a dissolução desse íon a partir dos minerais ou compostos de ferro presentes no aquífero.

Com o uso do método da eletrorresistividade obteve-se a caracterização geométrica das unidades geológicas e dos aquíferos quanto as suas resistividades e espessuras, que integrado às informações hidrogeológicas, tornou possível a avaliação quantitativa da potencialidade hídrica dos aquíferos existentes. Esses conhecimentos contribuem para melhor planejamento dos trabalhos de prospecção direcionados para locação de poços tubulares profundos.

Como recomendações para trabalhos futuros sugere-se:

a – Realização e adensamento de estudos geofísicos com outros métodos elétricos e eletromagnéticos para definir a geometria do aquífero para que se possa efetuar locações com maior precisão.

b – Instalação de equipamentos de dessalinização nos poços paralisados e/ou abandonados em virtude das altas salinidades, e que tenham boa capacidade produtiva.

c - Criação de um programa, visando o levantamento, cadastramento e análise interpretativa de todos os dados existentes, com relação às águas subterrâneas da área, tornando-os disponíveis aos usuários, através de um SIG.

d - Aprimorar o nível de conhecimento geológico- estrutural e hidrogeológico, tendo em vista a necessidade de compreensão do modelo de funcionamento do sistema aquífero.

e – Realização de estudo de detalhe em áreas de maior potencial hidrogeológico.

f – Ampliação dos estudos para o restante da bacia possibilitando uma melhor avaliação do impacto da variação climática no potencial hidrogeológico comparativamente às condições geológicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J. do P. T. Contribuição ao conhecimento do sistema cristalino do estado da Paraíba como domínio aquífero. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 3., 1984. Fortaleza. **Anais...** São Paulo: ABAS, 1984. p. 489-506.

ALMEIDA, A. B. **Modelagem da produção de sedimentos na Bacia Hidrográfica do Jiquiriçá**. 2004 . Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2005.

AMORIM JUNIOR, V.; LIMA, O . A . L. de. Aquífero Urucuia: uma avaliação hidrogeológica integrando eletroresistividade e polarização induzida no domínio do tempo. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE GEOFÍSICA, 8., 2003. Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geofísica, 2003. 1 CD-ROM.

APHA (Washington). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 14 th ed. Washington: American Public Health Association, 1999. 1193 p.

BANKS, D.; ROBINS, N. **An introduction to groundwater in crystalline bedrock: norges geologiske undersokelse**. Trondheim: Geological Survey of Norway, 2002. 64 p.

BANKS, D. et al. Permeability and stress in crystalline rockes. **Terra Nova**, Oxford, v. 8, n. 3, p. 223-235, 1996.

BARBOSA, J. S. F.; DOMINGUEZ, J. M. L. (Coords.). **Geologia da Bahia: texto explicativo**. Salvador: Secretaria da Indústria, Comércio e Mineração, 1996. 382 p.

BRAGA, A. C. O. **Métodos geoeletricos aplicados**. Disponível em: <<http://ns.rc.unesp.br/igce/aplicada/geoeletricos-V3>>. Acesso em: 07 maio 2006.

_____. **Método de prospecção em hidrogeologia**. Apostila do curso de Graduação em Geologia, 1999. 66p.

CAMPOS, A. F. de. **Utilização de métodos geoeletricos na caracterização de rochas fraturadas: estudo de caso nos arenitos do Grupo Itararé – Bacia do Paraná**. 2004. 104 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

CENTRO DE ESTATÍSTICA E INFORMAÇÕES (Bahia). **Informações básicas dos municípios baianos**: Região Nordeste. Salvador, 1994. v. I.

COMPANHIA DE ENGENHARIA RURAL DA BAHIA (CERB). **Cadastro de poços tubulares do Estado da Bahia**. Salvador, 2006.

COSTA, W. D. **Análise dos fatores que atuam no aquífero Fissural**: área piloto dos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte. 1986. 225 f. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1986.

_____. Avaliação de reservas, potencialidade e disponibilidade de aquíferos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 10., 1998. São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABAS, 1998. 1 CD-ROM

_____.; SILVA, A. B. da. Hidrogeologia dos meios anisotrópicos. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. (Eds.). **Hidrogeologia**: conceitos e aplicações. Fortaleza: CPRM, 1997. p. 133-174.

CRUZ, W. B. **Alguns aspectos de circulação e salinização de águas subterrâneas em rochas cristalinas do Nordeste Brasileiro**. Recife: SUDENE, 1974. (Hidrogeologia, 8).

CUSTODIO, E.; RAMON LHAMAS, M. (Eds.). **Hidrologia subterrânea**. Barcelona: Omega, 1981. 2v.

DAVIS, S. N.; TURK, I. J. Optimum depth of wells in crystalline rocks. **Ground Water**, Dublin, v. 22, p. 6-11, 1964.

FEITOSA, F. A.; MANOEL FILHO, J. (Eds.). **Hidrogeologia**: conceito e aplicações. Fortaleza: CPRM, 1997. 389 p.

FERNANDES, A. J. F. **Tectônica cenozóica na porção média da bacia do Rio Piracicaba e sua aplicação à hidrogeologia dos Domínios fraturados**. 1997. 244 f. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

FERNANDES, C. E. M. **Fundamentos de prospecção geofísica**. Rio de Janeiro: Interciência, 1984. 190 p.

GUERRA, A. M.; NEGRÃO, F. I. Domínios hidrogeológicos do estado da Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 9., 1996. Salvador. **Anais...** São Paulo: ABAS, 1996. p. 108-112.

HANTUSH, M. S. hydraulics of Wells, In: TE CHOW, V. (Ed.). **Advance in hydrosciences**. New York: Academic Press, 1964. v. 1. p. 281-432.

HAUSMAN, A. Aspectos da circulação em aquíferos fraturados. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ÁGUA SUBTERRÂNEA EM ROCHAS FRATURADAS, 1., 1984. Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Associação Brasileira de Águas Subterrânea, 1984. p. 33-36.

_____. Circulação em rochas fissuradas: uma observação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2., 1982. Salvador. **Anais...** São Paulo: ABAS, 1982. p. 135-145.

HEWLETT, J. D. **Principles of forest hydrology**. Athens: The University of Georgia, 1982. 183 p.

KELLER, G. V. Rock and mineral properties. In: NABIGHIAN, M. N. (Ed.). **Electromagnetic methods in applied geophysics: theory**. [Tulsa]: Society of Exploration Geophysicists, 1988. v. 1.

KOEFOED, O. **Geosounding principles: resistivity sounding measurements**. Amsterdam: Elsevier, 1979. v. 1.

KUNETZ, G. **Principles of direct resistivity prospecting**. Berlim: Gebrüder Borntraeger, 1966. 103 p. (Geoexploration Monographs, v. 1).

LARSSON, I. 1977. Groundwater in hard rocks. International Seminar. Stockholm, Sweden, 40p.

LEAL, A. S. **Considerações sobre a circulação de água em rochas cristalinas e salinização em região árida: área piloto de Juazeiro-Curaçá, BA**. Recife: SUDENE, 1969. 28 p. (Hidrogeologia, 24).

LIMA JÚNIOR, G. C. **Avaliação hidrogeológica e hidrogeoquímica dos aquíferos fissurais situados no município do Conceição de Coité, Bahia, nordeste do Brasil.** 2007. 104 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2007.

LIMA, O. A. L. de. Geosistemas e recursos hídricos: água subterrânea no estado da Bahia. **Bahia, Análise & Dados**, Salvador, v. 13, n. especial, p. 391-402, 2003.

_____.; LEAL, L. R. B.; LUZ, J. A. G. 2005. Caracterização geológica e geofísica dos aquíferos na bacia hidrográfica do rio Salitre, Bahia. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRÁTON DO SÃO FRANCISCO, 3., 2005. Salvador. **Anais...** [Salvador]: Sociedade Brasileira de Geociências, 2005. v. 1. p. 23-25.

LIMA, O. A. L. de.; DIAS, C. A. Estudos geofísicos de uma área experimental na região semi-árida do Nordeste para armazenamento subterrâneo de água. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 10, n. 2, p. 141-154, 1980.

LUZ, J. A. G.; LEAL, L. R. B.; BARRETO, F. S. Aspectos quali-quantitativos do aquífero Bambuí na região de Irecê. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ESTUDOS DO CARSTE, 1., 2004. Belo Horizonte. **Anais...** [S. l.: s. n.], 2004. v. 1. p. 61.

MANOEL FILHO, J. Cálculo de propriedades hidráulicas em Domínio fissural e cárstico pelo método da capacidade específica fractal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 9., 1996. Salvador. **Anais...** São Paulo: ABAS, 1996.

_____. **Modelo de dimensão fractal para avaliação de parâmetros hidráulicos em meio fissural.** 1996. 197 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

MEDEIROS, W. E.; LIMA, O. A. L. A geoelectrical investigation for groundwater in crystalline terrains of Central Bahia, Brazil. **Ground Water**, Dublin, v. 28, n. 4, p. 518-523, 1990.

MELLO, J. C. **Análise e interpretação de perfis de VLF, modelo “WADI”, utilizado para locações de poços tubulares em rochas cristalinas e cársticas.** Salvador: CERB, 1997.

MENTE, A.; MONT’ALVERNE, A. F. Mapa hidrogeológico do Brasil na escala de 1:5.000.000. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2., 1996. Salvador. **Anais...** São Paulo: ABAS, 1982. p. 111-117.

MONTEIRO, A. C. **Eletrorresistividade aplicada na avaliação do potencial aquífero da região de Porto Seguro- BA.** 1999. 103 f. Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1999.

MOTA, S. U. S. **Caracterização hidrogeológica do setor oriental do pólo industrial de Camaçari utilizando geofísica elétrica.** 2004. 68 f. Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.

NASCIMENTO, S. A. M. **Diagnóstico hidrogeológico, hidrogeoquímico e da qualidade da água do aquífero freático do Alto Cristalino de Salvador – Bahia.** 2008. 214 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2008.

NEGRÃO, F. I. **Hidrogeologia do Estado da Bahia:** qualidade, potencialidade, disponibilidade, vulnerabilidade e grau de poluição. 2007. Tese (Doutorado) - Instituto Universitario de Xeoloxía Isidro Parga Pondal, Universidade da Coruña, A Coruña, 2007.

NEVES, B. B. de B.; MANOEL FILHO, J. Geologia e províncias hidrogeológicas da Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26., 1972. Belém. **Anais...** [Belém]: SBG, 1972. p. 195-214.

NEVES, M. A. **Análise integrada aplicada a exploração de água subterrânea na Bacia do Rio Jundaí (SP).** 2005. 200 f. Tese (Doutorado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2005.

ORELLANA, E.; MOONEY, H. M. **Tablas y curvas patrón para sondeos eléctricos verticales sobre terrenos estratificados.** Madrid: Interciencia, 1966.

PALMA, C. M.; LIMA, O. A. L. Avaliação geoeletrica detalhada da pluma de contaminação no bloco aquífero Caraíba usando eletrodos enterrados. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE BRAZILIAN GEOPHYSICAL SOCIETY, 8., 2003. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geofísica, 2003.

PARASNIS, D. S. **Principles of applied geophysics.** 5th ed. London: Chapman and Hall, 1997. 429 p.

PINÉO, T. R. G. **Integração de dados geofísicos, geológicos e de sensores remotos aplicados à prospecção de água subterrânea em meio fissural:** distrito de Juá, Irauçuba - CE. 2005. 122 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

QUALIGRAF. Qualigraf 1.0 [on line]. Fortaleza: Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, 2005. Disponível em: <<http://www.funceme.br/DEHID/index.htm>>. Acesso em: 07 nov. 2006.

REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras, 1999.

REBOUÇAS, A. C. **Diagnóstico do setor hidrogeologia**. Brasília: ABAS, 1996. 52 p.

_____. A política nacional de recursos hídricos e as águas subterrâneas. **Revista da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas**, São Paulo, n. 16, p. 83-95, maio. 2002.

_____. **Recursos naturais do Nordeste: investigação e potencial**. Recife: SUDENE, 1972. 74 p.

REYNOLDS, J. M. 1997. **An introduction to applied and environmental geophysics**. New York: John Wiley, 1997. 796 p.

ROSA, E. de S. **Avaliação hidrogeológica do aquífero São Sebastião na folha de Olindina utilizando geofísica de poço e de superfície**. 2004. 125 f. Dissertação (Mestrado em Geofísica) –Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.

SANTOS, C. B.; LEAL, L. R. B.; LUZ, J. A. G. Caracterização da contaminação por chumbo do aquífero fissural na área do aterro municipal da cidade de Feira de Santana. In: CONGRESSO DE GEOQUÍMICA DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA, 8., 2005. Aveiro. **Anais ...** [S. l.: s. n.], v. 1. p. 123-125.

SINGHAL, B. B. S.; GUPTA, R. P. **Applied hydrogeology of fractured rocks**. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1999. 400 p.

SIQUEIRA, L. **Contribuição da geologia à pesquisa de água subterrânea no Cristalino**. Recife: SUDENE, 1963. 66 p.

SNOW, D. T. Anisotropic permeability of fractured media. **Water Resources Research**, Washington, v. 5, n. 6, p. 1273-1289, 1969.

SOUZA, M. L. **Estudo geoeletrico-hidrogeológico da porção costeira da Bacia do Rio São Gonçalo-CE**. 2002. 101 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2002.

STIFF, H. A. The interpretation of chemical water analysis by means of patterns. **Journal of Petroleum Technology**, Dallas, v. 3, n. 10, p. 15-17, 1951.

SUPERINTENDÊNCIA DE RECURSOS HÍDRICOS (Bahia). **Plano estadual de recursos hídricos**. Salvador, 2003. 1 CD-ROM.: relatório final. Salvador, 2003. 1 CD-ROM

TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E. **Applied Geophysics**. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. 770 p.

THEIS, C.V.; RUSSEL, H. B.; MEYER, R. R. Estimating the transmissibility of aquifers from specific capacity wells: methods of determining permeability, transmissibility and drawdown. **Geological Survey Water Supply Paper**, Washington, n. 1536-1, p. 331-341, 1963.

USSL. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: U.S.D.A., 1954. (Handbook, 60).

VALLEJO, L. I. G. de. et al. **Ingeniería geológica**. Madrid: Isabel Capella Pearson Educación, 2002. 744 p.

VELPEN, V. **RESIST**: program for the interpretation of Schlumberger, Wenner and Dipole-Dipole sounding curves. Netherlands: ITC, 1988.

VIDAL, C. L. R. **Disponibilidade e gerenciamento sustentável do aquífero Serra Grande no município de Picos – Piauí**. 2003. 162 f. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

VOZOFF, K. Numerical resistivity analysis horizontal layers. **Geophysics**, Houston, v. 23, p. 536-556, 1958.

WARD, S. H. Resistivity and induced polarization methods. In: WARD, S. H. (Ed.). **Geotechnical and environmental geophysics**. 2nd ed. Tulsa: Society of Exploration Geophysicists, 1990. v. II.

WARD, R. C. **Principles of Hydrology**. New York: McGraw-Hill, 1967. 365 p.

ZOHDY, A. A. R. The auxiliary point method of electrical sounding interpretation and relationship to the Dar Zarrouck parameters. **Geophysics**, Houston, v. 30, p. 644–660, 1965.

APÊNDICE

Apêndice -1

Cadastro dos Poços Tubulares por Aquífero

Apêndice -2

Resultado das análises químicas dos poços amostrados nas duas campanhas de campo

Apêndice -3

Sondagens Elétricas Verticais (SEV's)

Sondagens Elétricas Verticais (SEV's) – Perfil A

Sondagens Elétricas Verticais (SEV's) – Perfil B

Sondagens Elétricas Verticais (SEV's) – Perfil C

Sondagens Elétricas Verticais (SEV's) – Perfil D

Sondagens Elétricas Verticais (SEV's) – Perfil E

Apêndice -1

Cadastro dos Poços Tubulares por Aquífero

Poços CERB	Município	Localidade	Profundidade (m)	NE (m)	ND (m)	Vazão (m³/h)	Entradas de Água (m)	STD (mg/l)	CL (mg/L)	DUR (mg/L)	Domínio Hidrogeológico
1_1227	ITIRUÇU	SEDE 5	59,50	2,66	36,29	9,648	29, 34, 41, 46, 52, 54	272,0	137,0	18,0	Granular
1_2049	ITIRUÇU	FAZ. PATI	69,00	0,45	44,20	7,200	18, 20, 53	3768,0	1371,0	1885,3	Fissural
1_2058	ITIRUÇU	FAZ. BAIXA DA FRUTEIRA	14,50	0,56	12,25	1,440	7, 9, 11, 13	4270,0	1444,8	837,9	Granular
1_2067	ITIRUÇU	JATOBA 2	14,25	0,98	10,24	3,492	6, 8, 11, 13	308,0	117,5	41,6	Granular
1_2076	MARACÁS	LAJEDO DO TABOCAL 2	19,10	3,09	13,14	3,168	7, 9, 14, 16	208,0	58,8	28,6	Granular
1_210	JAGUAQUARA	ENTRONCAMENTO DE JAGUAQUARA	61,50	33,40	54,63	1,970	42, 47, 58	370,6	70,0	27,0	Granular
1_2118	PLANALTINO	BARRO VERMELHO	70,00	2,10	59,59	1,040	36, 43	3738,0	1476,6	1752,5	Fissural
1_2383	PLANALTINO	FAZ. SAMBAMBAIA	60,00	13,25	41,69	4,644	25, 28, 54	1966,0	1005,4	904,1	Granular/Fissural
1_2385	PLANALTINO	FAZ. JABUTICABA	70,00	0,00	53,45	3,744	14, 19	1560,0	352,5	587,6	Fissural
1_2514	MARACÁS	FAZ. RANCHO ARIZONA	70,00	8,29	61,51	0,324	39, 53	1338,0	529,0	669,0	Fissural
1_2672	MARACÁS	FAZ. SANTO ANTÔNIO	50,00	4,00	22,83	14,000	22, 27	7062,0	2991,0	3148,0	Fissural
1_2675	MARACÁS	FAZ. SANTO ANTÔNIO	70,00	2,17	47,54	5,796	19, 21, 43	6636,0	2672,0	3471,0	Fissural
1_2677	MARACÁS	FAZ. SANTO ANTÔNIO	60,00	2,82	46,63	2,412	14, 16	7278,0	3236,0	2916,0	Fissural
1_2981	LAFAYETE COUTINHO	SEDE	70,00	0,96	56,35	3,456	8, 14, 20	2384,0	1257,0	615,0	Granular/Fissural
1_3007	MARACÁS	FAZ. BOM JARDIM	80,00	5,84	63,18	4,104	21, 41, 70	11520,0	4733,0	4954,0	Fissural
1_3016	MARACÁS	FAZ. NOVO AMPARO	48,00	4,41	25,76	6,408	10, 19	4064,0	1898,0	1593,0	Fissural
1_3024	LAFAYETE COUTINHO	VOLTA	70,00	3,31	50,85	5,400	10, 19	2580,0	961,0	1303,0	Fissural
1_3043	IRAJUBA	FAZ. CONCEIÇÃO DO BAIXÃO	70,00	6,94	58,28	1,296	24	4968,0	2441,0	1639,0	Fissural
1_3366	MARACÁS	FAZ. ALVORADA	70,00	0,50	31,10	8,316	32, 41, 63	6482,0	2636,0	3417,0	Fissural
1_3374	MARACÁS	FAZ. ALIANÇA	80,00	2,40	39,00	4,932	12, 17, 48	300,0	71,0	167,0	Fissural
1_3425	ITIRUÇU	SEDE	63,70	7,60	32,92	12,168	41, 51, 59	608,0	181,0	31,0	Granular
1_3442	ITIRUÇU	SEDE	59,00	8,00	30,00	13,000	32, 47, 54	378,0	119,0	58,0	Granular
1_3447	MARACÁS	FAZ. VOLTA DO RIO	70,00	3,95	43,66	4,400	23, 24, 57	3606,0	1275,0	1576,0	Fissural
1_3598	LAFAYETE COUTINHO	FAZ. LAGOA	51,00	6,43	36,17	1,584	27, 47	2826,0	970,0	1457,0	Fissural
1_3802	JAGUAQUARA	SÍTIO LUCIDANY	70,00	2,10	44,28	4,032	10, 18, 40	4170,0	1697,0	2266,0	Fissural
1_381	MARACÁS	CAPIVARA	50,00	5,80	42,19	0,432		2076,0	895,0	845,0	Fissural
1_3822	MARACÁS	FAZ. CAZUZA	70,00	15,02	58,57	1,908	21, 35	232,0	14,0	88,0	Fissural
1_3826	MARACÁS	FAZ. ABERTURA DOIS	92,00	10,20	65,84	1,188	19, 27, 82	762,0	243,0	293,0	Fissural
1_3842	LAFAYETE COUTINHO	FORTALEZA NOVA	65,00	0,00	54,09	3,670	17 - 19 - 60	3868,0	1670,0	1658,0	Fissural
1_3848	LAFAYETE COUTINHO	MORRO DOS LUNDUS	70,00	0,00	46,00	0,300	18	2466,0	920,0	1248,0	Fissural
1_3856	LAFAYETE COUTINHO	SAO JOAQUIM	50,00	2,00	41,00	2,000	28, 38, 46				Fissural
1_391	MARACÁS	PÉ DE SERRA	60,00	7,25	53,90	3,276		4970,0	2020,0	2160,0	Fissural
1_3987	MARACÁS	FAZ. ABERTURA DOIS	60,00	9,88	51,52	0,648	26	1868,0	725,0	829,0	Fissural
1_400	JAGUAQUARA	FAZ. TATU	50,00	9,69	43,54	1,235	14	3534,0	1700,0	1560,0	Fissural

Poços CERB	Município	Localidade	Profundidade (m)	NE (m)	ND (m)	Vazão (m³/h)	Entradas de Água (m)	STD (mg/l)	CL (mg/L)	DUR (mg/L)	Domínio Hidrogeológico
1_48	ITIRUÇU	SEDE 1	40,00	2,73	12,23	0,400					Fissural
1_5307	LAFAYETE COUTINHO	LANCHINHA	67,00	3,00	54,00	1,800	13, 54	2316,0	1025,0	745,0	Fissural
1_5309	LAFAYETE COUTINHO	FAZ. OLHO D'ÁGUA	70,00	3,00	56,00	0,600	36	3936,0	1660,0	1527,0	Fissural
1_5311	LAFAYETE COUTINHO	AMAZONAS	53,00	9,00	27,00	10,000	28, 35	2864,0	1250,0	873,0	Fissural
1_5315	ITIRUÇU	FAZ. PEDRA	24,00	7,00	22,00	0,500	7, 9, 15, 17, 21	540,0	213,0	110,0	Granular/Fissural
1_5316	MARACÁS	CACHOEIRINHA	60,00	4,00	30,00	12,000	25, 27, 41	1984,0	743,0	824,0	Fissural
1_5381	IRAJUBA	CHARCO	50,00	1,00	43,00	5,000	38	21512,0	9378,0	9772,0	Fissural
1_544	NOVA ITARANA	FAZ. OURO FINO	45,00	1,00	23,20	8,890	6, 15, 30, 36	9210,0	3300,0	2450,0	Fissural
1_56	ITIRUÇU	SEDE 2	41,00	0,57	27,03	5,570	6, 15, 25	726,0	328,5	22,5	Granular
1_57	LAFAYETE COUTINHO	SEDE 2	27,00	4,30	24,00	2,700	14, 18, 23	486,0	152,0	58,0	Granular/Fissural
1_592	JAGUAQUARA	FAZ. LAGOA DOS PATOS	60,00	2,36	50,95	0,324	12	4122,0	2160,0	1510,0	Fissural
1_594	PLANALTINO	FAZ. SENHOR DO BONFIM	60,00	0,00	44,54	2,988	46, 54	35516,0	15400,0	18800,0	Fissural
1_617	NOVA ITARANA	FAZ. PARAÍSO	65,00	1,15	41,98	5,256	33, 57, 63	4992,0	2600,0	1840,0	Fissural
1_619	ITIRUÇU	FAZ. ROSÁRIO	60,00	1,72	54,00	0,756	23	4198,0	1900,0	1840,0	Granular/Fissural
1_62	ITIRUÇU	SEDE 3	68,80	0,43	21,81	10,720	5, 42, 50, 62	488,0	258,0	52,0	Granular/Fissural
1_621	NOVA ITARANA	SEDE	47,50	2,60	35,00	2,808	24, 26, 29	4812,0	2250,0	2310,0	Fissural
1_6546	JAGUAQUARA	BAIXAO DE IPIUNA	80,00	1,00	59,00	1,700	25	198,0	16,0		Fissural
1_6549	LAFAYETE COUTINHO	CAJAZEIRA	80,00	0,00	49,00	6,000	19 - 26 - 33	5632,0	2060,0		Fissural
1_6557	ITAQUARA	A CASTELO BRANCO	70,00	0,00	58,00	2,124	23, 37	2822,0	1160,0	1002,0	Fissural
1_6559	ITAQUARA	RIACHO DO SILVA	80,00	0,00	58,00	1,656	49	3988,0	1540,0	1299,0	Fissural
1_6561	ITAQUARA	ALTO DO SILVA	80,00	1,00	63,00	1,626	32	4052,0	1360,0	1378,0	Fissural
1_6572	LAFAYETE COUTINHO	MIMOSO	70,00	0,00	36,28	14,400	55 - 60	2944,0	1132,0	1227,0	Fissural
1_6592	ITAQUARA	DUAS PONTES	75,00	12,00	66,00	1,779	20, 23	750,0	240,0	110,0	Fissural
1_6627	ITIRUÇU	BAIXA DO MEIO	70,00	2,43	50,76	2,500	7, 11	2528,0	1021,0	1148,0	Fissural
1_6672	NOVA ITARANA	KM 100	80,00	3,00	55,00	0,300	17, 30	4626,0	2009,0	1514,0	Fissural
1_6744	LAFAYETE COUTINHO	SALINAS	78,00	3,00	54,00	1,450	10, 43	3772,0	1313,0	1759,0	Fissural
1_68	LAFAYETE COUTINHO	SEDE 3	40,00	1,50	23,71	7,540	4, 7, 17, 23	628,0	280,0	140,0	Granular/Fissural
1_6881	MARACÁS	AGUA BRANCA	50,00	2,00	28,00	12,000	41, 43	2430,0	874,0	939,0	Fissural
1_6884	LAFAYETE COUTINHO	SAO JOAQUIM	80,00	10,00	63,00	1,000	49	20744,0	9042,0	9078,0	Fissural
1_7068	PLANALTINO	ASSENT.SÃO DIOGO	80,00	2,00	65,00	0,972	52	554,0	223,0	246,0	Fissural
1_7279	JAGUAQUARA	MOCÓ	80,00	1,00	54,00	2,000	14	5520,0	2337,0	2229,0	Fissural
1_73	ITIRUÇU	SEDE 4	60,00	2,40	21,80	8,700	30, 53	406,0	231,0	20,0	Granular
1_7421	MARACÁS	ASSENT. BOQUEIRÃO	54,00	4,00	37,00	3,000	18, 28	7088,0	3082,0	2790,0	Fissural
1_7513	PLANALTINO	ASSENT.SÃO DIOGO	60,00	1,00	25,00	15,000	7, 18	3422,0	1605,0	1251,0	Fissural
1_7515	PLANALTINO	ASSENT. SÃO DIOGO DOIS	70,00	1,00	59,00	1,000	38	1554,0	614,0	600,0	Fissural

Poços CERB	Município	Localidade	Profundidade (m)	NE (m)	ND (m)	Vazão (m³/h)	Entradas de Água (m)	STD (mg/l)	CL (mg/L)	DUR (mg/L)	Domínio Hidrogeológico
2_1259	ITIRUÇU	FORTALEZA	60,00	22,49	47,91	0,939		1188,0	270,0	423,0	Granular/Fissural
2_1260	PLANALTINO	CAMPINHOS	80,00	1,52	64,00	0,300	9	3590,0	1389,0	1623,0	Fissural
2_1261	LAFAYETE COUTINHO	JEQUIEZINHO UM	70,00	4,33	17,10	1,540	14	6580,0	3231,0	1211,0	Fissural
2_1288	LAFAYETE COUTINHO	BAIXAO DA LANCHINHA	80,00	8,34	63,67	1,290	42, 47, 53	2948,0	1243,0	1336,0	Fissural
2_1412	MARACÁS	CIRIGADO	70,00	4,00	20,50	15,220	34	4180,0	1564,0	1985,0	Fissural
2_1532	JAGUAQUARA	SANTO ESTEVAO	69,00	1,00	44,27	3,232	38, 67	202,0	10,0	108,0	Fissural
2_1899	MARACÁS	PÉ DO MORRO	80,00	0,00	64,46	0,425	14	102,0	12,0	19,0	Fissural
2_1901	MARACÁS	CERCA DE PEDRAS	70,00	1,97	42,88	4,525	11, 15, 64	4550,0	1611,0	1300,0	Fissural
2_1904	MARACÁS	TABUA	70,00	5,78	51,09	0,733	13	1458,0	505,0	653,0	Fissural
2_1907	MARACÁS	CACHOEIRINHA	70,00	0,00	53,63	0,954	12	2008,0	766,0	838,0	Fissural
2_1911	LAFAYETE COUTINHO	MARIMBONDO	60,00	2,37	32,67	11,155	48, 52	2868,0	771,0	1090,0	Fissural
2_1914	LAFAYETE COUTINHO	TERRA NOVA	70,00	0,20	52,15	1,115	35	4250,0	1651,0	1425,0	Fissural
2_1920	ITAQUARA	MOCO	80,00	8,00	59,00	0,900	22	3498,0	1241,0	1479,0	Fissural
2_1924	LAJEDO DO TABOCAL	MORRO DAS ROSAS	70,00	0,96	46,16	3,060	8,00 - 14,00	1340,0	416,0	182,0	Fissural
2_1933	LAJEDO DO TABOCAL	CALEMBE	72,00	0,00	49,59	0,249	35	1620,0	676,0	543,0	Fissural
2_367	MARACÁS	FAZ. SÃO GENARO	60,00	5,60	29,86	6,400	40, 50				Fissural
3_1639	ITIRUÇU	FAZ. INDEPENDÊNCIA	48,00	2,90	25,78	2,700	16, 18, 23, 44	2652,0	1329,0	681,0	Fissural
3_2182	MARACÁS	FAZ. SÃO JOÃO	48,00	1,80	37,50	0,380		900,0			Fissural
3_2184	MARACÁS	FAZ. SANTA RITA	60,00	2,46	28,66	6,600		3050,0			Fissural
3_2187	MARACÁS	FAZ. NOVA ESPERANÇA	72,00	5,90	48,05	1,000	23	1206,0			Fissural
3_4178	LAFAYETE COUTINHO	FAZ. SÃO JOSÉ	74,00	3,00	41,57	0,660	15, 34				Fissural
3_5250	MARACÁS	PÉ DE SERRA	60,00	18,10	38,50	6,500	30, 42, 46	3610,0	1418,0	1701,0	Fissural
E - M-1	MARACÁS	BAIXA FUNDA	70,00	5,00	11,00	15,530					Granular/Fissural
E - M-2	MARACÁS	BAIXA FUNDA	70,00	2,00	8,00	15,230					Granular/Fissural
E-Marc2	MARACÁS	SEDE	80,00	8,00	26,00	5,280		378,0	119,5	25,5	Granular/Fissural

Apêndice –2

Resultado das análises químicas dos poços amostrados nas duas campanhas de campo uma coleta no período seco outra no período chuvoso

Coordenadas					Parâmetros (mg/L)															Domínio Hidrogeológico
Poços	X	Y	Municípios	Localidades	Alcalinidade Bicarbonato	Cl	NO2	NO3	PO4	SO4	Al	Fe	Mg	Mn	Ca	Na	K	STD	CE	
PT- CB-1	355546	8512738	MARACÁS	Boqueirão	10	1689	0,01	0,5	0,12	3,36	0,3	113,62	188,05	1,27	196,53	375,13	45,63	2000	5010	Fissural A
PT- CB-2	360956	8524774	PLANALTINO	Nova Italia	46	3761	0,01	0,3	0,34	97,52	0,3	1,01	624,87	13,49	598,74	558,74	14,93	2000	9900	Fissural A
PT- CB-3	371377	8531714	PLANALTINO	Angelica	2,5	2484	0,01	0,92	0,18	7,8	0,3	27,89	431,87	1,36	343,58	700,64	47,55	2000	6320	Fissural A
PT- CB-4	371146	8530298	PLANALTINO	Angelica poço	33	4258	0,01	0,46	0,15	1,98	0,3	103,56	271,24	7,16	210,07	462,54	16,27	2000	6222	Fissural B
PT- CB-5	352775	8536950	PLANALTINO	Barro Vermelho	219	451	0,001	1,9	0,34	44,66	0,3	27,64	23,47	0,39	22,89	238,73	4,69	1032	1788	Fissural A
PT- CB-6	341914	8512420	MARACÁS	Faz. S. Antônio	16	3927	0,01	0,75	1,5	2,03	0,3	34,19	324,66	5,82	515,51	1249,18	92,29	2000	10880	Fissural A
PT- CB-7	383924	8549342	IRAJUBA	Faz. Conceição	75	1112	0,03	21,05	0,14	42,84	0,3	0,09	68,11	0,05	90,01	974,47	39,99	2000	4010	Fissural B
PT- CB-8	355642	8511424	L. DO TABOCAL	Faz. Palmeiras	9	885	0,01	2,19	0,32	167,9	0,3	46,31	24,91	0,57	17,04	359,88	30,18	1534	2680	Fissural A
PT- CB-9	345646	8518810	MARACÁS	Faz. Vitória	106	281	0,02	12,7	0,5	143,5	0,3	0,39	28,73	0,51	30,8	178,79	5,26	860	1497	Fissural A
PT- CB-10	389779	8536852	IRAJUBA	Irajuba km 73	112	199	0,02	1,49	0,13	8,39	0,3	0,06	35,46	0,1	35,87	78,54	5,92	438	741	Fissural B
PT- CB-11	369568	8549328	NOVA ITARANA	Nova Itaípe	90	148	0,01	2,37	0,37	13,33	0,3	1,26	12,28	0,15	19,23	68,23	16,1	343	586	Fissural B
PT- CB-12	385860	8507902	JAGUAQUARA	Ent. Jaguaquara	0	147	0,01	11,25	0,1	0,4	0,3	0,55	25,43	0,07	14,53	305,5	16,17	312	537	Fissural A
PT- CB-13	353014	8538174	PLANALTINO	Serra azul	22	53	0,01	0,8	0,16	29,81	0,3	1,87	3,24	0,22	4,39	20,37	7,22	124	216	Fissural A
PT- CB-14	379539	8517274	ITIRUÇU	Concheta	14	76	0,02	2,79	0,11	0,4	0,3	0	0,74	0,06	2,53	97,09	9,9	219	378	Granular
PT- CB-15	377592	8507162	ITIRUÇU	Concheta poço	6	189	0,01	1,01	0,11	2,37	0,3	0,11	2,72	0,03	1,57	60,83	3,87	160	276	Granular
PT- CB-16	391670	8506990	JAGUAQUARA	Aterro Jaguaquara	92	615	0,02	2,46	0,13	11,06	0,3	0,05	69,64	0,04	87,36	236,36	17,37	1161	1981	Granular/Fissural
PT- CB-17	347271	8510028	MARACÁS	Sr. Fernandez	6	8	0,01	1,63	0	39,14	0,3	8,01	0,27	0,04	0	7,79	4,07	31	54,6	Granular/Fissural
PT- CB-18	345365	8513548	MARACÁS	B. das Flores	15	140	0,02	17,8	0,1	0,2	0,3	0,1	13,19	0,28	27,8	74,93	21,09	464	807	Granular/Fissural
PT- CB-19	339033	8521632	MARACÁS	Baixa. Funda	2,5	143	0,01	0,86	0,12	5,33	0,3	0,91	3,83	0,06	1,2	55,9	18,47	303	527	Granular/Fissural
PT- CB-20	376344	8519872	ITIRUÇU	Faz. Tiririca	9	374	0,02	3,4	0,11	92,09	0,3	0,38	30,37	0,12	12	563	20,49	816	1397	Granular
PT- CB-21	341371	8518550	MARACÁS	Poço Maracás	93	177	0,02	13,75	0,09	15,7	0,3	0,13	9	0,05	15,38	108,67	10,63	512	898	Granular/Fissural
PT- CB-22	345469	8508356	MARACÁS	V. Aprazível	23	9	0,01	0,99	0,11	0,4	0,3	0,04	0,23	0,03	0	8,68	11,91	39	67,8	Granular/Fissural
P - CB -1	344734	8522750	MARACÁS	Faz. Canabrava	2,5	423	0,01	0,76	0,14	33,76	0,3	0,54	30,09	0,81	45,95	112,48	17,39	895	1566	Barragens/Lagoas
P - CB -2	358852	8515138	L. DO TABOCAL	Faz. Peixe lagoa	3	1041	0,01	0,55	0,14	5,14	0,3	1,27	49,23	0,32	63,73	296,42	43,01	1655	2800	
P - CB -3	362567	8531200	L. DO TABOCAL	Faz. Reunidas	2,5	1041	0,01	0,36	0,13	24,05	0,3	0,83	115,48	0,38	220,64	270,92	32,25	2000	4370	
P - CB -4	379098	8536164	IRAJUBA	Irajuba barragem	3	3253	0,01	0,77	0,13	0,99	0,3	0,82	339,34	1,2	349,7	751,94	7,94	2000	8620	
P - CB -5	355334	8511234	MARACÁS	Lagoa Maracás	2,5	183	0,01	0,52	0,13	3,16	0,3	1,48	6,66	0,49	12,86	56,19	9,83	310	540	
P - CB -6	345473	8513548	MARACÁS	Lagoa B. Flores	87	152	0,01	1,94	0,13	1,78	0,3	0,4	8,94	0,02	15,91	47,77	19,94	282	491	
P - CB -7	352076	8533974	PLANALTINO	Lagoa/ Planaltino	44	402	0,01	0,74	0,12	0,6	0,3	0,16	22,96	0,14	46,98	124,25	15,01	793	1384	
P - CB -8	345224	8513472	MARACÁS	N. R. Jequiriça	55	84	0,01	0,85	0,16	8,2	0,9	0,24	6,4	0,04	6,59	32,47	9,59	201	349	
P - CB -9	383987	8559274	NOVA ITARANA	N. Itarana/Lagoa	15	3430	0,01	0,82	0,2	3,36	0,3	0,63	399,42	0,98	273,48	336,82	44,71	2000	6230	

Período Chuvoso

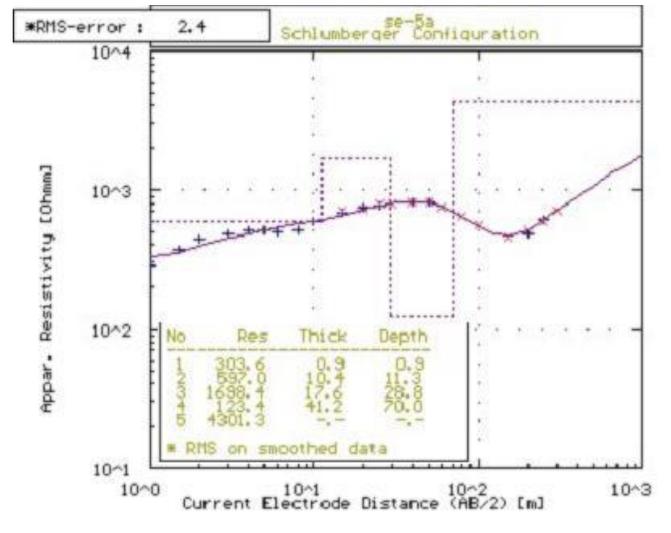
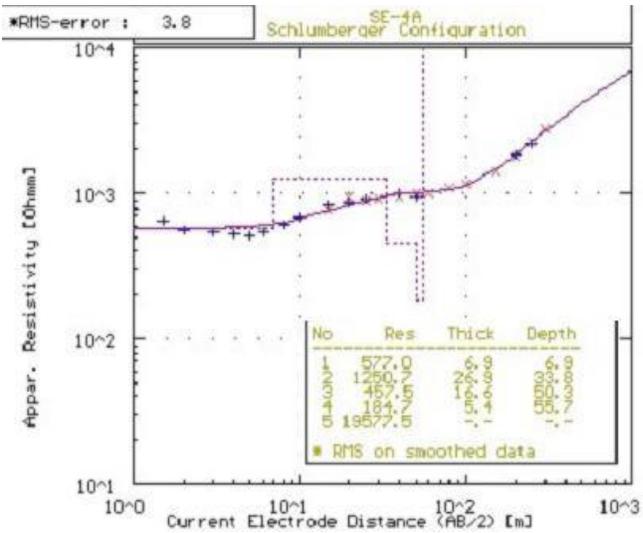
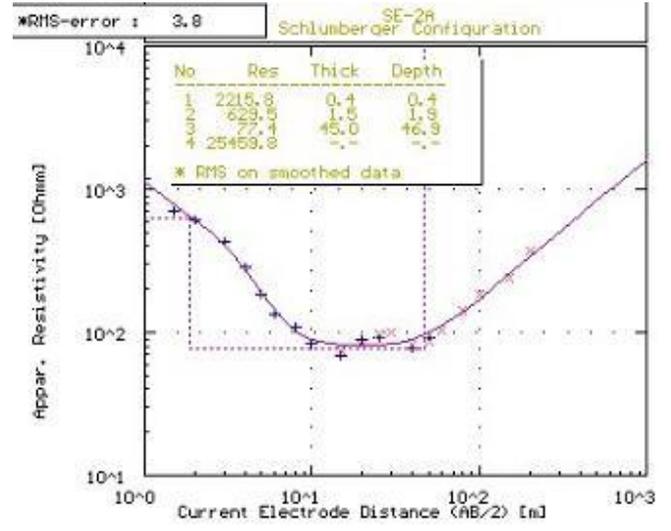
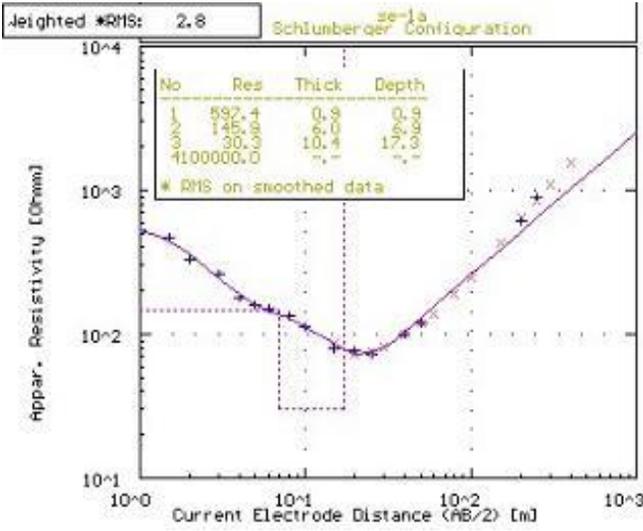
Coordenadas					Parâmetros (mg/L)															Domínio Hidrogeológico
Poços	X	Y	Municípios	Localidades	Alcalinidade Bicarbonato	Cl	NO2	NO3	PO4	SO4	Al	Fe	Mg	Mn	Ca	Na	K	STD	CE	
PT- CB-1	355546	8512738	MARACÁS	Boqueirão	< 2,5	1793	< 0,15	0,23	0,08	8	< 0,3	132	218	1,8	166	501	43	> 2000	4900	Fissural
PT- CB-2	360956	8524774	PLANALTINO	Nova Italia	46	2976	< 0,15	< 0,20	0,12	85	< 0,3	1,2	780	14	502	673	18	> 2000	9300	Fissural
PT- CB-5	352775	8536950	PLANALTINO	Barro Vermelho	241	348	< 0,15	0,6	0,29	24	< 0,3	5,1	21	0,16	16	256	6,7	1490	1390	Fissural
PT- CB-6	341914	8512420	MARACÁS	Faz. S. Antônio	147	3885	< 0,15	4,8	0,15	56	< 0,3	33	366	5,6	1224	1178	86	> 2000	10,8	Fissural
PT- CB-8	355642	8511424	L. DO TABOCAL	Faz. Palmeiras	174	642	< 0,15	0,58	0,14	35	< 0,3	57	41	0,78	33	346	58	>2000	2300	Fissural
PT- CB-9	345646	8518810	MARACÁS	Faz. Vitória	125	232	< 0,15	31	0,32	120	< 0,3	0,7	44	0,56	69	218	5	1021	943	Fissural
PT- CB-13	353014	8538174	PLANALTINO	Serra azul	84	483	< 0,15	3,4	0,16	17	< 0,3	13	32	0,98	53	219	16	1776	1661	Fissural
PT- CB-17	347271	8510028	MARACÁS	Sr. Fernandez	< 2,5	26	< 0,15	0,87	< 0,07	34	0,8	0,59	0,9	< 0,04	0,8	13	4	148	136	Granular/Fissural
PT- CB-18	345365	8513548	MARACÁS	B. das Flores	14	154	< 0,15	54	0,12	3,2	< 0,3	0,42	19	0,19	31	91	27	877	801	Granular/Fissural
PT- CB-19	339033	8521632	MARACÁS	Baixa Funda	17	138	< 0,15	0,77	< 0,07	2,6	< 0,3	6,7	19	0,3	29	36	15	502	465	Granular/Fissural
PT- CB-22	345469	8508356	MARACÁS	V. Aprazível	24	12	< 0,15	0,54	< 0,07	2,3	< 0,3	4,7	0,7	0,42	1	7	0,5	76	69,6	Granular/Fissural
PT- CB-23	409766	8514982	SANTA INÊS	Faz. Palestina	52	280	1,8	13	0,51	13	< 0,3	11	23	0,57	28	170	10	1271	1180	Fissural
P - CB -5	355334	8511234	MARACÁS	Lagoa Maracás	8,3	141	< 0,15	0,3	0,08	< 2,5	< 0,3	1	9	0,27	10	59	13	512	474	Barragens/Lagoas
P - CB -6	345473	8513548	MARACÁS	Lagoa B. Flores	87	100	< 0,15	0,99	0,08	2,8	< 0,3	2,3	10	< 0,04	12	58	25	451	451	
P - CB -7	352076	8533974	PLANALTINO	Lagoa/ Planaltino	49	404	< 0,15	0,26	< 0,07	< 2,5	< 0,3	< 0,1	32	0,05	32	176	17	1448	1345	
P - CB -8	345224	8513472	MARACÁS	N. Rio Jequiriça	107	108	< 0,15	2,6	0,08	< 2,5	< 0,3	0,8	16	0,06	14	68	29	575	537	
P - CB -10	361451	8532550	PLANALTINO	Faz. L. 'D'água	< 2,5	2407	< 0,15	< 0,20	< 0,07	26	< 0,3	0,3	496	9,3	311	610	44	-2000	7400	
P - CB -11	411379	8518868	SANTA INÊS	Represa Palastina	71	228	< 0,15	0,28	0,15	13	< 0,3	0,8	38	0,26	19	96	10	899	832	

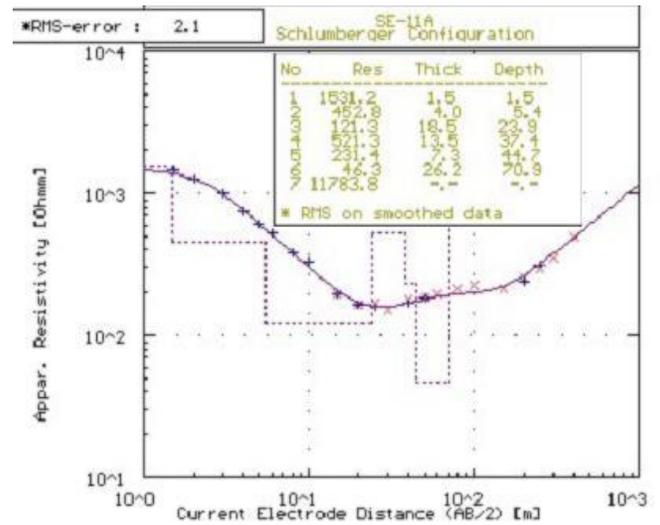
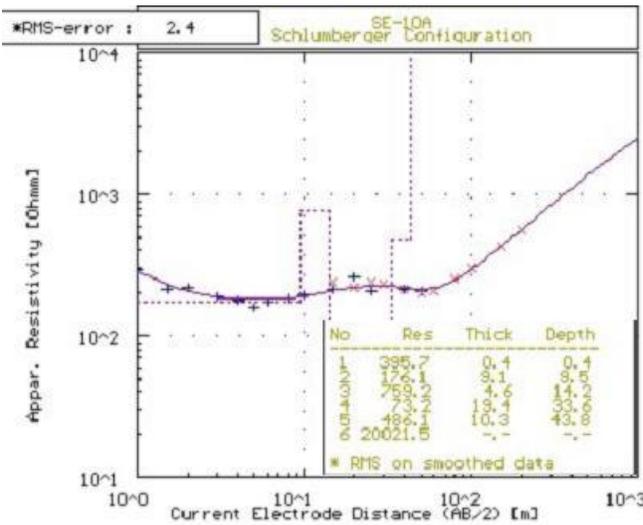
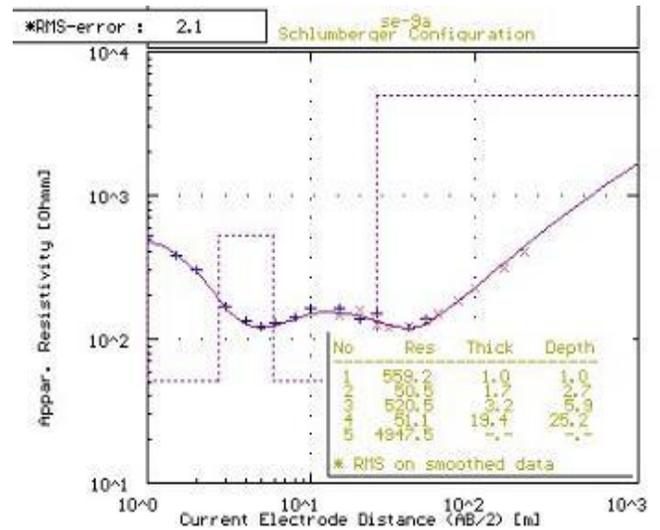
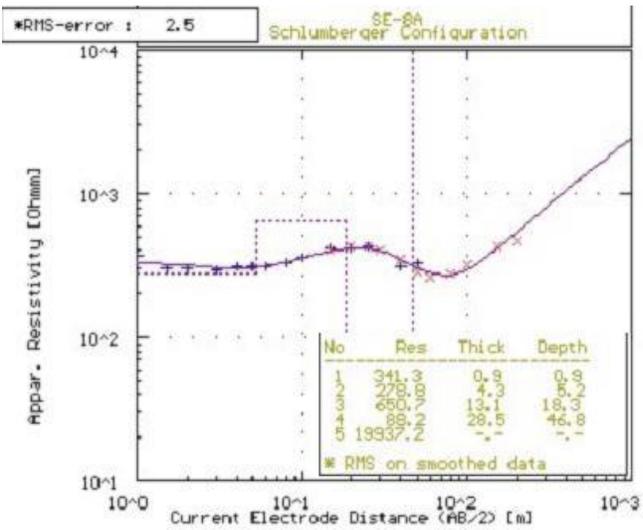
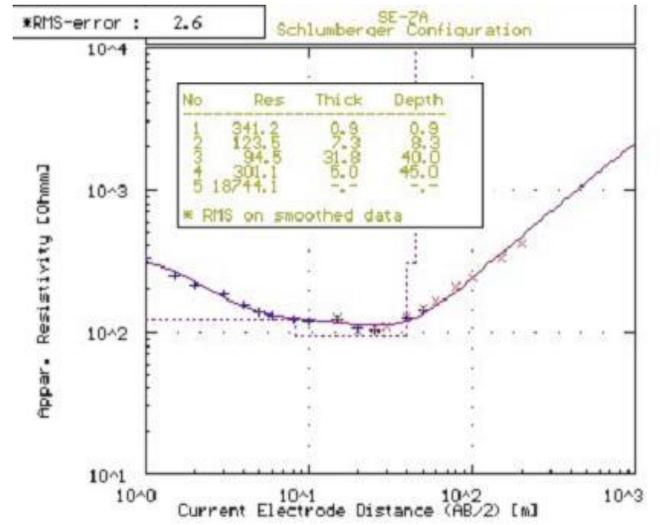
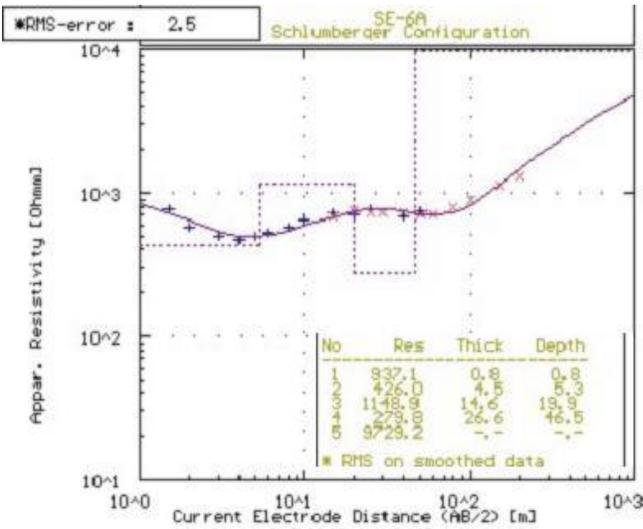
Período Seco

Apêndice – 3

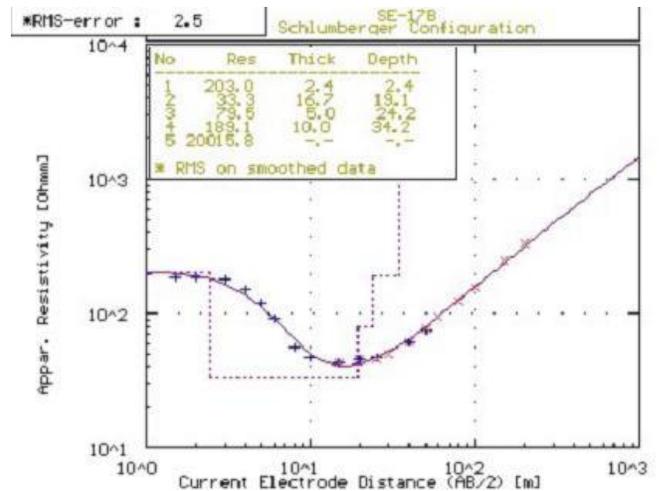
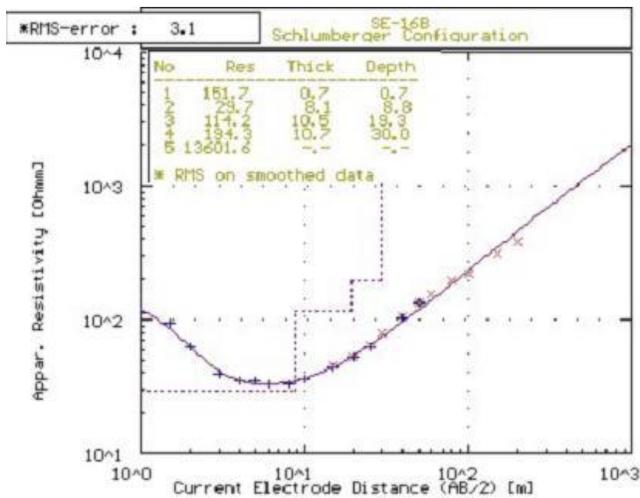
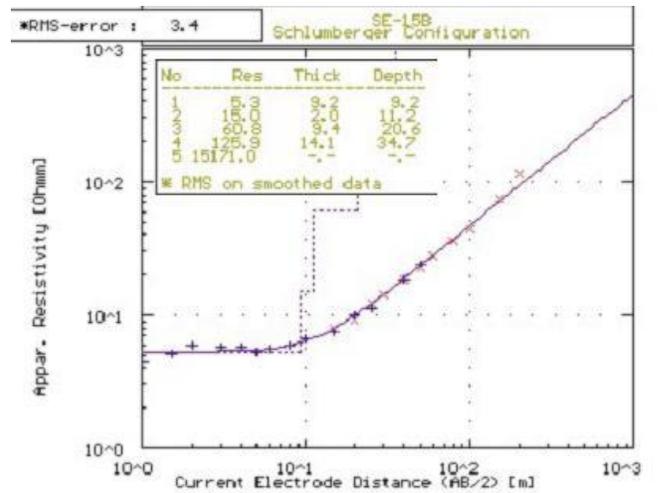
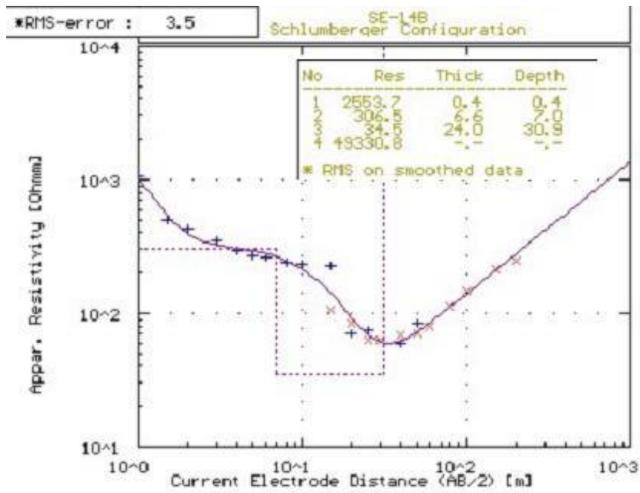
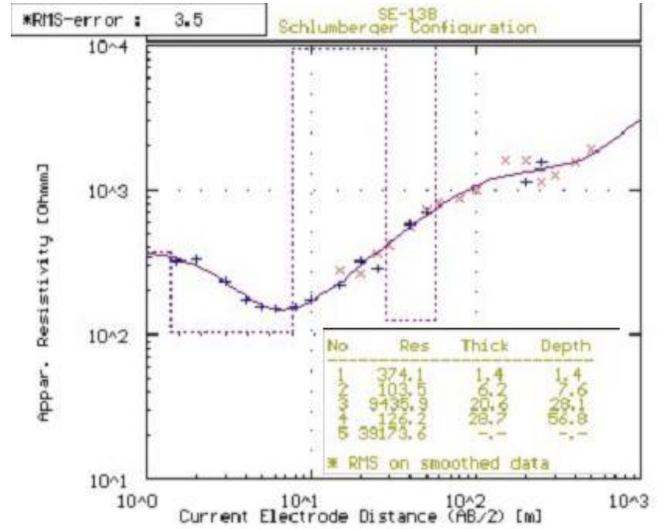
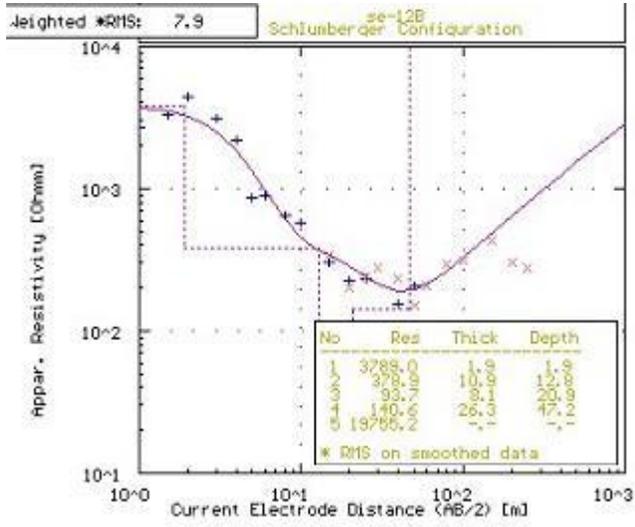
Sondagens Elétricas Verticais

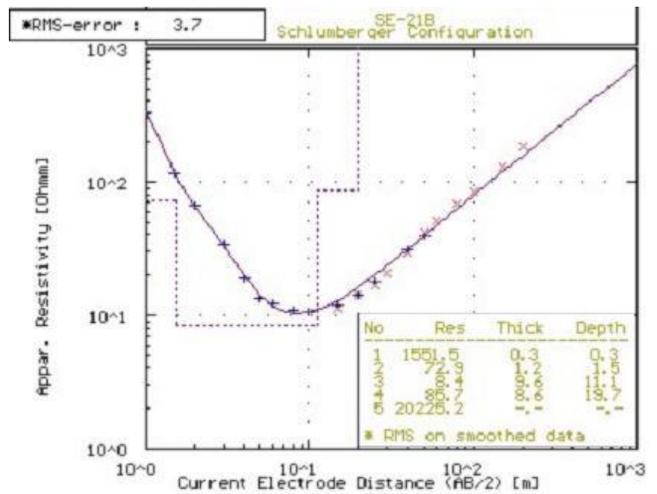
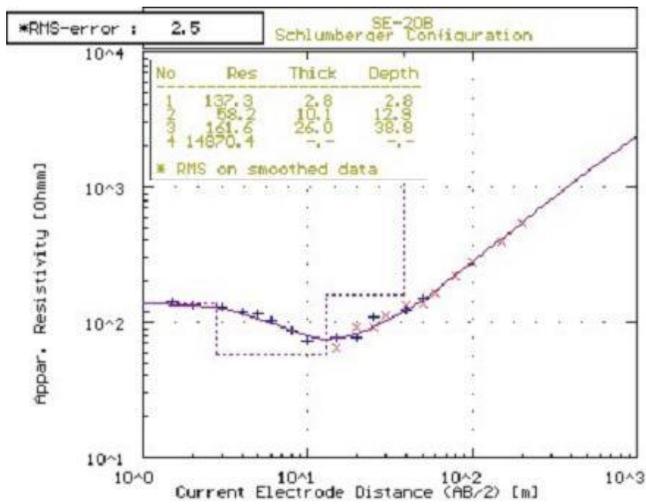
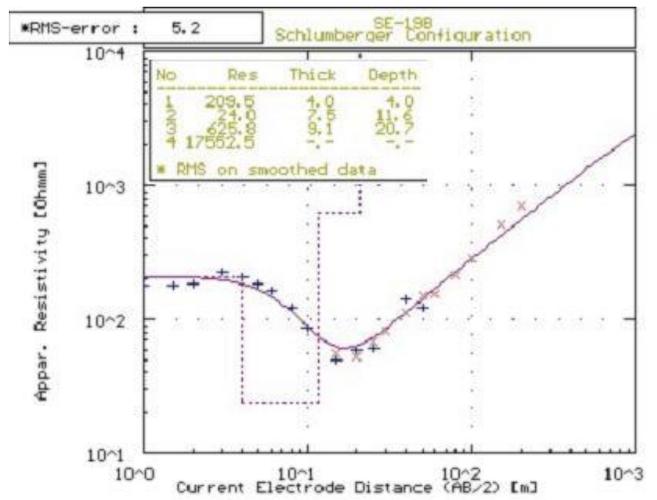
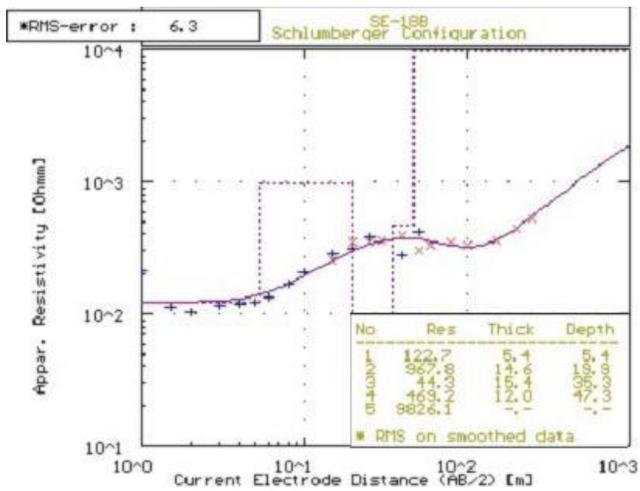
Sondagens Elétricas Verticais (SEV's) – Perfil A



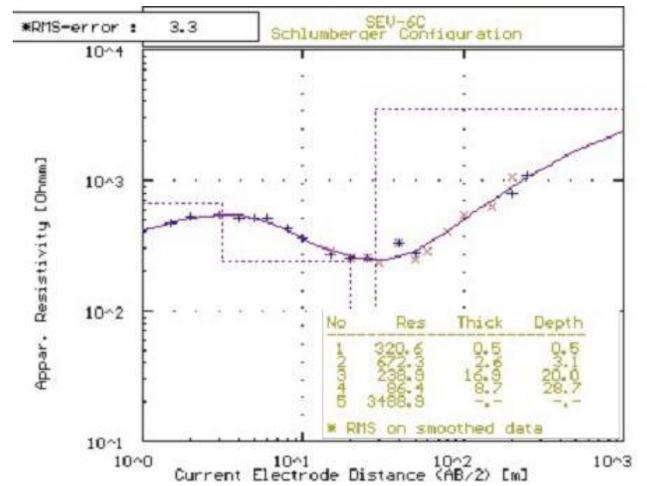
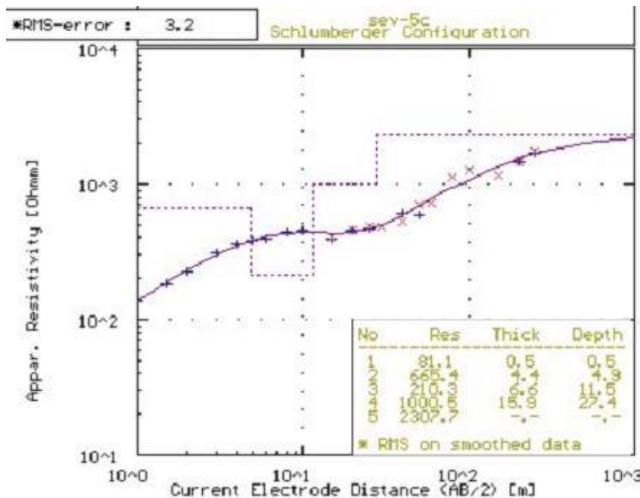
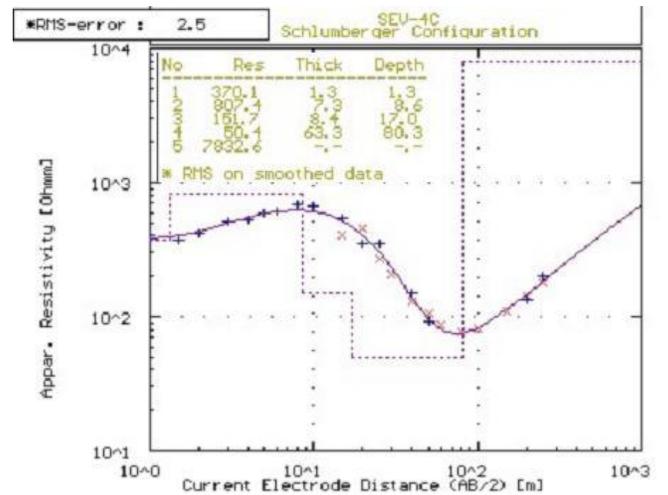
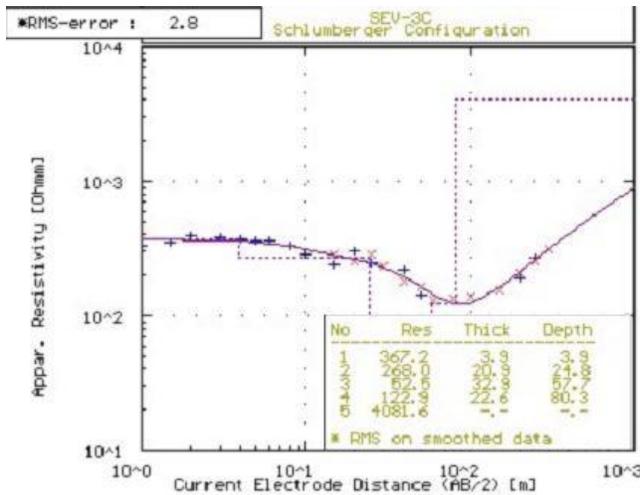
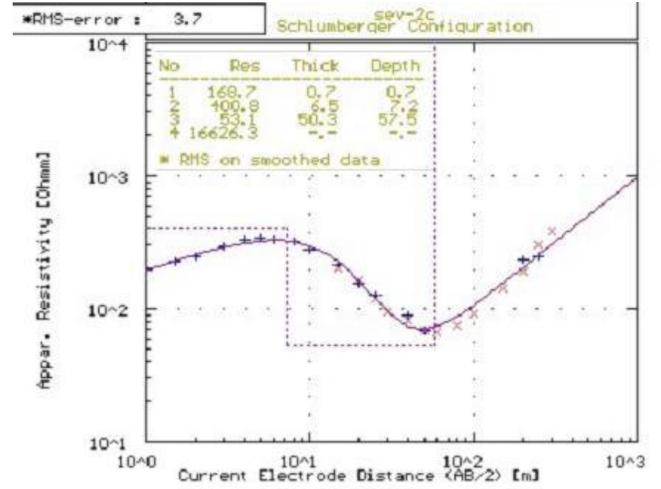
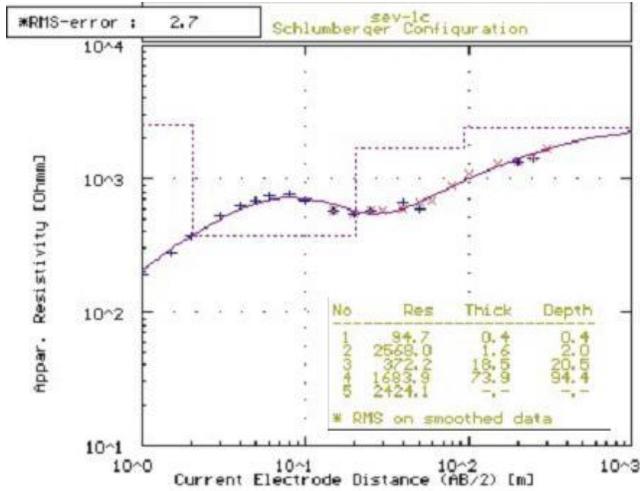


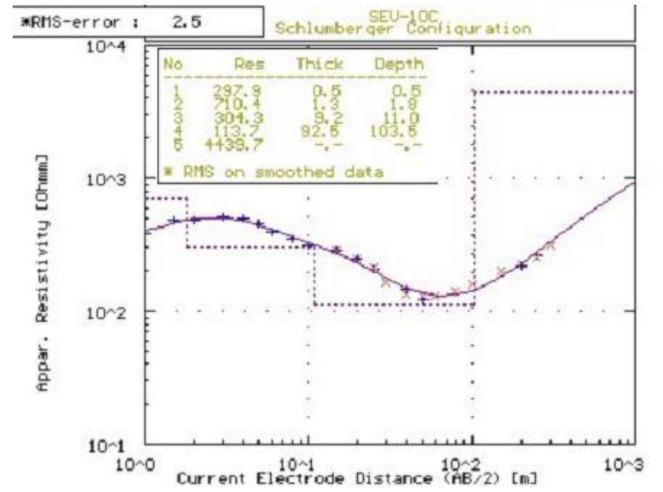
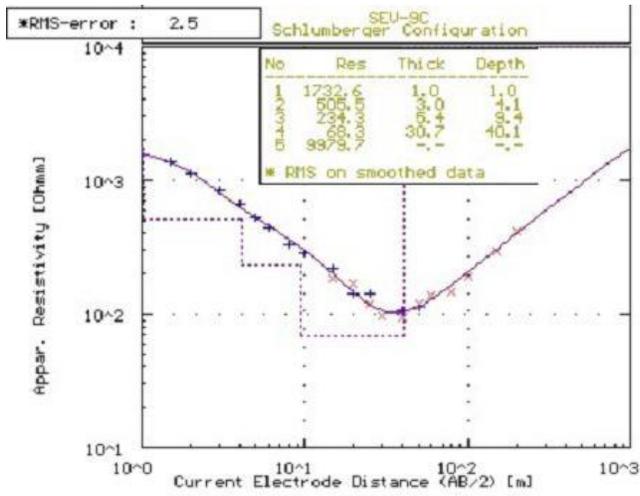
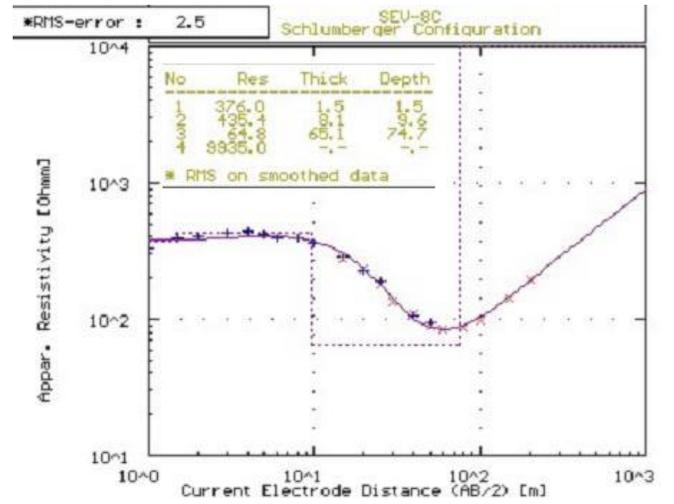
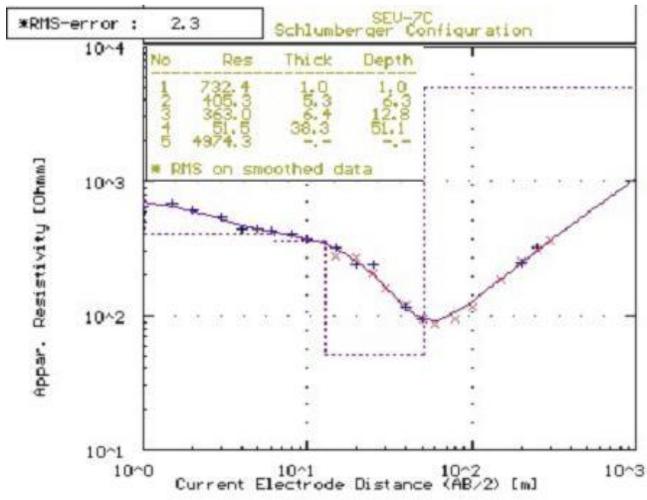
Sondagens Elétricas Verticais (SEV's) – Perfil B



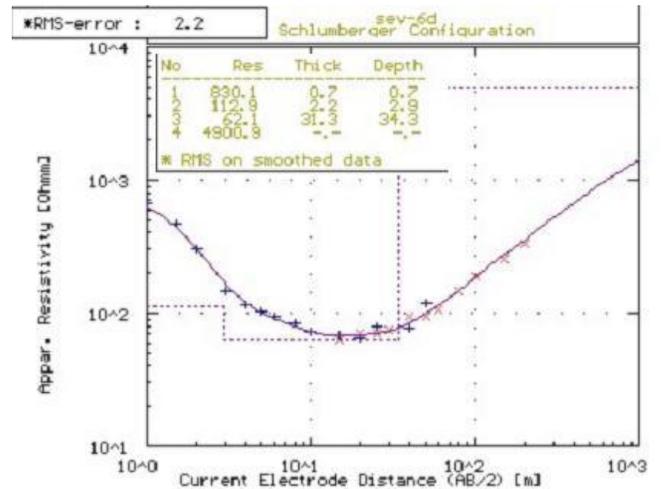
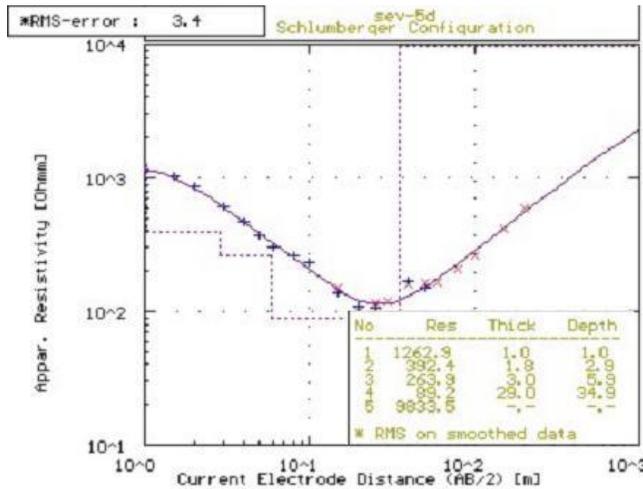
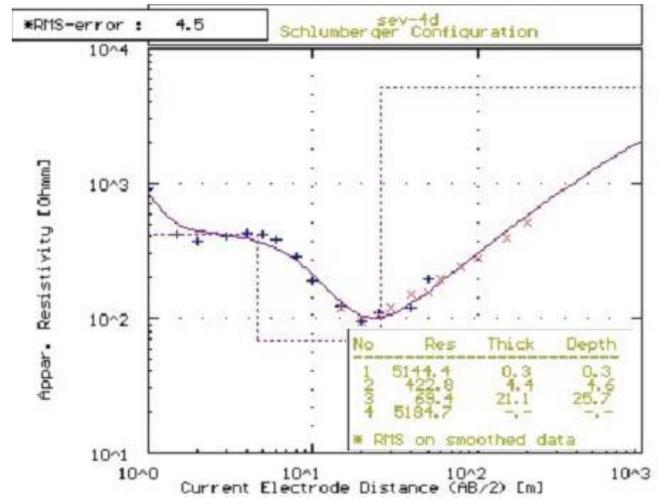
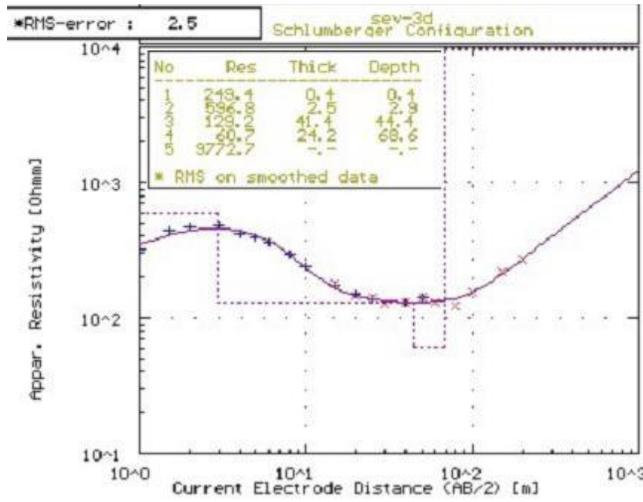
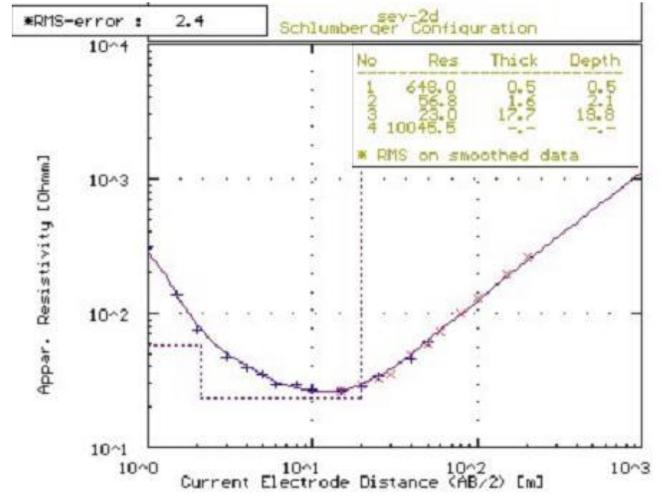
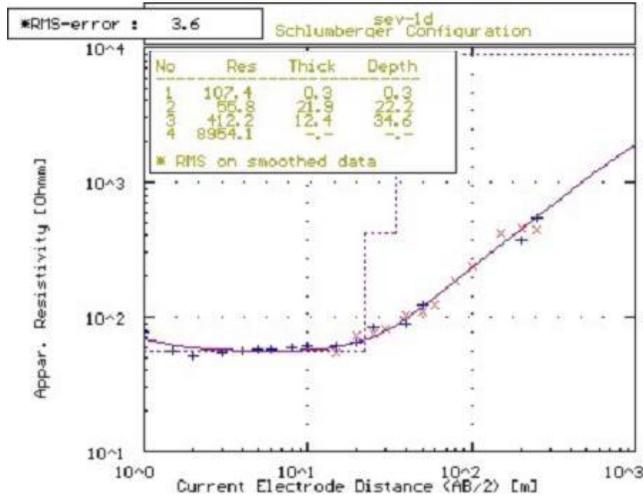


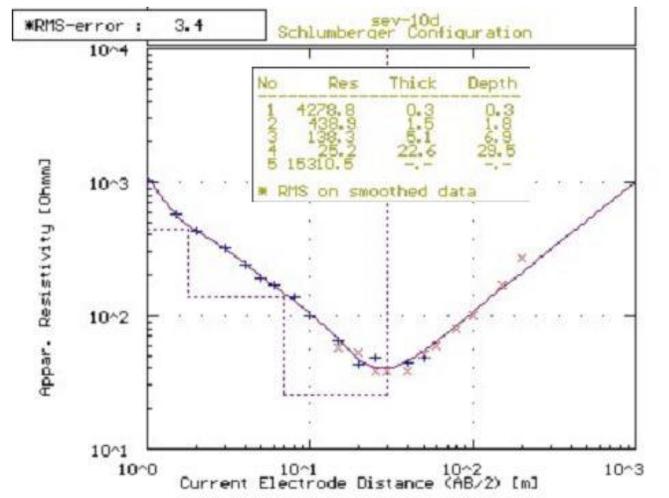
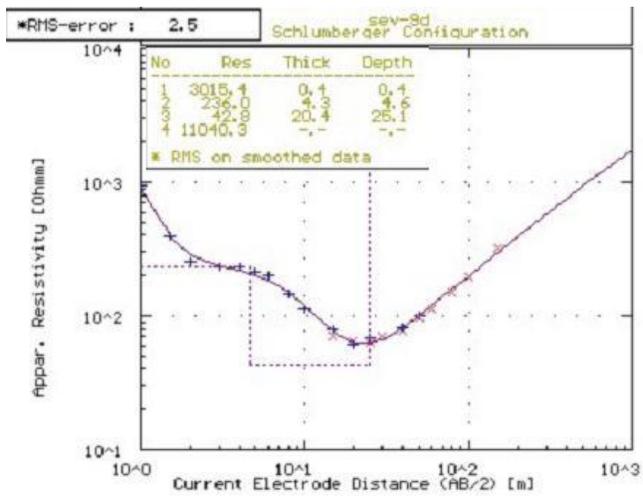
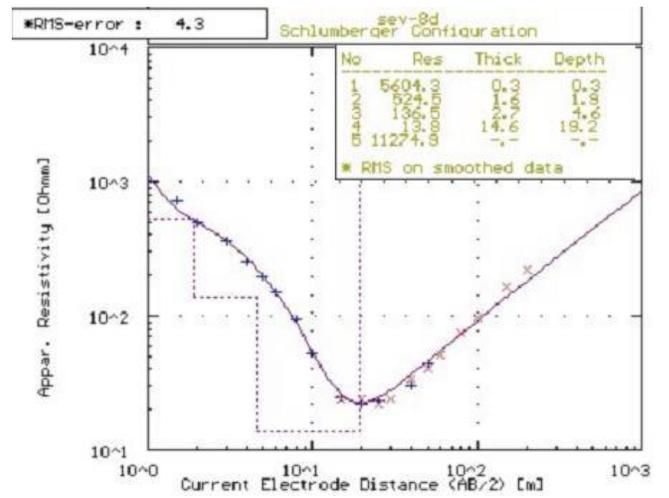
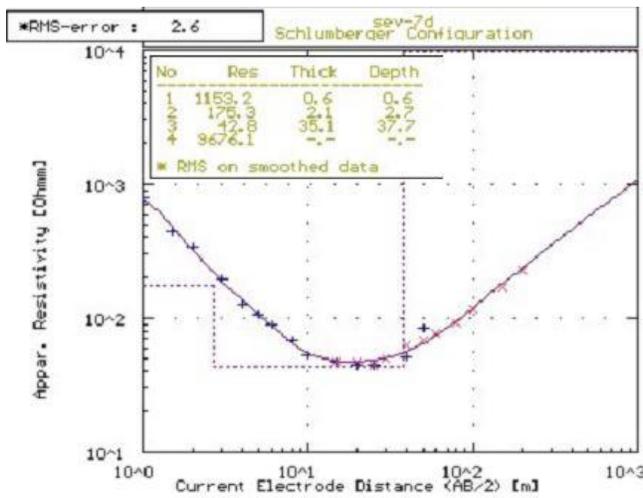
Sondagens Elétricas Verticais (SEV's) – Perfil C





Sondagens Elétricas Verticais (SEV's) – Perfil D





Sondagens Elétricas Verticais (SEV's) – Perfil E

