



AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS



Hidrogeologia dos Ambientes Cársticos da Bacia do Rio São Francisco para a Gestão de Recursos Hídricos



Relatório Final
Volume III - Áreas Piloto
TOMO 1 - Área Piloto da Bacia do Rio São Desidério/BA

República Federativa do Brasil

Michel Miguel Elias Temer Lulia

Presidente da República

Ministério do Meio Ambiente

Edson Duarte

Ministro

Agência Nacional de Águas

Diretoria Colegiada

Christianne Dias Ferreira - Diretora-Presidente

Ricardo Medeiros de Andrade

Ney Maranhão

Oscar de Moraes Cordeiro Netto

Marcelo Cruz

Superintendência de Implementação de Programas e Projetos - SIP

Tibério Magalhães Pinheiro

Victor Sucupira

Coordenação de Águas Subterrâneas - COSUB

Fernando Roberto de Oliveira (Coordenador)

Leonardo de Almeida (Gestor do Contrato)

Márcia Tereza Pantoja Gaspar

Adriana Niemeyer Pires Ferreira

Fabício Bueno da Fonseca Cardoso

Letícia Lemos de Moraes

***Hidrogeologia dos Ambientes Cársticos da Bacia do Rio São Francisco
para a Gestão de Recursos Hídricos***

RELATÓRIO FINAL

VOLUME III – ÁREAS PILOTO

TOMO 1 – ÁREA PILOTO DA BACIA DO RIO SÃO DESIDÉRIO/BA

© 2018 Agência Nacional de Águas – ANA
Setor Policial, Área 5, Quadra 3, Blocos B, L, M, N, O e T
CEP: 70610-200, Brasília – DF
PABX: 2109-5400 / 2109-5252
Endereço eletrônico: <http://www.ana.gov.br>

Capa:

Local da Foto: Gruta da Toca da Boa Vista, Campo Formoso, BA, sub-bacia do rio Salitre.

Fotografia – Rangel Carvalho

Equipe:

Comissão Técnica de Acompanhamento e Fiscalização – CTAF:

Leonardo de Almeida (ANA)	Márcia Tereza Pantoja Gaspar (ANA)
Zoltan Romero C. Rodrigues (SEMA-BA)	Maricene Menezes de O. M. Paixão (IGAM – MG)

Elaboração e Execução - Consórcio TPF/TECHNE

Direção Geral e Coordenação do Contrato

João Guimarães Recena – Direção Geral
Luiz Alberto Teixeira – Direção Geral
Antônio Carlos de Almeida Vidon – Direção Geral
Maria Ângela Capdeville Duarte Ulmann – Direção Geral
Fábio Chaffin Barbosa – Direção Geral
Roberta de Mello Guedes Alcoforado - Coordenação Geral do Contrato
Marcelo Casiuch – Coordenação Adjunta do Contrato

Membros da Equipe Chave

Edilton Feitosa – Coordenação Técnica
João Manoel Filho – Coordenação Técnica Adjunta
Natalina Maria Tinôco Cabral – Hidrogeoquímica
Paula Stein – Hidrogeoquímica
Paulo Fernando P. Pessoa – Geólogo especialista em Carste

Membros da Equipe Técnica Executora

Alerson Falieri Suarez	Gustavo Grillo	Paulo de M. da Cunha Pedrosa
Alípio Agra	Gustavo Sobral	Rinaldo Fernandes
Ana Nery Cadete	Joanderson J. O. Moraes	Sandro Barbosa Figueira
Bruno Marcionilo	José Augusto Vieira Filho	Thiago Franklin S. de Almeida
Daniel Quintino	Ludmilla de Oliveira Calado	Vanessa Costa
Dora Atman	Marcondes Assis	Walter Lucena
Fabianny Bezerra	Marcos A. Barbosa S. Jr.	Bruna Duarte (estagiária)
Flávia Azevedo Pedrosa	Mário Nascimento S. Filho	Gadadhara Figueiredo (estagiária)
Ginaldo A. da Cruz Campanha	Nelson da Franca dos Anjos	Geraldo M. Junior (estagiário)
Giseli Kimura	Patrícia Celeste L. Jesuino	

Todos os direitos reservados

É permitida a reprodução de dados e de informações, desde que citada à fonte

A265h Agência Nacional de Águas (Brasil).
Hidrogeologia dos Ambientes Cársticos da Bacia do Rio São Francisco para a Gestão de Recursos Hídricos. Relatório Final – Volume III – Áreas Piloto – Tomo 1 –Bacia Hidrográfica do Rio São Desidério /BA/ Agência Nacional de Águas; Elaboração e Execução: Consórcio TPF - Techne. - Brasília: ANA, 2018.
287p.
1. Hidrogeologia. 2. Bacias Hidrográficas. 3. São Francisco, Rio
I. Título.

CDU 556.51

APRESENTAÇÃO

O Relatório Final da *Hidrogeologia dos Ambientes Cársticos da Bacia do Rio São Francisco para a Gestão de Recursos Hídricos* apresenta os resultados dos trabalhos desenvolvidos no âmbito do Contrato nº 037/ANA/2013, adjudicado pela Agência Nacional de Águas – ANA – ao Consórcio TPF / Techne, em agosto de 2014.

Consolida os estudos realizados, apresentados em oito Relatórios Parciais, além de algumas notas técnicas, elaborados de acordo com o Termo de Referência elaborado pela Agência Nacional de Águas.

Tais estudos tem como objetivo a geração de conhecimento hidrogeológico sobre os Sistemas Aquíferos Cársticos e Físsuro-Cársticos da região hidrográfica do São Francisco, suas relações com o Sistema Aquífero Urucua e suas contribuições para o fluxo de base do rio São Francisco. Os estudos subsidiaram a elaboração de uma Proposta de Plano de Gestão Integrada e Compartilhada dos Recursos Hídricos Superficiais e Subterrâneos da Região Hidrográfica do São Francisco.

Os Sistemas Aquíferos Cársticos e Físsuro-Cársticos abordados no presente estudo apresentam uma área de exposição de 110.951,4 km². Nessa área foi dada ênfase a 3 pilotos localizados nas bacias do Rio do Vieira (Montes Claros/MG), Rio São Desidério (São Desidério/BA) e Riacho do Juá (Lapão/BA) (Figura 1).

O Relatório Final é estruturado em quatro volumes e um Resumo Executivo, conforme mostrado a seguir.

- Volume I – Diagnóstico dos Meios Físico e Socioeconômico
- Volume II - Hidrogeologia
- Volume III – Áreas Piloto
 - Tom 1 – Área Piloto do rio São Desidério/BA
 - Tom 2 - Área Piloto do rio do Vieira/MG
 - Tom 3 - Área Piloto do riacho do Juá/BA
- Volume IV – Gestão Integrada de Recursos Hídricos
 - Tom 1 – Balanço Hídrico
 - Tom 2 – Cenários e Propostas de Gestão
- Resumo Executivo

E ainda três Relatórios Técnicos Temáticos:

- Relatório Técnico Temático de Hidroquímica
- Relatório Técnico Temático dos Domínios e Subdomínios Hidrogeológicos
- Relatório Técnico Temático de Cartografia/SIG

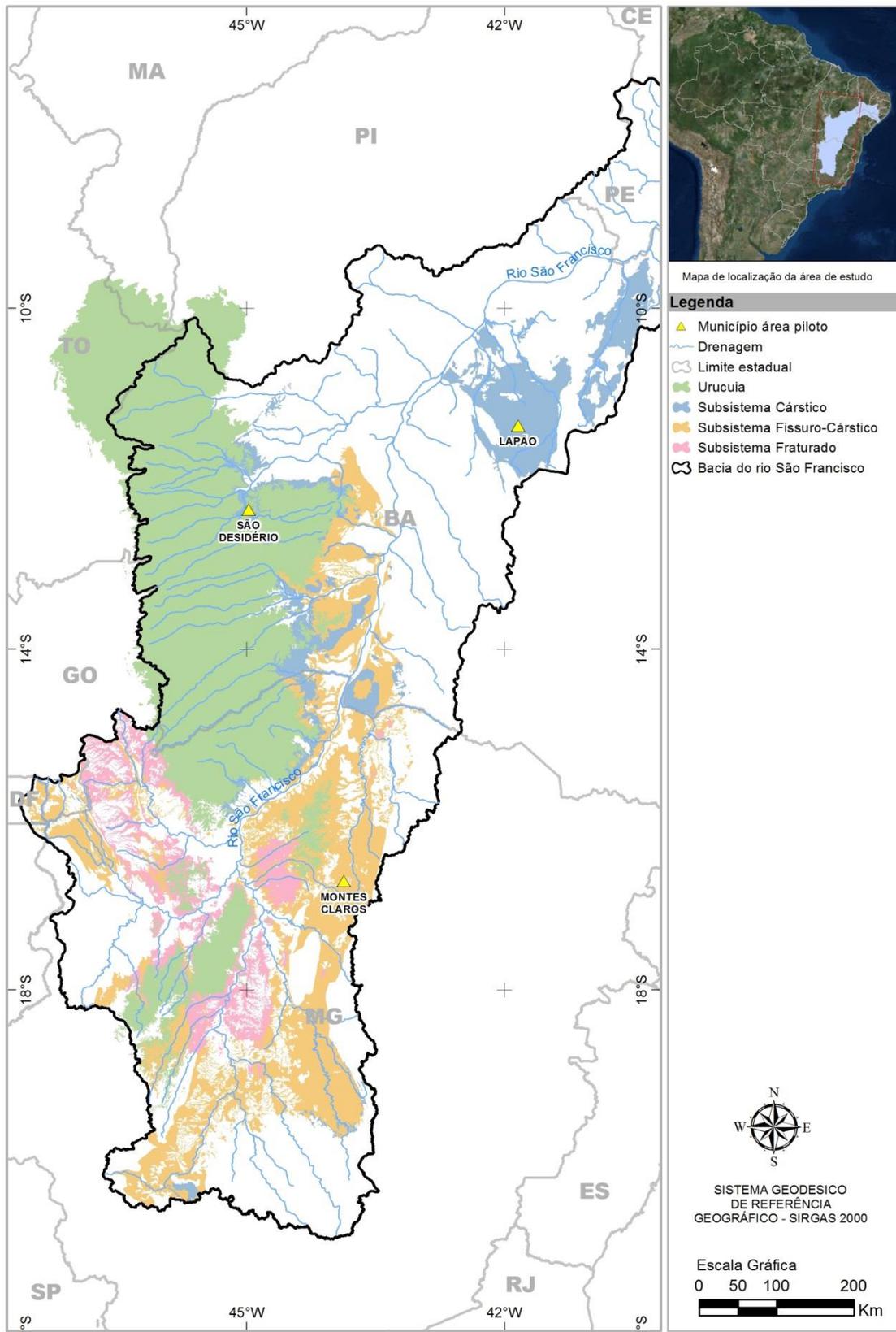


Figura 1: Área de estudo, destacando os sistemas cársticos e fissuro cársticos, e as Áreas Piloto

Os estudos envolveram trabalhos de campo e de escritório cujos detalhamentos são apresentados e discutidos nos volumes e tomos indicados.

Os trabalhos de campo consistiram de cadastramento de pontos d'água e de fontes de contaminação, sendo cadastrados 351 novos poços. Foram realizadas duas campanhas de medição de níveis e de coleta de água para estudos hidroquímicos, 203 poços amostrados no período seco entre agosto e setembro de 2014, e 206 poços no período chuvoso entre março e abril de 2015. Nas áreas Piloto foram realizados mapeamento geológico, estudos geofísicos, ensaios de traçadores (com Rodamina WT e Fluoresceína), testes de aquífero. Para os estudos geofísicos utilizou-se o método gravimétrico e da eletrorresistividade (sondagens elétricas verticais e caminhamentos elétricos). Em alguns poços selecionados realizou-se perfilagem ótica e geofísicas.

Os trabalhos de escritório consistiram nas interpretações de dados obtidos com a formatação de banco de dados com mais de 20.000 poços tubulares, elaboração de relatórios e geoprocessamento, secundados por programações, elaboração de notas técnicas e participação em cerca de 22 reuniões de trabalho ocorridas nas cidades de Recife, Brasília, Belo Horizonte, Montes Claros, Salvador e Juazeiro, em conjunto com a CTAF - Comissão Técnica de Acompanhamento e Fiscalização – CTAF, composta por técnicos, representantes indicados pelos estados abrangidos pelos estudos (Minas Gerais e Bahia). A CTAF procedeu o acompanhamento e avaliação de todas as fases dos estudos, juntamente com representantes da ANA.

Os conhecimentos obtidos subsidiaram a elaboração de uma proposta de Plano de Gestão Integrada e Compartilhada das Águas Superficiais e Subterrâneas da Região Hidrográfica do São Francisco, que pretende contribuir ao manejo adequado dos recursos hídricos dos estados de Minas Gerais e Bahia.

SUMÁRIO

1. Introdução	23
2. Localização e aspectos socioeconômicos	24
2.1 Análise dos dados socioeconômicos	26
2.1.1 Metodologia de análise	26
2.1.2 Aspectos socioeconômicos da Bacia Hidrográfica do Rio São Desidério	26
2.1.3 Demanda Hídrica da área piloto do Rio São Desidério	36
3. Meio Físico	40
3.1 Rede de Drenagem	40
3.1.1 Densidade de drenagem	42
3.2 Unidades de solo	44
3.3 Classes de vegetação	48
3.4 Declividade	51
3.5 Geomorfologia	52
3.6 Uso e ocupação do solo	54
4. Geologia	57
4.1 Geologia local	60
4.1.1 Contexto geológico-geomorfológico	60
4.2 Mapeamento geológico	75
4.2.1 Geologia estrutural	75
4.2.2 Fraturamentos e seu papel no desenvolvimento dos sistemas cársticos	77
4.3 Feições cársticas	87
4.3.1 Gruta do Catão	89
4.3.2 Buraco do Inferno da Lagoa do Cemitério	90
4.3.3 Sumidouro/Ressurgência do João Baio	92
4.3.4 Gruta da Beleza	92
4.3.5 Poço do Surubim	93
5 Geofísica	94
5.1 Gravimetria	95
5.1.1 Modelagem com geometria 2D e 3D	99
5.1.2 Resultados obtidos	99
5.2 Eletrorresistividade	108
5.2.1 Sondagens Elétricas	109
5.2.2 Caminhamento elétrico	112

5.3 Perfilagem Ótica e Geofísica	115
6. Hidrogeologia.....	122
6.1 Aquíferos Existentes	122
6.1.1 <i>Aquífero Urucuia</i>	122
6.1.2 <i>Aquífero Bambuí</i>	128
6.2 Litologia, estrutura e carstificação.....	130
6.2.1 Ensaio com traçadores – Aspectos Metodológicos	131
6.2.2 Ensaio com traçadores - Execução.....	134
6.3 Zoneamento de vazões	137
6.4 Parâmetros hidrodinâmicos.....	139
6.4.1 <i>Metodologia para a análise dos testes de aquífero</i>	139
6.4.2 <i>Testes realizados na área piloto da Bacia do Rio São Desidério</i>	141
6.5 Recargas e exutórios	166
6.5.1 <i>Resultados</i>	173
6.6 Situação da exploração na área piloto da Bacia do Rio São Desidério.....	180
6.6.1 <i>Poços Catalogados e Cadastrados</i>	180
6.6.2 <i>Tratamento Estatístico dos Dados de Poços Catalogados e Cadastrados</i>	180
6.6.3 <i>Produção Global dos Poços</i>	187
6.7 Reservas, recursos e exploração	190
6.7.1 <i>Reservas permanentes</i>	190
6.7.2 <i>Reserva reguladora ou recarga</i>	191
6.7.3 <i>Exploração</i>	192
6.7.4 <i>Síntese da avaliação dos recursos hídricos subterrâneos</i>	194
6.7.5 <i>Zoneamento do Saldo Hídrico</i>	194
6.8 Relações entre os Sistemas Aquíferos Urucuia e Bambuí	199
7. Hidroquímica da Bacia do Rio São Desidério	212
7.1 Amostragem de Águas	212
7.1.1 <i>Rede de Amostragem</i>	213
7.1.2 <i>Procedimentos de Coleta</i>	216
7.1.3 <i>Métodos de Análise</i>	218
7.2 Caracterização das Águas	220
7.2.1 <i>Avaliação da distribuição dos dados físico-químicos e químicos</i>	220
7.2.2 <i>Avaliação do efeito sazonal na hidroquímica</i>	224
7.3 Avaliação Hidrogeoquímica.....	230

7.3.1 Estatística Descritiva.....	230
7.3.2 Caracterização dos grupos de poços através de diagramas Box & Whisker.	239
7.3.3 Fácies hidroquímicas.....	242
7.3.4 Parâmetros Específicos.....	245
7.3.5 Qualidade das águas para o consumo humano.....	250
7.4 Avaliações Isotópicas.....	254
7.4.1 Isótopos estáveis de Oxigênio ($\delta^{18}O$) e Deutério (δ^2H)	256
7.4.2 Isótopos radiogênicos de Estrôncio ($^{87}Sr/^{86}Sr$).....	259
7.5 Considerações Finais.....	260
8. Avaliação da vulnerabilidade.....	261
8.1 Classificação a partir do parâmetro: Epicarste (E)	261
8.2 Classificação a partir do parâmetro: Cobertura de proteção (P).....	263
8.3 Classificação a partir do parâmetro: Condições de infiltração (I).....	265
8.4 Classificação a partir do parâmetro: Grau de desenvolvimento da rede cárstica (K)	267
8.5 Álgebra de mapas e cruzamento das classificações	269
9. Perigo de contaminação	271
10 PROPOSTAS DE GESTÃO	274
11. Conclusões	277
12. Referências bibliográficas	280

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Localização da Bacia Hidrográfica do Rio São Desidério.....	25
Figura 2.2: Evolução das demandas globais e da produção de água subterrânea.....	39
Figura 3.1 – Conceituação do Sistema Cárstico do Rio João Rodrigues - SCRJR. Adaptado de Lobo et al (2013).....	41
Figura 3.2: Mapa de drenagem e corpos de água superficial da Bacia do Rio São Desidério	43
Figura 3.3: Mapa de densidade de drenagem da Bacia do Rio São Desidério.....	45
Figura 3.4: Mapa de unidades de solo da Bacia do Rio São Desidério.	47
Figura 3.5: Mapa das classes de vegetação da Bacia do Rio São Desidério.	49
Figura 3.6: Mapa de declividade da Bacia do Rio São Desidério.	53
Figura 3.7: Mapa geomorfológico da Bacia do Rio São Desidério.....	55
Figura 3.8: Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia do Rio São Desidério.....	56
Figura 4.1: Visão panorâmica das subáreas do projeto.	58
Figura 4.2: Corte geológico esquemático no centro-oeste da Bahia. Topografia obtida do Google Earth. Geologia aproximada de CPRM/CBPM (2003).....	59
Figura 4.3: Figura esquemática ilustrando as unidades geológicas e geomorfológicas de ocorrência na região de São Desidério. Modificado de Egydio-Silva (1987).....	61
Figura 4.4: Contexto geológico da área piloto do Rio São Desidério.....	62
Figura 4.5 – Visão geral do afloramento S-039, mostrando os calcários da Formação Sete Lagoas.	65
Figura 4.6 – Afloramento S-012 ao longo da BR-135 sentido Correntina, mostrando os calcários da formação São Desidério, com camadas horizontais, bastante fraturados e estruturas lapiás no topo.....	65
Figura 4.7 – S-027,028,029, Parque Municipal da Lagoa Azul, mostrando os paredões calcários, com fraturas verticais, e a gruta do Catão, passando o Rio João Rodrigues no seu interior.	67
Figura 4.8 – S-029, mostrando oóides nos calcários da gruta do Catão.	67
Figura 4.9 - Fratura E-W, no leito do Rio Tamanduá.....	68
Figura 4.10 - Visão geral do Afloramento S- 018.	69
Figura 4.11 – Variação faciológica sendo evidente pela coloração das camadas, e nódulos de chert incrustado nas camadas. S-018.....	69
Figura 4.12 – Afloramento S-001, calcário dobrado da Formação São Desidério, afetados pela Faixa de dobramento Rio Preto.	70
Figura 4.13 – S-010, contato dos calcários da Formação São Desidério com os arenitos do Grupo Urucuia.....	71
Figura 4.14 – S-005, dobras recumbentes truncadas por um plano de falha. Possível mecanismo de deslizamento de massa (Slump).	72
Figura 4.15 – Afloramento S-058, arenito fino, com estratificação plano paralela, Fácies Ap.....	73
Figura 4.16 – Arenito grosso a conglomerático, com blocos de arcóseo.....	73
Figura 4.17 – Arenito médio de coloração avermelhada.	74
Figura 4.18 – S-011, Arenito médio a grosso, estratificado.....	75

Figura 4.19: Seção esquemática mostrando as relações de contato entre os domínios cratônico e pericratônico. (a) Antes da erosão do nível superior da Formação São Desidério; (b) Após a erosão do nível superior no Domínio Cratônico.	76
Figura 4.20: Seção geológica disponíveis em Silva (1987).	76
Figura 4.21 – Imagem mostrando visão geral da Mineração Oeste S-030.	76
Figura 4.22 - Dobras abertas a fechadas em ritmitos da Formação São Desidério, Grupo Bambuí (ponto S-002, BA – 455 S/C, saída de São Desidério para Catolândia).	77
Figura 4.23: Estereograma mostrando os pólos de acamamento sedimentar no domínio deformado do Grupo Bambuí (Diagrama de Schmidt-Lambert, hemisfério inferior).	78
Figura 4.24: Estereograma mostrando os pólos de acamamento sedimentar no domínio sub-horizontal do Grupo Bambuí (Diagrama de Schmidt-Lambert, hemisfério inferior).	78
Figura 4.25: Estereograma mostrando fraturas em rochas do Grupo Bambuí (Diagrama de Schmidt-Lambert, hemisfério inferior).	79
Figura 4.26: Diagrama rosácea mostrando a direção das fraturas sub-verticais afetando rochas do Grupo Bambuí.	80
Figura 4.27: Imagem de satélite em época de estiagem (23/09/2004) mostrando o sistema de fraturas nos afloramentos rochosos da área do Parque da Lagoa Azul. ...	81
Figura 4.28 – S-027, Canyon da Lagoa Azul; calcários do Grupo Bambuí com acamamento sub-horizontal cortado por fraturas sub-verticais.	81
Figura 4.29 – S-028 Canyon da Lagoa Azul; calcários do Grupo Bambuí com acamamento sub-horizontal cortado por fraturas sub-verticais.	82
Figura 4.30 - S-030 - Gruta do Catão observa-se o desenvolvimento sub-horizontal desta, controlado pelo acamamento sedimentar dos calcários.	82
Figura 4.31: A Chapada de Baianópolis no contexto da Bacia do Urucuia.	84
Figura 4.32: Superfície topográfica em sela do conjunto Chapada do Urucuia/Chapada de Baianópolis.	85
Figura 4.33: Blocos estruturais esquemáticos.	85
Figura 4.34: Feições sugestivas de alçamento da Chapada de Baianópolis (Adaptado de CPRM/CBPM, 2003)	87
Figura 4.35: Mapa de lineamentos estruturais da Bacia do Rio São Desidério.	88
Figura 4.36 – Interior da Gruta do Catão.	89
Figura 4.37 – Cânion da entrada do Buraco do Inferno da Lagoa do Cemitério.	90
Figura 4.38 – Entrada para a caverna do Buraco do Inferno da Lagoa do Cemitério. .	91
Figura 4.39 – Lago do Cruzeiro no interior do Buraco do Inferno da Lagoa do Cemitério. Fonte: novooste.com	91
Figura 4.40 - Sumidouro/Ressurgência do João Baio.	92
Figura 4.41 – Gruta da Beleza inferior.	93
Figura 4.42 – Gruta da Beleza superior.	93
Figura 4.43 – Poço do Surubim. FONTE: Coelho, D. C. (2006).	94
Figura 5.1: Perfil da derivada horizontal (linha azul em A) e vertical (linha vermelha em B) calculados para o perfil gravimétrico (linha preta em A e B) gerado pelo modelo sintético de uma zona de falha.	98
Figura 5.2: Mapa de anomalia <i>Bouguer</i> completa da área de São Desidério/BA, com a localização das estações gravimétricas D01 a D45.	100

Figura 5.3: Mapa de anomalia Bouguer regional da área de São Desidério/BA.	101
Figura 5.4: Mapa de anomalia Bouguer residual da área de São Desidério/BA.	102
Figura 5.5: Mapa de derivadas na direção E-W.	103
Figura 5.6: Mapa de derivadas na direção N-S.	104
Figura 5.7: Mapa de derivadas na direção vertical.	105
Figura 5.8: Modelagens 2D e 3D da região de São Desidério: (A) Localização dos perfis modelados; Seções N-S dos modelos nas coordenadas (B) 513899 m E, (C) 526277 m E, (D) 538743 m E, (E) 551385 m E, (F) 563851 m E, (G) 576405 m E, (H) 588784 m E; E (I) comparação dos perfis modelados 2D com a modelagem 3D.	106
Figura 5.9: Sondagens Elétricas Verticais na área piloto da Bacia do Rio São Desidério.	109
Figura 5.10: Tipo de SEV mais comum sobre calcários do Grupo Bambuí.	111
Figura 5.11: Perfil de resistividade A na área piloto da Bacia do Rio São Desidério.	114
Figura 5.12: Blocos alçados e rebaixados na área piloto da Bacia do Rio São Desidério.	114
Figura 5.13: Localização dos poços utilizados para a realização de Perfilagem Óptica e Geofísica.	118
Figura 5.14: Perfilagem óptica no Poço SDN – Boqueirão. (a) Água turva relacionada a fácies mais friável do calcário da Formação São Desidério; (b) Intervalo próximo ao final do poço ilustrando o comportamento turvo contínuo presente na água; (c) Fratura aberta concordante ao acamamento; (d) Caverna com altura de 1,09 metros (60,65 a 61,74m).	119
Figura 5.15: Perfilagem óptica no Poço 2900014235. (a) Fácies com ocorrência densa de fraturas preenchidas por calcita do calcário da Formação São Desidério; (b) Ritmito, destaque para um indicio de falha no extremo NW da imagem; (c) Fratura aberta concordante ao acamamento; (d) Vista geral da fratura aberta concordante ao acamamento.	120
Figura 5.16: Perfis correspondentes aos métodos geofísicos aplicados no poço 2900014235.	121
Figura 5.17: Perfis correspondentes aos métodos geofísicos aplicados no poço SDN-Boqueirão.	121
Figura 6.1 – Corte topográfico/geológico SW-NE da Chapada de Baianópolis (topografia a partir de cotas SRTM).	126
Figura 6.2 – Calcários da Formação São Desidério no leito do rio Tamandua, na localidade de Pedra Branca.	127
Figura 6.3 – Pluviometria na estação 83236 de Barreiras. Fonte INMET.	127
Figura 6.4: Vazão/metro de profundidade x profundidade dos poços captando o Bambuí.	129
Figura 6.5: Vazão x profundidade dos poços captando o Bambuí.	130
Figura 6.6 – Localização dos pontos de injeção e monitoramento	136
Figura 6.7: Zoneamento das vazões dos poços da região de São Desidério.	138
Figura 6.8: Conjuntos de poços utilizados nos testes de aquíferos.	143
Figura 6.9: Perfil litológico e construtivo do poço testado na Fazenda Juazeiro – município de Tabocas do Brejo Velho – BA. Condutor hidráulico cárstico - fissural com entradas de água aos 35, 39, 44 e 45 m.	144

Figura 6.10: Capacidade específica observada durante o primeiro teste com vazão constante de 18 m ³ /h no poço Zequinha 1 - Fazenda Juazeiro - município de Tabocas do Brejo Velho/BA.	145
Figura 6.11: Capacidade específica observada durante o segundo teste com vazão constante de 16 m ³ /h no poço Zequinha 1 - Fazenda Juazeiro - município de Tabocas do Brejo Velho – BA.....	146
Figura 6.12: Capacidade específica observada durante o terceiro teste com vazão constante de 6,6 m ³ /h no poço da Prefeitura - Fazenda Juazeiro - município de Tabocas do Brejo Velho – BA.	146
Figura 6.13: Avaliação dos parâmetros hidráulicos no poço da Prefeitura de Tabocas, pelo método de superposição de escoamentos (modelo de Boulton 1963).....	147
Figura 6.14: Avaliação dos parâmetros hidráulicos no poço Bombeado Zequinha 1, pelo método de superposição de escoamentos usando o modelo de Boulton 1963.	148
Figura 6.15: Perfil litológico e construtivo do poço testado em Malhada Grande – Baianópolis BA. Condutor hidráulico cárstico-fissural com entradas de água abaixo dos 30 m de profundidade.	150
Figura 6.16: Curvas dos rebaixamentos registrados na Comunidade Malhada Grande nos poços Do Chico, Do Rocha, Do Paraíba e da Prefeitura de Baianópolis – BA. ..	150
Figura 6.17: Capacidade específica observada no poço da Prefeitura – Malhada Grande - município de Baianópolis/BA, durante o teste realizado em duas etapas, com vazões constantes de 9,5 m ³ /h e 12 m ³ /h.	151
Figura 6.18: Avaliação dos parâmetros hidráulicos no poço Bombeado da Prefeitura de Baianópolis pelo método de superposição de escoamentos (modelo de Boulton 1963).	152
Figura 6.19: Avaliação dos parâmetros hidráulicos no poço observado do Rocha (a 215 m), pelo método de superposição de escoamentos (modelo de Boulton 1963)..	153
Figura 6.20: Avaliação dos parâmetros hidráulicos no poço observado do Chico (a 634 m), pelo método de superposição (modelo de Boulton 1963).	154
Figura 6.21: Avaliação dos parâmetros hidráulicos no poço observado do Paraíba (a 930 m) pelo método de superposição de escoamentos usando o modelo de Boulton 1963.	155
Figura 6.22: Perfil litológico e construtivo do poço testado em Novato – Várzeas – município de Baianópolis/BA. Condutor hidráulico cárstico com entradas de água aos 45 e 51 m.....	156
Figura 6.23: Curva de rebaixamento e recuperação registrada na Comunidade Várzea no poço Novato - Baianópolis BA.....	157
Figura 6.24: Capacidade específica observada no poço Novato – Várzeas - Baianópolis/BA, durante o teste realizado com vazão constante de 7,6 m ³ /h.	157
Figura 6.25: Avaliação dos parâmetros hidráulicos no poço bombeado Novato pelo método de superposição de escoamentos (Modelo de Boulton 1963).	158
Figura 6.26: Perfil litológico e construtivo do poço testado em Riacho Grande/BA. Condutor hidráulico cárstico com entradas de água aos 15, 21 e 45m.	160
Figura 6.27: Curvas de rebaixamento e recuperação registradas no poço Riacho Grande município de São Desiderio– BA.....	160
Figura 6.28 - Capacidade específica observada no poço Riacho Grande - município de São Desiderio – BA, durante o teste realizado com vazão constante de 8,5 m ³ /h.....	161

Figura 6.29: Avaliação dos parâmetros hidráulicos no poço bombeado Riacho Grande pelo método de superposição de escoamentos usando o modelo de Boulton 1963.	162
Figura 6.30: Perfil litológico e construtivo do poço testado em Água Boa – município de Baianópolis BA. Conductor hidráulico cárstico com entrada de água aos 63 m.	163
Figura 6.31: Curvas de rebaixamento e recuperação registradas na Comunidade Água Boa no poço Água Boa município de Baianópolis/BA.	164
Figura 6.32: Capacidade específica observada no poço Água Boa - município de Baianópolis – BA, para vazões constantes de 3,0 e 3,5 m ³ /h e capacidade do regime normal de funcionamento vigente de 4 m ³ /h.	164
Figura 6.33: Avaliação dos parâmetros hidráulicos no poço bombeado Água Boa pelo método de superposição de escoamentos usando o modelo de Boulton 1963.	165
Figura 6.34: Mapa de localização da bacia delimitada pela estação Barreiras no rio Grande, envolvendo a área piloto de São Desidério e as acrescidas pela sub-bacia do córrego Tamanduá.	168
Figura 6.35: Valor de (-1)/k a partir da curva exponencial do referente ao período de recessão.	170
Figura 6.36: Mapa de distribuição das isoietas médias para a área de abrangência da bacia delimitada pela Estação Barreiras.	174
Figura 6.37: Hidrograma representativo da Estação Fluviométrica Fazenda Coqueiro (46490000) e da Estação Pluviométrica Fazenda Coqueiro (1244019), no ano hidrológico 1981-1982.	175
Figura 6.38: Hidrograma representativo da Estação Fluviométrica Barreiras (46550000) e da Estação Pluviométrica Barreiras (1244010), no ano hidrológico 1967-1968.	176
Figura 6.39: Frequências das classes de profundidade dos poços na Área Piloto de São Desidério.	181
Figura 6.40: Frequências das classes de diâmetro de revestimento dos poços na Área Piloto do Rio São Desidério.	182
Figura 6.41: Frequências das classes de profundidade dos níveis estáticos dos poços na Área Piloto do Rio São Desidério.	183
Figura 6.42: Frequências das classes dos níveis dinâmicos dos poços na Área Piloto do Rio São Desidério.	184
Figura 6.43: Frequências das classes de vazão dos poços cadastrados na Área Piloto da Bacia do Rio São Desidério.	185
Figura 6.44: Distribuição espacial dos 124 poços da área piloto da Bacia do Rio São Desidério em condições de funcionamento.	189
Figura 6.45: Histograma de vazões – Área piloto da Bacia do Rio São Desidério.	193
Figura 6.46: Frequências relativas – Área piloto da Bacia do Rio São Desidério.	193
Figura 6.47: Distribuição espacial da produção de água dos 124 poços da área piloto do Rio São Desidério em condições de funcionamento.	197
Figura 6.48: Zoneamento do saldo hídrico do aquífero Bambuí na área piloto da Bacia do Rio São Desidério.	198
Figura 6.49: Potenciometria da área piloto da Bacia do Rio São Desidério. Base geológica compilada de CPRM (2003).	202
Figura 6.50: Bloco diagrama esquemático da área piloto de São Desidério.	203
Figura 6.51: Chapada de Baianópolis (Elaborado a partir do Mapa Geológico do Brasil, Escala 1/5.000.000, DNPM, MME, 1971).	204

Figura 6.52: Corte SSW-NNE na Chapada de Baianópolis. Topografia do Google Earth. Geologia esquemática obtida de CPRM/CBPM (2003).....	205
Figura 6.53: Topografia da Bacia do Rio São Desidério, dando ênfase à parte da Chapada de Baianópolis, com base nas cotas.....	207
Figura 6.54: Corte topográfico/geológico 2 na Chapada de Baianópolis.	208
Figura 6.55: Áreas das estações fluviométricas de Barreiras e Faz. Coqueiros	211
Figura 7.1: Localização dos poços amostrados na primeira e segunda campanha na Bacia do Rio São Desidério.	214
Figura 7.2 - Sonda e eletrodos para determinação da temperatura, pH e ORP.	216
Figura 7.3 - Leitura dos parâmetros condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos.	217
Figura 7.4 - Inserção do eletrodo para leitura dos parâmetros in situ.	217
Figura 7.5 – Caixa térmica com gelo para acondicionamento e envio das amostras para o laboratório.....	218
Figura 7.6: Teste de Kolmogorov-Smirnov aplicado aos dados de condutividade elétrica do período seco.....	222
Figura 7.7: Teste de Kolmogorov-Smirnov aplicado aos dados de condutividade elétrica do período úmido.	222
Figura 7.8: Teste de Kolmogorov-Smirnov aplicado aos dados de sulfato do período seco.....	223
Figura 7.9: Teste de Kolmogorov-Smirnov aplicado aos dados de sulfato do período úmido.....	223
Figura 7.10: Comparação dos resultados de STD (mg/L) obtidos na amostragem representativa do período seco (1º campanha) e úmido (2º campanha) na bacia do Rio São Desidério.	224
Figura 7.11: Comparação dos resultados de dureza (mg/L como CaCO ₃) obtidos na amostragem representativa do período seco (1º campanha) e úmido (2º campanha) na bacia do Rio São Desidério.....	225
Figura 7.12: Comparação dos resultados de cálcio (mg/L) obtidos na amostragem representativa do período seco (1º campanha) e úmido (2º campanha) na bacia do Rio São Desidério.	225
Figura 7.13: Comparação dos resultados de sulfato (mg/L) obtidos na amostragem representativa do período seco (1º campanha) e úmido (2º campanha) na bacia do Rio São Desidério.	226
Figura 7.14: Comparação dos resultados de pH obtidos na amostragem representativa do período seco (1º campanha) e úmido (2º campanha) na bacia do Rio São Desidério.	226
Figura 7.15: Comparação dos resultados de sódio (mg/L) obtidos na amostragem representativa do período seco (1º campanha) e úmido (2º campanha) na bacia do Rio São Desidério.	227
Figura 7.16: Comparação dos resultados de potássio (mg/L) obtidos na amostragem representativa do período seco (1º campanha) e úmido (2º campanha) na bacia do Rio São Desidério.	227
Figura 7.17: Comparação dos resultados de magnésio (mg/L) obtidos na amostragem representativa do período seco (1º campanha) e úmido (2º campanha) na bacia do Rio São Desidério.	228

Figura 7.18: Comparação dos resultados de bicarbonato (mg/L) obtidos na amostragem representativa do período seco (1° campanha) e úmido (2° campanha) na bacia do Rio São Desidério.....	228
Figura 7.19: Comparação dos resultados de cloreto (mg/L) obtidos na amostragem representativa do período seco (1° campanha) e úmido (2° campanha) na bacia do Rio São Desidério.	229
Figura 7.20: Distribuição das amostras agrupadas.	231
Figura 7.21: Gráfico de correlação entre o bicarbonato e o pH no período seco para as águas do Bambuí aflorante e Bambuí com cobertura.	235
Figura 7.22: Gráfico de correlação entre o bicarbonato e pH no período úmido para as águas do Bambuí aflorante e Bambuí com cobertura.	235
Figura 7.23: Gráfico de correlação entre o magnésio e o cálcio no período seco, para as águas do Bambuí aflorante e Bambuí com cobertura.....	236
Figura 7.24: Gráfico de correlação entre o magnésio e o cálcio no período úmido, para as águas do Bambuí aflorante e Bambuí com cobertura.....	236
Figura 7.25: Correlação entre o STD no período seco e STD no período úmido para as águas do Bambuí aflorante e Bambuí com cobertura.	237
Figura 7.26: Correlação entre o bicarbonato no período seco e o bicarbonato no período úmido para as águas do Bambuí aflorante e Bambuí com cobertura.	238
Figura 7.27: Correlação entre o cálcio no período seco e o cálcio no período úmido para as águas do Bambuí aflorante e Bambuí com cobertura.....	239
Figura 7.28: Diagramas box plot representando os valores de CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) para os diferentes grupos de poços, no período seco.	240
Figura 7.29: Diagramas <i>box plot</i> representando os valores de dureza (mg/L) para os diferentes grupos de poços, no período seco.	240
Figura 7.30: Diagramas <i>box plot</i> representando os resultados de pH para os diferentes grupos de poços, no período seco.	241
Figura 7.31: Diagramas box plot representando os valores de bicarbonato (mg/L CaCO_3) para os diferentes grupos de poços, no período seco. A bola representa a média e a linha horizontal vermelha a mediana.	242
Figura 7.32: Diagrama de Piper das amostras coletadas no período seco.....	244
Figura 7.33: Diagrama de Piper das amostras coletadas no período úmido.	244
Figura 7.34: Distribuição dos diagramas de Stiff no período seco.....	246
Figura 7.35: Distribuição dos diagramas de Stiff no período úmido.....	247
Figura 7.36: Diagrama de Stiff das amostras avaliadas.	248
Figura 7.37: Teor de ferro (mg/L) nas águas avaliadas nos períodos seco (A) e úmido (B). Os rótulos apresentados indicam os pontos com teor de ferro superior ao VMP.	253
Figura 7.38: Teor de manganês (mg/L) nas águas avaliadas nos períodos seco (A) e úmido (B). Os rótulos apresentados indicam os pontos com teor de manganês superior ao VMP.....	254
*Legenda - Barra azul escura: Bambuí aflorante. Barra azul clara: Bambuí com cobertura. Barra verde: Misto (Urucuia e Bambuí). Barra vermelha: Urucuia. Barra laranja: cacimba.....	254
Figura 7.39: Localização dos pontos de coleta para determinação isotópica das águas na Bacia do Rio São Desidério.	255

Figura 7.40 - Relação de $\delta^{18}O$ e δD para o conjunto total de dados (A) e por compartimento hidrogeológico (B). RMM=Reta Meteórica Global.....	257
Figura 8.1: Parâmetro E – Epicarste.....	262
Figura 8.2: Parâmetro P - cobertura de proteção.....	264
Figura 8.3: Parâmetro I - condições de infiltração.....	266
Figura 8.4: Parâmetro K - grau de desenvolvimento da rede cárstica.....	268
Figura 8.5: Classificação da vulnerabilidade.....	269
Figura 8.6: Mapa de Vulnerabilidade – EPIK Adaptado.....	270
Figura 9.1: Distribuição das cargas contaminantes na área piloto da Bacia do Rio São Desidério com classificação POSH.....	272
Figura 9.2: Mapa de vulnerabilidade EPIK adaptado e fontes potenciais de contaminação.....	273
Figura 10.1 – Rede de monitoramento proposta para a Bacia do Rio São Desidério.....	276

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - População, Rendimento, Alfabetização e IDHM dos municípios na área piloto da Bacia do Rio São Desidério.....	27
Tabela 2.2 - Faixas de Desenvolvimento Humano – IDHM.....	29
Tabela 2.3 - PIB e PIB per capita dos municípios na área piloto da Bacia do Rio São Desidério.....	29
Tabela 2.4 - Produção agrícola.....	30
Tabela 2.5 - PIB Primário, Secundário, Terciário e Total dos municípios da Área Piloto de São Desidério, em R\$ mil.....	31
Tabela 2.6 - Formas de abastecimento de água para os municípios na área piloto da Bacia do Rio São Desidério.....	32
Tabela 2.7 - Formas de esgotamento sanitário para os municípios na área piloto do Rio São Desidério.....	34
Tabela 2.8 - Destino do Lixo para os municípios na Área Piloto de São Desidério.....	34
Tabela 2.9 - Incidência de doenças associadas ao saneamento básico para os municípios na área piloto da Bacia do Rio São Desidério.....	35
Tabela 2.10 - Fornecimento de energia elétrica para os municípios na área piloto da Bacia do Rio São Desidério.....	35
Tabela 2.11 - Demanda Hídrica da área piloto do Rio São Desidério (m ³ /dia).....	39
Tabela 3.1 – Classificação da Densidade de Drenagem. Fonte: Silva et al. (2009). ...	44
Tabela 3.2 - Área, porcentagem e tipos das unidades de solo da Bacia do Rio São Desidério.....	46
Tabela 3.3 – Área e porcentagem da vegetação da Bacia do Rio São Desidério.....	48
Tabela 3.4 – Classificação de declividades a partir do relevo. Fonte: Embrapa.....	52
Tabela 5.1– Coordenadas das estações gravimétricas.....	97
Tabela 5.2 – Relação das SEVs na área piloto da Bacia do Rio São Desidério.....	110
Tabela 5.3 – Poços de apoio ao perfil da Figura 5.11.....	112
Tabela 5.4 - Identificação dos métodos geofísicos aplicados.....	115
Tabela 5.5 - Poços utilizados para realização de perfilagens óticas e Geofísicas.....	116
Tabela 6.1 – Poços SIAGAS utilizados na elaboração do corte da Figura 6.1.....	124
Tabela 6.2 – Poços SIAGAS captando diretamente o Aquífero Bambuí na área ao sul da cidade de São Desidério.....	128
Tabela 6.4 – Parâmetros hidrodinâmicos do Sistema Aquífero Bambuí (SAB) obtidos em cinco testes de aquíferos realizados na área de São Desiderio/BA.....	141
Tabela 6.5 – Matriz de distâncias entre os três poços previstos para observação na Fazenda Juazeiro – município de Tabocas do Brejo Velho.....	142
Tabela 6.6 – Parâmetros da função de Boulton obtidos na superposição com a curva de rebaixamento do poço da Prefeitura de Tabocas do Brejo Velho/BA.....	147
Tabela 6.7 – Parâmetros hidrodinâmicos obtidos no teste de bombeamento do poço da Prefeitura de Tabocas do Brejo Velho – BA.....	148
Tabela 6.8 – Parâmetros da função de Boulton obtidos na superposição com a curva de rebaixamento do poço Zequinha 1 na Fazenda Juazeiro – Tabocas do Brejo Velho/BA.....	149
Tabela 6.9 – Parâmetros hidrodinâmicos obtidos no teste de bombeamento do poço Zequinha 1, na Fazenda Juazeiro – Tabocas do Brejo Velho/BA.....	149

Tabela 6.10 – Períodos de registros de nível de água obtidos com dataloggers, nos poços selecionados para observação na Comunidade Malhada Grande - município de Baianópolis BA.	149
Tabela 6.11 – Parâmetros da função de Boulton obtidos na superposição com a curva de rebaixamento do poço da Prefeitura de Baianópolis - BA.	151
Tabela 6.12 – Parâmetros hidrodinâmicos obtidos no teste de bombeamento do poço da Prefeitura de Baianópolis, em Malhada Grande – Baianópolis/BA.	152
Tabela 6.13 – Parâmetros da função de Boulton obtidos na superposição com a curva de rebaixamento do poço do Rocha observado a 215 m de distância do poço bombeado da Prefeitura de Baianópolis - BA.	153
Tabela 6.14 – Parâmetros hidrodinâmicos obtidos no teste de bombeamento do poço observado do Rocha, em Malhada Grande – Baianópolis/BA.	153
Tabela 6.15 – Parâmetros da função de Boulton obtidos na superposição com a curva de rebaixamento do poço observado do Chico a 634 m de distância do poço bombeado da Prefeitura de Baianópolis - BA.	154
Tabela 6.16 – Parâmetros hidrodinâmicos obtidos no teste de bombeamento do poço observado do Chico, em Malhada Grande – Baianópolis/BA.	154
Tabela 6.17 – Parâmetros da função de Boulton obtidos na superposição com a curva de rebaixamento do poço observado do Paraíba a 930 m de distância do poço bombeado da Prefeitura de Baianópolis/BA.	155
Tabela 6.18 – Parâmetros hidrodinâmicos obtidos no teste de bombeamento do poço observado do Paraíba, em Malhada Grande – Baianópolis/BA.	155
Tabela 6.19 – Parâmetros da função de Boulton obtidos na superposição com a curva de rebaixamento do poço observado do Paraíba a 930 m de distância do poço bombeado da Prefeitura de Baianópolis/BA.	158
Tabela 6.20 – Parâmetros hidrodinâmicos obtidos no teste de bombeamento do poço bombeado Novato em Várzeas – Baianópolis/BA.	159
Tabela 6.21 – Parâmetros da função de Boulton obtidos na superposição com a curva de rebaixamento do poço bombeado Riacho Grande em Riacho Grande município de São Desidério/BA.	161
Tabela 6.22 – Parâmetros hidrodinâmicos obtidos no teste de bombeamento do poço bombeado Riacho Grande – município de São Desidério/BA.	162
Tabela 6.23 – Parâmetros da função de Boulton obtidos na superposição com a curva de rebaixamento do poço bombeado Água Boa em Água Boa município de Baianópolis/BA.	165
Tabela 6.24 – Informações básicas sobre as estações fluviométricas utilizadas nos cálculos de recarga da área piloto da Bacia do Rio São Desidério	171
Tabela 6.25 – Identificação dos percentuais de distribuição das litologias na área piloto e nas respectivas estações fluviométricas analisadas.	172
Tabela 6.26 – Valores de recarga para a bacia hidrográfica conformada pela estação Fazenda Coqueiro	178
Tabela 6.27– Valores de recarga para a bacia hidrográfica conformada pela estação Barreiras.	178
Tabela 6.28 – Resultados de recarga encontrados para a área piloto de São Desidério, em proporcionalidade aos dados encontrados para a Estação Barreiras. (R_e = recarga específica média; R = recarga média; Nef = porosidade efetiva equivalente).	179

Tabela 6.29 - Parâmetros estatísticos dos dados de poços da Área Piloto do Rio São Desidério.	180
Tabela 6.30 – Frequência da profundidade dos poços levantados no SIAGAS/CPRM, CERB e dos novos cadastrados na Área Piloto do Rio São Desidério.	181
Tabela 6.31 – Frequência dos diâmetros da boca dos poços tubulares levantados no SIAGAS/CPRM, na CERB e dos novos cadastrados na Área Piloto da Bacia do Rio São Desidério.	182
Tabela 6.32 – Distribuição de frequência da profundidade dos níveis estáticos dos poços levantados no SIAGAS/CPRM, CERB e novos poços cadastrados na Área Piloto do Rio São Desidério.	183
Tabela 6.33 – Distribuição de frequência da profundidade dos níveis dinâmicos dos poços levantados no SIAGAS/CPRM, CERB e novos poços cadastrados na Área Piloto do Rio São Desidério.	183
Tabela 6.34 – Distribuição de frequência da vazão dos poços levantados no SIAGAS/CPRM, CERB e novos poços cadastrados na Área Piloto do Rio São Desidério.	184
Tabela 6.35 – Situação operacional dos 168 poços catalogados e cadastrados na Área Piloto do Rio São Desidério.	185
Tabela 6.36 – Estimativa do regime médio de funcionamento previsto para poços na região de São Desidério.	186
Tabela 6.37 - Produção global estimada, explotada na área piloto da Bacia do Rio São Desidério.	188
Tabela 6.38 - Situação dos 124 poços em condições de funcionamento na área piloto da Bacia do Rio São Desidério.	188
Tabela 6.39 – Síntese da avaliação dos recursos hídricos subterrâneos.	194
Tabela 6.40 – Balanço Recarga x Explotação do aquífero Bambuí na área Piloto Bacia do Rio São Desidério,	195
Tabela 6.41 – Cargas hidráulicas para a potencimetria, sua média e desvio padrão.	200
Tabela 6.42: Poços utilizados no corte topográfico 2.	206
Tabela 7.1 – Pontos coletados na bacia do Rio São Desidério e respectivos parâmetros analisados.	215
Tabela 7.2 - Parâmetros obtidos in situ e equipamento utilizado.	216
Tabela 7.3 – Métodos analíticos utilizados e limite de quantificação (LQ) dos parâmetros de análise.	219
Tabela 7.4 – Resultados de p valor para testes de normalidade pelo método de Kolmogorov-Smirnov, para os parâmetros físico-químicos e químicos das amostras nos dois períodos de amostragem.	221
Tabela 7.5 – Sumário estatístico das águas do Bambuí aflorante, coletadas no período seco (n=4).	232
Tabela 7.6 – Sumário estatístico das águas do Bambuí aflorante, coletadas no período úmido (n=4).	232
Tabela 7.7 – Sumário estatístico das águas do Bambuí com cobertura, coletadas no período seco (n=8).	233
Tabela 7.8 – Sumário estatístico das águas do Bambuí com cobertura, coletadas no período úmido (n=8).	233
Tabela 7.9 – Classificação das águas avaliadas na Bacia do Rio São Desidério.	245

Tabela 7.10 – Resultados analíticos para metais pesados.....	249
Tabela 7.11 – Pontos de coleta para agroquímicos.	250
Tabela 7.12 – Pontos de coleta para derivados de petróleo.....	250
Tabela 7.13 - Valores máximos aceitos para consumo humano de acordo com a Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde (Brasil, 2011) para as substâncias químicas que representam risco à saúde, avaliadas no presente estudo.....	251
Tabela 7.14 - Valores máximos aceitos para consumo humano de acordo com a Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde (Brasil, 2011) para as substâncias de padrão organoléptico de potabilidade, avaliadas no presente estudo.	252
Tabela 7.15 – Resultados das análises de isótopos em água na bacia do Rio São Desidério.	256
Tabela 9. 1 - Classificação do perigo à contaminação.	274
Tabela 10.1 – Coordenadas dos poços de monitoramento da rede da Bacia do Rio São Desidério.	275

1. Introdução

O presente relatório constitui o Volume III - Tomo 1 do Relatório Final da “*Hidrogeologia dos Ambientes Cársticos da Bacia do Rio São Francisco para a Gestão de Recursos Hídricos*” que aborda a área piloto do rio São Desidério, no estado da Bahia.

A bacia hidrográfica do rio São Desidério foi eleita como área piloto devido às suas características geológicas e hidrogeológicas peculiares, dentre as quais se destacam a interação dos sistemas aquíferos Urucuia e Bambuí e a intensa carstificação que caracteriza o chamado Sistema Cárstico João Rodrigues.

Este relatório apresenta uma compilação de diversos levantamentos e estudos realizados na área piloto da Bacia do Rio São Desidério. Dentre as atividades destacam-se o cadastramento de poços, perfilagem geofísica em alguns poços selecionados, aplicação de traçadores corantes, geofísica (eletrorresistividade e gravimetria), testes de aquífero, hidroquímica e mapeamento geológico. Esses estudos são apresentados no presente relatório de uma forma integrada entre os diversos temas visando informar sobre o conhecimento atual dos sistemas aquíferos Urucuia e Bambuí na área enfocada.

No Capítulo 2 é apresentada uma análise dos aspectos socioeconômicos da área piloto do rio São Desidério que serviram de base à avaliação das demandas globais de água dessa área. No final do capítulo essas demandas são apresentadas para os anos de 2000, 2005, 2010, 2015, 2020, 2025 e 2030, e confrontadas com a evolução histórica da produção de água subterrânea.

O Capítulo 3 constitui uma caracterização física da área piloto, sendo abordados aspectos da drenagem, solos, vegetação e geomorfologia.

A geologia é o objeto do Capítulo 4 esboçado, inicialmente, com um panorama da geologia regional em cujo contexto se situa a área piloto em estudo. Em seguida é abordada a geologia da área piloto, com ênfase no mapeamento realizado, nas relações Urucuia/Bambuí e nas feições cársticas desse último.

O Capítulo 5 é dedicado aos estudos geofísicos, realizados através do método gravimétrico e do método de resistividade. Inclui-se também aqui uma análise dos resultados obtidos com as perfilagens de poços realizadas. Destaca-se a caracterização estrutural do recobrimento representado pelos arenitos Urucuia nos quais foi esculpida a Chapada de Baianópolis.

No Capítulo 6 são abordados os aspectos hidrogeológicos da área piloto. Procura-se, aqui, caracterizar geometricamente os aquíferos Bambuí e Urucuia, definir seus parâmetros, discutir suas relações e avaliar suas reservas. No caso do Urucuia, há que ressaltar a contribuição dos poços Siagas e da geofísica para se atingir os objetivos acima citados.

O Capítulo 7 é dedicado à hidroquímica da área piloto, onde estão descritas as duas amostragens realizadas, no final do período seco e chuvoso. São caracterizadas fácies hidroquímicas e feitas avaliações isotópicas. Buscou-se

avaliar o efeito das águas do Urucuia nas propriedades químicas das águas do Bambuí.

Os capítulos 8 e 9 tratam, respectivamente, da vulnerabilidade e do perigo de contaminação. A primeira é avaliada através da metodologia designada de EPIK adaptado, enquanto o segundo é aferido sobrepondo-se o mapa de cargas contaminantes ao mapa de vulnerabilidade.

2. Localização e aspectos socioeconômicos

Essa área piloto corresponde à bacia hidrográfica do Rio São Desidério, localizada no oeste do Estado da Bahia, região do Médio São Francisco (Figura 2.1). Inclui porções dos municípios de São Desidério, Baianópolis e Tabocas do Brejo Velho e possui uma área de aproximadamente 4.626 km². A única sede municipal dentro desta área é a cidade de São Desidério, distante 869 km de Salvador.

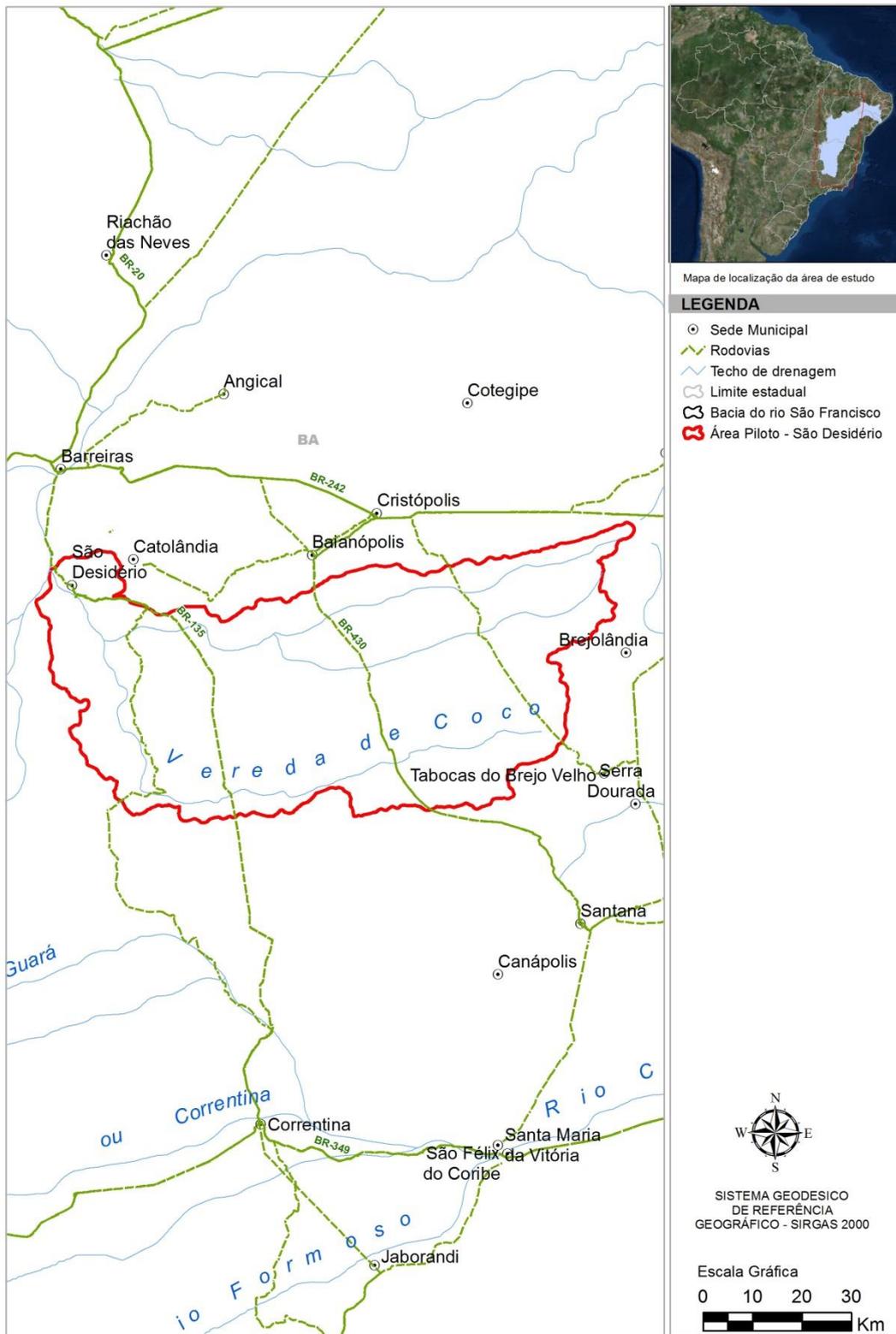


Figura 2.1: Localização da Bacia Hidrográfica do Rio São Desidério.

2.1 Análise dos dados socioeconômicos

2.1.1 Metodologia de análise

Com objetivo da caracterização socioeconômica da área piloto da Bacia do Rio São Desidério, foram definidos como relevantes os dados acerca da população residente, rendimento, taxa de alfabetização, Índice de Desenvolvimento Humano Municipal – IDHM, PIB, formas de abastecimento de água, existência de banheiro ou sanitário, esgotamento sanitário, destino do lixo e existência de energia elétrica dos municípios inclusos nesta área de estudo.

Para tanto, os dados socioeconômicos dos municípios que compõem esta área piloto foram obtidos no SIDRA – Sistema IBGE de Recuperação Automática, na página virtual do Ministério da Saúde e no Atlas do Desenvolvimento Humano do Brasil.

Não obstante, também foram realizadas considerações a respeito da incidência de doenças de veiculação hídrica na região. Esse tipo de análise teve como objetivo relacionar a recorrência de tais doenças à carência de infraestruturas de saneamento. Os dados relacionados a tais enfermidades foram obtidos na página virtual do Ministério da Saúde, sendo os mais recentes referentes ao ano de 2012. As doenças de veiculação hídrica contempladas foram cólera, dengue, febre tifoide, leptospirose, hepatite A e esquistossomose.

Para a caracterização do grau de desenvolvimento dos municípios, buscaram-se dados alusivos ao IDHM – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal. Este índice representa uma medida composta por três dimensões do desenvolvimento humano: longevidade, educação e renda, variando de 0 a 1. Assim, foi utilizado como base o Atlas de Desenvolvimento Humano no Brasil, uma plataforma de consulta ao Índice de Desenvolvimento Humano Municipal – IDHM.

2.1.2 Aspectos socioeconômicos da Bacia Hidrográfica do Rio São Desidério

A princípio, a situação socioeconômica da área piloto da Bacia do Rio São Desidério será representada através de análise do rendimento, taxa de alfabetização e IDHM (2010) dos municípios nela inclusos. Tais municípios são, essencialmente, São Desidério, Baianópolis e Tabocas do Brejo, que receberão um destaque nas tabelas a seguir. No entanto, há ainda outros que contribuem para a área de forma menos expressiva, como Cristópolis, Brejolândia, Serra Dourada, Barreiras e Catolândia, como mostrado acima na Figura 2.1.

Esta área piloto apresenta dois municípios representantes do Oeste Baiano, São Desidério e Barreiras. Essa região tem como característica o elevado dinamismo diretamente relacionado à atividade agrícola, sendo a produção de *commodities* bastante expressiva em âmbito nacional.

No cenário quando foi analisada a situação socioeconômica, foi visto que os melhores índices para área piloto do rio São Desidério, foram os dos municípios de São Desidério e Barreiras.

Tabela 2.1 - População, Rendimento, Alfabetização e IDHM dos municípios na área piloto da Bacia do Rio São Desidério.

Município	UF	População	Rendimento (R\$)	Alfabetização (%)	IDHM
São Desidério	BA	28.921	723,87	77,1	0,579
Baianópolis	BA	13.420	495,69	72,3	0,589
Tabocas do Brejo Velho	BA	11.433	434,16	73,6	0,584
Barreiras	BA	141.081	1.018,85	90,5	0,721
Brejolândia	BA	11.247	432,88	75,9	0,592
Catolândia	BA	3.215	529,15	76,5	0,582
Cristópolis	BA	13.374	446,77	72,7	0,614
Serra Dourada	BA	17.963	449,26	78,3	0,608
Bahia		14.016.906	813,94	84,60	0,660

Tal realidade é fruto de suas elevadas produções agrícolas e do desdobramento que gera sobre o setor terciário, de forma que, não somente a economia da região se sobressai dentre as demais, mas também a qualidade de vida.

Desse modo, para a caracterização socioeconômica da área foi considerado o rendimento nominal médio mensal das pessoas de 10 anos ou mais de idade, com rendimento em reais. Já para a taxa de alfabetização, esta traduziu a porcentagem da população acima de 10 anos que possui domínio de escrita e leitura de forma a caracterizar o nível de instrução do local.

Além disso, o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) foi representativo do histórico dos municípios em três importantes dimensões do desenvolvimento humano: sua longevidade, renda e educação. Esse índice varia no intervalo de 0 a 1, de forma que, quanto mais próximo a 1, maior o desenvolvimento da região.

A análise do IDHM, portanto, pondera a oportunidade da referida população de viver uma vida longa e saudável, de ter acesso ao conhecimento e ter um padrão de vida básico, representado pela saúde, educação e renda. Assim, a qualidade de vida inferida através deste índice traduz a dinâmica dos municípios.

Quando verificado o rendimento nominal médio dos municípios em questão, nota-se que apenas o município de Barreiras apresenta valor acima do obtido para o estado da Bahia. Por outro lado, Brejolândia detém valor equivalente a apenas 47% do rendimento estadual, caracterizando a desigualdade econômica na área.

Ainda, quando contrastados os rendimentos descritos na Tabela 2.1 acima com o salário mínimo na época (2010), de R\$ 510,00, tem-se que apenas Barreiras,

Catolândia e São Desidério possuem valores superiores. Tendo em vista que dentre estes apenas São Desidério compõe a área piloto de forma substancial, pode-se entender que esta região, como um todo, apresenta um valor de rendimento médio reduzido e inferior à media estadual.

Ao analisar pelo viés da educação x rendimento, valores baixos de rendimento podem ser característicos de regiões com déficit educacional. Essa consideração leva em conta que, usualmente, pessoas de maior escolaridade tendem a atingir maior produtividade e se apropriarem de uma parcela maior do crescimento econômico da região. Assim, elevados rendimentos são compatíveis com uma população com maior grau de escolaridade.

Nesse contexto, ao considerar os índices de alfabetização para os ditos municípios, verifica-se que os mesmos três maiores rendimentos nominais também apresentam maiores taxas de alfabetização, sendo Barreiras o único que apresentou taxa de alfabetização acima da estadual.

Nesse sentido, a fim de que esse comportamento atípico de baixo rendimento e moderado índice de alfabetização seja contornado, faz-se interessante a elaboração de um plano de estratégias para a região, visando dar dinamicidade ao mercado de trabalho local para absorção desses jovens com formação média superior ao restante da área piloto.

Ao elevar a atratividade do município para os jovens, através do aumento das perspectivas destes em relação à região, há também uma maior retenção de pessoal qualificado e, conseqüentemente, incremento no rendimento nominal médio. Dessa forma, poderia ser reduzida a defasagem quanto ao rendimento de Serra Dourada perante os outros integrantes da área piloto da Bacia do Rio São Desidério, especialmente entre aqueles que apresentam melhores taxas de alfabetização.

Ainda em análise quanto à educação da área piloto, tendo em vista que os maiores colaboradores para esta área apresentaram taxas de alfabetização diminutas, fica indicado que, além de rendimento relativamente baixo, o grau de escolaridade na região também é reduzido.

No tocante ao IDHM, tem-se novamente Barreiras em posição de destaque com maior índice de desenvolvimento da área, acima inclusive do IDHM da Bahia. No entanto, ao considerar os municípios de maior relevância à área, São Desidério, Baianópolis e Tabocas do Brejo, o IDHM médio seria de 0,583.

Para que se possa inferir a situação da área quanto ao seu desenvolvimento humano, de acordo com o Atlas do Desenvolvimento Humano, as faixas de desenvolvimento municipal são classificadas em Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito Alto. Assim, de forma distinta ao IDHM da Bahia, representativo de um nível de desenvolvimento médio (0,660), o da área piloto da Bacia do Rio São Desidério (Tabela 2.2) estaria enquadrado como Baixo Desenvolvimento Humano (0,583).

Tabela 2.2 - Faixas de Desenvolvimento Humano – IDHM.

Faixas de Desenvolvimento Humano	
0-0,499	Muito Baixo Desenvolvimento Humano
0,500-0,599	Baixo Desenvolvimento Humano
0,600-0,699	Médio Desenvolvimento Humano
0,700-0,799	Alto Desenvolvimento Humano
0,800-1	Muito Alto Desenvolvimento Humano

A leitura que cabe diante desta realidade contempla visão sintética sobre as condições para as pessoas viverem uma vida longa e saudável, o acesso ao conhecimento e condições de manter padrão de vida digno. Dessa maneira, a área piloto estudada é representativa de região que possui relevante potencial de crescimento e desenvolvimento humano.

Em continuidade à descrição socioeconômica da área, cabe ainda análise quanto à produtividade da região, essencialmente caracterizada pelo seu Produto Interno Bruto per capita

A partir da Tabela 2.3, verifica-se que os maiores valores do PIB são referentes aos municípios de Barreiras e São Desidério. Mais uma vez, diante da maior representatividade quanto à área piloto, São Desidério contribui substancialmente para produtividade na região. Ainda, apesar de este município apresentar o segundo maior PIB, quando considerado valores per capita este possui valor cerca de cinco vezes maior que o PIB per capita do estado.

Tabela 2.3 - PIB e PIB per capita dos municípios na área piloto da Bacia do Rio São Desidério.

Município	UF	PIB (R\$ mil)	População	PIB per capita (R\$)
São Desidério	BA	1.652.328	28.921	57.132,46
Baianópolis	BA	85.377	13.420	6.361,92
Tabocas do Brejo Velho	BA	63.453	11.433	5.549,99
Barreiras	BA	2.443.616	141.081	17.320,66
Brejoândia	BA	55.028	11.247	4.892,68
Catolândia	BA	28.698	3.215	8.926,28
Cristópolis	BA	64.945	13.374	4.856,06
Serra Dourada	BA	99.273	17.963	5.526,53
Bahia		167.727.375,00	14.016.906	11.966,08

Como destacado anteriormente, a elevada produtividade verificada no caso de São Desidério é fruto de sua intensa atividade agrícola (Tabela 2.4). Segundo dados do IBGE de 2013, esse município respondeu por 39% da produção de algodão herbáceo, 23,5% de milho e 22,2% de soja da Bahia. Frente à região Nordeste, os índices são de similar expressividade, representando 34,7% do algodão herbáceo, 10,3% de milho e 11,6% soja.

Tabela 2.4 - Produção agrícola.

Produção Agrícola			
Região	Algodão	Soja	Milho
Barreiras	71.117	307.732	241.869
São Desidério	361.022	613.361	496.046
Brasil	3.417.196	81.724.477	80.273.172
Nordeste	1.040.115	5.268.170	4.802.322
Bahia	924.981	2.765.533	2.109.906

Já para o caso de Barreiras, apesar de forte contribuição quanto à produção de *commodities* agrícolas, em especial do milho e da soja, é o setor terciário que domina o PIB do município. Nesse caso em específico, a elevada concentração de atividades varejistas e de prestação de serviços teve como base não apenas o ambiente propício às culturas agrícolas, mas também o forte impulso criado pela construção da Rodovia BR-242.

A rodovia, que corta a cidade, elevou a atratividade do município e foi responsável pelo desenvolvimento do agronegócio na região. Como consequência houve o desenvolvimento do setor terciário e da economia urbana, representado pelo seu alto PIB terciário, observado mais abaixo.

Os demais municípios abrangidos pela área piloto da Bacia do Rio São Desidério, apesar de também apresentarem atividades agrícolas, não respondem por relevância similar perante o País, como ocorrido para os dois municípios destacados acima.

De forma um pouco distinta, Baianópolis e Tabocas do Brejo Velho expressam PIB per capita aquém do estadual, com R\$ 6.361,92 e R\$ 5.549,99 respectivamente. Porém, analisada a conjuntura da produtividade na área piloto, essencialmente pelos três municípios em destaque, obtêm-se PIB per capita de R\$ 33.495.000, superior em quase três vezes o PIB per capita da Bahia. Deste modo pode-se assinalar elevado grau de produção para região.

No entanto, a situação de elevado PIB per capita pode estar condicionada a concentrações de renda entre a população, não deixando transparecer existência de segmentos sociais com precárias condições de vida. Essa limitação pode ser amenizada quando analisada concomitante a outros indicadores, como as realizadas acima.

Dessa maneira, é possível inferir que, apesar de elevada produtividade média na área piloto, os modestos valores de rendimento médio, alfabetização e IDHM corroboram a análise feita anteriormente: a área observada representa potencialidade quanto ao recebimento de investimentos, visando crescimento e desenvolvimento da região por um todo.

Nesse intuito, tendo em vista a alta produtividade verificada na área piloto da Bacia do Rio São Desidério, merece destaque análise mais aprofundada da participação dos PIB primário, secundário e terciário perante o PIB total dos municípios por ela abrangidos (Tabela 2.5).

O objetivo seria de atentar para capacidade de explorar ainda mais a região no que se relacionam as suas atividades-chaves. Essa contribuição seria de suma importância não somente para auxiliar ações que visem seu desenvolvimento econômico, mas também se utilizar de tal prosperidade para melhorias sociais necessárias.

Tabela 2.1 - PIB Primário, Secundário, Terciário e Total dos municípios da Área Piloto de São Desidério, em R\$ mil.

Município	UF	PIB setor primário	PIB setor secundário	PIB setor terciário	PIB TOTAL
São Desidério	BA	1.143.505	75.031	378.929	1.652.328
Baianópolis	BA	26.186	6.983	49.334	85.377
Tabocas do Brejo Velho	BA	11.457	5.913	43.410	63.453
Barreiras	BA	499.945	379.591	1.328.500	2.443.616
Brejolândia	BA	13.300	5.252	34.987	55.028
Catolândia	BA	2.444	2.631	20.865	28.698
Cristópolis	BA	8.918	7.263	46.652	64.945
Serra Dourada	BA	19.993	12.015	63.624	99.273

Com exceção de São Desidério, a maioria dos municípios tem a maior parte do seu PIB originada do setor terciário. Percebe-se também que o setor secundário, relacionado às atividades industriais, é pouco expressivo, respondendo por menos de 20% da produção em todos os municípios da análise.

São Desidério, por sua vez, tem em seu setor primário, principalmente o setor agropecuário, quase 70% de toda sua produção. Esse fato aponta a vocação do município quanto à produção agrícola, nomeadamente soja, milho e algodão herbáceo.

Dessa forma, é interessante estudar em mais detalhes uma maneira de aproveitamento máximo das particularidades de cada município constituinte da área piloto, visando atingir patamar de prosperidade econômica, e conseqüentemente, elevar o padrão de vida para os residentes da área.

Tendo em vista a forte influência agrícola da região, atividade que mais demanda água, é importante que a gestão para a área seja orientada de forma

a atender à questão sem comprometer a produção agrícola, sem diminuir a produtividade da região, porém, não deixando de atender aos demais usuários.

Nesse âmbito, foi verificada a realidade dos municípios quanto à infraestrutura básica, representados pelo abastecimento de água e esgotamento sanitário. Adicionalmente, foi verificada a destinação do lixo e existência da energia elétrica para os municípios.

O objetivo da análise desses dados serviu para dar seguimento ao estudo do desenvolvimento dessa área piloto, porém por intermédio de parâmetros mais elementares quanto ao funcionamento da sociedade.

Tem-se que, no tocante ao abastecimento de água (Tabela 2.6), é considerado como fornecimento de água tratada apenas aqueles propiciados por rede geral. As demais formas constituem em fontes alternativas, dentre as mais comuns os poços ou nascentes, rio, açudes, lagos ou igarapés, e outros. Assim, foram obtidos pelo IBGE (2010) os seguintes dados:

Tabela 2.6 - Formas de abastecimento de água para os municípios na área piloto da Bacia do Rio São Desidério.

Forma de Abastecimento de Água								
Município	UF	Rede geral %	Poço ou nascente na propriedade %	Poço ou nascente fora da propriedade %	Rio, açude, lago ou igarapé %	Poço ou nascente na aldeia %	Poço ou nascente fora da aldeia %	Outra %
São Desidério	BA	62,38	5,55	25,53	1,10	-	-	5,43
Baianópolis	BA	86,21	3,19	8,19	1,20	-	-	1,20
Tabocas do Brejo Velho	BA	76,99	4,83	16,33	0,11	-	-	1,75
Barreiras	BA	90,48	1,83	3,72	3,14	-	-	0,83
Brejoândia	BA	34,92	7,49	47,77	3,89	-	-	5,93
Catolândia	BA	76,99	4,83	16,33	0,11	-	-	1,75
Cristópolis	BA	55,54	8,49	17,69	17,28	-	-	1,01
Serra Dourada	BA	86,99	4,84	3,23	1,16	-	-	3,78
Bahia		80,34	5,37	5,08	2,70	0,02	0,0	6,49

Apenas Baianópolis, Barreiras e Serra Dourada apresentam taxas de abastecimento superior as da Bahia. É possível notar ainda que, quando não possibilitado o abastecimento por rede geral, a maior parte da população conta com abastecimento via poço ou nascente fora da propriedade.

Diante deste cenário, fica apontada a necessidade de atenção quanto ao abastecimento desses municípios por água tratada. Quando não ocorrido, o abastecimento de má qualidade incorre em diminuição do bem-estar da população, devido ao fato deste recurso hídrico poder funcionar como meio de veiculação de doenças, comprometendo a saúde dos então residentes.

De forma semelhante, foram avaliadas as situações dos municípios quanto ao esgotamento sanitário. Processo posterior ao de abastecimento de água, o esgoto doméstico, devido à alta concentração orgânica, possui elevada capacidade de contaminar o meio ambiente. Assim, acaba por propiciar ambientes adequados à proliferação de doenças, essencialmente quando não tratado e transportado corretamente.

Procurou-se caracterizar o esgotamento sanitário da região (Tabela 2.7) pela existência de domicílios que possuem banheiro ou sanitário em conjunto ao tipo de tratamento de esgoto por residência. Deste modo, os tipos de manejo dos efluentes domésticos consistem basicamente em rede geral, rede pluvial, fossas sépticas e outros, onde apenas os três primeiros apresentam algum tipo de tratamento.

Tendo em vista o caráter essencial quanto ao tratamento do esgoto para evitar contaminação do subsolo e do lençol freático, serão tidos como situações-modelo as que contemplem tratamento via rede geral, pluvial e fossa séptica, representadas pelos itens A1 e B1 da tabela abaixo. Os itens A2 e B2 representam outras formas de esgotamento sanitário que não as citadas anteriormente e o C situação em que não há nem banheiro nem sanitário.

Disto posto, as porcentagens relacionadas a essas subdivisões indicam baixo nível de tratamento de esgoto para área em geral, sendo a maioria descartada diretamente em valões, córregos, rios, praias entre outras formas. A esse fator pode ser atribuído grandes indicativos de contaminações e comprometimento da saúde da população da região.

Ainda, compondo as vertentes do saneamento básico da área piloto, foi verificada a destinação do lixo nos municípios, subdivididos em coletados ou outros destinos (Tabela 2.8). Para o recolhimento desses resíduos, consideram-se ainda coletas pelo serviço de limpeza urbana ou em caçamba de serviços de limpeza.

A preocupação no que tange a esses serviços refere-se à influência do acúmulo de lixo resultado de práticas irregulares de deposição destes. Dessa maneira, novamente há riscos quanto à contaminação do solo e redução do nível de saúde na região.

Tabela 2.7 - Formas de esgotamento sanitário para os municípios na área piloto do Rio São Desidério.

Existência de Banheiro ou Sanitário e Esgotamento Sanitário								
<u>Município</u>	<u>UF</u>	<u>Tinham banheiro</u>	<u>A1.</u>	<u>A2.</u>	<u>Tinham sanitário</u>	<u>B1.</u>	<u>B2.</u>	<u>Não tinham banheiro nem sanitário</u>
São Desidério	BA	82,59%	4,81%	77,78%	6,91%	0,12%	6,79%	10,50%
Baianópolis	BA	75,95%	13,99%	86,01%	2,25%	3,49%	96,51%	21,79%
Tabocas do Brejo Velho	BA	75,95%	13,99%	86,01%	2,25%	3,49%	96,51%	21,79%
Barreiras	BA	94,66%	36,41%	63,59%	2,24%	29,94%	70,06%	3,10%
Brejolândia	BA	85,24%	1,27%	98,73%	4,50%	2,13%	97,87%	10,27%
Catolândia	BA	76,29%	19,58%	56,71%	3,11%	0,35%	2,77%	20,60%
Cristópolis	BA	74,41%	8,36%	66,05%	4,35%	0,11%	4,24%	21,24%
Serra Dourada	BA	73,60%	4,71%	68,88%	14,07%	1,32%	12,75%	12,33%
Bahia		87,18%	58,16%	41,84%	4,90%	21,65%	78,35%	7,92%

Tabela 2.8 - Destino do Lixo para os municípios na Área Piloto de São Desidério.

Destino do Lixo					
<u>Município</u>	<u>UF</u>	<u>Coletado</u>	<u>A1. Coletado por serviço de limpeza</u>	<u>A2. Coletado em caçamba de serviço de limpeza</u>	<u>Outro destino</u>
São Desidério	BA	40,42%	38,60%	1,82%	59,58%
Baianópolis	BA	20,96%	7,20%	20,39%	79,04%
Tabocas do Brejo Velho	BA	20,96%	7,20%	20,39%	79,04%
Barreiras	BA	90,77%	90,44%	5,44%	9,23%
Brejolândia	BA	30,45%	34,68%	1,05%	69,55%
Catolândia	BA	32,55%	26,53%	6,02%	67,45%
Cristópolis	BA	48,80%	28,24%	20,56%	51,20%
Serra Dourada	BA	30,34%	30,15%	0,19%	69,66%
Bahia		76,21%	80,19%	19,81%	23,79%

Apenas o município de Barreiras apresenta alto índice de resíduos coletados, estando todos os outros municípios em situação inferior a 50%. Tal cenário é indicativo de alta probabilidade de contaminação do subsolo na região, mais uma vez podendo comprometer a saúde da população.

Para compor as análises quanto às infraestruturas urbanas realizadas acima, buscaram-se junto ao portal do Ministério da Saúde informações quanto à incidência das doenças devido à falta de saneamento básico. Assim, foram obtidas as percentagens de recorrência das doenças em relação a todo o estado da Bahia. O resultado obtido segue na Tabela 2.9.

Tabela 2.2 - Incidência de doenças associadas ao saneamento básico para os municípios na área piloto da Bacia do Rio São Desidério.

Incidência de doenças associadas ao saneamento básico por 100.000 habitantes para o período de 2012 (BA)						
Doenças	Esquistossomose	Leptospirose	Cólera	Febre Tifóide	Dengue	Hepatite A
Estado da Bahia	2.778,4	60,3	-	29,7	145.231,0	514,4
Municípios da área piloto de São Desidério	88	-	-	-	479,3	10,8
Proporção (Estado)	19,82	0,43		0,21	1036,11	3,67
Proporção (área de estudo)	36,57	-	-	-	199,16	4,49

Sabendo que a população da área piloto contempla 240.654 habitantes, enquanto que a da Bahia é de 14.016.906 habitantes, a proporção dada acima é da incidência das ditas doenças normalizadas por sua respectiva população.

Para o caso da esquistossomose e hepatite A, tem-se incidência per capita superior a do Estado da Bahia. A dengue, apesar de alcançar menor incidência em relação ao Estado, ainda apresenta proporção considerável. Deste modo, fica preconizada a situação de risco dos residentes da área sob estudo relacionada à falta de infraestrutura básica na dita região.

Outro fator indispensável para observações quanto ao bem-estar e ao crescimento econômico consiste no suprimento de energia elétrica da área (Tabela 2.10). Nesse intuito, procurou-se caracterizar os municípios da área piloto quanto ao fornecimento ou não de energia elétrica.

Tabela 2.3 - Fornecimento de energia elétrica para os municípios na área piloto da Bacia do Rio São Desidério.

Fornecimento de Energia Elétrica			
Município	UF	Tinham	Não tinham
São Desidério	BA	94,09%	5,91%
Baianópolis	BA	97,59%	2,41%
Tabocas do Brejo Velho	BA	97,59%	2,41%
Barreiras	BA	99,09%	0,91%
Brejolândia	BA	90,47%	9,53%
Catolândia	BA	94,98%	5,02%
Cristópolis	BA	92,63%	7,37%
Serra Dourada	BA	94,80%	5,20%
Bahia		96,43%	3,57%

Observa-se que todos os municípios apresentam taxas acima de 90% quanto à existência de energia elétrica, caracterizando situação conveniente quanto a

este indicador. Dentre os que exibem maiores percentuais de não suprimento energético estão os municípios de Brejolândia e Cristópolis, com valores acima de 7%.

Deste cenário pode-se deduzir que, no que tange ao desenvolvimento de atividades humanas e melhoria da qualidade de vida dos cidadãos desta área, o acesso à energia elétrica não consiste em fator comprometedor. Dessa forma, a boa distribuição elétrica nessas regiões pode estar relacionada aos bons índices socioeconômicos conseguidos em tais municipalidades, verificados acima, especialmente o alto nível de produtividade na área.

Assim, melhorias na qualidade da produção e aumento da capacidade produtiva, maiores facilidades quanto ao acesso à informação, extensão ao acesso à educação através da possibilidade de turnos noturnos nas redes de ensino e facilidades para alimentação devido ao armazenamento dos alimentos em ambiente refrigerado representam apenas alguns dos benefícios proporcionados pela existência de energia elétrica na área.

Em suma, ao contrastar os índices socioeconômicos da área piloto com os do estado em que se insere, percebe-se que apesar de elevada produtividade e bons índices quanto ao suprimento de energia elétrica, a região sob análise ainda apresenta grande potencial para desenvolvimento, característico de IDHM baixo, como analisado previamente.

Notou-se ainda que, no que se refere aos aspectos sanitários, a área carece de investimentos, onde baixos valores nesse sentido tendem a comprometer a prosperidade da região como um todo.

Também, ao considerar os índices obtidos para a Bahia, a área piloto apesar de se inserir em uma Unidade de Federação de desenvolvimento médio, apresenta taxas inferiores a esta na maioria dos aspectos ponderados anteriormente. Esse fato corrobora a necessidade quanto à melhoria na qualidade de vida para os moradores desta região, especialmente no tocante ao investimento em infraestruturas sanitárias.

Nesse sentido, os estudos relativos à gestão dos recursos hídricos dos Sistemas Aquíferos Cárstico e Fissuro-Cárstico podem ser relevantes para o aumento do grau de desenvolvimento na área piloto da Bacia do Rio São Desidério. Sob tais circunstâncias, tem-se que a evolução destes estudos, justificados pela presente análise socioeconômica particular, não somente seria viável como oportuna para toda área sob domínio do aquífero.

2.1.3 Demanda Hídrica da área piloto do Rio São Desidério

O confronto entre a disponibilidade e demanda hídrica é que orienta a elaboração do programa de gestão das águas. A demanda está diretamente ligada à população através do abastecimento de água, dessedentação animal, agropecuária, irrigação para atividades agrícolas e indústria. Nesse cenário, a projeção populacional possibilitará atendimento às informações requeridas acerca da demanda.

Para o presente estudo o Método AiBi, foi o utilizado para projetar populações para cada cinco anos entre 2000 e 2030.

Essa metodologia consiste em admitir que a população varia linearmente com população de área maior, a qual pertence a primeira. Nesse caso, a partir de sua aparente simplicidade, o AiBi necessita projeção populacional de área maior que a de análise, isto é, para projeção das áreas de influência em questão, é preciso estimar população do estado onde está inserida.

A projeção populacional requerida nesse estudo almeja o ano de 2030, sendo este o último ano quando foram estimadas populações das unidades federativas brasileiras. Também serão projetados os dados relacionados aos anos de 2015 e 2020.

A metodologia, portanto, consiste em considerar a área maior em dado momento, $P(t)$, e subdividi-la em áreas menores, obtendo a população de determinada área i na época t , o $P_i(t)$. Nesse caso, a população da área maior corresponderá à do estado da Bahia.

Com a assunção de relação linear com variação da população da área maior tem-se que a população da área menor é

$$P_i(t) = a_i P(t) + b_i \quad (\text{Eq. 2.1})$$

Em que a_i é o coeficiente de proporcionalidade do incremento da população na área i em relação ao incremento da população da área maior e b_i é o coeficiente linear de correção (Corrêa *et al.*, 2009).

Com essa ferramenta, a projeção populacional por Unidade Federativa permite cálculos para territórios tão menores quanto for o interesse da análise, desde que atendam a condição de $P_i(t) \subset P(t)$.

Para determinar a tendência de crescimento das UF, baseou-se nos dados populacionais dos últimos 2 anos obtidos pelo levantamento censitário em 2000 e 2010 junto ao IBGE.

A decomposição da população das áreas 'i', segundo a fórmula citada anteriormente, consiste em duas parcelas, a seguir:

- $a_i P(t)$ – Depende do crescimento da população da área maior, onde a_i representa a proporcionalidade do incremento da população da área menor i em relação ao incremento da população maior;
- b_i – Coeficiente linear de correção.

Para determinação desses coeficientes, utiliza-se do mesmo período de 2 anos com dados populacionais conhecidos, 2000 e 2010, a obter-se:

$$P_i(t_0) = a_i P(t_0) + b_i \quad (\text{Eq. 2.2})$$

$$P_i(t_1) = a_i P(t_1) + b_i \quad (\text{Eq. 2.3})$$

Através da solução desse sistema acima, obtêm-se os valores de a_i e b_i .

Assim, o modelo de tendência acima descrito tem como princípio a subdivisão de área maior, onde a estimativa populacional é conhecida, em áreas menores,

partindo do princípio que as partes do todo tenham comportamento igual ao do todo.

Com relação ao *abastecimento humano*, este será dividido em urbano e rural. Partindo dos dados das populações urbana e rural das regiões e da forma de abastecimento a que estavam submetidas, ambos os dados fornecidos pelo IBGE, gerou-se um coeficiente de abastecimento explicado pela relação entre número de domicílios contemplados pela rede geral de abastecimento e o número de domicílios total da região.

Para a dessedentação animal, foi calculado o BEDA (Bovinos Equivalentes para Demanda de Água) – equação 2.4, através da qual, podem-se reunir os diversos tipos de rebanho, considerando as necessidades de água que cada espécie requer em comparação aos bovinos, que possuem uma demanda já pré-estabelecida, da ordem de 50L/cab/dia.

$$\text{BEDA} = \text{Bovinos} + \text{Bubalinos} + ((\text{Equinos} + \text{Muare} + \text{Asininos}) / 1,25) + ((\text{Ovinos} + \text{Caprinos}) / 6,25) + \text{Suínos} / 5 + \text{Aves} / 250. \quad (\text{Eq. 4.5}).$$

Para a demanda industrial foi utilizada, como referência, a metodologia da ONS, que considera a demanda unitária (m³/US\$). Assim, foram adotados valores de produção industrial, representados pelo PIB secundário, de cada município, devidamente convertidos para dólares americanos (USD). Esse resultado foi então multiplicado pelo valor de consumo específico para classe 900 (genérica), equivalente a 0,02713 m³/USD, de forma a ser obtido a demanda total (m³/ano). No presente caso, essa demanda foi posteriormente multiplicada por 365 dias, resultando em demanda hídrica para indústria na unidade de m³/dia.

A demanda para agricultura relaciona os dados de “Área Irrigada” com “Vazões de retirada e consumo para irrigação” (Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil, ANA 2005) de forma direta. Para a referente área de estudo, as áreas irrigadas serão convertidas em demanda hídrica através do coeficiente de demanda unitária 0,4 L/s.ha.

As demandas hídricas globais da área piloto do rio São Desidério, envolvendo abastecimento humano, consumo industrial, dessedentação animal e irrigação são mostrados na Tabela 2.11.

Tabela 2.4 - Demanda Hídrica da área piloto do Rio São Desidério (m³/dia).

Área Piloto de São Desidério (m³/dia)							
Usos Consuntivos	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Abastecimento Humano	57.743	60.861	63.492	65.497	66.965	67.974	68.534
Industrial	15	14	21	33	50	79	129
Dessedentação Animal	18.878	20.762	22.121	23.945	25.921	28.058	30.373
Agricultura	1.551.266	1.773.861	1.968.626	2.278.208	2.679.796	3.198.492	3.866.376
TOTAL	1.627.902	1.855.498	2.054.259	2.367.683	2.772.732	3.294.603	3.965.411

A metodologia de avaliação das demandas foi amplamente discutida no Volume 1, para o qual remetemos o leitor interessado em maiores detalhes.

Na Figura 2.2 mostra-se a evolução anual das demandas globais na área piloto do rio São Desidério, conforme dados da Tabela 2.11. Observa-se que essa evolução se dá de acordo com uma lei linear. Mostra-se também, na mesma figura, a evolução das descargas anuais de água subterrânea, para bombeamento contínuo, que admite também o ajuste de uma lei linear.

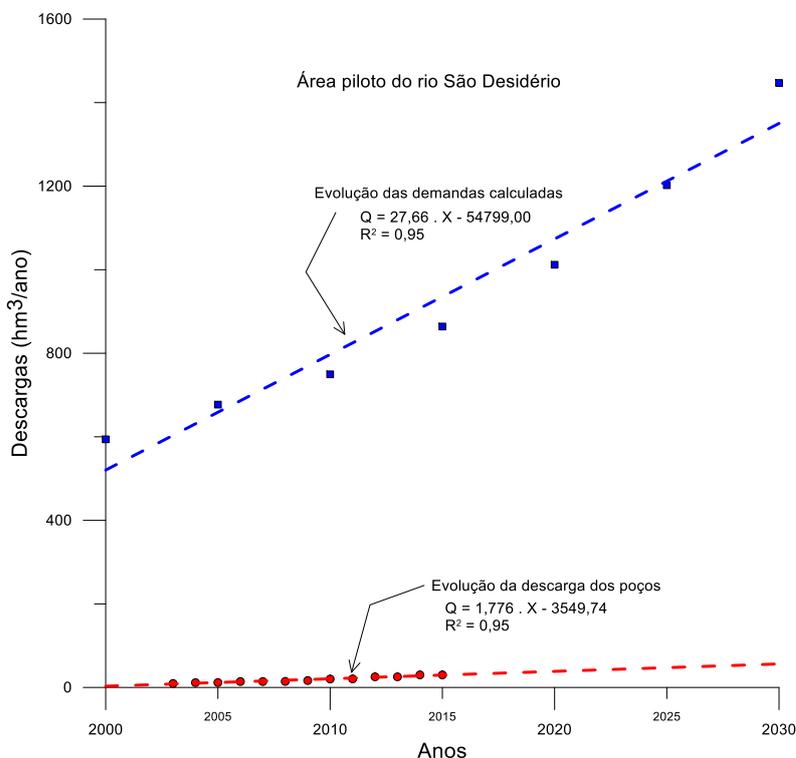


Figura 2.1: Evolução das demandas globais e da produção de água subterrânea.

A análise da Figura 2.2 admite os seguintes comentários:

- O coeficiente angular da evolução das demandas é 15 vezes maior que o coeficiente angular da evolução da descarga dos poços. Isso significa dizer que a evolução das demandas se dá a taxas maiores que a produção de água subterrânea avaliada. Ou seja, a contribuição da água subterrânea no atendimento das demandas é ínfima, sendo de 4% em 2015 e 3,7% prevista em 2030.
- Para os resultados acima, todavia vale destacar as seguintes ressalvas que contribuem para esse cenário:
 - Os números acima apresentados podem estar sofrendo influência da correção e da abrangência adotadas na avaliação das demandas, particularmente no que diz respeito à agricultura. Isso sinaliza para valores altos das demandas.
 - Sabe-se que o cadastro de poços disponível retrata uma situação muito aquém da situação real. Para minimizar essa deficiência foi considerado regime de bombeamento contínuo, na avaliação da produção anual de água subterrânea. As descargas anuais foram, por sua vez, aumentadas de 50%, considerando-se informações verbais que dão conta da existência de, pelo menos, 50% a mais de poços clandestinos. Mesmo assim, admite-se que as descargas anuais de água subterrânea estejam subestimadas.
 - A área piloto do Rio São Desidério é bem servida de águas superficiais. O Rio Grande, por exemplo, perene, passa 6,0 km a NW de São Desidério. A EMBASA utiliza suas águas para o abastecimento público dessa cidade, bem como de outras, de porte médio a grande, da região.
 - O complexo hídrico subterrâneo do chamado Sistema Cárstico João Rodrigues contribui generosamente às águas superficiais através de várias surgências de médio a grande porte.

Assim, não obstante eventuais imprecisões nas avaliações das demandas e das descargas dos poços, o panorama acima descortinado aponta, realmente, para uma pequena contribuição da água subterrânea no atendimento das demandas globais da área piloto.

3. Meio Físico

3.1 Rede de Drenagem

A mesorregião do Oeste baiano é muito significativa, do ponto de vista geográfico, exibindo um planalto sedimentar muito dissecado por rios perenes que contribuem para o Rio São Francisco.

O município de São Desidério é cortado por 24 rios (Figura 3.2). De acordo com estudos realizados pela Secretaria de Meio Ambiente e Turismo, esses rios possuem água durante todo o ano, o que os caracteriza como perenes.

A Bacia do Rio São Desidério é alongada na direção ENE-WSW seguindo o padrão regional predominante de fraturamento do Grupo Urucuia. O exutório da bacia se dá 5,0 km a NW da cidade de São Desidério, onde o rio São Desidério despeja no rio Grande.

O Rio Porto Alegre¹ é o principal afluente do Rio São Desidério. Flui retilíneo de ENE para WSW, vira abruptamente para o rumo NNW e, após cerca de 10 km retilíneos nesse rumo, vira abruptamente para o rumo W, percorre cerca de 20 km e vai despejar no rio São Desidério, cerca de 10 km a montante da cidade de São Desidério (Figura 3.2).

Entretanto, de considerável importância, aqui, é esclarecer a complexidade do chamado Sistema Cárstico do rio João Rodrigues. Esse sistema, também chamado de Bacia do Rio João Rodrigues, tem sua nascente numa surgência a montante (Figura 3.1). Seu principal exutório conhecido é uma outra surgência (ressurgência Surubim ou poço Surubim) nas proximidades da sua confluência com o rio São Desidério. Assim, o Sistema Cárstico do rio João Rodrigues, também conhecido pela designação de Carste da Região de São Desidério representa uma captura das águas superficiais da Bacia do Tamanduá que desaparecem em sumidouros, tornam-se subterrâneas em curto trecho, para ressurgirem a montante da Bacia do rio João Rodrigues (ver Figura 3.1).

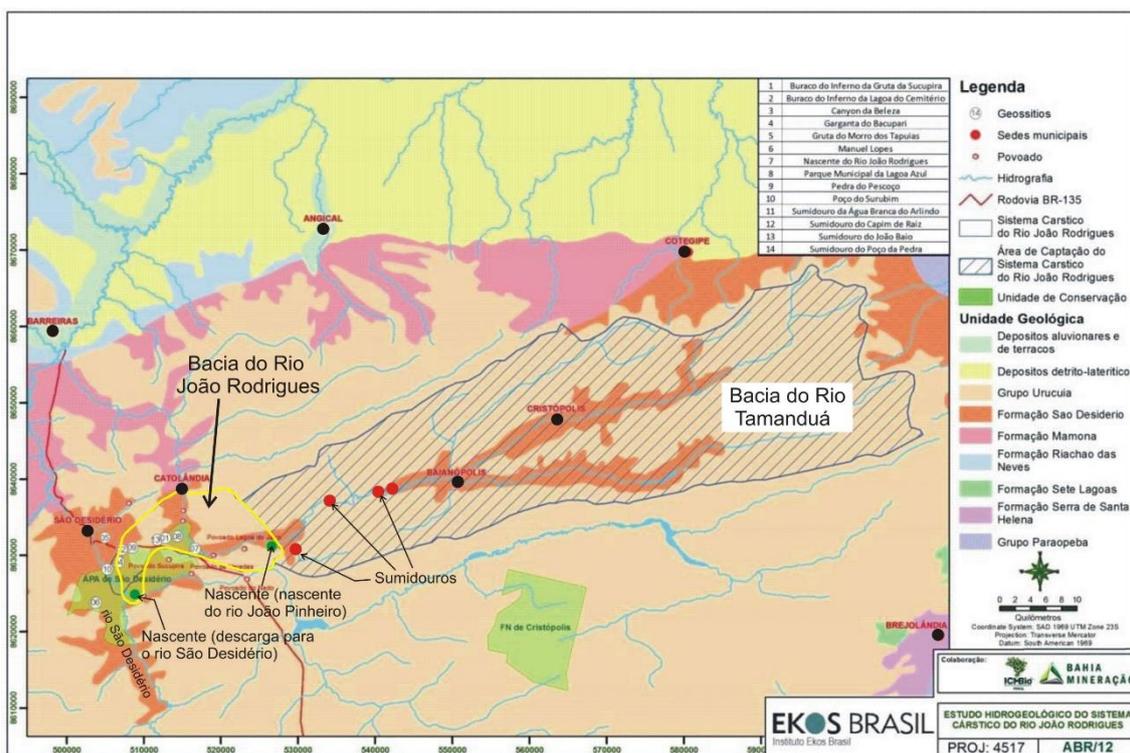


Figura 3.1 – Conceituação do Sistema Cárstico do Rio João Rodrigues - SCRJR. Adaptado de Lobo et al (2013).

Assim, no carste da região de São Desidério, a água flui ora superficial, ora subterrânea, num sistema interconectado por condutos subterrâneos e

¹ Também chamado de Marimbu Porto Alegre ou Marimbu Santa Helena

cavernas, intercalados por enormes dolinas, nos trechos onde os tetos das cavidades subterrâneas já desabaram. Foram já registradas 146 cavidades naturais subterrâneas ao longo do eixo principal do sistema, entre a conhecida nascente e a sua confluência com o rio São Desidério, no local conhecido como Poço do Surubim. Ao longo desse eixo principal, mais de 12 km lineares de cavernas já foram mapeados.

Lobo *et al* (2013) chamam a atenção para o fato de que a extensa rede de condutos subterrâneos possibilita a captação de água de bacias hidrográficas adjacentes, fazendo com que as regiões cársticas sejam casos especiais de gestão territorial. Isso fica bem de acordo com o conceito de bacia hidrogeológica que pode abranger, em sua área de ocorrência, várias bacias hidrográficas. No caso especial dos aquíferos cársticos, como bem ressaltam os autores acima citados, a captação de águas alheias à bacia hidrográfica em que se situam fica exacerbada pelas propriedades hidrodinâmicas do meio aquífero. É o caso específico, aqui, do rio Tamanduá (Figura 3.2) que, embora situado fora da bacia hidrográfica do rio São Desidério, tem uma significativa porção das suas águas trazidas para essa bacia via condutos cársticos subterrâneos.

3.1.1 Densidade de drenagem

Um importante parâmetro para análise das características de uma bacia hidrográfica é a densidade de drenagem (Figura 3.3). Este parâmetro foi definido primeiramente por Horton (1945) como o comprimento médio de rios de uma bacia hidrográfica por unidade de área, podendo ser expressa pela equação que relaciona o comprimento de cursos d'água e a área definida para estudo. Silva *et al.*, (2009) relata que embora pareça uma simples equação quando aliada a outros parâmetros morfométricos e ocorrência de determinados processos naturais pode levar a significativos resultados sobre a geomorfologia da região.

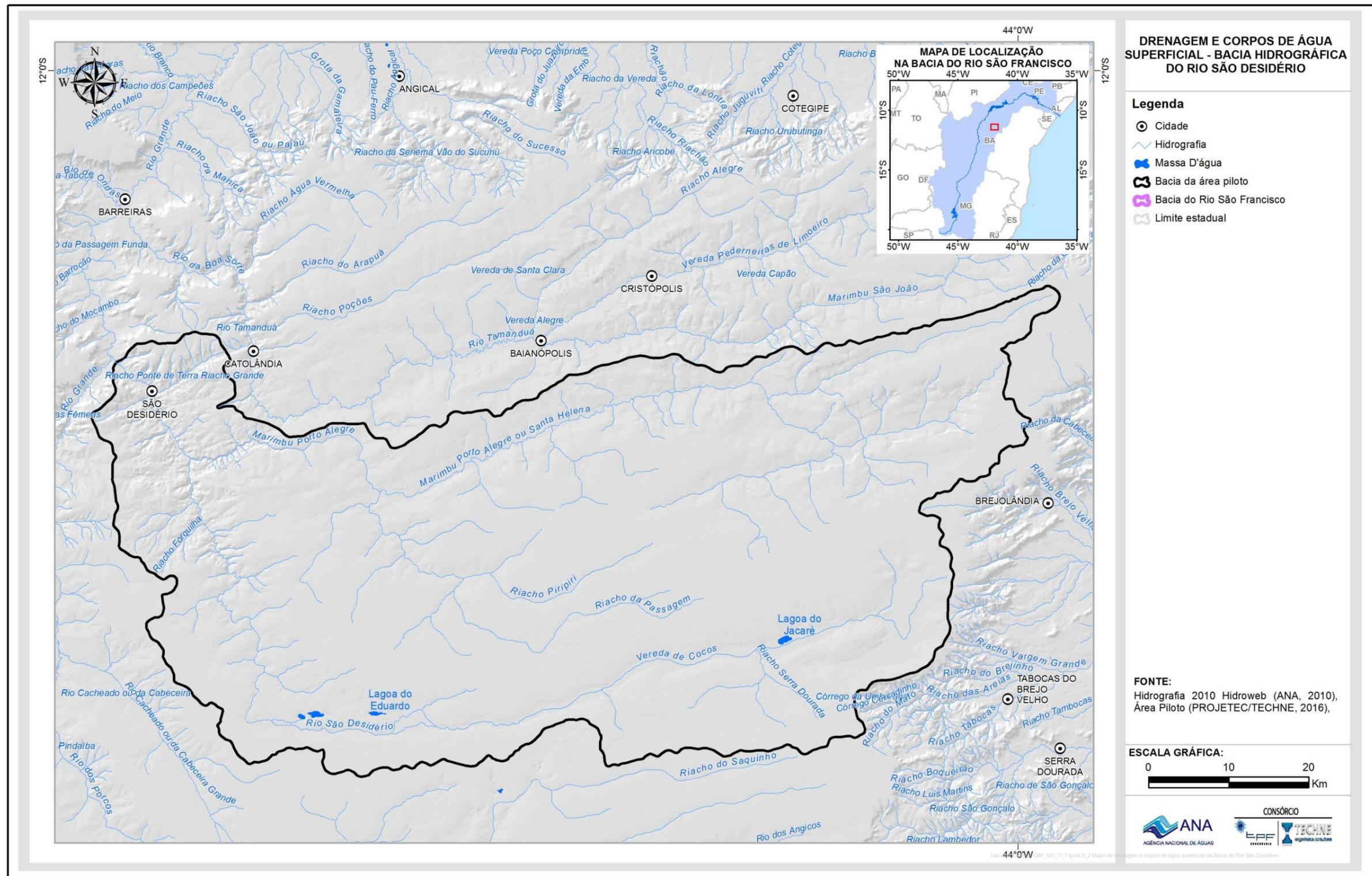


Figura 3.2: Mapa de drenagem e corpos de água superficial da Bacia do Rio São Desidério

Deste modo, considerando o contorno correspondente, a Bacia do Rio São Desidério apresenta uma variação sutil da densidade de drenagem nas bordas leste mais alta até extremo sul, onde a concentração é mais baixa, nos arredores da Vereda dos Cocos, relacionada ao substrato permeável e com relevo suave representado pelas rochas do Grupo Urucuia cuja espessura destas é maior nesta região. Apresenta um padrão de drenagem dendrítico/paralelo cujo curso dos rios apresenta um notável controle estrutural

Quando se faz a comparação com a geomorfologia da área é perceptível a forte influência da drenagem da região. Na parte onde encontramos as Chapadas do Rio São Francisco se tem uma diminuição do parâmetro de densidade de drenagem, pois se tem apenas o Rio São Desidério como a grande massa d'água e pequenos riachos na sequência. Portanto, define-se a partir da metodologia de Silverman (1986) e melhor definida por Silva *et al.*, (2009), que a parte central da área piloto da Bacia do Rio São Desidério apresenta baixíssima densidade de drenagem.

Justamente na parte oeste próximo ao limite da região estudada, entre os municípios de Brejolândia até Canápolis e também na região noroeste circundando o município de São Desidério até próximo de Barreiras estão localizados os Patamares dos Rios São Francisco/Tocantins onde é percebida uma grande concentração de riachos e rios, elevando bastante o parâmetro de densidade de rios por quilômetro quadrado. Mesmo com valores elevados de densidade quando comparados com região central da área estudada, pela definição de Silva *et al* (2009) se tem uma baixa densidade de drenagem muito próxima de um parâmetro regular/média.

Tabela 3.1 – Classificação da Densidade de Drenagem. Fonte: Silva et al. (2009).

Classe	Densidade de Drenagem
Baixa	0 – 64
Média	64 – 102
Alta	102 – 176-

3.2 Unidades de solo

De acordo com Santos *et al.*, (2008), os solos são bem intemperizados e com fertilidade natural baixa, geralmente bem drenados e com baixa capacidade de retenção de água.

Há ocorrência com maior concentração de Latossolos vermelhos e vermelhos-amarelos e os Neossolos quartzarênicos. Nas áreas de vales e veredas, ocorrem os Gleissolos e Organossolos. Composto as planícies, estão os Argissolos e Luvisolos e nas regiões serranas são encontrados os Neossolos litólicos (Figura 3.4). (Batistella *et al.*, 2002).

A Tabela 3.2 com as unidades de solo da área piloto da Bacia do Rio São Desidério foi confeccionada de acordo com o mapa da Figura 3.4.

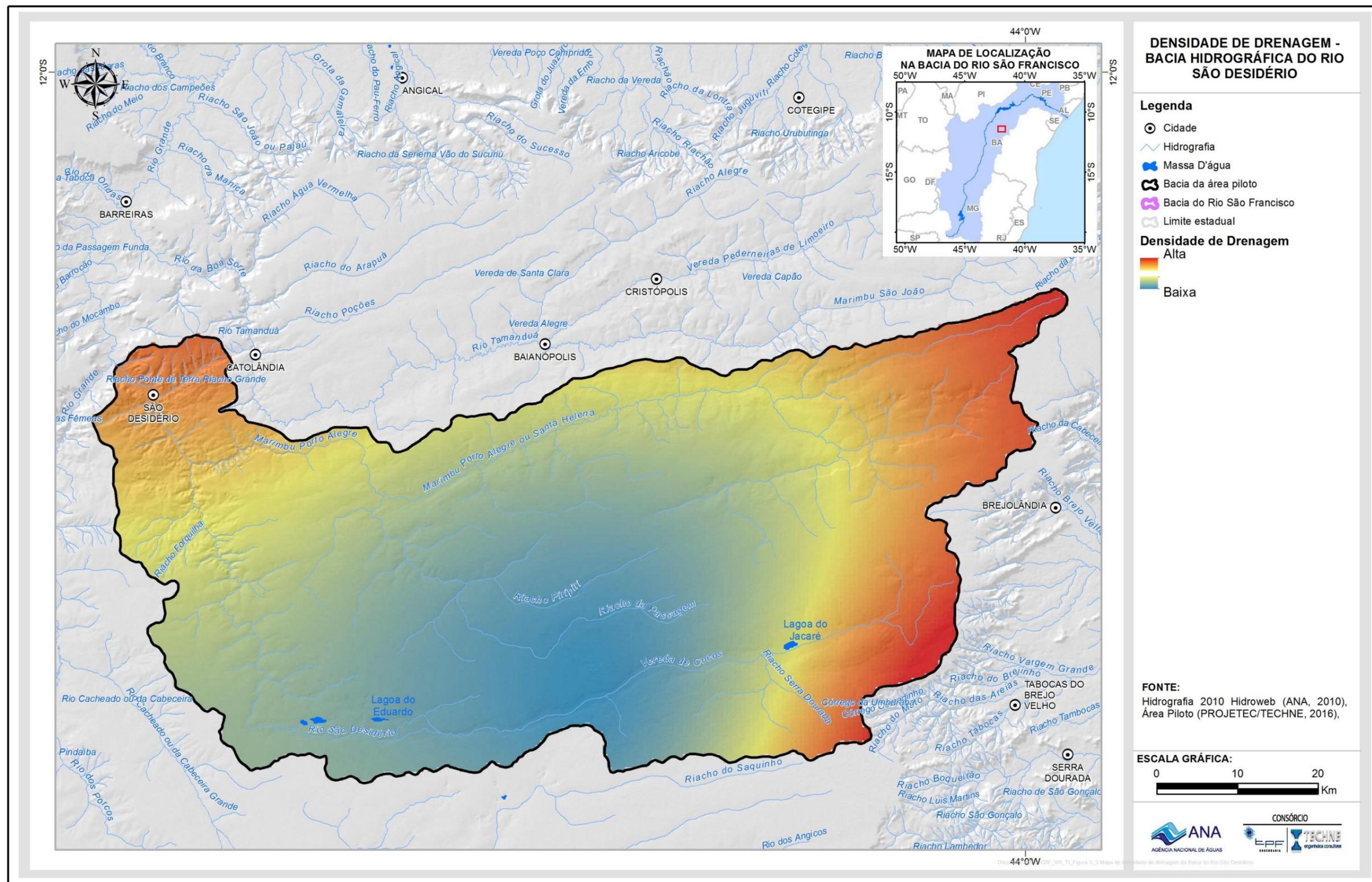


Figura 3.3: Mapa de densidade de drenagem da Bacia do Rio São Desidério.

Tabela 3.2 - Área, porcentagem e tipos das unidades de solo da Bacia do Rio São Desidério.

Unidades de solo	Hectares (ha)	Porcentagem (%)
Argissolo vermelho-amarelo eutrófico	6.507	1,41
Cambissolo háplico Ta eutrófico	28.337	6,14
Gleissolo melânico alumínico	37.825	8,19
Latossolo amarelo distrófico	310.103	67,12
Latossolo vermelho-amarelo distrófico	65.391	14,15
Neossolo litólico distrófico	6.330	1,37
Neossolo quartzarênico órtico	7.509	1,62

Os Cambissolos háplicos Ta eutróficos (CXye) são solos com argila de atividade alta e alta saturação por bases ($V \geq 50\%$) na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA) (BRASIL, 1976). Os Gleissolos melânicos alumínicos (GMa) são solos com caráter alumínico na maior parte dos primeiros 100 cm a partir da superfície do solo (EMBRAPA, 1980).

Os Argissolos vermelho-amarelo eutróficos (PVAe) são solos eutróficos (saturação por bases $\geq 50\%$) na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA). Os Latossolos amarelos distróficos (LAd) são solos apresentando baixa saturação por bases ($V < 50\%$) na maior parte dos primeiros 100cm do horizonte B (inclusive BA).

Os Latossolos vermelho-amarelos distróficos (LVAd) são solos com saturação por bases baixa ($V < 50\%$) na maior parte dos primeiros 100cm do horizonte B (inclusive BA). Os Neossolo litólico distrófico (RLd) são solos com horizonte A ou hístico, assentes diretamente sobre a rocha ou sobre um horizonte C ou Cr ou sobre material com 90% (por volume), ou mais de sua massa constituída por fragmentos de rocha com diâmetro maior que 2mm (cascalhos, calhaus e matacões) e que apresentam um contato lítico típico ou fragmentário dentro de 50cm da superfície do solo. Admite um horizonte B em início de formação, cuja espessura não satisfaz a qualquer tipo de horizonte B diagnóstico.

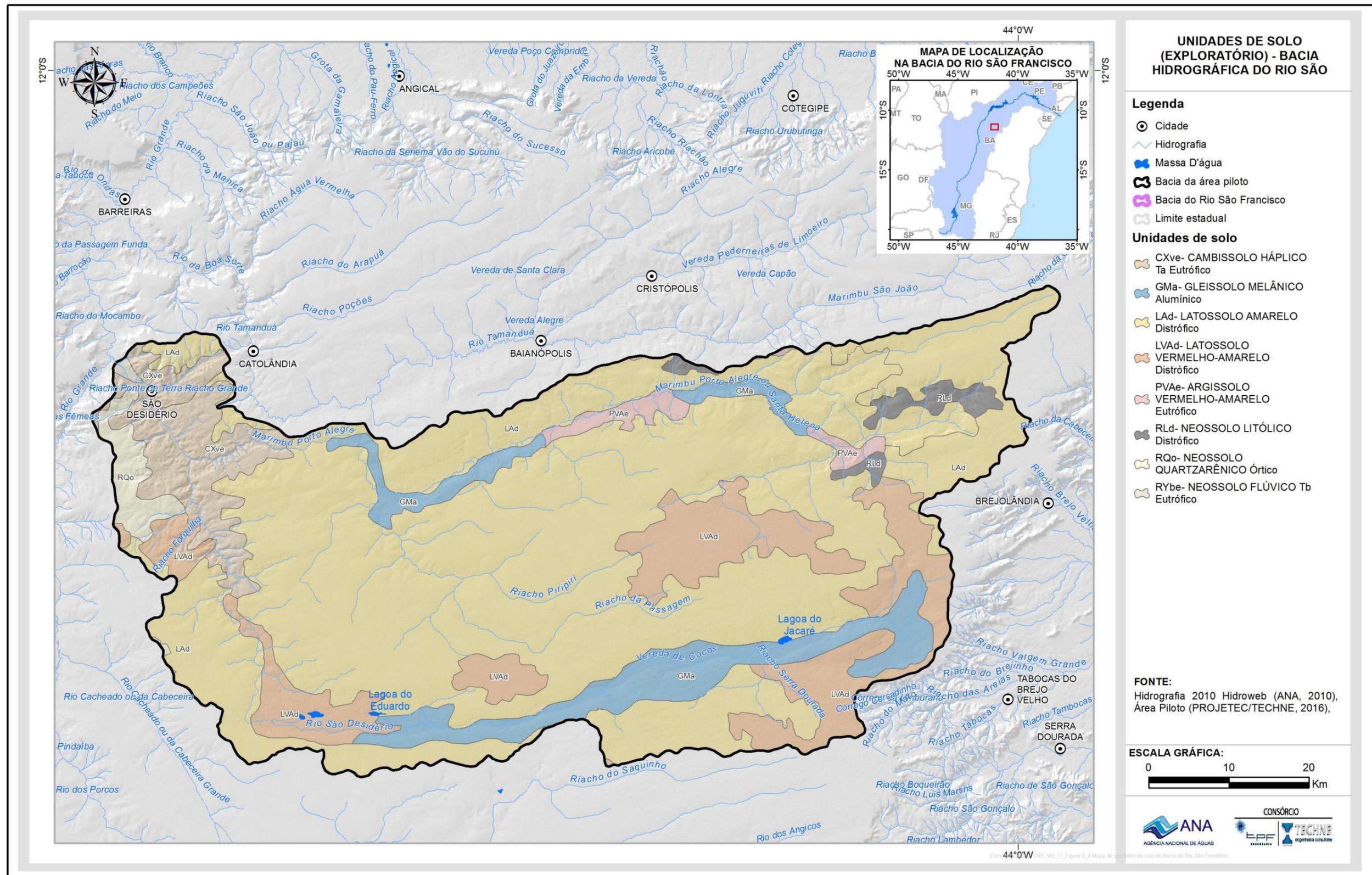


Figura 3.4: Mapa de unidades de solo da Bacia do Rio São Desidério.

3.3 Classes de vegetação

De acordo com Santos *et al.*, (2008), a cobertura vegetal dominante desta bacia é o Cerrado. São observados o Cerrado sentido restrito, Matas de Galeria, Veredas, Campos úmidos, porções de transição entre Cerrado e Caatinga e Florestas submontanas que ocorrem sobre rochas carbonáticas e pelíticas.

Segundo o CBHSF (2004), a bacia do Rio São Desidério está totalmente inserida no bioma Cerrado, abrigando as fitofisionomias típicas desse ecossistema. Verifica-se que a vegetação correspondente é xeromorfa, preferencialmente de clima estacional, com aproximadamente 6 (seis) meses secos, caracterizada por árvores baixas e tortuosas, com casca grossa e rugosa, folhas grandes e duras e um tapete gramíneo.

Entretanto, o avanço da agricultura na região gerou um impacto na vegetação natural do bioma cerrado. Entre 2002 e 2010 foram desmatados 1.057 km², o que é inferior a 10% considerando a área total de vegetação nativa, que é 14.822 km². Vale ressaltar que mesmo com o aumento da produção, São Desidério tem apresentado queda no desmatamento nos últimos anos. Em 2008/2009 foi de 76,5 km², já em 2009/2010, a supressão foi de 60,7 km², o que representa uma significativa redução de 20,6%, de acordo com os dados do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento da Universidade de Goiás (LAPIG - UFG).

De acordo com a Figura 3.5 foi possível confeccionar a Tabela 3.3 abaixo, a qual contém a área e porcentagem da vegetação dessa bacia.

Tabela 3.3 – Área e porcentagem da vegetação da Bacia do Rio São Desidério.

Vegetação	Hectares (ha)	Porcentagem (%)
Savana arborizada	108.932,03	24
Floresta estacional semidecidual montana	59.779,96	13
Floresta estacional decidual montana	12.564,86	3
Atividades agrárias	120.833,40	26
Vegetação secundária e atividades agrárias	22.973,29	5
Savana parque	115.767,87	25
Floresta estacional semidecidual montana	21.732,49	5
Total	462.583,88	100

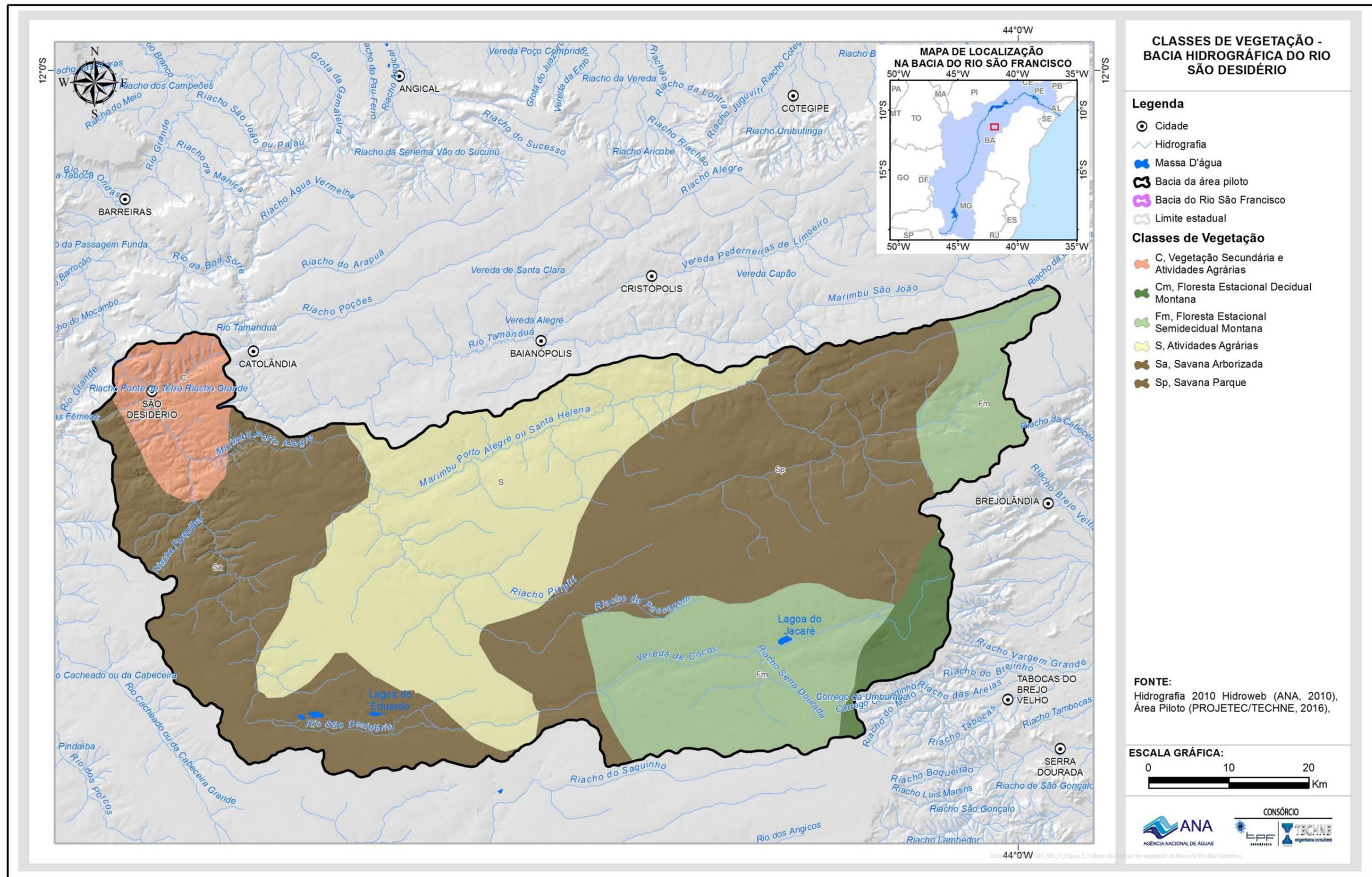


Figura 3.5: Mapa das classes de vegetação da Bacia do Rio São Desidério.

A Floresta estacional semidecidual é encontrada nas porções nordeste e sudeste, vide a figura acima, da área piloto da bacia do Rio São Desidério. Além disso, dentro da área em estudo, essa classe vegetativa faz fronteira com a Floresta Estacional Decidual Montana e Savana Parque.

Segundo conceito ecológico, essa vegetação está condicionada pela dupla estacionalidade climática: uma tropical, com época de intensas chuvas de verão seguidas por estiagens acentuadas; e outra subtropical, sem período seco, mas com seca fisiológica provocada pelo intenso frio de inverno, com temperaturas médias inferiores a 15°C.

Essa classe é constituída por fanerófitos com gemas foliares protegidas da seca por escamas (catáfilos ou pelos), tendo folhas adultas esclerófilas ou membranáceas decíduais. Nesse tipo de vegetação, a porcentagem das árvores caducifólias, no conjunto florestal e não das espécies que perdem as folhas individualmente, é de 20 e 50%. Nas áreas tropicais, é composta por mesofanerófitos que revestem, em geral, solos areníticos distróficos. Já nas áreas subtropicais, é composta por macrofanerófitos, pois revestem solos basálticos eutróficos.

A Floresta estacional decidual é caracterizada por duas estações climáticas bem demarcadas, uma chuvosa e depois um longo período biologicamente seco. Ocorre na forma de disjunções florestais, apresentando o estrato dominante macro ou mesofanerofítico predominantemente caducifólio, com mais de 50% dos indivíduos despidos de folhagem no período desfavorável.

A Savana parque tem uma área de aproximadamente 11.600 hectares e representando 25% da área total da bacia do Rio São Desidério, a Savana Parque está predominantemente localizada na porção leste da área em estudo entre a classe de atividades agrárias, a Floresta Estacional Decidual e a Semidecidual.

Conforme a definição do IBGE (1992), a região do Subgrupo Savana parque tem formação constituída essencialmente por um estrato graminóide, integrado por hemicriptófitos e geófitos de florística natural ou antropizada, entremeado por nanofanerófitos isolados, com conotação típica de um “parque inglês”. A Savana parque de natureza antrópica é encontrada em todo o país e é natural nas seguintes áreas: Ilha de Marajó, Pantanal e Sul Matogrossense, Araguaia e Ilha do Bananal.

A Savana arborizada, por sua vez, é a uma classe de vegetação que está presente na parte oeste da área piloto da bacia do Rio São Desidério, fazendo fronteira com as atividades agrárias e vegetação secundária. Além disso, está é a terceira classe mais predominante dentro da área de estudo com 24% do total ou 108.932,03 hectares.

Segundo define o IBGE (1992), o Subgrupo Savana arborizada (Campo cerrado), de formação natural ou antropizado, se caracteriza por apresentar fisionomia nanofanerofítica rala e hemicriptofítica graminóide contínua, sujeito ao fogo anual. Essas sinúsias dominantes formam fisionomia raquítica em

terrenos degradados. A composição florística, apesar de semelhante à da Savana florestada, apresenta ecotipos dominantes que caracterizam o ambiente de acordo com o espaço geográfico no qual estão contidos.

As atividades agrárias compreendem uma área de 120.833,40 hectares, (ANO de consulta?) sendo o tipo de vegetação predominante. Estando na parte central da área em estudo, de norte a sul. Quando junta a vegetação secundária, está localizada apenas na porção noroeste, nos arredores da sede municipal de São Desidério.

Segundo a resolução do CONAMA, vegetação Secundária ou em regeneração, é aquela resultante de processos naturais de sucessão, após supressão total ou parcial de vegetação primária por ações antrópicas ou causas naturais, podendo ocorrer árvores remanescentes de vegetação primária.

As regiões de atividades agrárias são aquelas onde não existe vegetação natural, ou seja, houve uma intervenção humana na área. Desse modo, uma vegetação natural foi retirada através de um conjunto de técnicas utilizadas para cultivar novas plantas, vegetais ou produtos agrícolas com o objetivo de obter alimentos, fibras, energia, matéria-prima para roupas, construções, medicamentos, ferramentas ou apenas para contemplação estética.

3.4 Declividade

A área piloto da Bacia do Rio São Desidério apresenta baixas declividades, ou seja, possui predominantemente pequenas variações de altitudes. O mapa de declividade (Figura 3.6) muito se assemelha ao mapa geomorfológico (Figura 3.7), onde é possível observar que a região abriga basicamente duas formas do terreno: Patamares dos Rios São Francisco/Tocantins e Chapadas do Rio São Francisco, duas classes com grande influência na declividade da região.

Os Patamares dos Rios São Francisco/Tocantins estão presentes dentro da área na porção noroeste e circundando o município de São Desidério. Apresenta baixas cotas do terreno, inferiores aos 550 metros (SRTM), principalmente devido à proximidade de rios de médio porte, Rio Grande e Rio São Desidério. Seguindo o caminho do Rio Grande, em direção ao Rio São Francisco, é possível observar a cota do terreno decrescendo quando próxima às margens, podendo chegar aos 400 metros (SRTM) apresentando suaves declividades.

A segunda classe, Chapadas do Rio São Francisco, possui maiores altitudes e declividades acentuadas nas proximidades das fronteiras das duas classes citadas devido à transição de uma forma para outra. As áreas centrais de Chapada ocorrem suaves variações de altitude entre 650 e 900 metros (SRTM).

Importante ressaltar é a alta variação de declividade na zona de fronteira das classes geomorfológicas, localizadas dentro da área em estudo na parte noroeste, próxima à cidade de São Desidério e próxima da fronteira da área piloto da bacia do Rio São Desidério na parte leste, que vai de Wanderley a Serra Dourada, com fortes intensidades nas proximidades de Brejolândia.

Conforme o mapa, essas zonas podem chegar a declividades maiores que 61%, onde as definições do manual da Embrapa (Tabela 3.4) a classifica como um relevo montanhoso e próximo ao escarpado em alguns pontos, explica-se com o fato de se ter uma grande declividade para chegar à altitude da Chapada. Nas outras áreas, tem-se um relevo com baixa declividade variando entre as categorias planas (0 a 3%) a suave ondulada (3 a 8%).

Tabela 3.4 – Classificação de declividades a partir do relevo. Fonte: Embrapa.

Relevo	Declividade (%)
Plano	0 – 3
Suave Ondulado	3 – 8
Ondulado	8 – 20
Forte Ondulado	20 – 45
Montanhoso	45 – 75
Escarpado	>75

3.5 Geomorfologia

A região compreende três unidades de relevo: Chapadões ocidentais, Chapada do Rio Grande e a Chapada de Baianópolis.

Os Chapadões ocidentais São feições herdadas de extensa superfície de erosão que foi retocada pela instalação da rede de drenagem, conformando rampas convergentes. O relevo apresenta um caimento topográfico para leste em altitudes que variam de 920 a 520 metros, onde as cotas mais elevadas estão próximas à borda ocidental, conforme mostrado na Figura 3.6. As feições de relevo dessa região foram esculpidas sobre os arenitos de idade cretácea do Grupo Uruçuia. Em alguns trechos, os planos estão inumados por cobertura areno-argilosa cenozoica, sobreposta aos arenitos.

A rede de drenagem caracteriza-se por apresentar padrão paralelo a subparalelo com direção geral SW-NE, evidenciando um controle estrutural. Os vales estão embutidos na superfície aplainada, apresentando-se em geral, como veredas e marimbus, cuja formação está relacionada com a presença do lençol freático próximo à superfície e à porosidade e permeabilidade do material. Os Chapadões foram subdivididos em cinco unidades geomorfológicas.

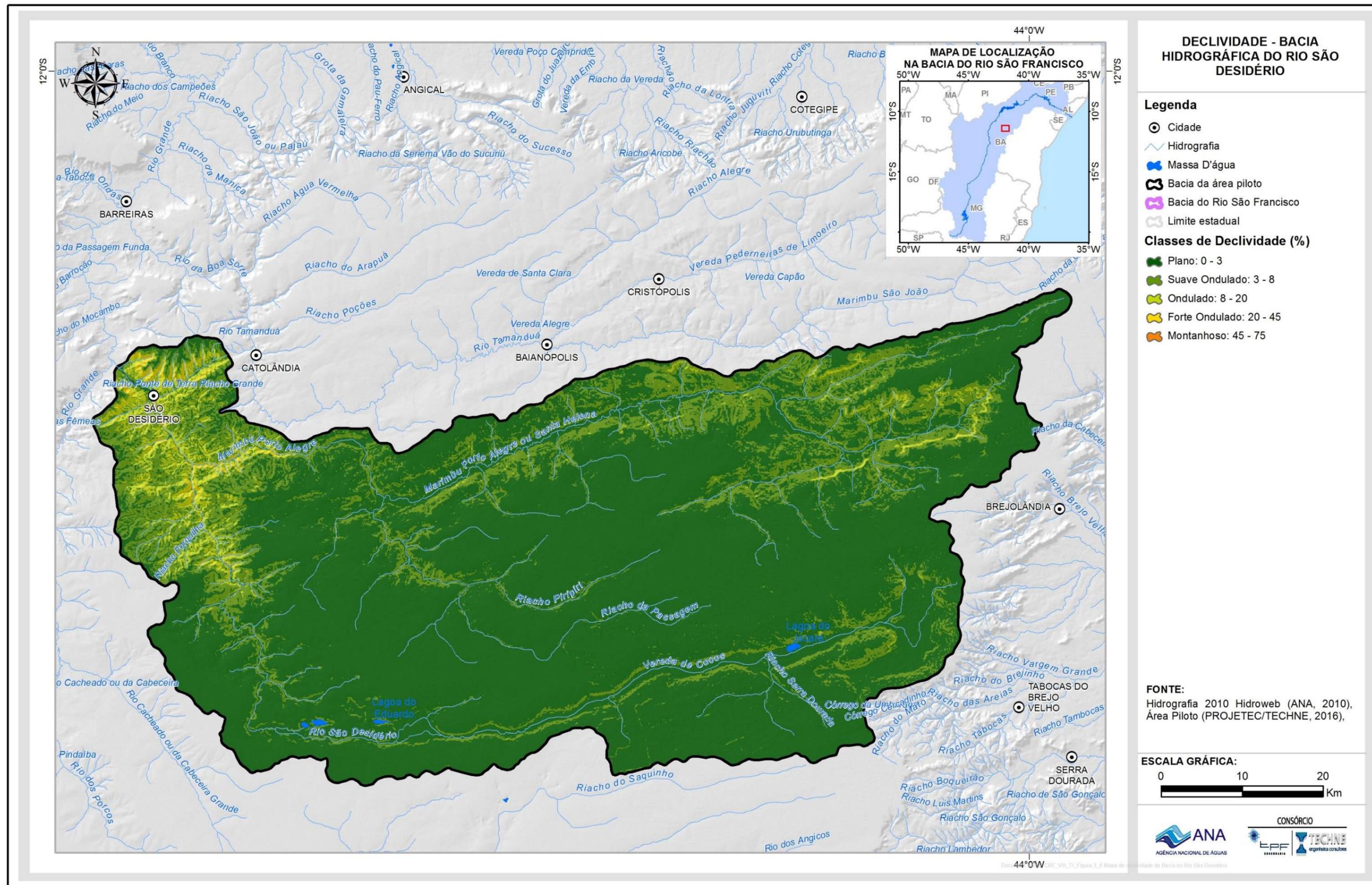


Figura 3.6: Mapa de declividade da Bacia do Rio São Desidério.

A Chapada do Rio Grande é caracterizada por topos planos limitados por escarpas e entalhados pela drenagem do Rio Grande e seus afluentes, onde as acumulações ao longo dos canais assumem as feições típicas de veredas. Nos vales dos rios maiores está ocorrendo forte erosão em suas nascentes, que estão sendo ameaçadas de captura pela drenagem da Bacia do Rio Tocantins. Os planos mais conservados são mais contínuos na borda ocidental e apresentam-se mais recortados à medida que progridem para leste, onde dominam os planos com dissecação incipiente.

A Chapada de Baianópolis se caracteriza por um relevo plano com dissecação incipiente, drenado por afluentes da margem direita do Rio Grande que se apresentam frequentemente como marimbus. Essas feições se diferenciam das veredas propriamente ditas, por apresentarem trechos espraiados formando alagadiços que dificultam o fluxo dos rios. A superfície dessa chapada apresenta caimento topográfico para oeste, em direção ao vale do Rio Grande.

3.6 Uso e ocupação do solo

O município de São Desidério é reconhecido como o maior produtor de algodão do Brasil e de grãos do Norte e Nordeste. Dados novos do IBGE mostram um grande aumento desses números, e no ano de 2013 o município passou a ser o maior produtor agrícola do país, superando o município de Sorriso (MT), e no mesmo ano foi considerado o maior PIB agrícola do país, superando novamente Sorriso (MT), com faturamento de R\$ 2,285 bilhões.

Em matéria publicada na Folha de São Paulo, em 26 de novembro de 2011, 58 empresas com alta tecnologia estão instaladas na região, responsável por 31% da produção do algodão, 5% da soja e 3% do milho do país.

De acordo com o mapa de uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica do Rio São Desidério (Figura 3.8), essa região possui 12,56% de lavoura temporária, 50% no município de São Desidério, com destaque para culturas de soja, milho, algodão, café e arroz, 34,87% de área florestal e 52,39% campestre.

Nesse município também é explorada a mineração, porém em tamanho bem menor em relação à agricultura, ficando restrito aos arredores da sede da cidade, com três minerações de calcário.

A classe definida como sem informação (aproximadamente 0,18%) representa pontos de confusão entre a resposta espectral e os diversos usos no espaço real. Com isso, alguns pontos que estão com solo exposto pode está sendo preparado para cultivo ou pode ser um indicativo de degradação ambiental.

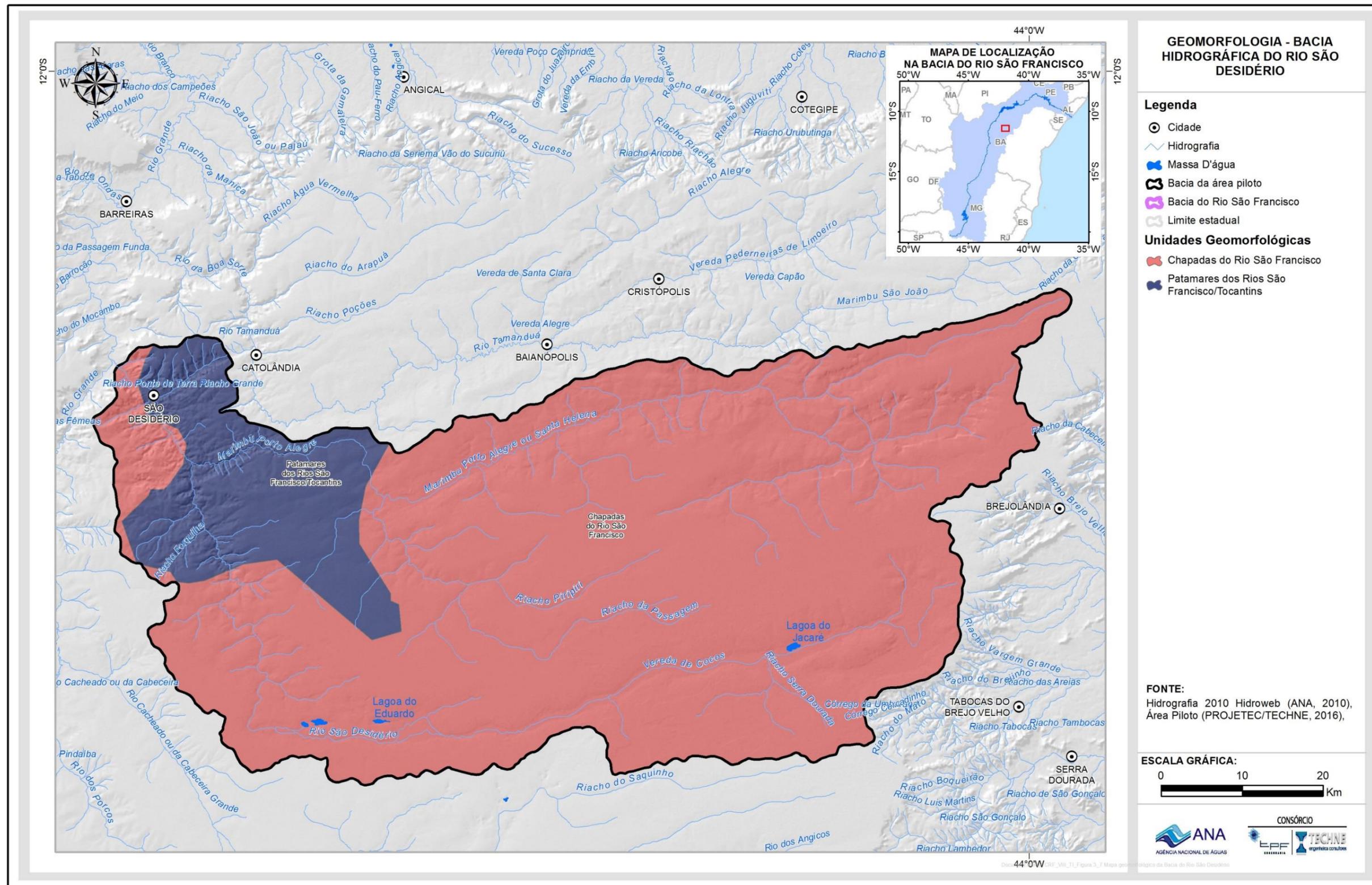


Figura 3.7: Mapa geomorfológico da Bacia do Rio São Desidério.

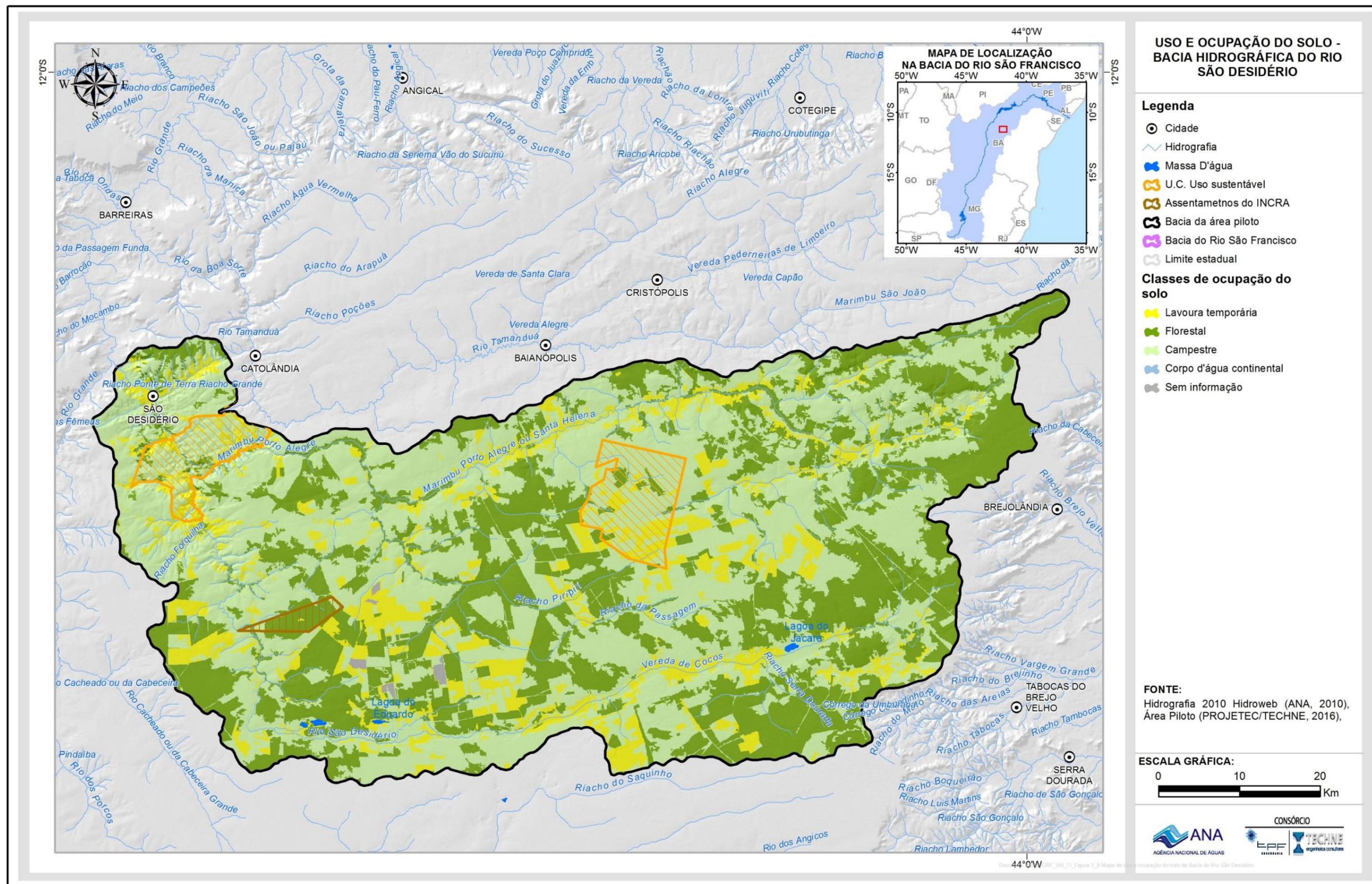


Figura 3.8: Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia do Rio São Desidério.

4. Geologia

A área regional na qual se insere a área piloto do rio São Desidério corresponde à região do chamado oeste baiano. De leste para oeste, a geologia regional dessa grande área se resume, em suas grandes linhas e em ordem cronológica, às seguintes unidades:

- Espigões quartzíticos do Supergrupo Espinhaço (Estateriano, 1,8 a 1,6 Ga, até o Esteniano, 1,2 a 1,0 Ga), orientados NNW-SSE;
- Metassedimentos carbonatados do Grupo Bambuí, de idade Neoproterozoica;
- Chapadões areníticos do Grupo Urucuia, de idade Cretácica, no extremo oeste da Bahia, recobrando os calcários Bambuí e rochas cristalinas do Arqueano.

Diferentemente do que ocorre em Minas Gerais, o Grupo Bambuí é pouco estudado no estado da Bahia, tanto geológica como hidrogeologicamente. Este grupo ocorre no oeste baiano, numa área de cerca de 80.000 km², constituído de calcários, margas, metassiltitos, ardósias, metarcósios e metagrauvacas, recobertas em grande parte por arenitos do Cretáceo (Andrade & Cascaes, 1990). Esses autores se referem a duas direções principais de fraturamento: N60W e N30E que, segundo eles, refletem esforços preferenciais associados às deformações da Faixa Araçuai, ao sul, e à Faixa Brasília, a oeste da área enfocada em seu estudo.

A área regional acima citada corresponde à chamada Subárea 2 - BA, definida no início dos serviços de campo do projeto, com sede em Barreiras/São Desidério. Na Figura 4.1 tem-se uma visão panorâmica desta e das demais subáreas.

A porção oeste da área regional é ocupada por um proeminente chapadão esculpido nos arenitos do Grupo Urucuia com topo cerca de 250 m acima da baixada do rio São Francisco. De acordo com CPRM/CBPM (2003), as litologias cársticas do Grupo Bambuí afloram essencialmente segundo uma faixa N-S de largura variável, situada entre as cuestas do Urucuia, a oeste, e o leito do Rio São Francisco, a leste. Aparentemente, o rio São Francisco corre na região de contato entre o Neoproterozoico (Grupo Bambuí) e o Proterozoico. Este, com efeito, malgrado o extensivo capeamento Quaternário do vale, se faz revelar na região a leste do São Francisco e parece mergulhar para oeste, nas cercanias da margem direita deste rio, para se tornar embasamento do Grupo Bambuí na sua margem esquerda. Da região de Serra do Ramalho para sul, entretanto, o Proterozoico, vindo do leste, não aflora até o Rio São Francisco. Mergulha muito antes para oeste, permitindo a subsistência do Grupo Bambuí, abrigado da erosão e aflorante numa vasta área da margem direita do rio, na região fronteira com o estado de Minas Gerais. Nessa área, portanto, o São Francisco corre encaixado nos calcários do Grupo Bambuí.

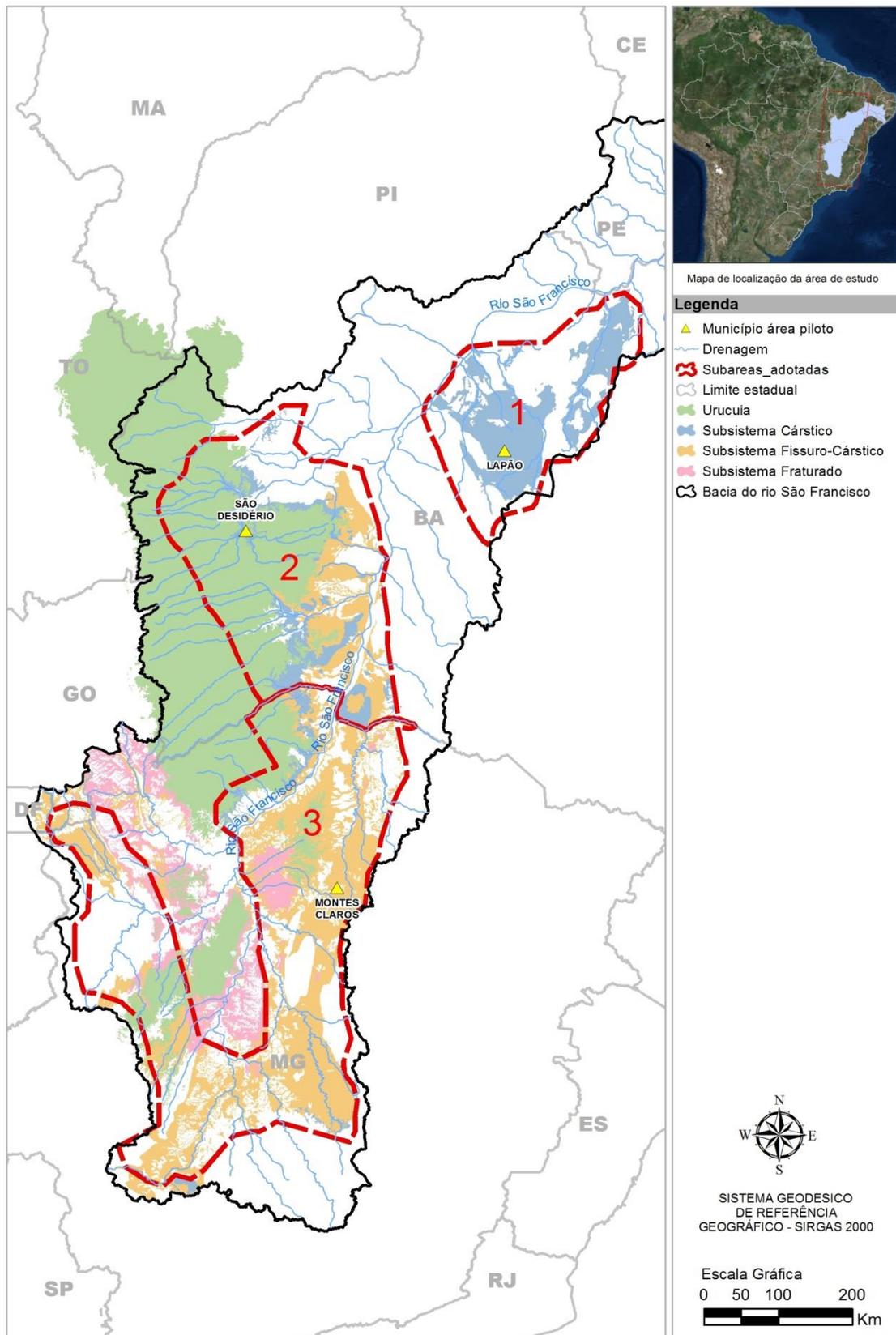


Figura 4.1: Visão panorâmica das subáreas do projeto.

Na Figura 4.2 é mostrado um corte geológico regional esquemático, para uma melhor compreensão do comportamento do Grupo Bambuí no oeste baiano.

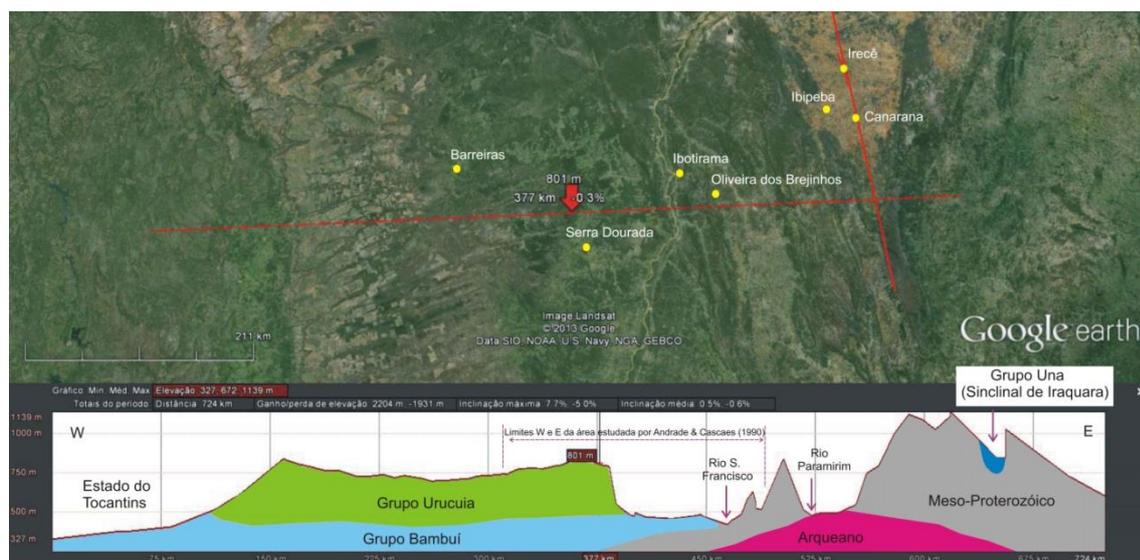


Figura 4.2: Corte geológico esquemático no centro-oeste da Bahia. Topografia obtida do Google Earth. Geologia aproximada de CPRM/CBPM (2003).

O Grupo Urucua, por sua vez, ocorre principalmente no oeste do estado da Bahia, estendendo-se desde o extremo sul do Maranhão e Piauí, até o extremo noroeste de Minas Gerais, numa extensão N-S da ordem de 500 km, por cerca de 200 km de largura E-W em média). Essas dimensões definem uma área de ocorrência da ordem de 100.000 km², conhecida informalmente como Chapadão do Urucua. Seus limites a oeste correspondem aproximadamente aos limites da Serra Geral de Goiás, desde a região nordeste de Goiás até o sudeste de Tocantins. Os limites a leste são balizados, a grosso modo, pelas sedes dos municípios de Barreiras (BA), Correntina (BA), Cocos (BA), Formosa do Rio Preto (BA) e Gilbués (PI).

É a seguinte a estratigrafia mais recente e mais aceita, da base para o topo, proposta para o Grupo Urucua (Campos & Dardenne, 1997a e 1997b):

- Formação Posse. Arenitos uniformes com estratificações cruzadas de grande porte e com níveis conglomeráticos intercalados. Distinguem-se, nessa formação, duas fácies: a fácies 1, constituída de arenitos eólicos; e a fácies 2, constituída de arenitos predominantemente fluviais.
- Formação Serra das Araras. Arenitos em bancos empilhados com espessuras métricas e estratificações paralelas, com argilas disseminadas em suas matrizes.

O Grupo Bambuí constitui, na maior parte da bacia, o substrato sobre o qual foram depositados, em discordância erosiva, os sedimentos do Grupo Urucua, constituídos, em princípio, das formações acima descritas. Apenas no extremo norte, os sedimentos Urucua repousam sobre rochas sedimentares da Bacia do Parnaíba, e também diretamente sobre o embasamento granito-gnáissico. No primeiro caso tratam-se das formações Poti/Piauí, Longá, Cabeças, Pimenteiras e Serra Grande.

O Grupo Urucuia tem sido alvo de estudos geofísicos pelos métodos gravimétrico, elétrico (resistividade) e eletromagnético (TDEM), realizados em diferentes épocas e no âmbito de diferentes estudos (Gaspar *et al.*, (2012)).

4.1 Geologia local

4.1.1 Contexto geológico-geomorfológico

O contexto geológico-geomorfológico local da área piloto foi avaliado a partir de trabalhos de campo, tratamento dos dados obtidos em campo e elaboração de relatório final e confecção do mapa geológico (ANEXO 1.6), na escala de 1:100.000, além de mapa de pontos (ANEXO 1.5), tabela com as coordenadas dos afloramentos visitados (ANEXO 1.8) e perfis geológicos (ANEXO 1.7).

A área piloto da Bacia do Rio São Desidério está incluída em sua totalidade no Subdomínio Ille, que abrange os terrenos levemente deformados do Grupo Bambuí aflorantes na margem esquerda do Rio São Francisco. Também apresenta áreas de calcários expostos do Grupo Bambuí com muitas feições cársticas em superfície, com destaque para a Formação São Desidério que aflora no extremo NW da área, nos municípios de São Desidério e Catolândia. O restante da área abrange em sua totalidade as rochas correspondentes ao Grupo Urucuia nos municípios de Cristópolis, Brejolândia e Tabocas do Brejo Velho.

A geomorfologia do oeste baiano é marcada por duas grandes unidades: o Chapadão do Urucuia, que abrange os estados de Goiás, Tocantins, Minas Gerais e Bahia, e a Planície do São Francisco, que abrange os estados de Minas Gerais e Bahia.

O Chapadão do Urucuia, também denominado localmente de Serra Geral ou Espigão Mestre, é sustentado pelos arenitos cretáceos do Grupo Urucuia, que apresentam acamamento sub-horizontal e mergulho regional para leste. A superfície do Chapadão no oeste baiano varia entre 600 a 750 m de altitude e é associada à Superfície Sul-Americana, esculpida durante o Paleógeno/Neógeno (Egydio-Silva 1987, Campos & Dardenne 1997).

A Planície do São Francisco corresponde a uma superfície correlacionada à Superfície de Aplainamento Velhas do Terciário Superior (Braun 1970), que diseca a superfície Sul-Americana e é preenchida por sedimentos areno-argilosos neógenos e quaternários. O retrabalhamento destes sedimentos devido a um soerguimento quaternário provocado por um período de instabilidade da crosta deu origem à Superfície de Aplainamento Paraguaçu (King 1956) e, conseqüentemente, o depósito dos sedimentos carregados nas margens do rio São Francisco.

O município de São Desidério está situado na sub-bacia do Rio Grande, no contexto geomorfológico do Chapadão Urucuia (Figura 4.3), onde esse planalto sedimentar encontra-se dissecado por uma rede de drenagens paralelas a subparalelas que localmente expõem as rochas calcárias justapostas ao substrato pré-cambriano.

A Bacia Hidrográfica do Rio São Desidério está situada na margem direita do Rio Grande, cuja confluência com o Rio São Francisco se dá na margem esquerda, em

Barra/BA. O Rio São Desidério representa o nível de base local para as contribuições hídricas do seu entorno.

As rochas do Grupo Bambuí afloram ao longo da calha dos rios São Desidério e das Fêmeas, já próximas ao ponto de encontro com o Rio Grande. Observa-se que as drenagens têm um forte alinhamento na direção NE-SW e as calhas dos rios principais seguem a direção NS. Já as rochas que compõem o Chapadão Urucuia e aquelas que formam o substrato na planície do São Francisco pertencem ao domínio geológico da Bacia do São Francisco.

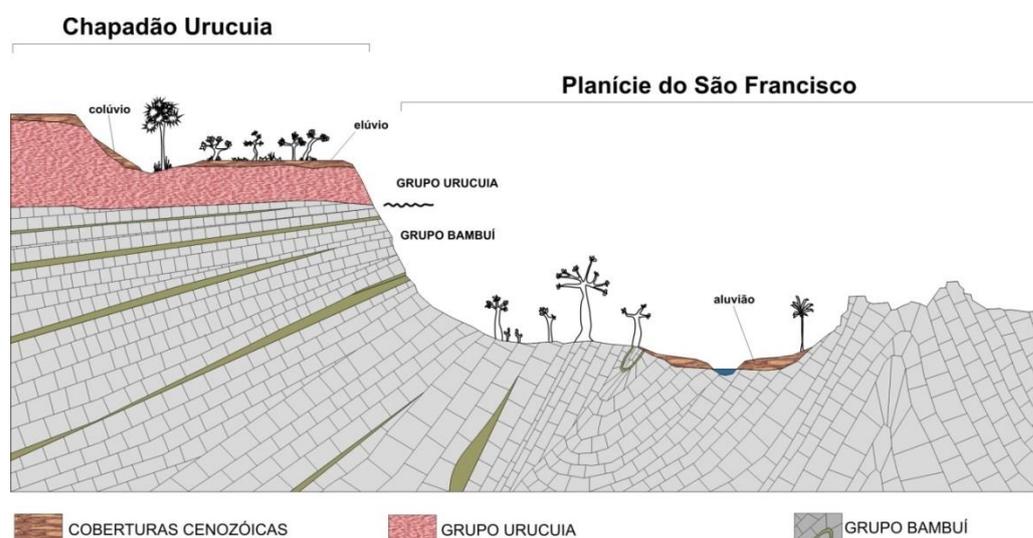


Figura 4.3: Figura esquemática ilustrando as unidades geológicas e geomorfológicas de ocorrência na região de São Desidério. Modificado de Egydio-Silva (1987).

No interior da bacia, próximo à cidade de São Desidério, o Grupo Bambuí tem camadas horizontalizadas, com dobras amplas regionais, localmente de mergulho mais elevado. Essa deformação é intensificada na medida em que se aproxima das zonas de cisalhamento e falhas inversas de dupla-vergência que caracterizam a faixa Rio Preto.

Segundo as seções geológicas levantadas por Godinho *et al.* (2013) entre as cidades de Barreiras, São Desidério e Cristópolis, a Formação São Desidério é constituída por metacalcários de cor azulada-acinzentada, com textura fina e estrutura foliada, com dobramentos que variam de pequenas ondulações até dobramentos de amplitude quilométrica. Boas exposições de rocha da Formação São Desidério são registradas pelos autores a sul da cidade homônima, nos paredões próximos à margem leste do rio São Desidério, assim como ao longo das escarpas do vale do povoado da Beleza de Cima (Godinho *et al.*, 2013).

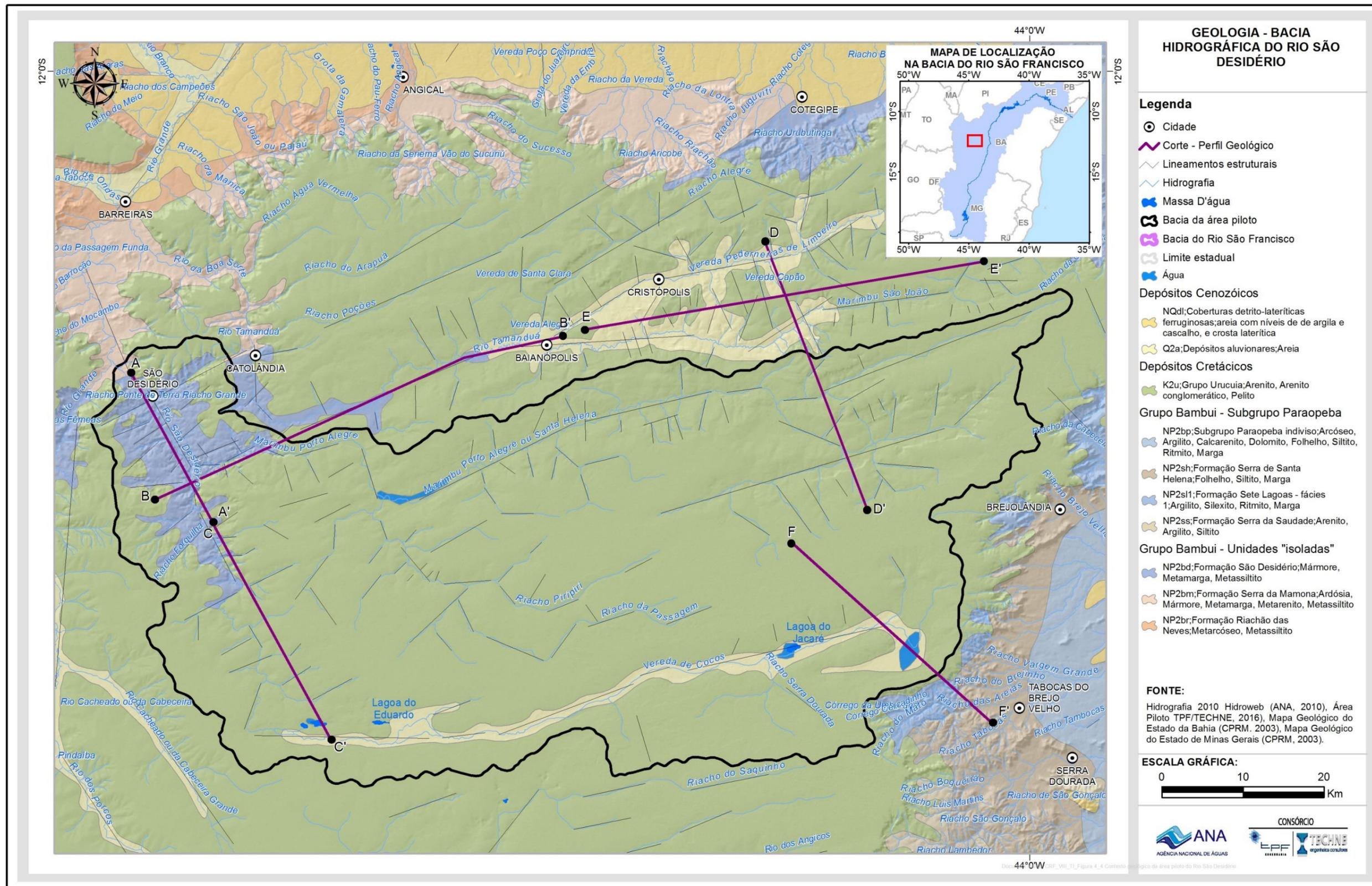


Figura 4.4: Contexto geológico da área piloto do Rio São Desidério.

A Formação Serra da Mamona na região de interesse é constituída, conforme mapeado por Godinho *et al.* (2013), por metargilitos, de cor marrom-amarelada e aspecto pastilhado e filitos marrom-avermelhados, que apresentam intercalações com camadas de poucos centímetros a decímetros de metarenito fino. Essas rochas apresentam-se dobradas e foliadas, com mergulhos de ângulo acentuado. A formação Serra da Mamona aflora de maneira restrita na área de estudo, tendo sido registradas nas proximidades de Catolândia.

O Grupo Urucuia repousa em discordância erosiva e angular sobre as rochas do Grupo Bambuí. A deposição de arenitos e conglomerados fluvio-eólicos durante o cretáceo é o registro de uma nova condição geológica durante o fanerozoico na Bacia do São Francisco.

Durante o fanerozoico, a Bacia do São Francisco passou por um novo ciclo tectono-sedimentar, onde ambientes de sedimentação continental foram instalados sobre o substrato pré-cambriano essencialmente marinho. No cretáceo, vários ciclos sedimentares acompanharam as mudanças decorrentes da reativação de estruturas no interior da Placa Sul Americana e do vulcanismo intracontinental, que significaram o prelúdio da ruptura crustal que originaria o Oceano Atlântico Sul (Campos & Dardenne, 1977).

O registro sedimentar de idade fanerozoica na Bacia do São Francisco foi denominado Bacia Sanfranciscana. O Grupo Urucuia representa a sedimentação do topo da Bacia Sanfranciscana, no Cretáceo Superior. Sedimentos eólicos, fluviais e lacustres ocuparam o espaço formado na depressão da sub-bacia Urucuia (Campos & Dardenne, 1997), que ocupou uma ampla área da Bacia Sanfranciscana, acima do paralelo 17º até o sudeste do Piauí (Sgarbi *et al.*, 2001).

O Grupo Urucuia, na Bahia, compreende essencialmente uma espessa sequência de arenitos fluvio-eólicos, cuja expressão fisiográfica caracteriza o amplo Chapadão Urucuia, com cerca de 80.000km² de extensão. A rede de drenagem nele superposta é constituída por rios e riachos perenes, estruturalmente controlados, com cursos retilíneos e subparalelos, geralmente orientados de WSW para ENE.

O Grupo Urucuia foi dividido por Campos e Dardenne (1977) nas formações Posse (Fácies 1 e 2) e Serra das Araras. A fácies 1 da Formação Posse é constituída por quartzo-arenitos, muito finos a médios, com pouca matriz, bem selecionados, com boa maturidade textural e mineralógica, formando camadas do tipo *redbeds*. Sua porosidade é sempre elevada, apesar de ocorrer cimentação por sílica amorfa. Associam-se a níveis pelíticos lacustres, conglomerados fluviais e camadas silicificadas, mas predominam as fácies eólicas. A fácies 2 é composta por arenitos feldspáticos e quartzo-arenitos, finos, claros a ocre, argilosos ou não, bem selecionados que remontam a um paleoambiente de campos de dunas cortadas por canais fluviais.

A Formação Serra das Araras representa o aumento da taxa de umidade no âmbito do sistema desértico (Sgarbi *et al.*, 2001) e é constituída por arenitos silicificados, argilitos e conglomerados vermelhos.

4.1.1.1 Grupo Bambuí

O Grupo Bambuí é composto por um conjunto de rochas carbonáticas, e siliciclásticas de idade neoproterozoica, sofrendo pouca influência dos empurrões da faixa Rio Preto a norte da área. Litologicamente, as rochas deste Grupo são formadas por calcários, dolomitos, arcóseos, argilitos, folhelhos e margas. As unidades pertencentes ao Grupo Bambuí no oeste baiano foram correlacionadas às ocorrências de unidades desse grupo em Minas Gerais.

O Grupo Bambuí no oeste baiano foi subdividido por Egydio-Silva *et al.* (1989) em três formações, incluindo, da base para o topo: Formação São Desidério, Formação Serra da Mamona e Formação Riachão das Neves. Na área piloto da Bacia do Rio São Desidério observam-se as Formações Sete Lagoas, São Desidério (Lagoa do Jacaré), Serra da Mamona (Serra da Saudade) e Riachão das Neves (Três Marias).

Formação Sete Lagoas

As litofácies típicas da Formação Sete Lagoas (PN2slc), são basicamente calcarenitos, calcilitos laminados e calcarenito apresentando estratificação plano paralela. (Alvarenga, 2006). No afloramento S-039 observamos um calcário típico da Formação Sete Lagoas, com calcarenitos escuros com as camadas apresentando uma leve ondulação, veios preenchidos por calcita, apresentando estratificação cruzada Hummocky, e com estruturas sedimentares indicando tração. Isso sugere um ambiente de alta energia (Figura 4.5).

Formação São Desidério (Lagoa do Jacaré)

O nome Formação São Desidério fica restrito ao estado da Bahia. Esta formação, entretanto, é análoga à Formação Lagoa do Jacaré. É constituída por uma sequência carbonática composta principalmente por calcários oolíticos e psolíticos, odorosos, tabulares a levemente inclinados, bastante fraturados, com veios preenchidos por calcita, e com estruturas lapiás no topo (Figura 4.6). As fraturas formam condutos que servem como meio de recarga do aquífero Bambuí. Isso é bem observado na grande maioria dos calcários aflorantes a sul dos municípios de São Desidério e Catolândia.



Figura 4.5 – Visão geral do afloramento S-039, mostrando os calcários da Formação Sete Lagoas.



Figura 4.6 – Afloramento S-012 ao longo da BR-135 sentido Correntina, mostrando os calcários da formação São Desidério, com camadas horizontais, bastante fraturados e estruturas lapiás no topo.

Na região de São Desidério, observa-se um grande número de cavernas, dolinas e sumidouros, formando um sistema cárstico complexo. Um exemplo disso são os afloramentos Parque Municipal da Lagoa Azul (Figura 4.7 - S-027, 028 e 029), Sumidouro do João Baio e Buraco do Inferno. Todas essas cavernas estão seguindo uma direção preferencial ENE/WSW, seguindo a mesma direção das drenagens na região indicando uma estruturação preferencial nessa direção.

A Gruta do Catão tem os afloramentos típicos da Formação São Desidério, constituídos por calcarenitos e calcários oolíticos, odorosos, escuros, bastante fraturados, com fraturas na direção N70E, com 80 - 100 m de extensão. São visíveis várias feições cársticas por todo o parque e as mais comuns são as estruturas lapiás no topo das camadas. Na sua grande maioria, os calcários da região apresentam acamamento sub-horizontal a levemente inclinado, indicando que não há muita influência da faixa de deformação Rio Preto nessa região, porém alguns locais como o Buraco do Inferno da Lagoa do Cemitério assim como, alguns afloramentos da Rodovia que Liga São Desidério a Catolândia, é muito comum a presença dos calcários da Formação São Desidério apresentando algumas dobras significativas. (Figura 4.12).

A Lagoa azul é um exemplo clássico de uma dolina alagada formada por dissolução e abatimento, tendo vários condutos conectados à mesma, sendo abastecida também pelas águas do Sistema Cárstico do Rio João Rodrigues. A Lagoa Azul fica na interseção de duas fraturas principais, com isso foi causando dissolução, e formando a dolina com as dimensões hoje conhecidas.



Figura 4.7 – S-027,028,029, Parque Municipal da Lagoa Azul, mostrando os paredões calcários, com fraturas verticais, e a gruta do Catão, passando o Rio João Rodrigues no seu interior.



Figura 4.8 – S-029, mostrando oóides nos calcários da gruta do Catão.

No município da Catolândia foi inspecionada boa parte do leito do Rio Tamanduá, e com isso foi constatada a existência de afloramentos da Fm. São Desidério, apresentando calcarenito escuro, odoroso, com camadas horizontalizadas, bastante fraturado, com veios preenchidos por calcita, em contato com uma fina sedimentação cenozoica, arenosa, de coloração amarelada, ficando bem evidente no afloramento S-016 (sumidouro do meio). Só foi possível observar os calcários devido a uma possível fratura na direção E-W (Figura 4.9).



Figura 4.9 - Fratura E-W, no leito do Rio Tamanduá.

Seguindo o leito do Rio Tamanduá no sentido do município de Baianópolis, observa-se outro ponto aflorante do calcário, S-018 (Figura 4.10). Trata-se de calcário mais escuro com textura mais fina, odoroso, camadas horizontalizadas com leve inclinação, com nódulos chert incrustados nas mesmas, apresentando muitos veios preenchidos por calcita, e muitas fraturas, inclusive algumas paralelas ao plano de acamamento.

A parte mais cinza é constituída por calcarenito, bastante fraturado, também apresentando nódulos de chert em suas camadas. No topo das camadas sempre aparecem estruturas lapiás (Figura 4.6).



Figura 4.10 - Visão geral do Afloramento S- 018.



Figura 4.11 – Variação faciológica sendo evidente pela coloração das camadas, e nódulos de chert incrustado nas camadas. S-018.

Na região norte do município de São Desidério, observa-se que os calcários e metapelitos do Grupo Bambuí encontram-se dobrados, já devido à influência

dos empurrões da Faixa Rio Preto. Caracteriza-se uma “tectônica pelicular” (*thin-skinned*), onde o embasamento não se encontra envolvido, restringindo-se a deformação à cobertura (Figura 4.12).

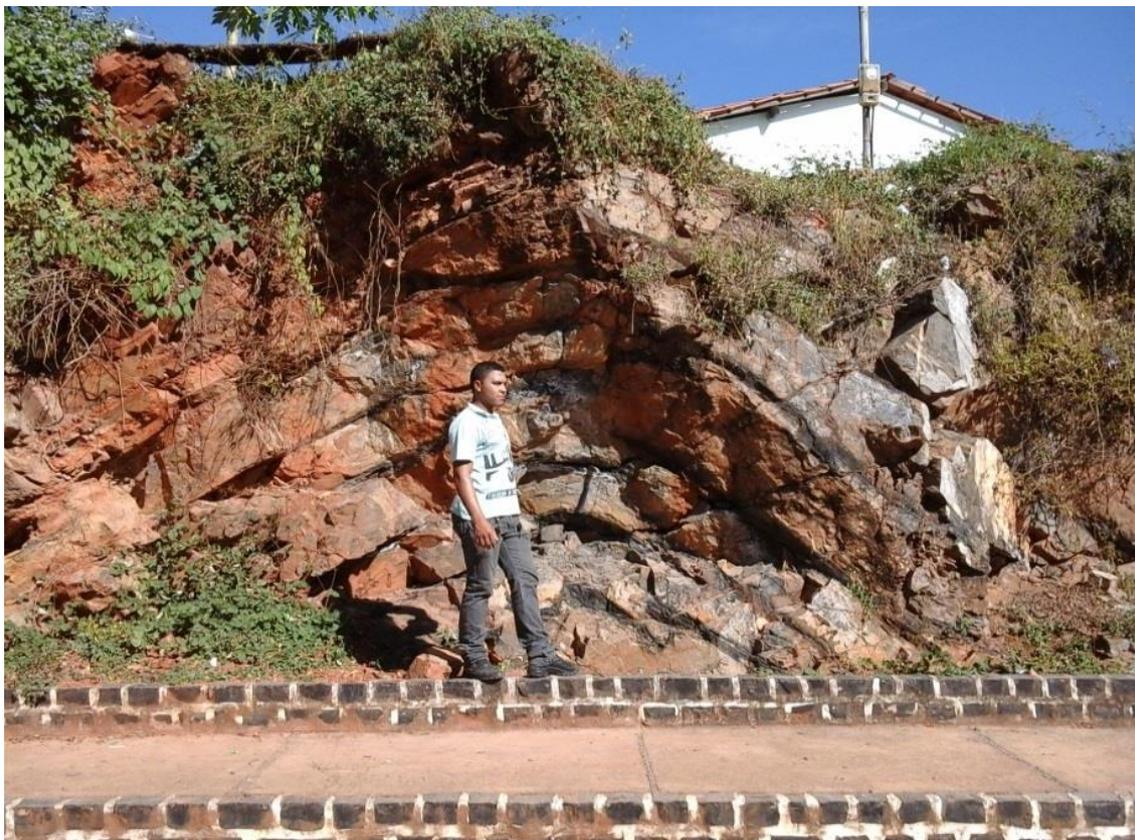


Figura 4.12 – Afloramento S-001, calcário dobrado da Formação São Desidério, afetados pela Faixa de dobramento Rio Preto.

Seguindo para sul do município de São Desidério pela BR-135, afloram os primeiros contatos entre os Grupos Bambuí e Urucuia. Calcários escuros, odorosos, horizontalizados, fraturados, com veios de calcita, em contato com um arenito médio, maciço, de coloração avermelhada. Esse contato é dado possivelmente por falha, pois não é possível observar nenhum tipo de empilhamento vertical, tratando-se de um contato lateral, e por alguns momentos os calcários se encontram em cotas mais altas que o arenito. No afloramento S-010 (Figura 4.13) fica bem clara essa exposição.



Figura 4.13 – S-010, contato dos calcários da Formação São Desidério com os arenitos do Grupo Urucua

Formação Serra da Mamona

Esta formação se sobrepõe estratigraficamente à Formação São Desidério através de contato gradacional. A Formação Serra da Mamona é composta por metassiltitos, ardósias e metacalcários intercalados a metarenitos finos. Ocorre entre as regiões de Barreiras e São Desidério.

Em afloramento observa-se um dobramento intenso, apresentando dobras recumbentes, sendo truncada por um plano de falha. Nesse afloramento foi observado um possível mecanismo de deslizamento de massa (*Slump*) (Figura 4.14). Não foi observado no campo, no presente estudo, o contato entre os calcários da Fm. São Desidério e os metassedimentos da Formação Serra da Mamona.



Figura 4.14 – S-005, dobras recumbentes truncadas por um plano de falha. Possível mecanismo de deslizamento de massa (Slump).

4.1.1.2 Grupo Urucuia

As rochas siliciclásticas do Grupo Urucuia, recobrem o sistema cárstico em questão e estão diretamente ligadas à recarga de água do aquífero Bambuí. É constituído por arenitos de granulometria variada e coloração variegada, e conglomerados (Fernandes, 1982). Quanto à deposição, são classificados como ambientes fluviais e eólicos, (Lima & Leite, 1978; Fernandes, 1982). O Grupo Urucuia está subdividido em duas formações, Posse e Serra das Araras, porém ainda não foi possível distingui-las na presente área.

Seguindo pela rodovia BA-463, no sentido ao povoado do Sítio do Rio Grande, podemos observar afloramentos do Grupo Urucuia, arenito com granulação de fina a média, bastante friável, de coloração rósea, com estratificação plano paralela na base (Figura 4.15). Ocorre uma transição para um arenito grosso a conglomerático, com blocos de arcóseos polimodais, mostrando uma granoascendência (Figura 4.16). E no topo, um arenito fino a médio de coloração avermelhada, com estratificação plano paralela, muito semelhante aos arenitos típicos do Grupo Urucuia (Figura 4.17). Blocos de silexites por todo o afloramento.



Figura 4.15 – Afloramento S-058, arenito fino, com estratificação plano paralela, Fácies Ap.



Figura 4.16 – Arenito grosso a conglomerático, com blocos de arcóseo.



Figura 4.17 – Arenito médio de coloração avermelhada.

Na Rodovia BR-135, sentido ao município de Correntina, nas proximidades do rio do Nado, o Grupo Urucuia aflora novamente, com características diferentes dos afloramentos anteriores. Aqui se trata de um arenito médio a grosso, com um nível conglomerático, bastante litificado, de coloração creme a rósea, apresentando estratificação plano paralela na base, fácies Ap. No topo, o arenito tem as mesmas características, porém apresenta estratificação cruzada acanalada, apresentando algumas fraturas (Figura 4.18).



Figura 4.18 – S-011, Arenito médio a grosso, estratificado.

Na parte central da Bacia, mais precisamente no município de Baianópolis, quase não existem afloramentos, sendo uma região muito plana, e nos mapas preexistentes essa região está quase toda mapeada como sendo rochas do Grupo Urucuia. Porém, analisando-se os perfis construtivos de poços constantes do SIAGAS, observa-se mais uma cobertura recente assentada diretamente sobre calcários.

4.1.1.3 Depósitos cenozoicos

Os depósitos cenozoicos aparecem na área recobrimo os metassedimentos do Grupo Bambuí ou as rochas siliciclásticas do Grupo Urucuia. São sedimentos inconsolidados alúvio-eluvionares, na maioria das vezes areno-argiloso, também apresentando um nível de cascalho e crosta laterítica.

4.2 Mapeamento geológico

4.2.1 Geologia estrutural

No contexto tectônico regional do projeto, a área-piloto de São Desidério encontra-se no limite entre o compartimento C1 (cobertura não deformada do Cráton do São Francisco) e a região do cinturão marginal de dobras e empurrões da Faixa Rio Preto.

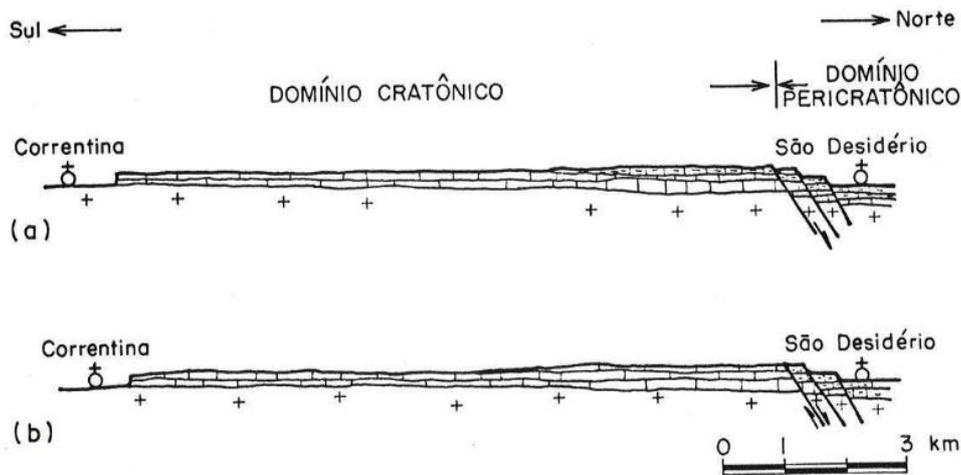


Figura 4.19: Seção esquemática mostrando as relações de contato entre os domínios cratônico e pericratônico. (a) Antes da erosão do nível superior da Formação São Desidério; (b) Após a erosão do nível superior no Domínio Cratônico.



Figura 4.20: Seção geológica disponíveis em Silva (1987).

Essa transição é observável na sequência de afloramentos ao longo da BR-135 em direção a Correntina, como no afloramento S-030 (Figura 4.21, Mineração Oeste), e S-006,89 e 90. Observam-se dobras suaves a fechadas, com as camadas variando de sub-horizontais a inclinadas.



Figura 4.21 – Imagem mostrando visão geral da Mineração Oeste S-030.

O limite entre os domínios deformado (a norte) e não deformado (a sul) é aproximado. As rochas pertencentes ao domínio deformado a norte apresentam metamorfismo de grau incipiente a fraco, e apenas uma fase marcante de deformação. As rochas desse domínio representam diferentes fácies do Grupo Bambuí, constituídas por metacalcários, ardósias, metagrauvacas e metamargas, (formações São Desidério, Serra da Mamona e Riachão das Neves). O domínio não deformado (a sul), o qual corresponde à cobertura não deformada do Cráton do São Francisco, fica bem caracterizado pela exposição de rochas carbonáticas, com camadas horizontalizadas ou apenas basculadas, com ausência de metamorfismo, pertencentes ao Grupo Bambuí, Formação São Desidério.

No domínio deformado observa-se que a estratificação sedimentar das unidades do Grupo Bambuí encontra-se afetada por dobras abertas a fechadas (Figura 4.22).



Figura 4.22 - Dobras abertas a fechadas em ritmitos da Formação São Desidério, Grupo Bambuí (ponto S-002, BA – 455 S/C, saída de São Desidério para Catolândia).

4.2.2 Fraturamentos e seu papel no desenvolvimento dos sistemas cársticos

Na análise dos dados estruturais obtidos nos levantamentos de campo, adotou-se como limite o paralelo $12^{\circ} 24' S$ ($12,4^{\circ}$) para a separação dos afloramentos pertencentes aos dois domínios estruturais (domínio deformado, a norte; e não deformado, a sul).

Os dados de atitudes de acamamento do Grupo Bambuí no domínio deformado a norte configuram uma guirlanda bem caracterizada, denotando um dobramento cilíndrico com eixo médio em torno de N080E horizontal, coerente com alguns eixos medidos no campo (Figura 4.23). Os planos axiais

observados no campo mostram uma direção por volta de ENE com mergulhos fortes a moderados para NW.

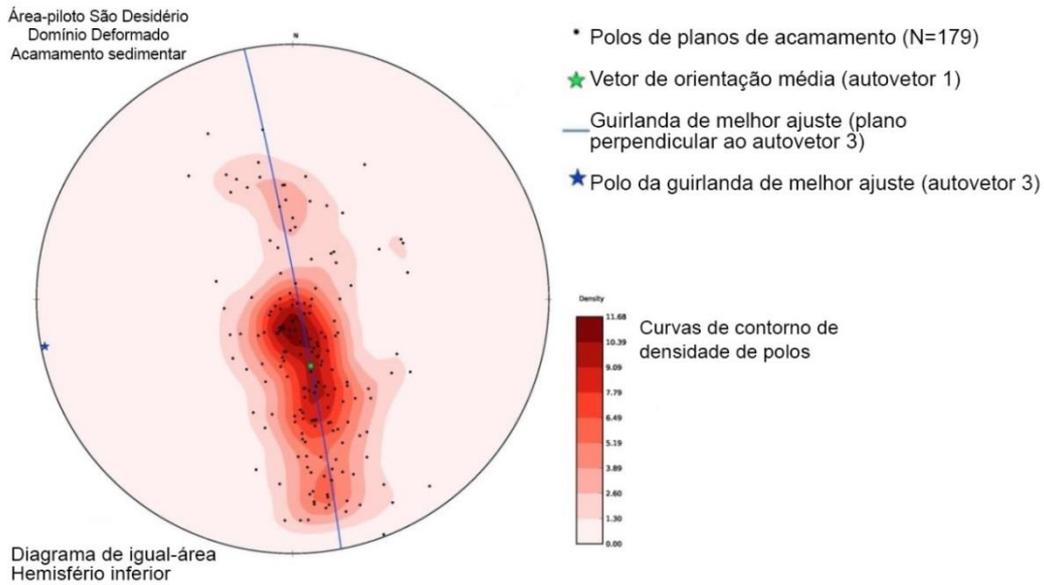


Figura 4.23: Estereograma mostrando os pólos de acamamento sedimentar no domínio deformado do Grupo Bambuí (Diagrama de Schmidt-Lambert, hemisfério inferior).

Passando-se para o domínio não dobrado a Sul, que constitui a maior parte da área-piloto da Bacia do Rio São Desidério, nota-se que as atitudes medidas do acamamento das rochas do Grupo Bambuí configuram no estereograma uma nuvem uniaxial denotando a sua disposição sub-horizontal (Figura 4.24), porém com algum basculamento para várias direções, e uma atitude média N070E/15NW. Uma guirlanda mal definida sugere ainda a influência do dobramento com eixo em torno de N080E sub-horizontal.

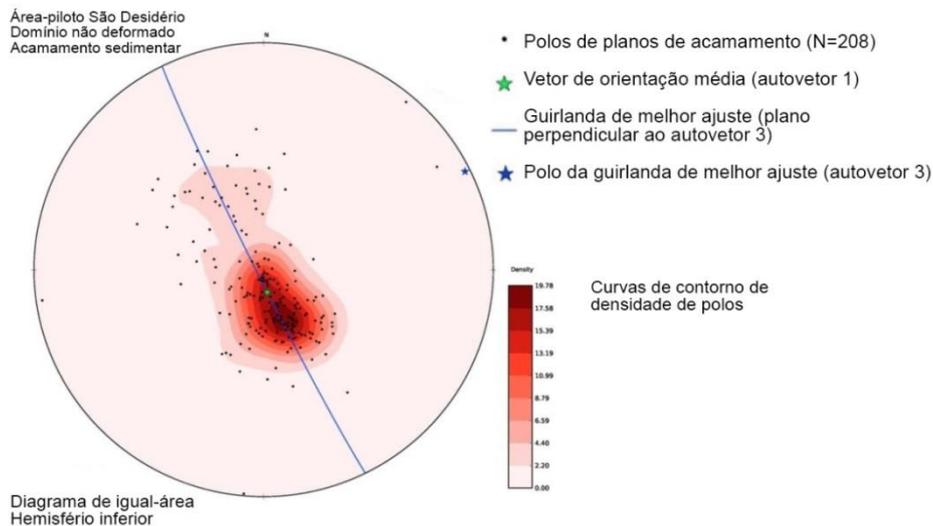


Figura 4.24: Estereograma mostrando os pólos de acamamento sedimentar no domínio sub-horizontal do Grupo Bambuí (Diagrama de Schmidt-Lambert, hemisfério inferior).

Em rochas com anisotropias pré-existentes, como nos calcários do Grupo Bambuí, que mostram acamamento sedimentar bem desenvolvido, e eventualmente estruturas tectônicas dúcteis, tais como dobras e clivagens, o fraturamento tardio é em grande parte controlado por essas estruturas pretéritas.

No estereograma da Figura 4.25 estão plotadas todas as fraturas medidas na área piloto da Bacia do Rio São Desidério. Observam-se pelo menos três famílias principais de fraturas:

- Família 1 : 286/90 Mergulho / (N016E Vertical) Direção;
- Família 2 : 170/90 Mergulho / (N080E Vertical) Direção;
- Família 3 : 290/04 (Sub-horizontal)

A família 3 sub-horizontal é claramente condicionada pelo acamamento sub-horizontal das rochas. Essa anisotropia pré-existente também induz que as demais famílias (1 e 2) sejam a ela perpendiculares, já que orientações oblíquas não seriam favorecidas no processo de ruptura.

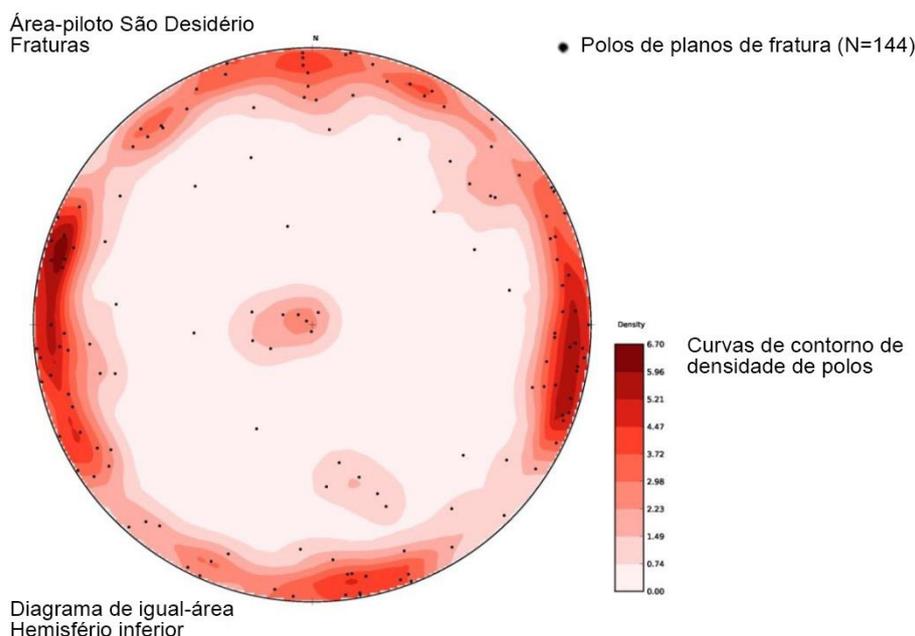


Figura 4.25: Estereograma mostrando fraturas em rochas do Grupo Bambuí (Diagrama de Schmidt-Lambert, hemisfério inferior).

Selecionando-se apenas as fraturas com mergulhos sub-verticais pode-se analisar as orientações dessas famílias através de diagrama do tipo rosácea, como na Figura 4.26. Neste diagrama podem ser deduzidas as seguintes famílias de fraturas sub-verticais, em termos de orientação com relação ao Norte:

- Família 1 : N017E;
- Família 2 : N005W;
- Família 3 : N033W;
- Família 4: N085E;

- Família 4 : N050E;
- Família 5 : N069W.

Esse padrão de fraturamento pode ser bem observado na área do parque da Lagoa Azul.

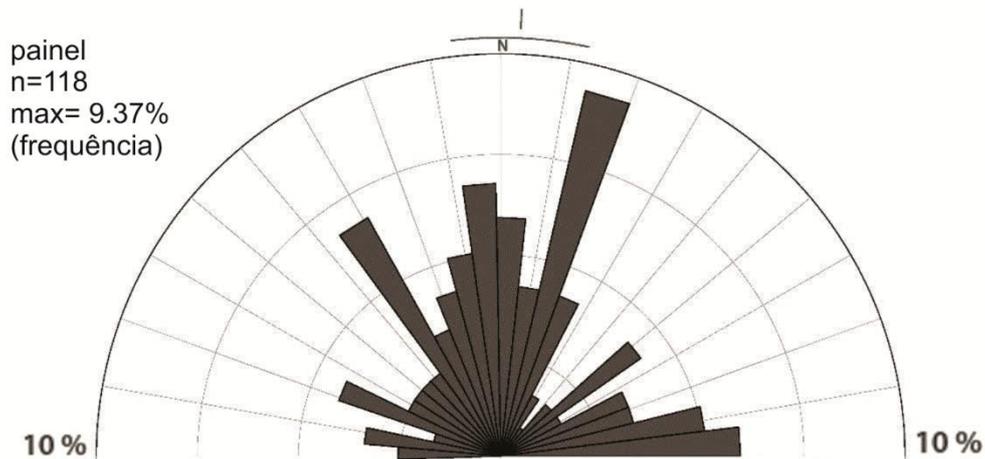


Figura 4.26: Diagrama rosácea mostrando a direção das fraturas sub-verticais afetando rochas do Grupo Bambuí.

A Figura 4.27 mostra o sistema de fraturas verticais em imagens de satélite em época de estiagem (23/09/2004) dessa área.

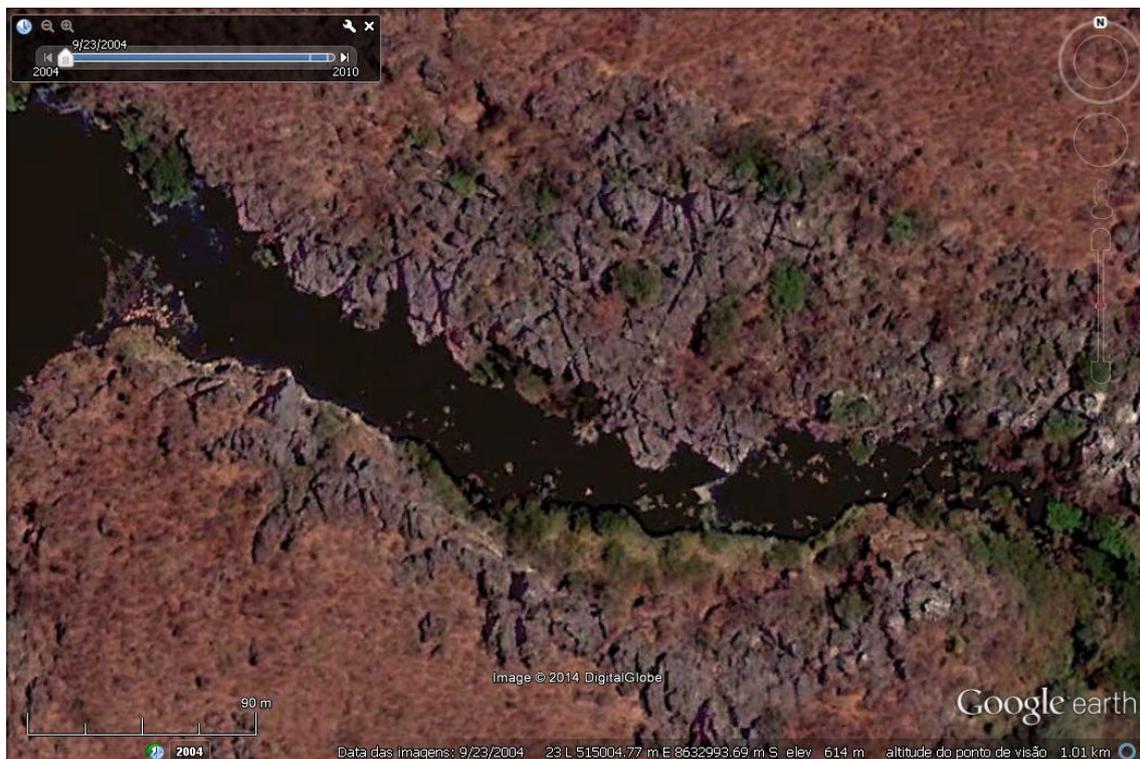


Figura 4.27: Imagem de satélite em época de estiagem (23/09/2004) mostrando o sistema de fraturas nos afloramentos rochosos da área do Parque da Lagoa Azul.

As Figura 4.28 e Figura 4.29 mostram fotos de campo do relevo cárstico e do sistema de fraturas desenvolvido no *canyon* da Lagoa Azul. É nítido o acamamento sub-horizontal, o qual condiciona fraturas com essa mesma orientação, e fraturas verticais, estas perpendiculares ao acamamento. Observa-se ainda que algumas fraturas atingem extensões mínimas da ordem de dezenas de metros.

É nítido o condicionamento dos abatimentos cársticos pelo sistema poligonal de fraturas, desenvolvendo pináculos (pedra do pescoço), e *canyons* (dolina da lagoa azul), com paredes retilíneas.



Figura 4.23 – S-027, Canyon da Lagoa Azul; calcários do Grupo Bambuí com acamamento sub-horizontal cortado por fraturas sub-verticais.



Figura 4.29 – S-028 Canyon da Lagoa Azul; calcários do Grupo Bambuí com acamamento sub-horizontal cortado por fraturas sub-verticais.

A Figura 4.30 mostra o desenvolvimento sub-horizontal da Gruta do Catão, controlado, portanto, pelo acamamento sedimentar dos calcários.



Figura 4.30 - S-030 - Gruta do Catão observa-se o desenvolvimento sub-horizontal desta, controlado pelo acamamento sedimentar dos calcários. Das seis famílias de fraturas com mergulhos sub-verticais acima indicadas, destacam-se aquelas caracterizando os lineamentos NNW/SSE e ENE/WSW que condicionam o padrão de drenagem da área piloto. Desses, os mais

proeminentes são, nitidamente, os lineamentos ENE/WSW. A própria bacia do Rio São Desidério é alongada nessa direção, seguindo o padrão regional predominante de fraturamento do Grupo Urucuia. Comportam-se da mesma forma as bacias do Tamanduá e do rio João Rodrigues. Na extremidade NNE da Chapada de Baianópolis (Figura 4.31), a superfície topográfica se nivela na cota de 780 metros. Os vales alinhados ENE/WSW se aprofundam nos arenitos até cotas da ordem de 680 m, drenando as águas subterrâneas para o Rio Grande e daí ao São Francisco.

Os lineamentos NNW/SSE, embora menos frequentes, não são menos importantes. A Chapada de Baianópolis, com efeito, constitui uma apófise da Chapada do Urucuia quase separada do corpo dessa chapada por profundas incisões de drenagens NNW- SSE, com cabeceiras quase coalescentes. Uma das incisões verte para NNW, para o Rio Grande em Barreiras, enquanto que a outra despeja para SSE, para o Rio Corrente na região de Correntina (Figura 4.31). As duas incisões, alinhadas, foram nitidamente condicionadas pela direção regional de fraturamento NNW-SSE, a qual, aparentemente, contribuiu à conformação das bordas, oriental e ocidental do Chapadão do Urucuia. Na extremidade SSW da Chapada de Baianópolis as cotas decaem suavemente, de forma oscilante, na direção da cidade de Correntina. Os entalhes de drenagem, aqui, se devem aos vários rios paralelos que, encaixados em fraturamentos ENE-WSW, procedem de WSW, das altas cotas da Chapada do Urucuia, fazendo as águas do SAU convergirem no Rio Correntes que as leva ao São Francisco.

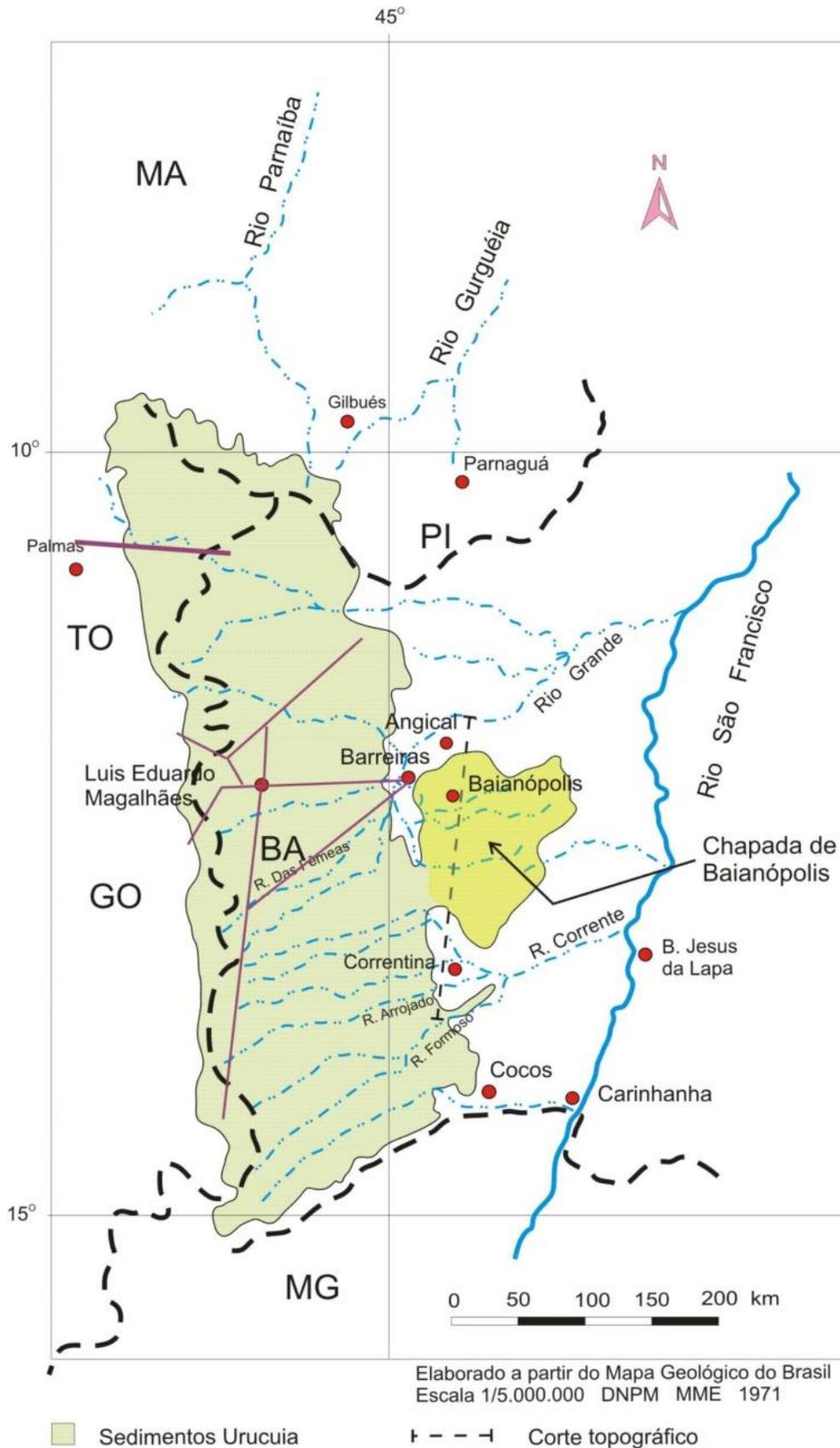


Figura 4.31: A Chapada de Baianópolis no contexto da Bacia do Urucua.

Chama a atenção o comportamento topográfico em sela do conjunto Chapada do Urucua/Chapada de Baianópolis, mostrado na Figura 4.32. Este comportamento se manifesta apenas nesse trecho da bacia do Urucua, com a superfície topográfica da Chapada de Baianópolis descaindo para oeste, enquanto que superfície topográfica da Chapada do Urucua descai em sentido contrário, ou seja, para leste. Em todo o restante da Chapada do Urucua o caimento da superfície topográfica é sempre para leste.

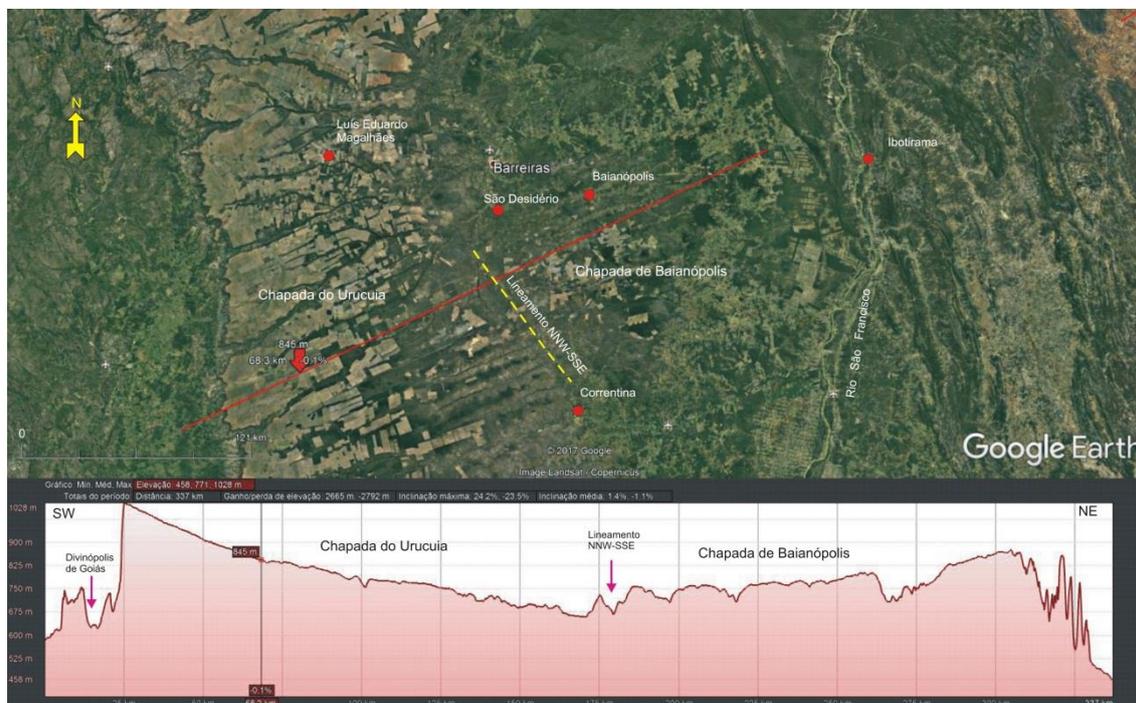


Figura 4.32: Superfície topográfica em sela do conjunto Chapada do Urucua/Chapada de Baianópolis.

Este comportamento da superfície topográfica do conjunto Chapada do Urucua/Chapada de Baianópolis leva a considerar a possibilidade de que o lineamento NNW/SSE, assinalado na Figura 4.32, possa constituir um importante falhamento separando a Chapada de Baianópolis do corpo principal do Urucua. O bloco representado pela Chapada de Baianópolis teria sido alçado e basculado para oeste, gerando a atual feição morfológica. Na Figura 4.33 essa ideia é ilustrada de forma esquemática.

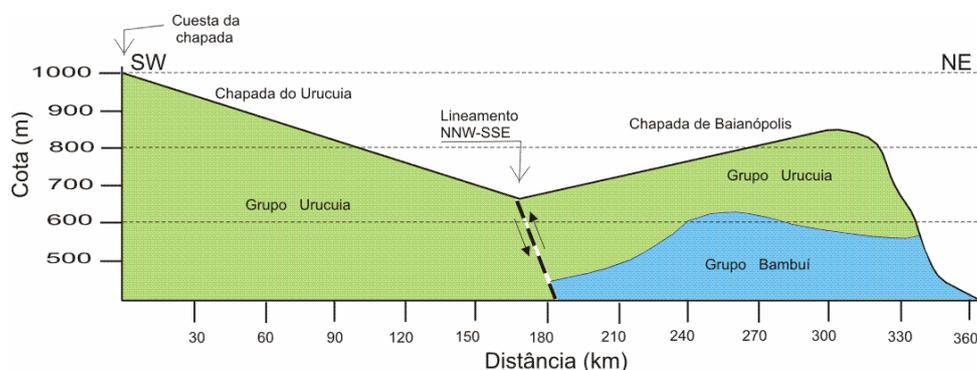


Figura 4.33: Blocos estruturais esquemáticos.

Na Figura 4.34 abaixo são invocadas algumas feições geológicas que parecem apoiar essa hipótese de alçamento estrutural da Chapada de Baianópolis. São elas:

- Ocorrência de calcários do Grupo Bambuí no leito do rio Tamanduá em cotas da ordem de 700 metros quando essas mesmas rochas ocorrem em cotas da ordem de 500 metros a leste das escarpas da Chapada de Baianópolis.
- Ocorrência da Formação Serra de Santa Helena aflorante, na cota aproximada de 500 a 550 metros, cingindo a base da escarpa oriental da Chapada de Baianópolis (Figura 4.34). Esta formação se situa, estratigraficamente, na porção basal do Grupo Bambuí. Seu modo de ocorrência, aqui, pode significar um alçamento local desse grupo, levantando consigo significativo bloco do Grupo Urucuia que hoje constitui a Chapada de Baianópolis. Nas proximidades da escarpa ocidental da Chapada do Urucuia, cerca de 30 km a sudeste de Alvorada do Norte, no Tocantins, um poço exploratório da Petrobras encontrou o topo da Formação Serra de Santa Helena na cota de cerca de 380 metros (Lima, 2011)².
- Afloramentos do embasamento (Arqueano e Meso-Proterozóico) tal como mostrado no mapa geológico da Figura 4.34.

A hipótese acima apresentada encontra eco em Iglesias (2007) e Iglesias & Uhlein (2009). Esses autores se referem a um provável alçamento de parte do flanco oeste do Rio São Francisco, que fez aflorar extensivamente a Formação Sete Lagoas segundo uma faixa de largura variável, entre 20 e 50 km, no sopé das escarpas orientais do Urucuia, servindo-lhes de pedestal, desde o rio Carinhonha, ao norte, até Januária, ao sul, numa extensão de 150 km. O rio São Francisco, assim, teria seu curso controlado por uma zona de falhamento cuja direção varia entre NNE e NNW. É provável que um padrão de quebramentos repetitivos exista, do São Francisco para oeste, de que resultou a feição geomorfológica denominada de Chapada de Baianópolis e, em última análise, a própria Chapada do Urucuia.

No que diz respeito ao contato basal do Urucuia na Chapada de Baianópolis, ou seja, ao topo do Grupo Bambuí, as informações mais confiáveis disponíveis são mostradas nas figuras 5.11 e 6.1 que serão discutidas adiante. Este topo, como será visto é muito movimentado e estruturado em pequenos blocos alternadamente alçados e rebaixados, orientados NNE. A Figura 6.1, em particular, é um corte geológico orientado NE-SW elaborado a partir de dados de poços. Este corte mostra o topo dos calcários Bambuí alçado no extremo nordeste da Chapada de Baianópolis e descaindo, embora irregularmente, para sudoeste, numa feição compatível com o basculamento sugerido esquematicamente na Figura 4.33 acima.

² Poço 1-RC-001-GO perfurado pela Petrobras em 1989

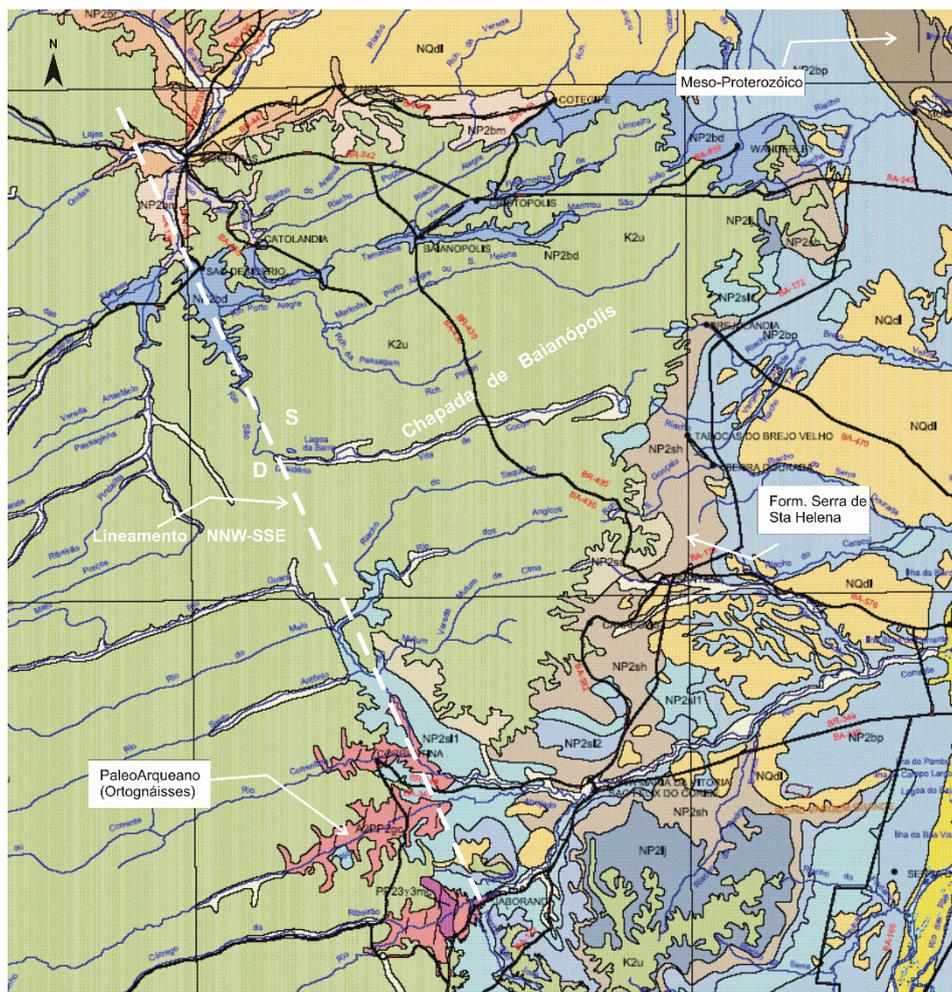
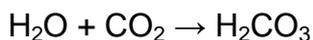


Figura 4.34: Feições sugestivas de alçamento da Chapada de Baianópolis (Adaptado de CPRM/CBPM, 2003)

4.3 Feições cársticas

Os sistemas cársticos são formados a partir de um conjunto de processos de carstificação. Os processos de carstificação ou dissolução química iniciam-se pela combinação da água da chuva ou de rios superficiais com o dióxido de carbono (CO₂) proveniente da atmosfera ou do solo (proveniente das raízes da vegetação e matéria orgânica em decomposição).

O resultado dessa combinação é uma solução de ácido carbônico (H₂CO₃), ou água ácida:



O município de São Desidério está entre as maiores áreas cársticas brasileiras. A região chama a atenção pela quantidade e variedade de formas cársticas em superfície e subterrâneas, bem como pela quantidade de cavernas registradas (Figura 4.35).

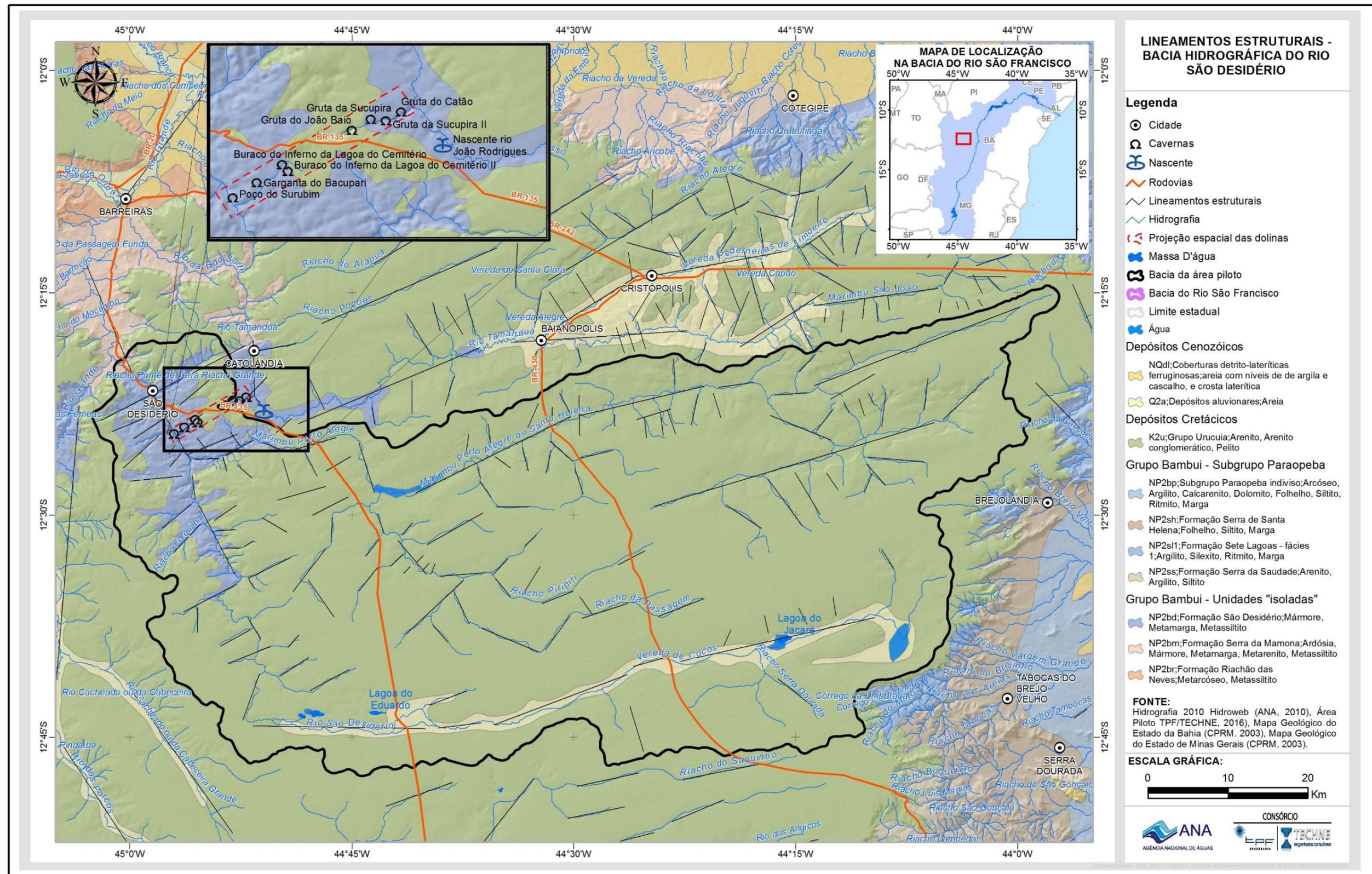


Figura 4.35: Mapa de lineamentos estruturais da Bacia do Rio São Desidério.

O principal sistema cárstico da região é o sistema cárstico do Rio João Rodrigues formado por uma grande quantidade de cavernas e outras feições cársticas, como sumidouros e dolinas, que se estendem por alguns quilômetros. Algumas das principais cavernas são: a gruta do Catão, Gruta da Sucupira I e II, Gruta do João Baio, Buraco do Inferno da Lagoa do Cemitério I e II, Garganta do Bacupari, Poço do Surubim, entre outras, somando mais de 190 cavidades no município.

As principais cavidades encontradas no município seguem um padrão estrutural e estão basicamente alinhadas na direção ENE – WSW, assim como as principais redes de drenagens da região, o que confirma ser esta uma direção preferencial de quebraamento, ao longo da qual se manifestaram mais eloquentemente os fenômenos cársticos.

4.3.1 Gruta do Catão

A Gruta do Catão tem os afloramentos típicos da Formação São Desidério, constituídos por calcarenitos e calcários oolítico, odorosos, escuros, bastante fraturados, com acamamento sub-horizontal a levemente inclinado, com estruturas lapiás por toda sua extensão. A sua cavidade tem o volume relativamente pequeno em comparação com outras cavidades da região, e tem em seu interior a entrada e saída do Rio João Rodrigues, sendo totalmente iluminada por luz natural. Tem um conjunto de espeleotemas belíssimos, que tem o formato de escamas nas paredes das entradas da caverna. A gruta do Catão é uma das feições que seguem a direção de falhamento ENE-WSW, formando o complexo de cavernas (Figura 4.36).



Figura 4.36 – Interior da Gruta do Catão.

4.3.2 Buraco do Inferno da Lagoa do Cemitério

Uma das maiores cavidades encontradas no município de São Desidério, faz parte do Sistema Cárstico do Rio João Rodrigues (Figura 4.37). Possui um padrão linear que alinha as principais feições cársticas do sistema citado (Pereira, 2006). A principal cavidade chega a atingir pouco mais de 100 metros de largura e cerca de 3 km de extensão (Rubbioli, 2004).

No interior da caverna encontram-se condutos inundados e a presença do maior lago subterrâneo do Brasil, o Lago do Cruzeiro, que tem aproximadamente 60 metros de largura e 12.000 m² de área (Figura 4.39) (Rubbioli, 1997) e (Coelho, 2006).



Figura 4.37 – Cãnion da entrada do Buraco do Inferno da Lagoa do Cemitério.

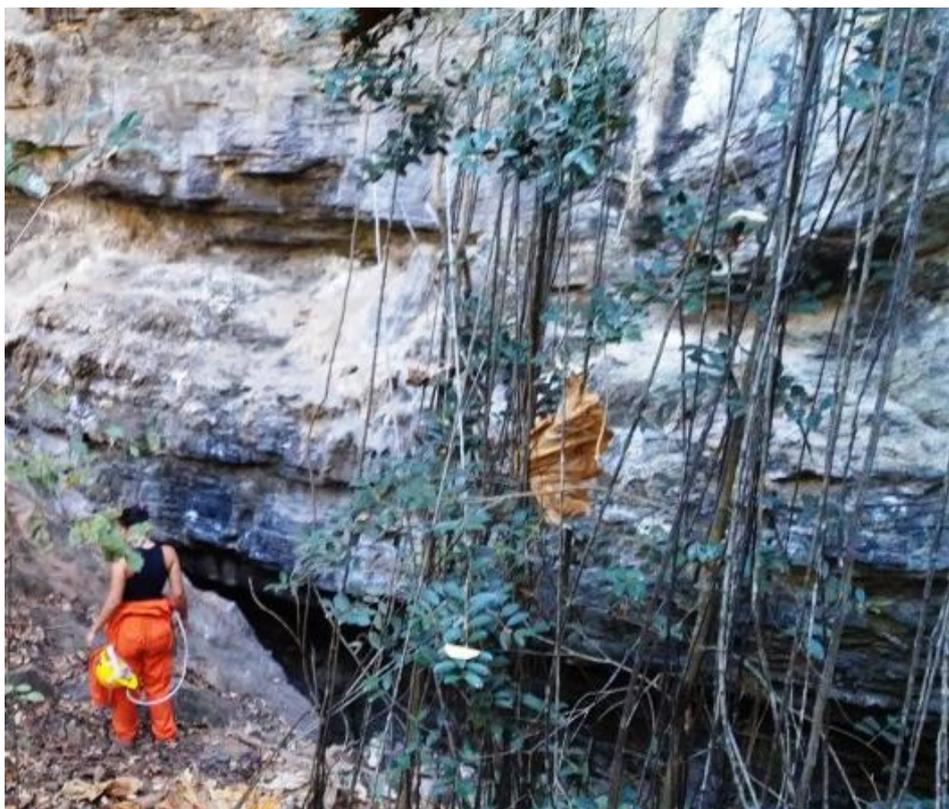


Figura 4.38 – Entrada para a caverna do Buraco do Inferno da Lagoa do Cemitério.



Figura 4.39 – Lago do Cruzeiro no interior do Buraco do Inferno da Lagoa do Cemitério. Fonte: novoeste.com

4.3.3 Sumidouro/Ressurgência do João Baio

Feição cárstica que integra o sistema Cárstico do Rio João Rodrigues, uma das poucas partes aflorantes. Esse sumidouro funciona como um sifão, pois armazena a água no interior da caverna, liberando para a parte externa novamente, e com isso mostrando uma variação do nível da água em um curto espaço de tempo (Figura 4.40) (Rubbioli, 1997).



Figura 4.40 - Sumidouro/Ressurgência do João Baio.

4.3.4 Gruta da Beleza

Essa feição cárstica é constituída de duas cavidades, uma na parte superior, que tem um conduto bem desenvolvido, porém sem uma grande continuidade (Figura 4.41). Na entrada da caverna na parte superior, observamos uma sedimentação recente, um conglomerado de idade quaternária.



Figura 4.41 – Gruta da Beleza inferior.

No compartimento inferior tem um maior conduto, porém os espeleotemas são mais escassos. No seu interior, há presença de um pequeno curso de água, e blocos obstruindo a passagem (Figura 4.42).



Figura 4.44 – Gruta da Beleza superior.

4.3.5 Poço do Surubim

Última ressurgência do sistema cárstico do Rio João Rodrigues. Um pequeno poço de águas azuladas, com vazão suave, e que deságua no Rio São Desidério, próxima a sede do município (Figura 4.43).



Figura 4.43 – Poço do Surubim. FONTE: Coelho, D. C. (2006).

5 Geofísica

Os estudos geofísicos na área piloto da Bacia do Rio São Desidério foram realizados através da aplicação do método gravimétrico e do método de eletrorresistividade, com o objetivo de identificar a compartimentação estrutural do sistema aquífero, definir extensões e espessuras, variações faciológicas, as relações com o embasamento e com o Sistema Aquífero Uruçuia.

O método gravimétrico tem aplicações importantes nos estudos das bacias sedimentares para a exploração de hidrocarbonetos e na compreensão da estrutura da crosta de grandes segmentos litosféricos. Tem também uma aplicação nobre na prospecção de jazidas de minerais metálicos e na delimitação do arcabouço de bacias sedimentares. A importância da gravimetria na pesquisa de água subterrânea é comparável ao seu uso na prospecção de petróleo. A identificação de falhas verticais e de espessamentos sedimentares é um processo rotineiro e de fácil compreensão na aplicação do método, embora muitas vezes envolvendo ambiguidades. A identificação de depressões tectônicas em bacias sedimentares tem uma importância fundamental na delimitação de aquíferos porosos, e conseqüentemente, na sua modelagem e na locação de poços.

O método de eletrorresistividade, por sua vez, tem uma vasta aplicabilidade na pesquisa de água subterrânea. Este método não permite, naturalmente, obter diretamente as resistividades verdadeiras das diferentes rochas presentes no volume de terreno envolvido na medição. Obtêm-se, antes, as

resistividades aparentes cujos valores dependem dos valores das resistividades verdadeiras das rochas presentes.

5.1 Gravimetria

O estudo gravimétrico constou da realização de 45 estações gravimétricas distribuídas regularmente na área. A obtenção das medidas de campo, nessas estações, foi realizada no período de 15 a 31 de junho de 2014. As coordenadas das estações gravimétricas são apresentadas Tabela 5.1 e a posição dessas estações é mostrada na Figura 5.2.

A aplicação da gravimetria na área piloto do rio São Desidério obedeceu a três etapas distintas: processamento, realce das anomalias, estimativa de profundidades.

➤ **Processamento**

Anomalia *Bouguer* Completa

Os levantamentos gravimétricos são baseados nas variações do campo gravimétrico terrestre que, por sua vez, são provocadas por diferenças de densidade entre as rochas em profundidade. Portanto, o objetivo desses levantamentos é constatar a presença de anomalias do campo terrestre e associá-las às suas causas: corpos pontuais em profundidade, descontinuidade de estruturas, contatos geológicos, etc. Para distinguir essas anomalias, os dados obtidos em campo devem ser corrigidos de diversas influências neles incorporadas no ato da aquisição.

O mapa de Anomalia *Bouguer* Completa representa o mapa de anomalias gravimétricas obtido após as correções de pré-processamento. Essas correções são as seguintes: maré luni-solar, deriva instrumental, correções da gravidade normal, de Ar-Livre, de *Bouguer* simples e de terreno. Isso permitiu a composição dos mapas de Anomalia *Bouguer* Completa.

Filtragens Regional e Residual

A priori, o método da gravimetria não possui um limite de profundidade de investigação. Assim, o mapa de Anomalia *Bouguer* Completa é composto pela contribuição do sinal gravimétrico de diversas fontes em diferentes profundidades. Por essa razão, o primeiro passo da interpretação dos dados gravimétricos consiste em separar o sinal gravimétrico associado às fontes rasas (de interesse exploratório) das anomalias de origem mais profunda, de dimensões crustais. Esse procedimento é denominado Filtragem Regional-residual que, no presente caso, foi realizada através da utilização da técnica denominada de Espectro de Potência.

Anomalias em grandes profundidades geram sinais gravimétricos de grandes comprimentos de onda, enquanto que anomalias mais superficiais são associadas a comprimentos de onda menores. Essa diferenciação no comprimento de onda permite separar as anomalias gravimétricas de interesse exploratório das anomalias geradas por fontes mais regionais. Essa separação tem caráter mais quantitativo que qualitativo, oferecendo, portanto, uma boa precisão. Os mapas gerados após as filtragens regional e residual são denominados de:

- Mapa *Bouguer* regional: referente às anomalias gravimétricas mais profundas e de escala regional;
- Mapa *Bouguer* residual: contendo as anomalias gravimétricas mais superficiais isoladas após a filtragem.

Tabela 5.1– Coordenadas das estações gravimétricas

ESTAÇÃO	ZONA	LONG. UTM	LAT. UTM
D01	23L	503099.00 m E	8631545.00 m S
D02	23L	505985.00 m E	8624504.00 m S
D03	23L	505310.00 m E	8618540.00 m S
D04	23L	502827.00 m E	8610159.00 m S
D05	23L	514716.00 m E	8597862.00 m S
D06	23L	512773.00 m E	8625103.00 m S
D07	23L	517108.00 m E	8619569.00 m S
D08	23L	520531.00 m E	8611774.00 m S
D09	23L	522196.00 m E	8603897.00 m S
D10	23L	521843.00 m E	8591135.00 m S
D11	23L	521811.00 m E	8626336.00 m S
D12	23L	527309.00 m E	8618631.00 m S
D13	23L	530313.00 m E	8609579.00 m S
D14	23L	531653.00 m E	8600144.00 m S
D15	23L	534169.00 m E	8590019.00 m S
D16	23L	539001.00 m E	8615611.00 m S
D17	23L	539998.00 m E	8600898.00 m S
D18	23L	542191.00 m E	8622422.00 m S
D19	23L	545785.00 m E	8615167.00 m S
D20	23L	549337.00 m E	8606373.00 m S
D21	23L	547581.00 m E	8599822.00 m S
D22	23L	547832.00 m E	8592003.00 m S
D23	23L	550480.00 m E	8629477.00 m S
D24	23L	551682.00 m E	8619130.00 m S
D25	23L	555793.00 m E	8605502.00 m S
D26	23L	555759.00 m E	8596622.00 m S
D27	23L	557164.00 m E	8622485.00 m S
D28	23L	561217.00 m E	8614844.00 m S
D29	23L	563406.00 m E	8606371.00 m S
D30	23L	566567.00 m E	8597178.00 m S
D31	23L	565595.00 m E	8627265.00 m S
D32	23L	570711.00 m E	8617557.00 m S
D33	23L	575560.00 m E	8609434.00 m S
D34	23L	574594.00 m E	8600514.00 m S
D35	23L	570336.00 m E	8632624.00 m S
D36	23L	577314.00 m E	8627077.00 m S
D37	23L	582913.00 m E	8621793.00 m S
D38	23L	584838.00 m E	8608285.00 m S
D39	23L	582950.00 m E	8628250.00 m S
D40	23L	589236.00 m E	8614845.00 m S
D41	23L	594854.00 m E	8607157.00 m S
D42	23L	588988.00 m E	8635726.00 m S
D43	23L	593713.00 m E	8623470.00 m S
D44	23L	597303.00 m E	8629940.00 m S
D45	23L	578226.00 m E	8594710.00 m S

Uma vez isoladas as anomalias de interesse, os procedimentos de interpretação geológica consideram, normalmente, apenas o mapa residual.

➤ **Realce das anomalias**

Derivadas das medições gravimétricas

As técnicas de realce das anomalias gravimétricas utilizadas nessa interpretação foram as seguintes: cálculo das derivadas horizontais e cálculo da derivada vertical. A utilização do cálculo de derivadas horizontais tem como principal objetivo auxiliar na localização de falhas e contatos verticais entre blocos com contrastes de densidades significativos. Para falhas sub-verticais, os mapas de derivadas horizontais (nas direções x e y) apresentam picos (valores máximos) do gradiente do campo gravimétrico sobre as discontinuidades detectadas. O mapa de derivadas verticais (em z) Figura 5.1, por sua vez, destaca o comportamento estrutural observado na área. Neste mapa fortes gradientes gravimétricos sugerem grandes contrastes de densidade, enquanto que menores gradientes gravimétricos traduzem áreas com menores contrastes de densidade.

O corte mostrado na Figura 5.1 apresenta o comportamento das derivadas horizontais (A) e vertical (B), obtido a partir de modelos sintéticos de uma zona de contato entre terrenos com diferentes densidades.

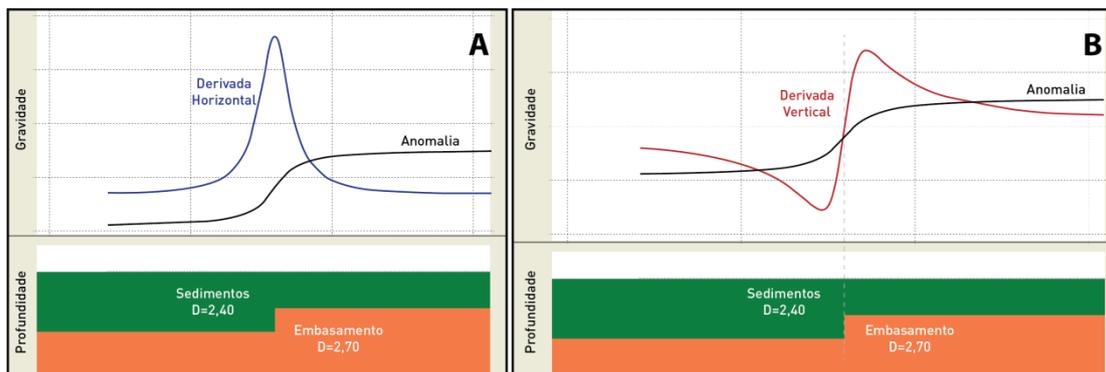


Figura 5.1: Perfil da derivada horizontal (linha azul em A) e vertical (linha vermelha em B) calculados para o perfil gravimétrico (linha preta em A e B) gerado pelo modelo sintético de uma zona de falha.

➤ **Estimativa de profundidades**

A estimativa de profundidades do embasamento foi efetuada a partir da técnica da Deconvolução de Euler. Essa técnica se baseia na equação de Euler, dada pela Equação 5.1:

$$(x - x_0) \frac{\partial M}{\partial x} + (y - y_0) \frac{\partial M}{\partial y} + (z - z_0) \frac{\partial M}{\partial z} = \eta(R - M) \quad \text{Equação 5.1}$$

onde x_0 , y_0 e z_0 são as coordenadas da fonte anômala; M a anomalia gravimétrica; R o campo gravimétrico residual e η o índice estrutural.

O índice estrutural representa a medida da taxa de decaimento da anomalia gravimétrica em função da distância entre a fonte e o ponto de medida. Essa medida depende diretamente da geometria da fonte da anomalia gravimétrica.

Para a avaliação das profundidades, foi utilizado o valor 1 para o índice estrutural, e foram introduzidas estruturas fictícias equivalentes tipo sills para representar os altos estruturais detectados. O valor 1 para o índice estrutural foi escolhido com base na concepção do embasamento como horizontal ou suavemente ondulado.

A deconvolução de Euler foi aplicada através do software Geosoft Oasis Montaj, a partir do algoritmo de deconvolução localizada. Esse cálculo considera que o tamanho da janela utilizada para computar a resposta é definido pelos pontos de inflexão da amplitude do sinal analítico mais próximo aos máximos locais do mapa.

As estimativas de profundidade do embasamento obtidas, juntamente com informações geológicas disponíveis, foram utilizadas como vínculos para as modelagens com geometria 2D e 3D efetuadas. Estes vínculos assumiram que os principais contrastes de densidades, na área piloto do riacho do Juá, decorrem de variações de profundidade do embasamento do Grupo Bambuí.

5.1.1 Modelagem com geometria 2D e 3D

A modelagem da área piloto do rio São Desidério foi dividida em duas fases distintas. A primeira considera o ajuste de perfis 2D com orientação norte-sul (Figura 5.8). Esse ajuste foi efetuado admitindo-se a região como composta por camadas lateralmente homogêneas com densidades de $2,75 \text{ g/cm}^3$ para o embasamento cristalino, $2,59 \text{ g/cm}^3$ para a densidade média dos sedimentos que o recobrem e $2,00 \text{ g/cm}^3$ para a porção saturada desses sedimentos. Essas densidades foram assumidas de acordo com valores médios de densidades para cada grupo de rochas, disponíveis na literatura.

Para todos os modelos 2D gerados, são apresentados não apenas a distribuição das camadas em profundidade como o sinal real obtido pela interpolação dos dados amostrados (linha azul) e o sinal gerado pelas camadas sintéticas modeladas (linha vermelha). Quanto mais próximo o comportamento observado entre ambos os perfis, melhor o ajuste do modelo sintético 2D.

A segunda etapa da modelagem consistiu na composição dos modelos 3D das áreas estudadas. Esses modelos foram gerados a partir do ajuste 2D dos perfis N-S. Esses modelos foram compostos com o objetivo de se obter uma melhor visualização do comportamento lateral do embasamento cristalino.

5.1.2 Resultados obtidos

Os resultados obtidos são consubstanciados nos mapas e modelagem seguintes:

- Mapa de anomalia *Bouguer* completa – Figura 5.2;
- Mapa de anomalia *Bouguer* regional – Figura 5.3;
- Mapa de anomalia *Bouguer* residual – Figura 5.5;
- Mapa de derivadas nas direções E-W, N-S e vertical – Figura 5.5, Figura 5.6 e Figura 5.7;
- Modelagens 2D e 3D – Figura 5.8.

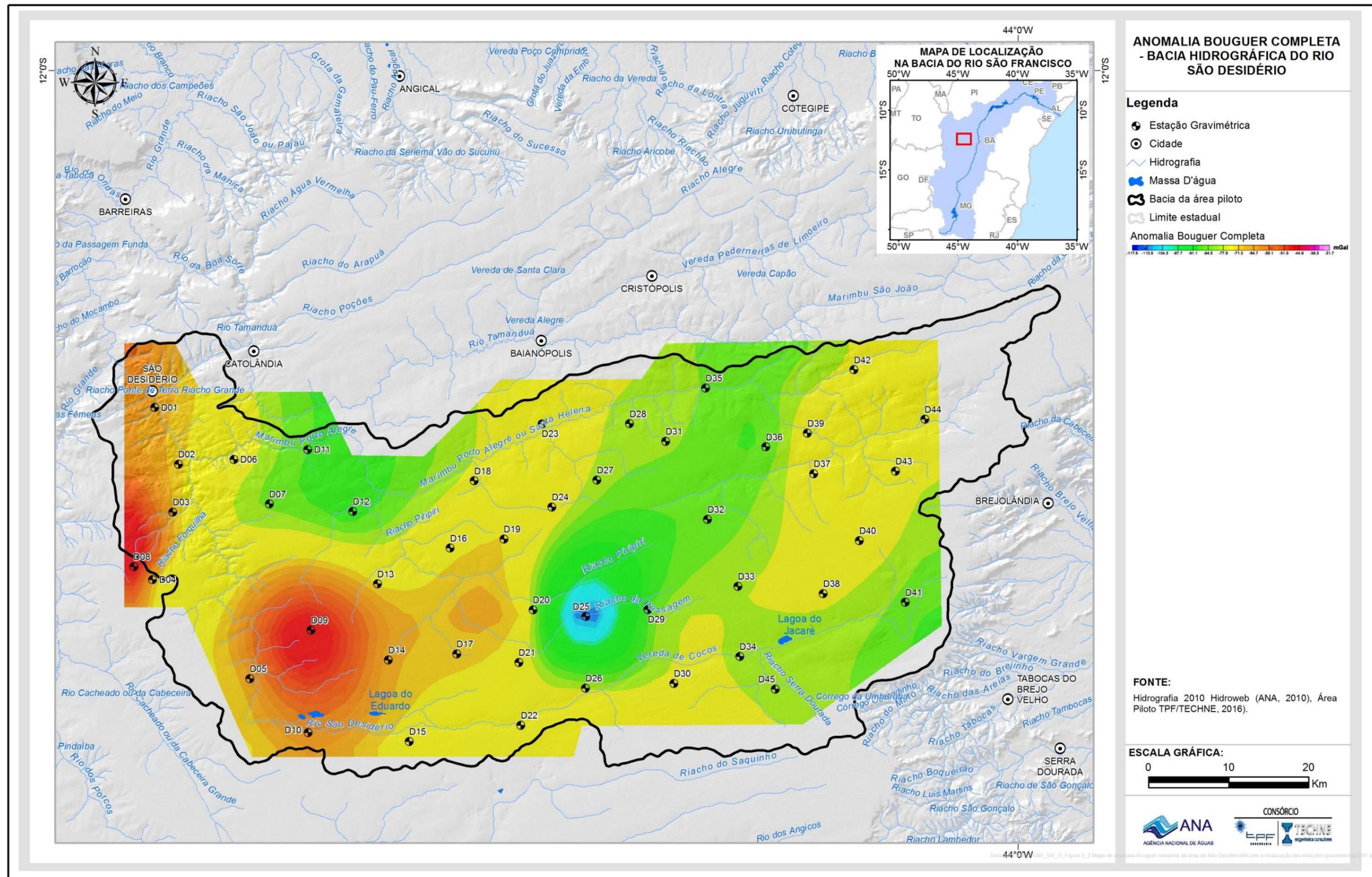


Figura 5.1: Mapa de anomalia *Bouguer* completa da área de São Desidério/BA, com a localização das estações gravimétricas D01 a D45.

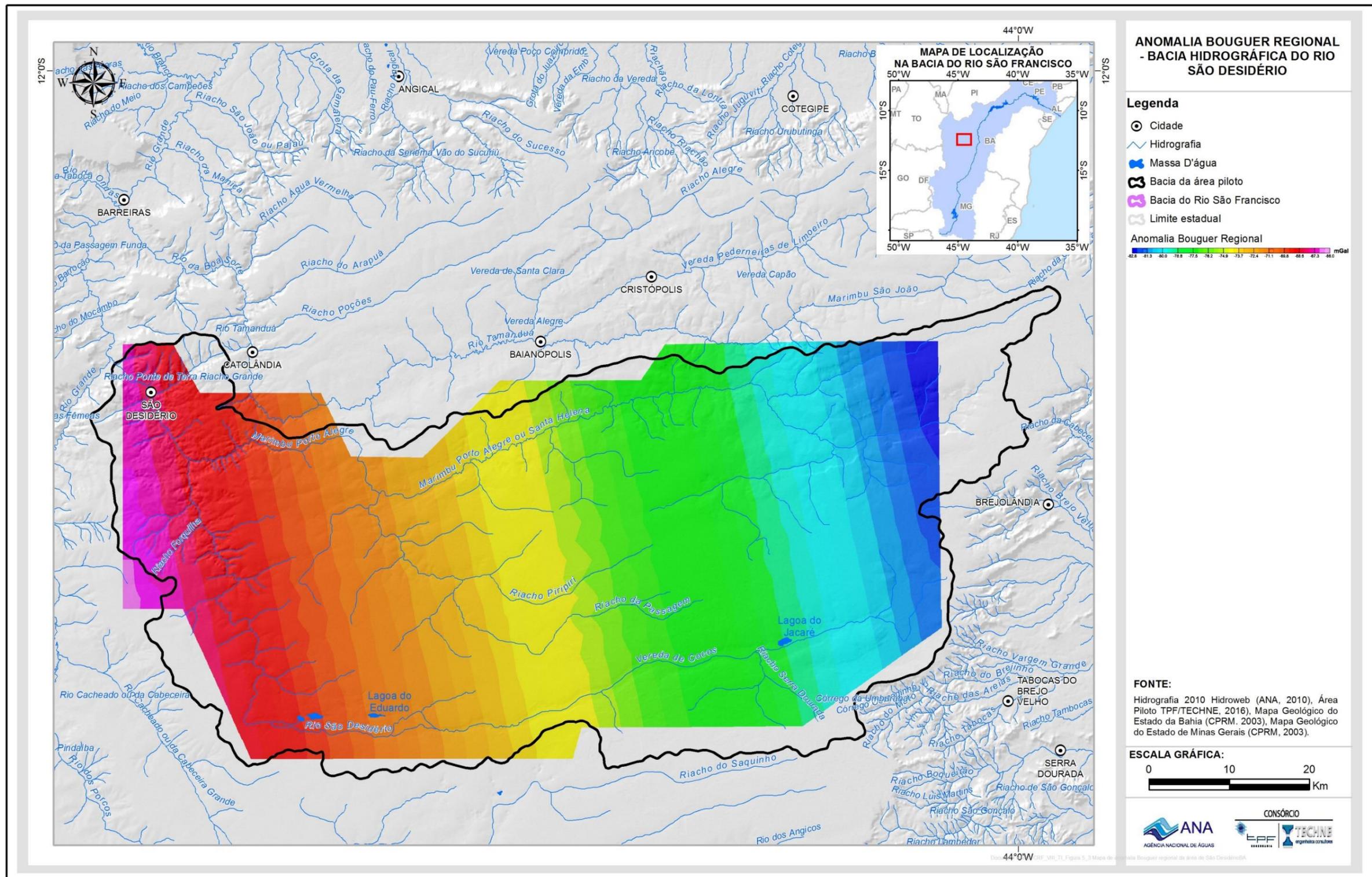


Figura 5.2: Mapa de anomalia Bouguer regional da área de São Desidério/BA.

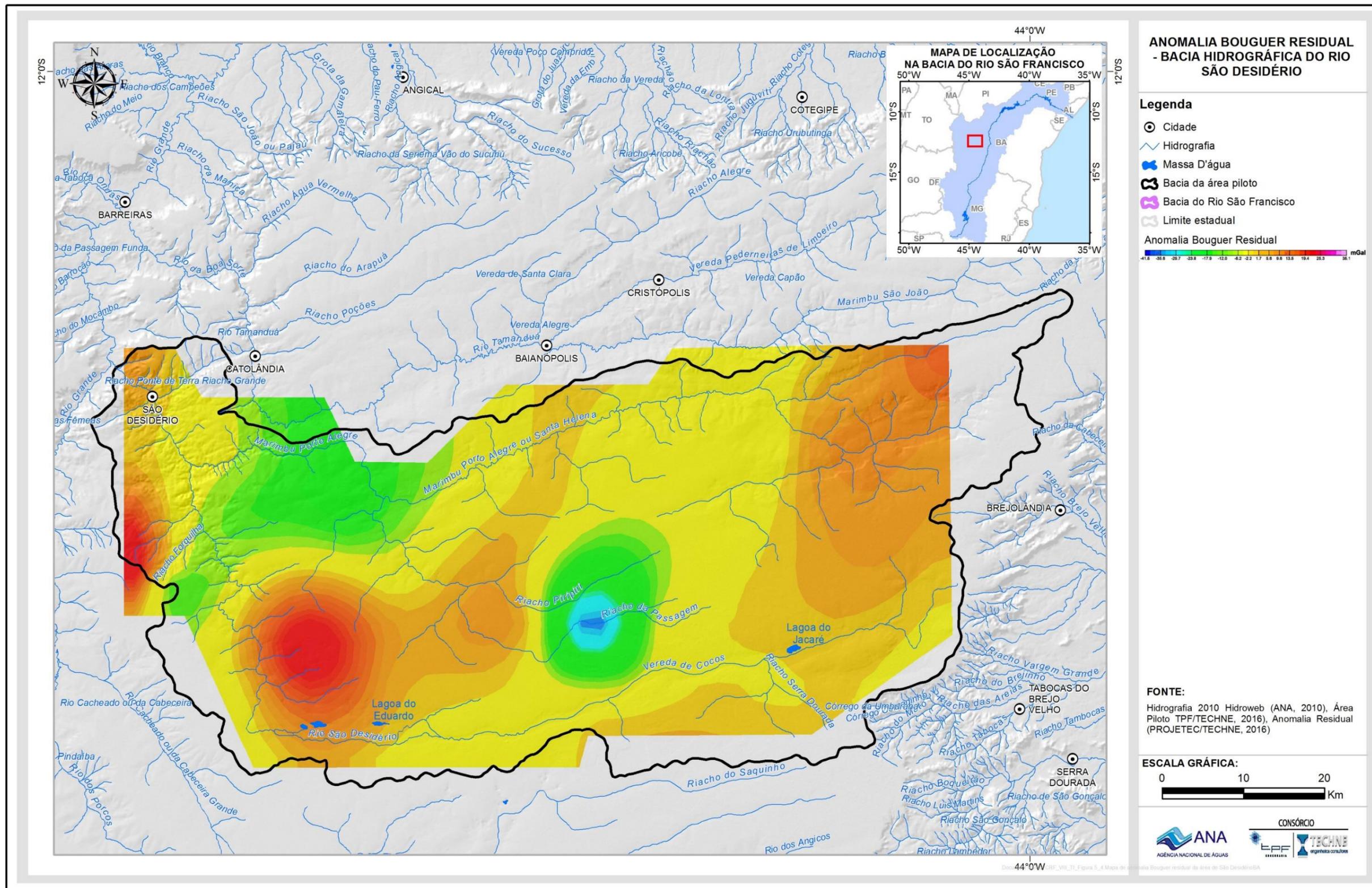


Figura 5.3: Mapa de anomalia Bouguer residual da área de São Desidério/BA.

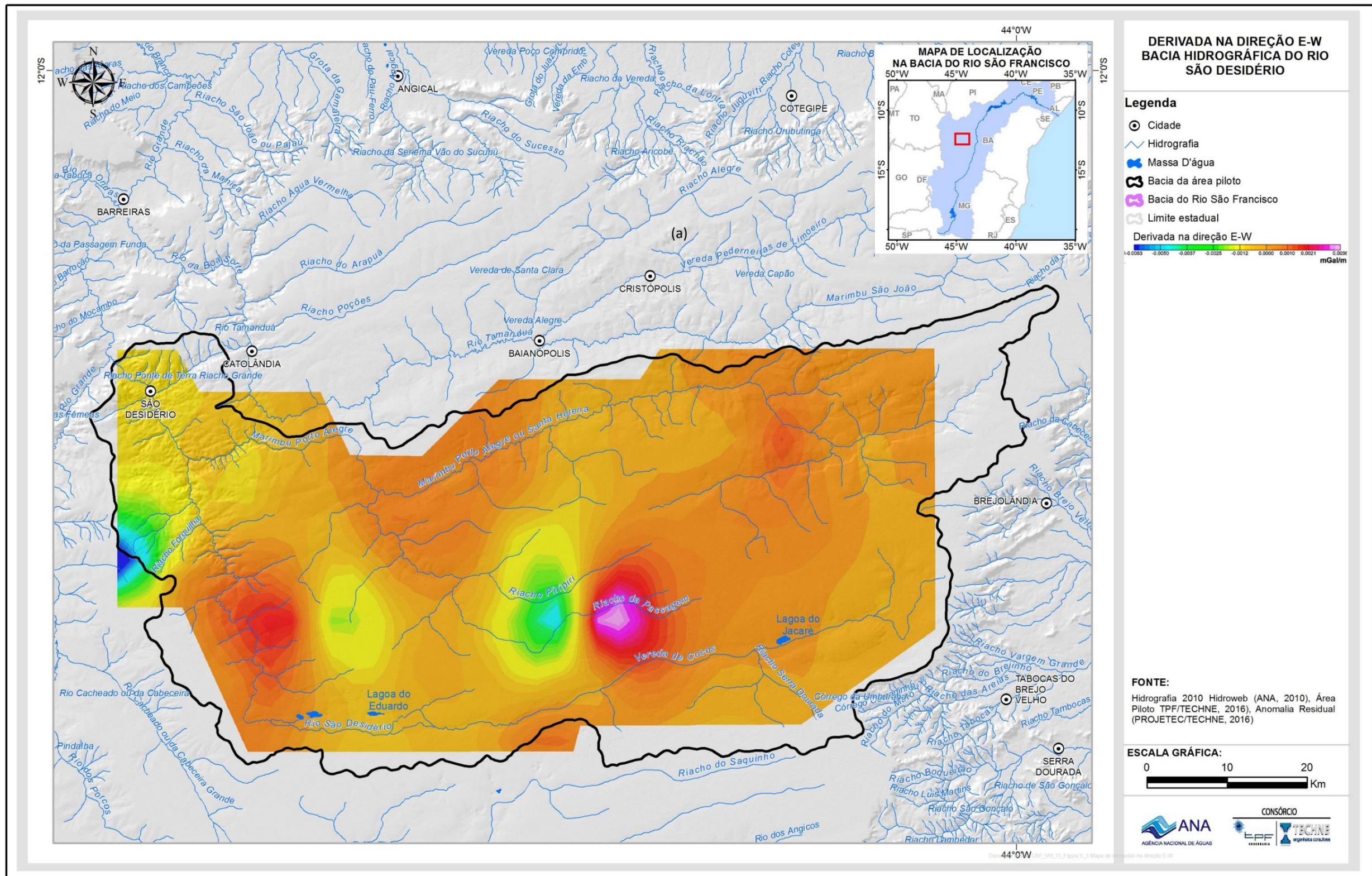


Figura 5.4: Mapa de derivadas na direção E-W.

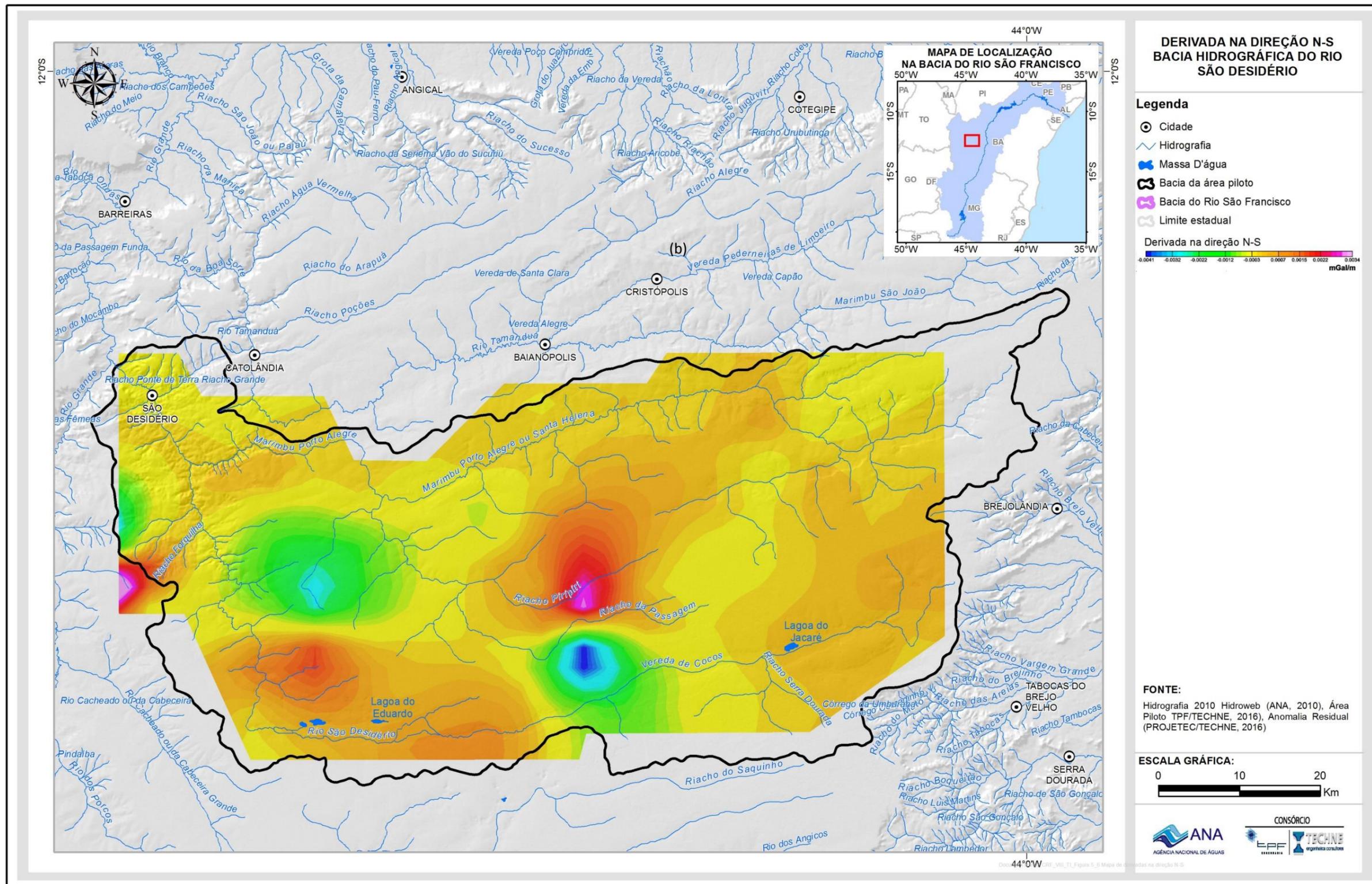


Figura 5.5: Mapa de derivadas na direção N-S.

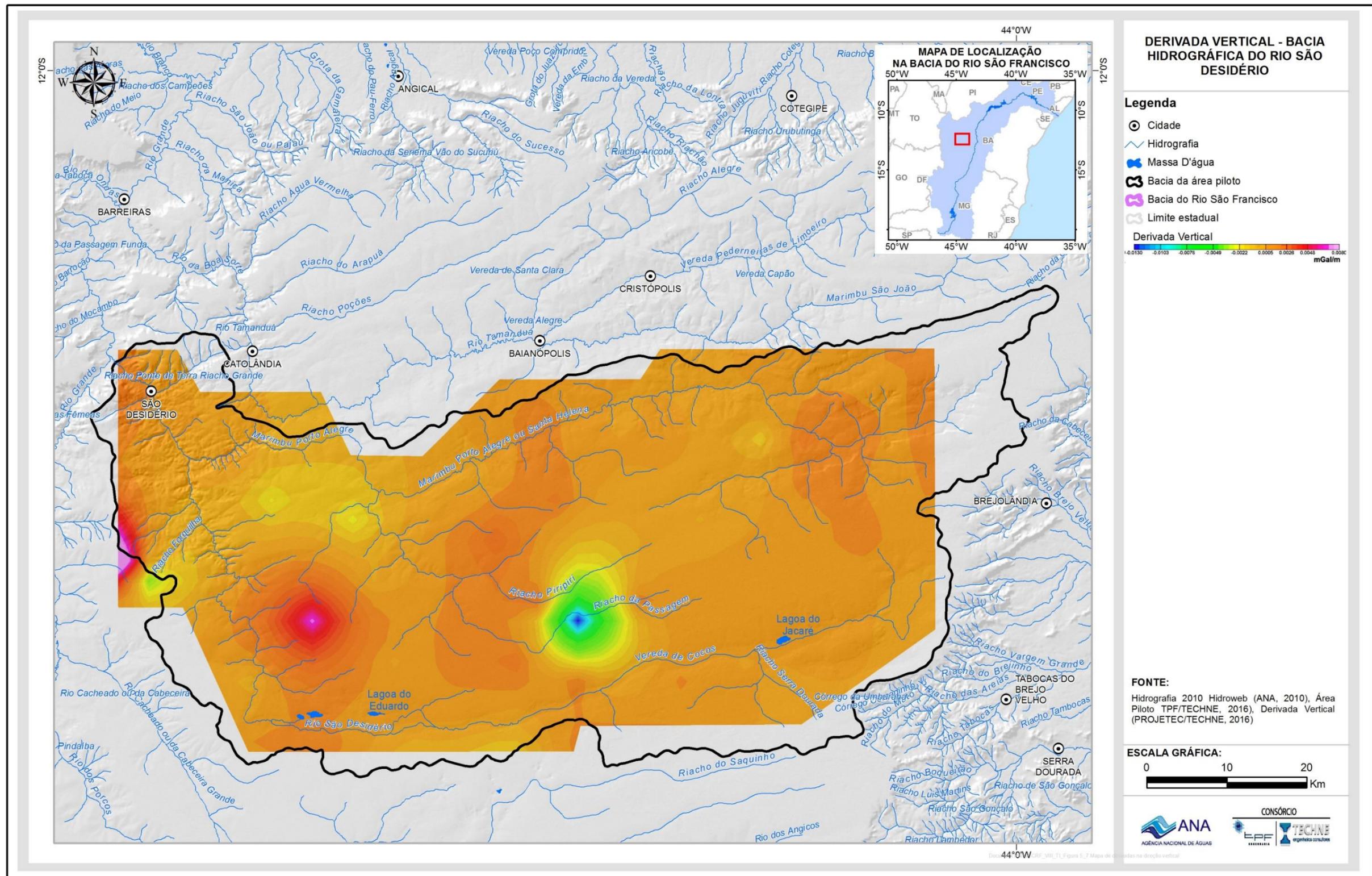


Figura 5.6: Mapa de derivadas na direção vertical.

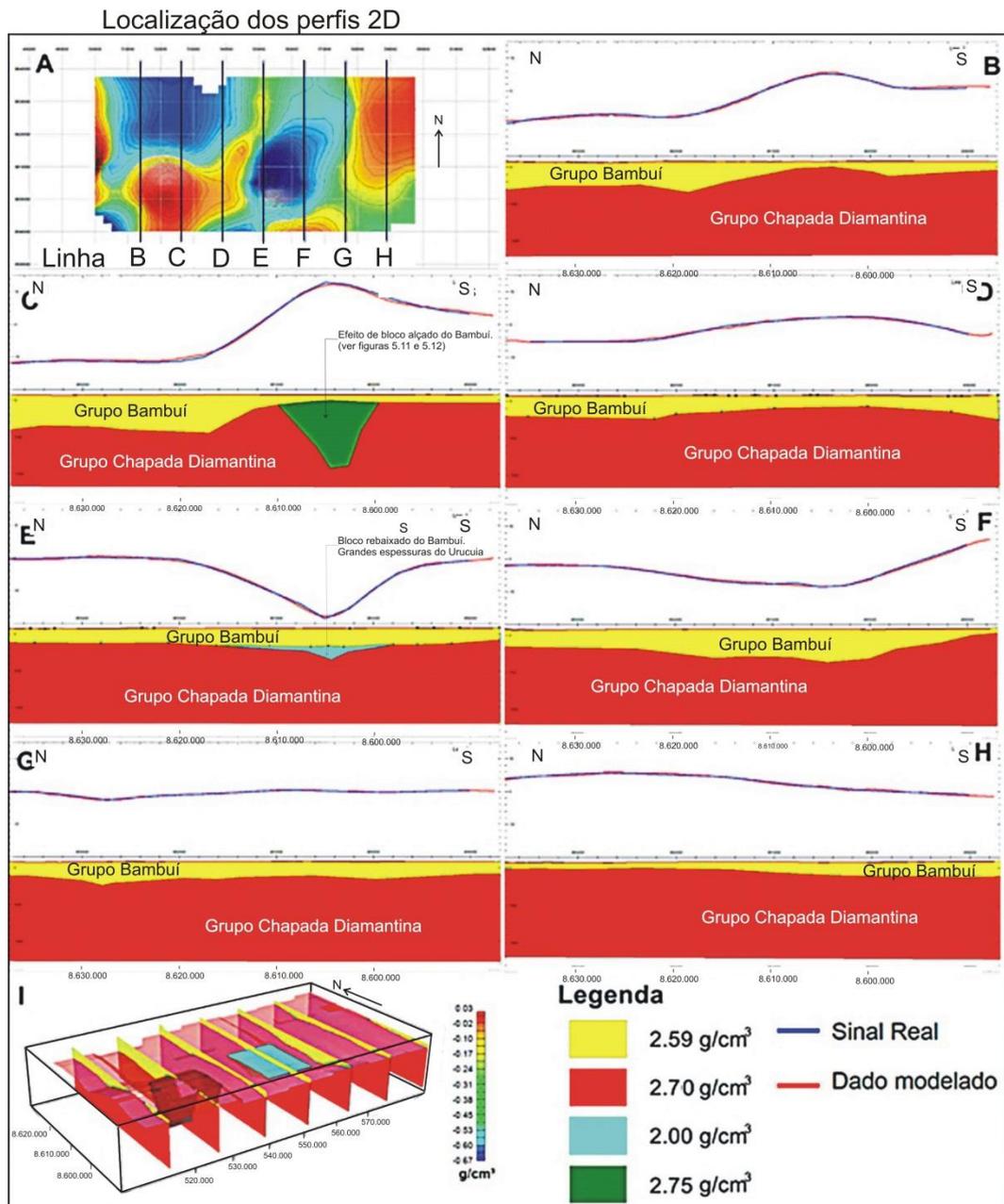


Figura 5.8: Modelagens 2D e 3D da região de São Desidério: (A) Localização dos perfis modelados; Seções N-S dos modelos nas coordenadas (B) 513899 m E, (C) 526277 m E, (D) 538743 m E, (E) 551385 m E, (F) 563851 m E, (G) 576405 m E, (H) 588784 m E; E (I) comparação dos perfis modelados 2D com a modelagem 3D.

A maior parte das estações gravimétricas se localiza na Chapada de Baianópolis sobre arenitos do Grupo Urucuia cujas espessuras, como será informado no item 6.1.1, ultrapassa os 100 metros em alguns locais. Considerando essa espessura e o significativo contraste de densidade entre os arenitos e seu substrato calcário, os primeiros condicionaram fortemente as medições gravimétricas. No mapa de derivadas verticais (Figura 5.7), com efeito, se manifesta uma significativa anomalia de gradientes negativos, alinhada NNE com cerca de 40 km de extensão por cerca de 10 a 15 km de largura. Essa anomalia inclui o poço 15 que revelou uma espessura dos arenitos Urucuia superior a 115 metros. Pode-se, portanto, considerar que o mapa de derivadas verticais realça o contato horizontal Urucuia/Bambuí e delinea os limites de uma depressão do topo do Bambuí, assoreada pelos clásticos Urucuia. Essa depressão, aliás, já havia sido observada anteriormente, quando da análise dos perfis litológicos dos poços SIAGAS. Acrescenta-se que a mesma é retalhada por quebramentos orientados ENE-WSW que lhe conferem uma discreta estruturação de blocos alternadamente alçados e rebaixados (Figura 5.7).

A feição acima discutida é flagrada também no mapa de anomalias Bouguer residuais (Figura 5.4), onde se manifesta por uma extensa zona de anomalia negativa orientada NNE, coincidente com a zona de anomalia do gradiente vertical. Neste mapa Bouguer a zona de anomalia negativa é flanqueada, a nordeste e a sudoeste, por nítidas anomalias positivas que evidenciam os topos elevados dos calcários Bambuí, limitando a depressão assoreada por arenitos Urucuia.

No que diz respeito ao substrato do Grupo Bambuí, merece referência a ocorrência do chamado Complexo Gnaissico-migmatítico de Correntina, de idade Arqueana, aflorante na região de Correntina, na base do Bambuí, 100 km ao sul da área estudada. Por outro lado, o Arqueano aflora extensivamente na base do Bambuí, no estado do Tocantins, 180 km a oeste. Assim, na ausência de maiores informações, vamos considerar a possibilidade de que seja este Arqueano o substrato do Grupo Bambuí na área piloto do rio São Desidério e que ele seja o substrato gravimétrico, discernível graças ao seu contraste de densidade com os calcários acima.

A partir dos modelos com geometria 2D e 3D (Figura 5.8) e dos resultados dos cálculos de profundidade pela equação de Euler, foi possível estimar uma profundidade média da ordem de 1500 metros para topo do substrato Arqueano.

O poço exploratório da Petrobras 2-ANP-3-BA, perfurado em outubro de 2013 cerca de 10 km a SW da cidade de Luís Eduardo Magalhães, mostra o embasamento Arqueano aproximadamente a apenas 850 m de profundidade (cota -100 m). O poço 1-RC-001-GO, perfurado pela Petrobras em 1989 cerca de 30 km a SE da cidade de Alvorada do Norte, mostra o topo desse embasamento na cota de -340 metros. Têm-se assim um desnível de 240 metros em 276 quilômetros.

Considerando-se o topo do embasamento a 1500 metros de profundidade (cota da ordem de -720 metros) na Chapada de Baianópolis, teríamos um desnível de 620 metros em 140 km (entre o poço 2-ANP-3-BA e a Chapada de Baianópolis). Por outro lado, as evidências de alçamento estrutural da Chapada

de Baianópolis, acima apontadas (item 4.3.2) deixam a expectativa de um embasamento também alçado, em cotas pelo menos da mesma ordem de grandeza que aquela do poço 2-ANP-3-BA. Dessa forma, admite-se que o método gravimétrico, nas condições de aplicação disponíveis, teve um fraco poder de resolução, o que levou à obtenção de estimativas superestimadas da profundidade do embasamento (1500 metros).

5.2 Eletrorresistividade

Os serviços de eletrorresistividade na área piloto da Bacia do Rio São Desidério consistiram de sondagens elétricas e de um caminhamento elétrico. Para a obtenção da resistividade aparente mediu-se a diferença de potencial elétrico ΔV , criada entre os eletrodos internos M e N do quadripolo quando se fez circular no solo, através dos eletrodos externos A e B, uma corrente elétrica contínua de intensidade i conhecida.

A resistividade aparente para um dado arranjo do quadripolo AMNB foi obtida a partir da expressão abaixo:

$\rho_a = K \cdot \Delta V/i$, em que:

- ρ_a = Resistividade aparente em ohm.m
- K = Constante adimensional dependente do arranjo geométrico AMNB
- ΔV = Diferença de potencial elétrico, em mV, medida entre os eletrodos internos M e N do quadripolo.
- i = Intensidade da corrente elétrica contínua, medida em mA, que circula no solo através dos eletrodos externos A e B.

Ao manter o centro do quadripolo AMNB e realizar uma série de medições de resistividade aparente, com o aumento do espaçamento AB, a cada nova medição, simetricamente em relação ao centro, fez-se uma exploração vertical, pois em cada nova medição a corrente elétrica circulará mais profundamente que na medição anterior.

Os valores de resistividade aparente, assim obtidos, plotados graficamente em papel bilogarítmico contra os respectivos valores de AB/2, permitem obter uma curva que é a representação gráfica da função ρ_a (AB/2). Esta curva é comumente denominada de curva de resistividades aparentes ou diagrama elétrico ou, simplesmente, sondagem elétrica. As sondagens elétricas fornecem, portanto, informações sobre a variação vertical das resistividades aparentes, quando interpretada, permite avaliar a natureza e a estrutura do subsolo.

A técnica da exploração horizontal ou perfil de resistividade ou ainda, caminhamento elétrico, consiste em efetuar medições de resistividade aparente ao longo de um perfil, deslocando-se o quadripolo como um todo, à cada nova medição. Como o comprimento da linha AB permanece sempre constante, este procedimento permite investigar o subsolo lateralmente a uma profundidade constante.

Tanto para a técnica de sondagem como de caminhamento, na área piloto da Bacia do Rio São Desidério, utilizou-se como dispositivo de medição, em ambos os casos, o quadripolo linear simétrico de Schlumberger. As correntes injetadas no solo foram medidas com uma fonte de corrente contínua modelo

TDC 1000/12R2A, marca Tectrol. Essa fonte debita até 1.000 mA e oferece tensão máxima de saída de 1.000 Volts. O potencial V resultante da corrente injetada foi medido com o auxílio de um multímetro digital³.

5.2.1 Sondagens Elétricas

Foram realizadas sobre rochas do Grupo Bambuí, no âmbito do presente estudo, 28 SEVs na área piloto de São Desidério. O comprimento de linha AB de emissão de corrente foi de 4000 metros em praticamente todas as SEVs. Seis delas, entretanto, tiveram linha AB menor, em função de dificuldades operacionais locais. A posição dessas SEVs é mostrada na Figura 5.9 abaixo. A Tabela 5.2 mostra suas coordenadas. Na Figura 5.10 mostra-se o comportamento mais comum dessas SEVs.

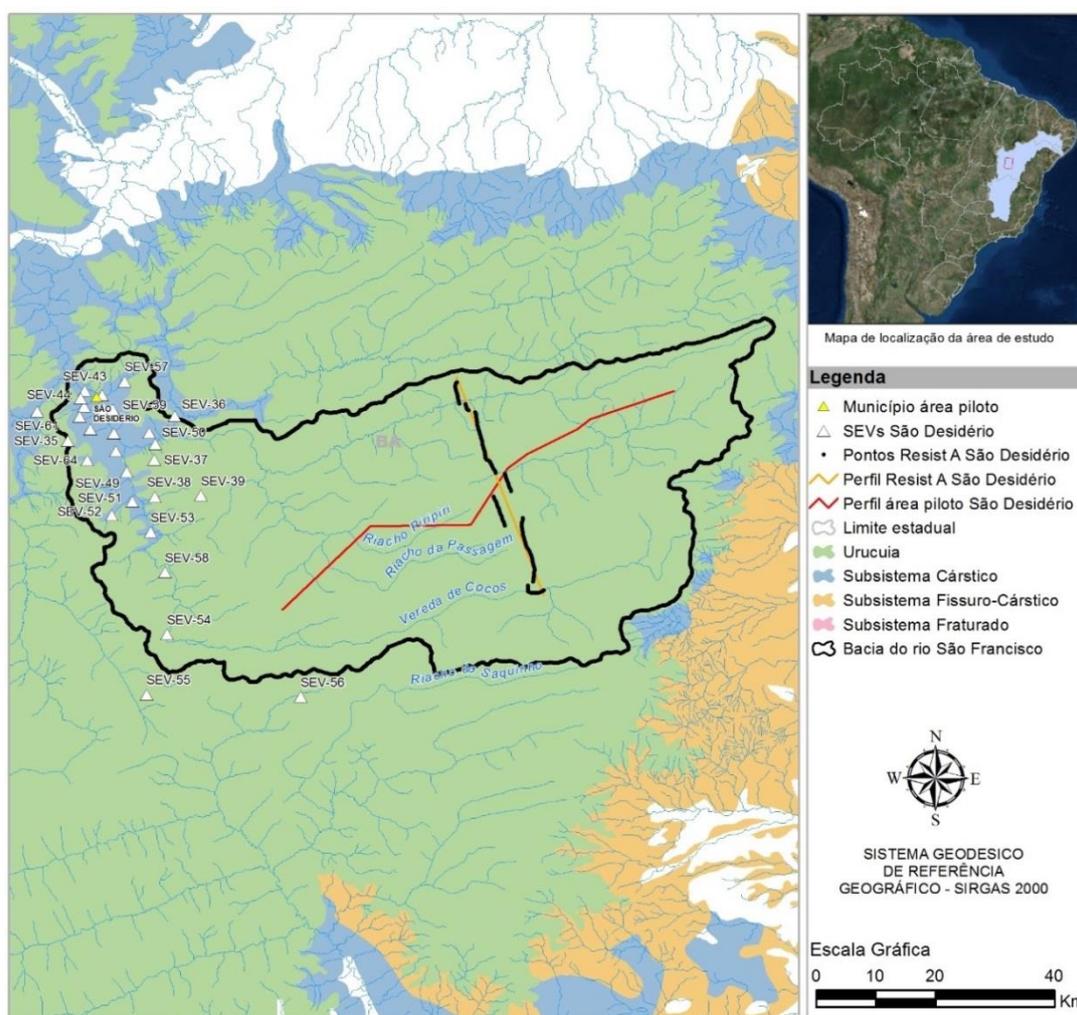


Figura 5.7: Sondagens Elétricas Verticais na área piloto da Bacia do Rio São Desidério.

Além das SEVs acima citadas, foram consideradas SEVs de estudo anterior da ANA (*Estudos Hidrogeológicos e de Vulnerabilidade do Sistema Aquífero*

³ Esse potencial é, na verdade, a diferença de potencial ΔV entre os eletrodos M e N do dispositivo Schlumberger. A razão $\Delta V/MN$, utilizada na obtenção da resistividade aparente, representa uma aproximação do campo elétrico no centro do dispositivo.

Urucuia e Proposição de Modelo de Gestão Integrada e Compartilhada), obtidas na região. Essas SEVs anteriores são as de números N14 e 32, cujos comportamentos são também mostrados na Figura 5.10. Desse mesmo estudo, dez outras SEVs, localizadas no âmbito do Chapadão do Urucuia propriamente dito, foram também avaliadas, tendo sido muito úteis na compreensão do comportamento das SEVs neste estudo realizado na área piloto do rio São Desidério.

Tabela 5.2 – Relação das SEVs na área piloto da Bacia do Rio São Desidério.

SEV	ZONA	Longitude UTM	Latitude UTM
SEV-35	23L	498149.00 m E	8626157.00 m S
SEV-36	23L	515655.00 m E	8630352.00 m S
SEV-37	23L	512279.00 m E	8622974.00 m S
SEV-38	23L	512346.00 m E	8616820.00 m S
SEV-39	23L	519893.00 m E	8617034.00 m S
SEV-40	23L	505638.00 m E	8627419.00 m S
SEV-41	23L	503707.00 m E	8633831.00 m S
SEV-42	23L	500828.00 m E	8631950.00 m S
SEV-43	23L	500926.00 m E	8634573.00 m S
SEV-44	23L	500239.00 m E	8633342.00 m S
SEV-45	23L	503867.00 m E	8631027.00 m S
SEV-46	23L	500047.00 m E	8630305.00 m S
SEV-47	23L	501824.00 m E	8628136.00 m S
SEV-48	23L	505987.00 m E	8624489.00 m S
SEV-49	23L	507763.00 m E	8620999.00 m S
SEV-50	23L	512446.00 m E	8625621.00 m S
SEV-51	23L	508676.00 m E	8616018.00 m S
SEV-52	23L	505297.00 m E	8613707.00 m S
SEV-53	23L	511706.00 m E	8610850.00 m S
SEV-54	23L	514347.00 m E	8593745.00 m S
SEV-55	23L	510985.00 m E	8583616.00 m S
SEV-56	23L	536226.00 m E	8583200.00 m S
SEV-57	23L	507430.00 m E	8636187.00 m S
SEV-58	23L	514083.00 m E	8604152.00 m S
SEV-59	23L	505494.00 m E	8631415.00 m S
SEV-60	23L	511426.00 m E	8627513.00 m S
SEV-61	23L	493129.00 m E	8631117.00 m S
SEV-64	23L	501346.00 m E	8622914.00 m S

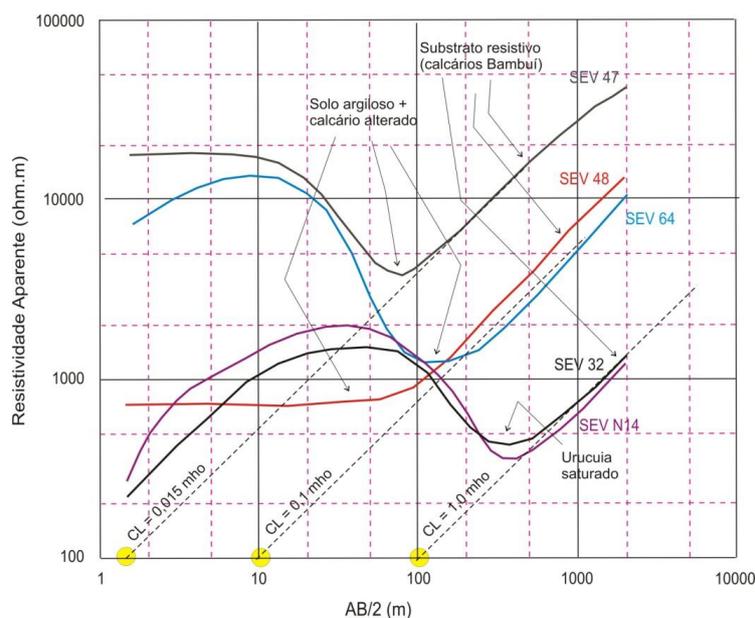


Figura 5.8: Tipo de SEV mais comum sobre calcários do Grupo Bambuí.

Na Figura 5.10, acima mostrada, os seguintes pontos são enfatizados:

- A análise de perfis litológicos de poços e dos seus níveis estáticos (ver item 6.4 adiante) autoriza correlacionar a sequência geológica à sequência elétrica conforme mostrado no corpo da Figura 5.10. Essa correlação, válida para a Chapada de Baianópolis, deve ser levada em conta e reavaliada no caso de uma eventual reinterpretação do conjunto de SEVs obtido na Bacia do Urucuia.
- As sondagens elétricas N14 e 32, realizadas sobre sedimentos Urucuia (ver Figura 5.10), se caracterizam por grandes valores da condutância longitudinal⁴ do horizonte condutivo basal. Esses valores são de 10 a 60 vezes maiores que os valores da condutância longitudinal dos condutivos basais das SEVs realizadas sobre os calcários do Grupo Bambuí (SEVs 47,48 e 64);
- Essas grandes condutâncias basais correspondem, em princípio, a sedimentos Urucuia saturados ou ao Aquífero Urucuia;
- As pequenas condutâncias basais são condicionadas, em princípio, por variados recobrimentos dos calcários aflorantes e, em certa extensão, pelo topo alterado desses calcários;
- Quer se tratem de SEVs sobre o Urucuia ou sobre o Grupo Bambuí, os sedimentos carbonatados desse grupo, muito espessos⁵, não são ultrapassados por SEVs com AB de 4000 metros e se comportam, assim, como um substrato elétrico resistivo. Nada se pode dizer, nesse caso, sobre suas espessuras;

⁴ Condutância longitudinal é um dos dois parâmetros de Dar Zarrouk. É definida como a razão entre a espessura de uma camada eletricamente condutiva e sua resistividade verdadeira.

⁵ O comportamento do ramo terminal ascendente a 45°, nas SEVs da Figura 5.10, indica que o Grupo Bambuí não é ultrapassado pelas mesmas, daí dizer-se que o mesmo é "muito espesso". Nos poços exploratórios da Petrobras, 2-ANP-3-BA e 1-RC-001-GO essas espessuras são da ordem de 700 metros.

5.2.2 Caminhamento elétrico

Foi realizado apenas um perfil de resistividade na área piloto de São Desidério, constituído de 134 estações de medição, espaçadas de 300 metros.

Esse perfil, com 40,2 km de extensão, foi locado sobre sedimentos Urucuia com objetivo de detectar vestígios de movimentação tectônica recente. Esperava-se, assim, abrir a atraente perspectiva de se detectar e mapear indiretamente falhamentos do embasamento, a grandes profundidades, detectando e mapeando descontinuidades elétricas nos sedimentos Urucuia, a pequena profundidade.

O perfil realizado e sua interpretação são mostrados adiante, na Figura 5.11. A linha AB de 200 metros utilizada provê a varredura lateral de uma parte do terreno com cerca de 40 a 50 metros de espessura. De acordo com as SEVs disponíveis (ver Figura 5.10), os valores de resistividade aparente medidos neste perfil, com a linha AB acima citada, admitem os seguintes significados:

- Valores na faixa de 1000 a 2000 ohm.m correspondem, geralmente, a sedimentos Urucuia espessos e secos (ver SEVs N14 e 32 na Figura 5.10);
- Valores muito altos, entre 3000 e 8000 ohm.m, traduzem os calcários com topo aflorante ou próximo da superfície;
- Valores muito baixos, da ordem de 250 ohm.m são condicionados por sedimentos Urucuia saturados ou por solo de alteração dos calcários.

Tabela 5.3 – Poços de apoio ao perfil da Figura 5.11.

Refer. Consórcio	Refer. Siagas	Prof. do poço (m)	Espess. Urucuia (m)	Penetração no Bambuí (m)	Ent. d'água 1 (m)	Ent. d'água 2 (m)
17	2900014189	114	>114	0		
35	2900004237	60	44	16	31	40
38	2900004242	46	> 46	0		

Com base no comportamento elétrico acima indicado e buscando apoio em três poços Siagas com perfil litológico (Tabela 5.3), o caminhamento elétrico realizado na área piloto da Bacia do rio São Desidério admite a interpretação mostrada na Figura 5.11, apesar da heterogeneidade elétrica dos sedimentos Urucuia.

- No extremo norte do perfil, no vale do Marimbu Santa Helena, os contrastes laterais de resistividade são marcadamente abruptos, podendo ser atribuídos a descontinuidades litológicas verticais significativas. A litologia essencialmente detrítica observada no poço 35 (Siagas 2900004237), sugere a ocorrência de um estreito bloco rebaixado, com cerca de 7 km de largura aparente, ao longo do qual se desenvolveu, retilíneo, o vale do Marimbu Santa Helena. As resistividades relativamente baixas, da ordem de 200,0 ohm.m, que caracterizam esse bloco devem-se aos sedimentos Urucuia totalmente saturados (nível estático de 0,78 metros em 02/01/2006).
- A perceptível uniformidade dos valores, no extremo norte do perfil, pode ser atribuída à condutibilidade essencialmente eletrolítica do meio

poroso saturado⁶ (nível estático de 1,80 m em setembro/2009 no poço 61 – Siagas 2900023834).

- Os nítidos contrastes laterais de resistividade são atribuídos aos sedimentos Urucuia em contato vertical com os calcários Bambuí, em ambos os lados do bloco rebaixado. Observe-se que a nítida quebra na curva de resistividades aparentes, entre as estações A27 e A29, ocorre em cota elevada, o que permite descartar efeitos topográficos e ratifica a interpretação de falhamento;
- A curva de resistividades aparentes, ao longo dos 40 km do perfil, sugere uma sequência de blocos alternadamente alçados e rebaixados. A exemplo do Marimbu Santa Helena e do rio dos Cocos, esses blocos devem ser alinhados na direção ENE-WSW que é a direção preferencial de quebra na porção sul da Bacia do Urucuia.

A Figura 5.12 busca oferecer, em mapa, uma visão panorâmica dos blocos alçados e rebaixados discernidos no Perfil A de resistividade. Os poços 63 (Siagas 2900023955), 30 (Siagas 2900001741) e 17 (Siagas 2900014189) com, respectivamente, 40, 25 e mais de 115 metros de sedimentos Urucuia, ratificam a existência do bloco rebaixado central mostrado na Figura 5.11. Eles sugerem também uma grande irregularidade do topo dos calcários Bambuí que constituem o assoalho do bloco. Essa irregularidade ficará também patente adiante, quando tratarmos da hidrogeologia da área.

⁶ A entrada d'água captada no poço 2900023834 aos 29 metros é no Bambuí, mas a resistividade aparente medida é essencialmente condicionada pelo pacote de 20 m de espessura de sedimentos Urucuia.

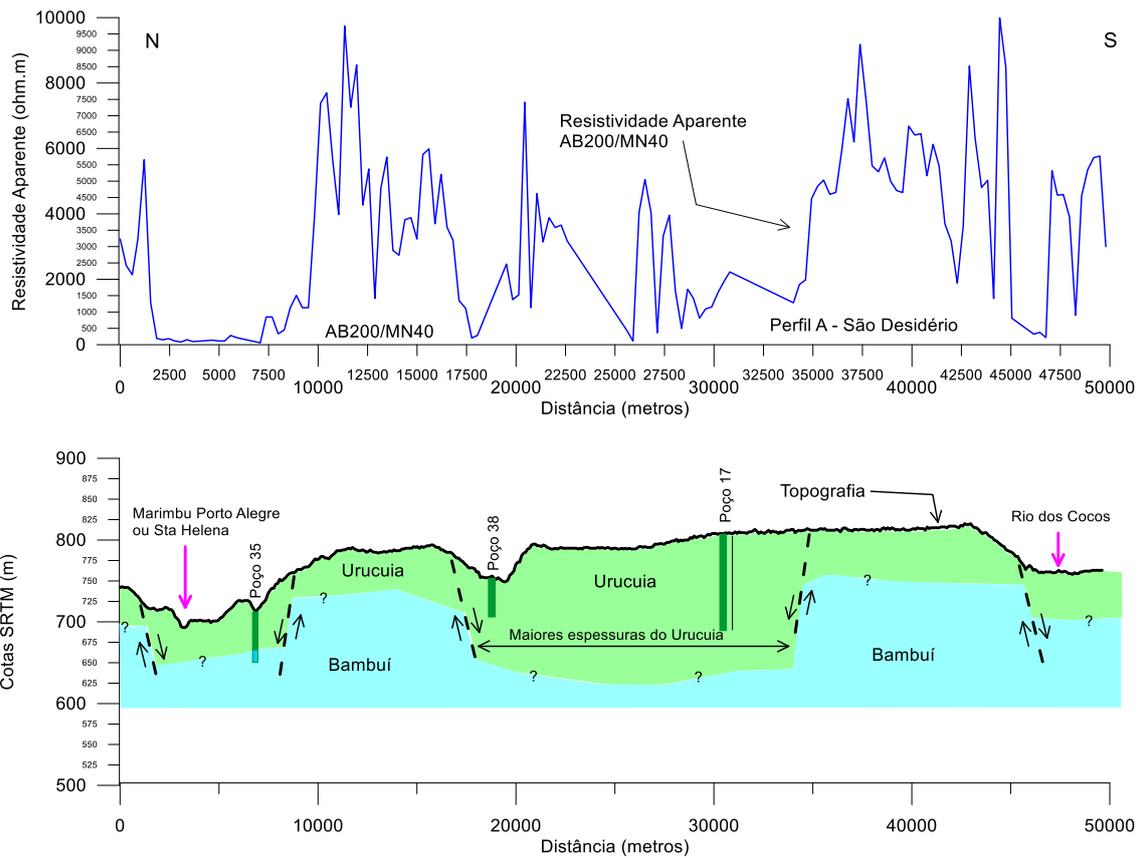


Figura 5.9: Perfil de resistividade A na área piloto da Bacia do Rio São Desidério.



Figura 5.10: Blocos alçados e rebaixados na área piloto da Bacia do Rio São Desidério.

O perfil de resistividade analisado, pelo fato de ser único e isolado, não autoriza generalizações. Os resultados obtidos, entretanto, reforçam a hipótese

segundo a qual os vales retilíneos orientados ENE-WSW, frequentes na porção sul da Bacia do Urucuia, são condicionados por falhamentos.

Esses resultados fortalecem, assim, as perspectivas de se obter uma futura caracterização tectono-estrutural da Bacia do Urucuia via neotectônica, utilizando cômodos perfis de resistividade com pequena linha AB de envio de corrente. A confirmação dessas perspectivas requer, naturalmente, uma reinterpretação das SEVs disponíveis na bacia, além de outras amostragens regionais como esta representada pelo Perfil A aqui analisado.

5.3 Perfilagem Ótica e Geofísica

A perfilagem ótica, consiste na investigação dos poços a partir da geração de imagens laterais e de fundo. As imagens em poços não revestidos auxiliam na identificação das formações e suas respectivas estruturas, como pequenas falhas e fraturas que, se preenchidas ou não, guiarão na identificação de intervalos produtores.

A perfilagem geofísica de poços é um método que utiliza fontes para excitar o meio a ser investigado. Seu principal objetivo é a identificação dos melhores trechos litológicos, diâmetros dos poços, características elásticas do meio, que não seriam obtidas apenas a partir da perfuração, amostragem e testes.

Os perfis geofísicos de uso mais frequente na hidrogeologia, classificados com base em suas propriedades físicas, são o elétrico ou indutivo cuja resposta é a resistividade do meio; o acústico para a determinação do tempo de trânsito e da velocidade da onda sonora que são proporcionais à porosidade total da rocha; o radioativo natural para determinação da argilosidade do meio; e o mecânico, também chamado de caliper, para determinar as variações de diâmetro da perfuração.

As investigações forneceram imagens e dados geofísicos da formação atravessada, visando identificar no aquífero cárstico fraturas preenchidas ou não.

As ferramentas empregadas no estudo, seus códigos de referência e suas respectivas propriedades são apresentados na Tabela 5.4:

Tabela 5.4 - Identificação dos métodos geofísicos aplicados.

Perfil de Multifunção (9143)	Gama, Potencial Espontâneo (SP), Resistividade Normal (16" e 64"), Resistividade Lateral, Resistividade de Fluido, Resistividade Single-point, Temperatura, Desvio (Slant Angle) e Azimute (Slant & Bearing).
Perfil Sônico (9320)	Gama, VSH, Delta T, BHC-Delt, Time (F), Time (N), Porosidade (Sônica) e Porosidade (Efetiva).
Perfil de Caliper (8074)	Caliper.

A partir dos dados fornecidos pela ferramenta 9143 foram calculadas as curvas correspondentes aos desvios dos poços e, posteriormente, gerados os desvios em planta. A ferramenta 9320 tem sensores que registram os raios gama, as velocidades e os tempos de trânsito, a partir dos quais se obtém a porosidade total. Já as curvas de volume de folhelho (VSH) e de porosidade efetiva (POREFF) foram calculadas e a partir das leituras fornecidas pela ferramenta, permitindo, com isso, uma avaliação das propriedades hídricas da sequência litológica perfilada.

Com a finalidade de avaliar o comportamento pontual em subsuperfície do aquífero cárstico desenvolvido na Formação São Desidério, foram selecionados sete poços convenientemente espaçados (Figura 5.13), as identificações desses poços são mostradas na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 - Poços utilizados para realização de perfilagens óticas e Geofísicas

Nome SIAGAS	Cidade	Serviço de Perfilagem	
		Ótica	Geofísica
2900013368	S. Desidério/BA	Sim	Sim
2100007147	Catolândia/BA	Sim	Não
2900013344	Baianópolis/BA	Sim	Sim
2900013340	Baianópolis/BA	Sim	Sim
2900016655	Baianópolis/BA	Sim	Não
SDN - Boqueirão	Baianópolis/BA	Sim	Sim
2900014235	Baianópolis/BA	Sim	Sim

Poços revestidos não foram perfilados geofisicamente, como foi o caso dos poços 2100007147 e 2900016655 que foram apenas filmados.

Por falta de informações sobre revestimento, profundidade e eventuais obstruções, foi realizada inicialmente a perfilagem óptica dos poços selecionados. Em seguida foram corridas as perfilagens geofísicas nos poços não revestidos e sem obstruções. Para tal, a primeira ferramenta corrida foi a multifunção, que porta os sensores de desvio e azimute, para identificar a presença, ou não, de desvios acentuados e/ou abruptos que pudessem prender o equipamento sônico, que apresenta maior diâmetro e comprimento.

A perfilagem ótica indicou que os calcários presentes na área piloto de São Desidério apresentam três fácies, com ocorrência significativa em quatro poços, dos sete selecionados. De maneira geral, os poços perfilados revelaram um aquífero com comportamento estrutural homogêneo onde as entradas de água estão ligadas a cavernas na base, ou seja, as perfurações são interrompidas no teto das cavernas que apresentam cerca de 1 a 1,20 metros aproximadamente de altura. Aberturas menores estão presentes variando entre 0,05 a 0,30 metros com cruzamento de duas direções perpendiculares entre si.

Uma primeira fácies, identificada no poço SDN Boqueirão, consta de uma densidade alta de fraturas abertas paralelas à direção preferencial de acamamento representando cavernas localizadas além de outras fraturas abertas com aberturas menores e menos profundas. Essas aberturas são resultado do cruzamento entre fraturas perpendiculares ao acamamento.

O calcário é homogêneo, com uma coloração cinza e apresenta uma textura friável com bastante material esbranquiçado em suspensão, o que deixa a água turva, o que dificultou, por vezes, a observação. Este comportamento também foi observado no poço 2900013344 e parcialmente no poço 2900013368 no intervalo de 30,14 a 46,61 metros (Figura 5.14).

Uma segunda fácies observada no calcário da Formação São Desidério, é representada por uma densidade alta de fraturas preenchidas por calcita sem direção preferencial e com uma coloração cinza escuro.

A terceira fácies se alterna com a segunda e apresenta coloração cinza médio e se caracteriza pela predominância de fraturas abertas e profundas, concordantes com o acamamento, e mostrando largura variando entre 0,02 e 0,20 metros. Ocorrem ritmitos localmente entre a segunda e a terceira fácies.

No poço 290014235 que apresenta 75,41m de revestimento e pela sua localização, esse recobrimento corresponde aos arenitos do Grupo Uruçuia (Figura 5.15).

De um modo geral, os resultados obtidos com as perfilagens geofísicas mostraram resistividades muito altas nos calcários, o que já era esperado (Figura 5.16 e Figura 5.17). A radiação gama, por sua vez, que deveria ser baixa nos calcários, apresentou valores aleatórios sem um padrão definido.

A ferramenta Caliper, por ser do tipo três braços, mostrou pequenos picos em praticamente todos os poços, correspondentes às fraturas abertas na formação. Os intervalos onde a densidade de fraturas e veios são preenchidos por calcita não foram identificados por esta ferramenta, já a porosidade sim.

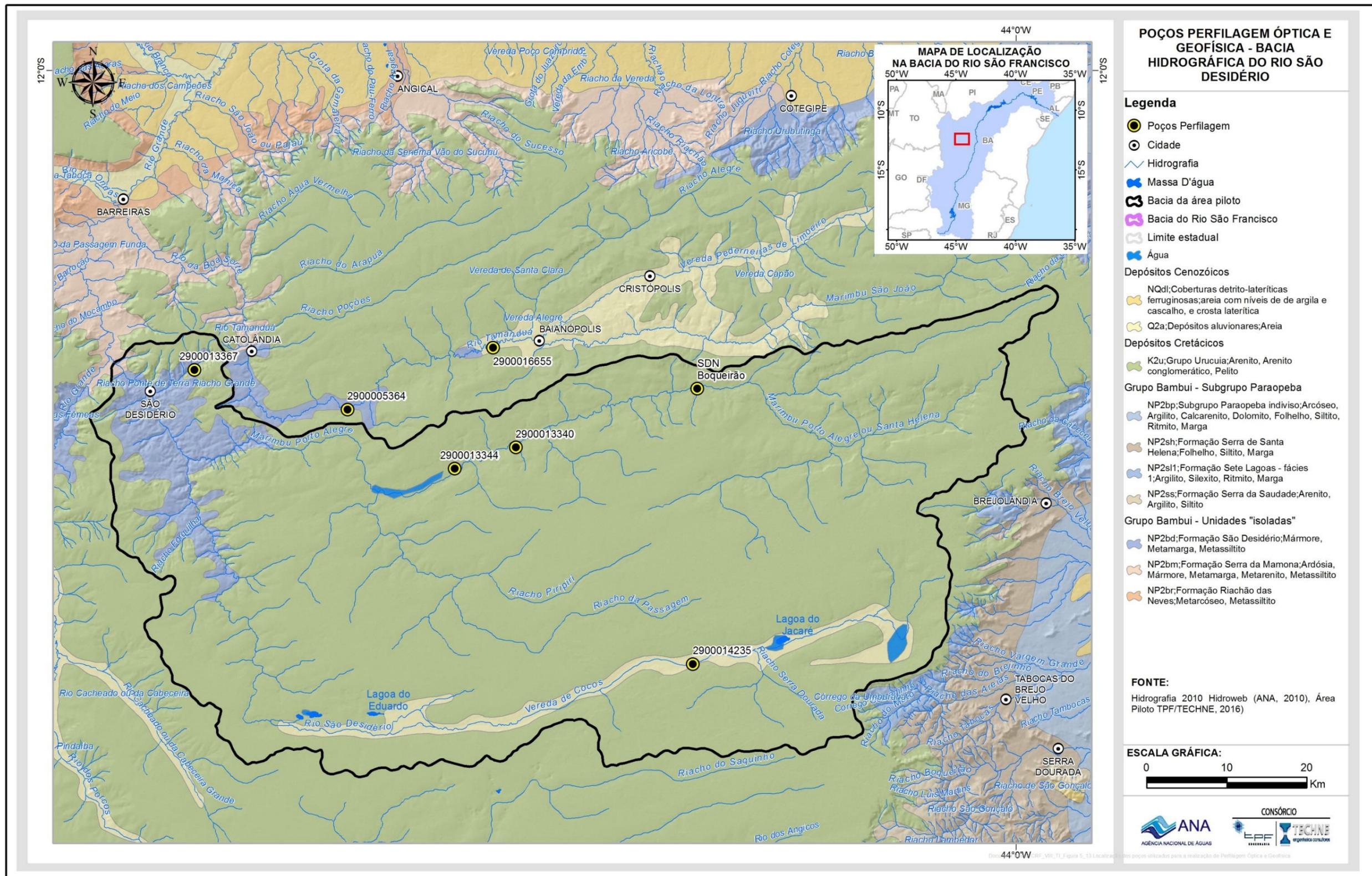


Figura 5.11: Localização dos poços utilizados para a realização de Perfilagem Óptica e Geofísica.

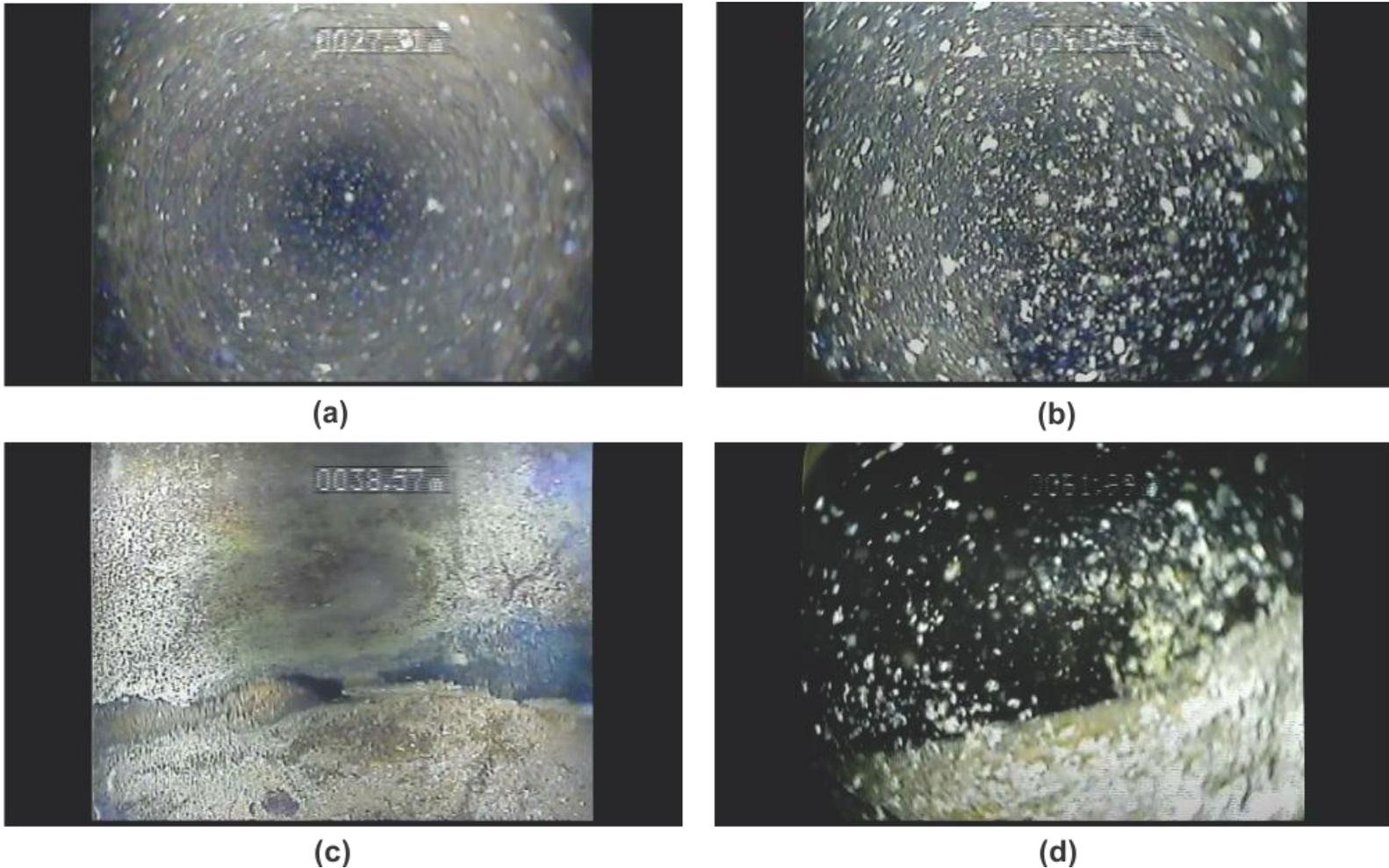


Figura 5.12: Perfilagem óptica no Poço SDN – Boqueirão. (a) Água turva relacionada a fácies mais friável do calcário da Formação São Desidério; (b) Intervalo próximo ao final do poço ilustrando o comportamento turvo contínuo presente na água; (c) Fratura aberta concordante ao acamamento; (d) Caverna com altura de 1,09 metros (60,65 a 61,74m).

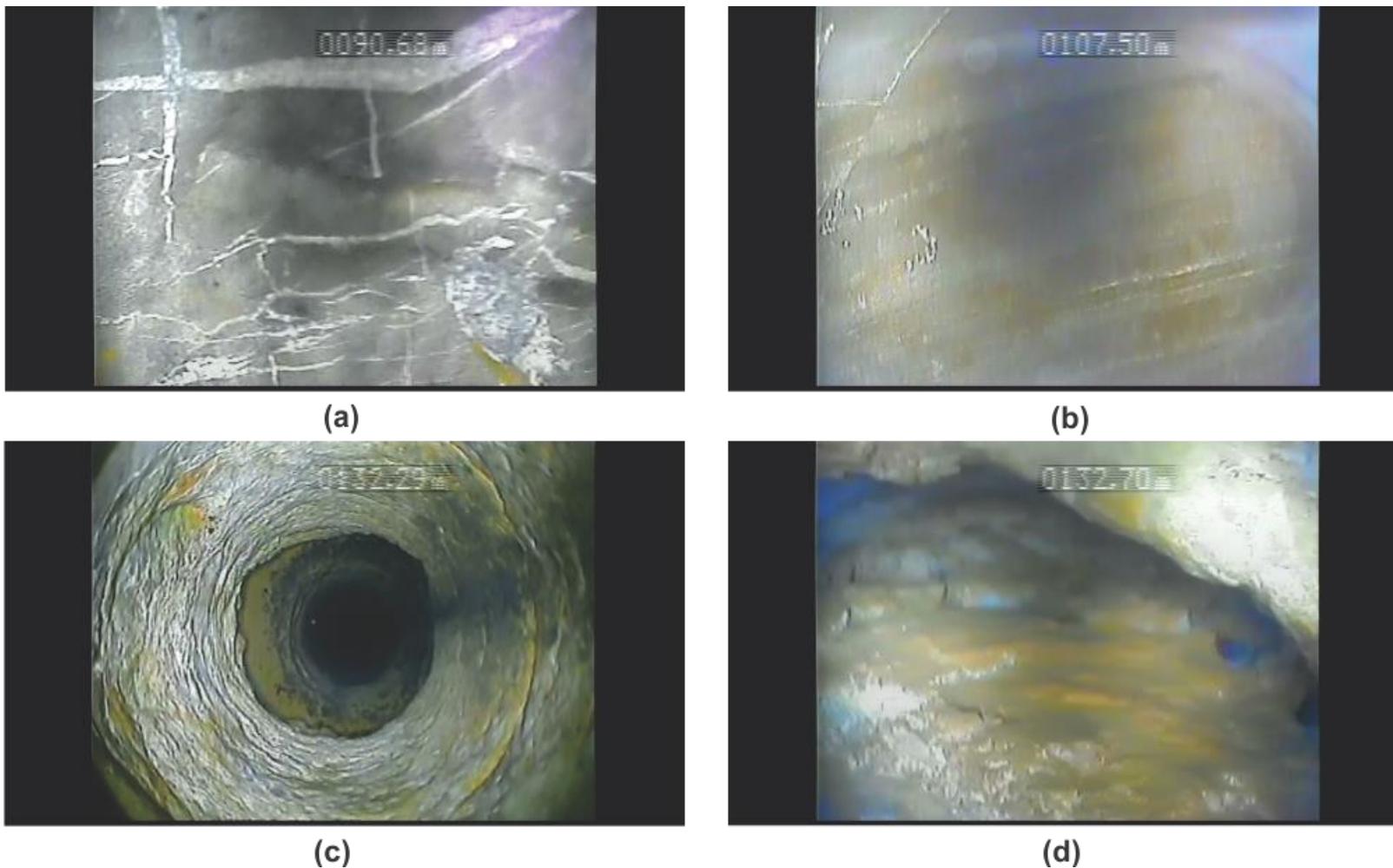


Figura 5.13: Perfilagem óptica no Poço 2900014235. (a) Fácies com ocorrência densa de fraturas preenchidas por calcita do calcário da Formação São Desidério; (b) Ritmito, destaque para um indicio de falha no extremo NW da imagem; (c) Fratura aberta concordante ao acamamento; (d) Vista geral da fratura aberta concordante ao acamamento.

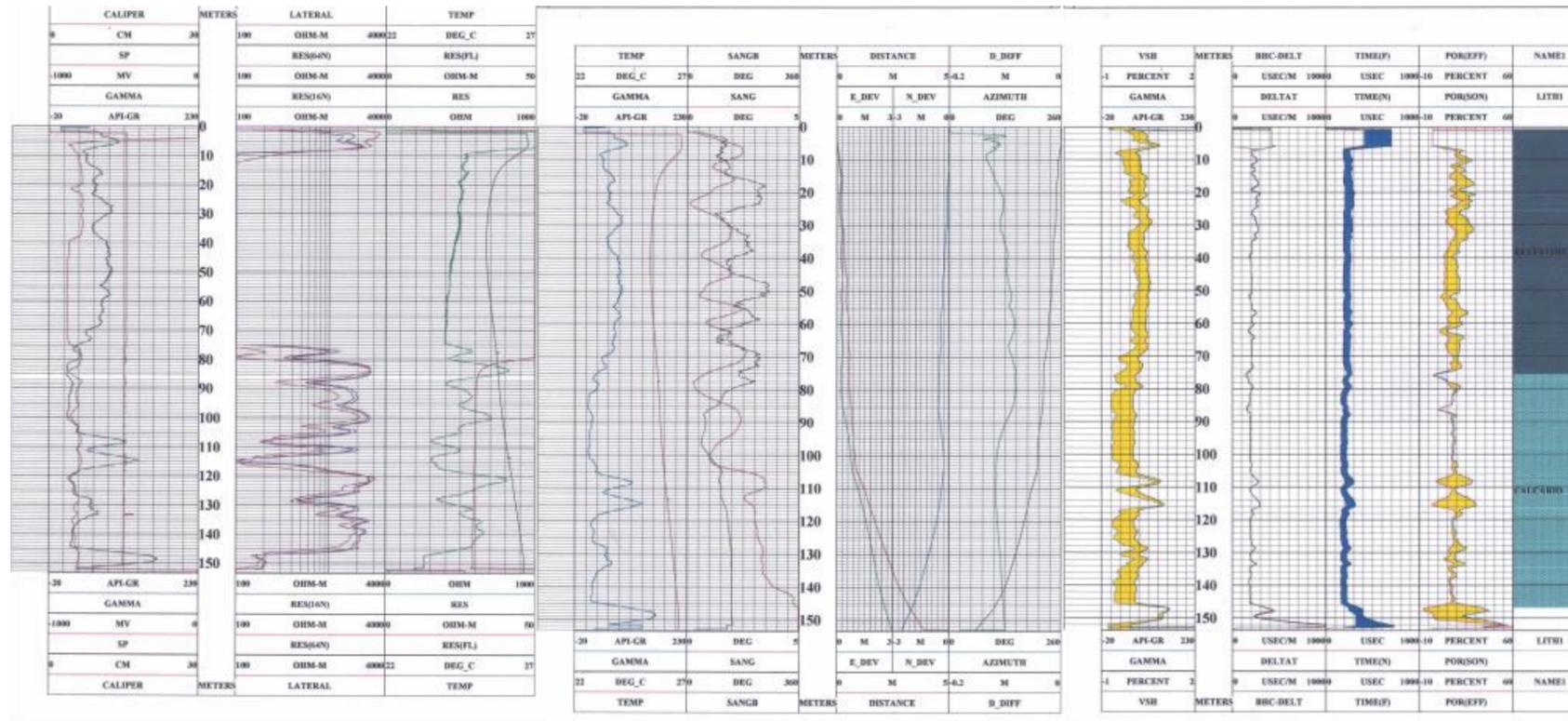


Figura 5.14: Perfis correspondentes aos métodos geofísicos aplicados no poço 2900014235.

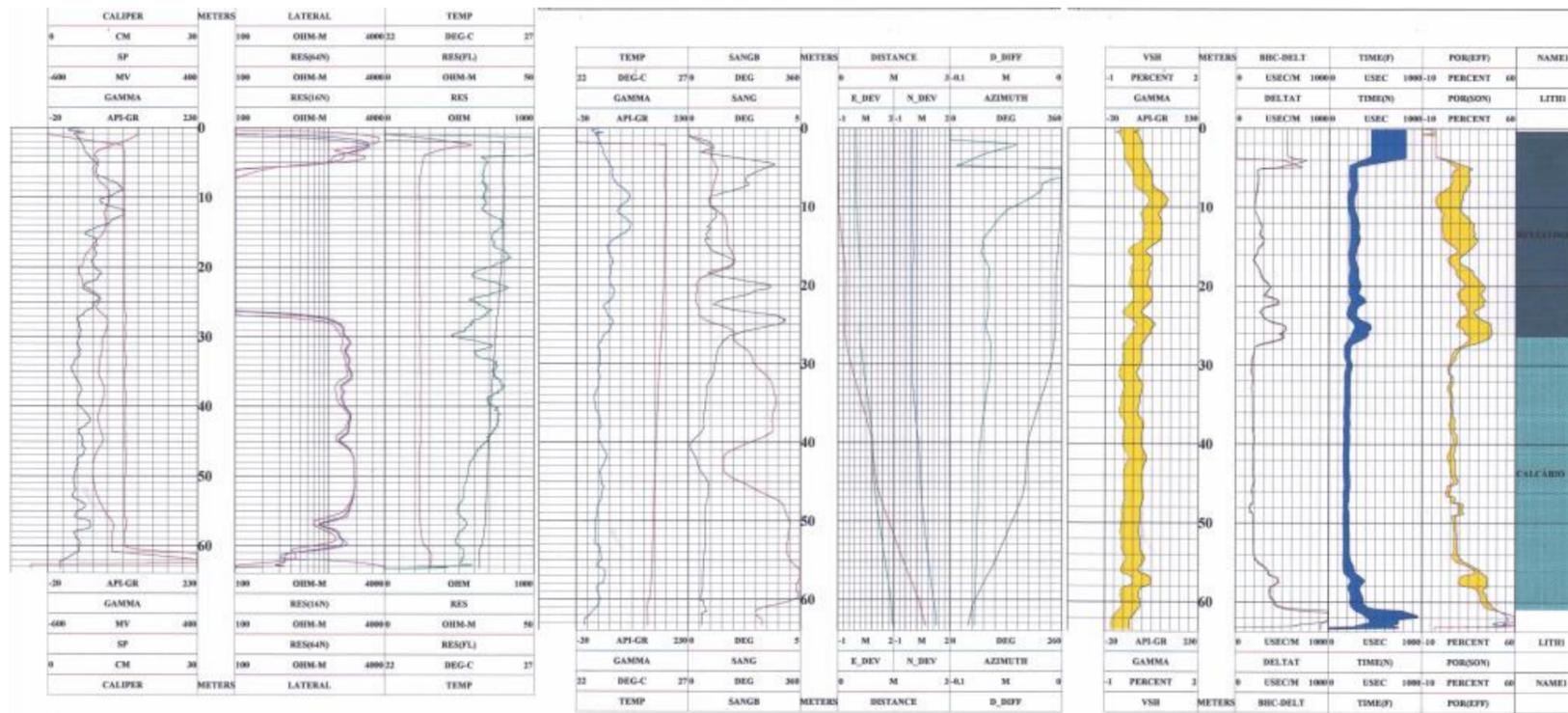


Figura 5.15: Perfis correspondentes aos métodos geofísicos aplicados no poço SDN-Boqueirão.

6. Hidrogeologia

No contexto geral do Carste São Francisco, a área piloto da Bacia do Rio São Desidério exhibe a peculiaridade de ser extensivamente recoberta por arenitos do Grupo Urucuia. Essa cobertura, assentada sobre calcários do Grupo Bambuí, constitui o que se chama, morfologicamente, de Chapada de Baianópolis.

A Chapada de Baianópolis corresponde a uma apófise da Chapada do Urucuia quase separada do corpo da chapada por profundas incisões de drenagens NNW- SSE, com cabeceiras quase coalescentes. Uma das incisões verte para NNW, para o Rio Grande em Barreiras, enquanto que a outra despeja para SSE, para o Rio Corrente na região de Correntina. As duas incisões, alinhadas, parecem ter sido facilitadas pela direção regional de fraturamento NNW-SSE, menos proeminente na Bacia do Urucuia, mas que parece ter conformado sua borda oriental (ver Figuras 4.31 e 4.34).

Dos 4.626 km² que constituem a área piloto do rio São Desidério, a quase totalidade, ou 4.215 km² (99,0%) é ocupada por arenitos do Grupo Urucuia, como acima indicado. Os calcários do Grupo Bambuí, representados pela Formação São Desidério, afloram francamente apenas no baixo vale do rio São Desidério, já nas proximidades da cidade de São Desidério, ocupando uma área de 216 km².

O Sistema Cárstico João Rodrigues⁷ e as estruturas cársticas do Rio Tamanduá desenvolvem-se nos calcários discretamente aflorantes ao longo dos talvegues dos rios Tamanduá e João Rodrigues. Esses rios fluem grosseiramente de leste para oeste, ao norte dos divisores de água da bacia do Rio São Desidério, e contíguos a estes. Assim, malgrado a proximidade dessas estruturas cársticas e suas prováveis conexões com as estruturas da bacia do rio São Desidério, as atenções serão focadas prioritariamente nos aquíferos desta bacia hidrográfica.

Ao longo dos trabalhos de campo na área piloto da Bacia do rio São Desidério, foram cadastrados 94 novos poços com medição do nível estático e foram obtidos 67 poços SIAGAS com perfil litológico. Essas informações foram exploradas em busca de uma melhor compreensão do comportamento hidrogeológico da área. Essa exploração conduziu aos resultados adiante mostrados.

6.1 Aquíferos Existentes

6.1.1 Aquífero Urucuia

Segundo Gaspar & Campos (2007), o que se chama de Sistema Aquífero Urucuia (SAU), é “uma associação de aquíferos que ocorrem em arenitos flúvio-eólicos do Grupo Urucuia, Neocretáceo da bacia Sanfranciscana, que compõe a maior parte da cobertura fanerozóica do Cráton do São Francisco. A área efetiva do SAU estende-se por 76.000 km² desde o sul do Piauí até o

⁷ A conexão hidráulica do rio Tamanduá com a bacia do rio São Desidério é discutida no item 3.1.

noroeste de Minas Gerais, tendo sua maior expressão em área relacionada ao oeste do estado da Bahia. Apresenta um eixo divisor longitudinal que separa o fluxo subterrâneo para o sentido oeste (bacia hidrográfica do Tocantins) e o sentido leste (bacia hidrográfica do São Francisco). A oeste do divisor há um aumento progressivo da profundidade da superfície potenciométrica, caracterizada pela presença de níveis estáticos profundos. Os dados disponíveis admitem a proposição de quatro subtipos de aquíferos no SAU: aquífero livre regional; aquífero suspenso local; aquífero confinado ou semiconfinado e aquífero livre profundo. A existência de níveis silicificados, variações granulométricas nos arenitos e a posição geográfica e espacial são os principais parâmetros controladores da presença e/ou predominância desses subtipos de aquífero dentro do sistema. Os parâmetros hidrodinâmicos obtidos são: capacidade específica dos poços de até 17,2 m³/h/m, transmissividade variando de 10⁻² a 10⁻⁵ m²/s, condutividade hidráulica de 10⁻⁵ a 10⁻⁷ m/s, coeficiente de armazenamento da ordem de 10⁻⁴ (aquífero confinado) até 10⁻¹ (aquífero livre). As reservas de água permanentes obtidas são de 3,77·10¹² m³, enquanto que as reservas reguladoras são de aproximadamente 30,78·10⁹ m³/ano”.

No presente estudo as informações fornecidas pelos poços levantados e por aqueles cadastrados no Siagas foram exploradas em busca de respaldo para compreender o significado das medições elétricas e dos dados hidrogeológicos disponíveis.

Verifica-se, inicialmente, que os níveis estáticos rasos, na porção oeste da área piloto, correspondem à baixada do rio São Desidério, como seria de se esperar. Os níveis estáticos observados na porção centro-leste da área, por sua vez, coincidem com uma zona topograficamente elevada que constitui uma bem definida área de recarga vertendo água para o vale do rio Tamanduá, ao norte, para a baixada do rio São Desidério, a noroeste, e para a base das escarpas do Grupo Uruçuia, a leste, na região de Brejolândia.

Foi obtido, na sequência, um corte topográfico/geológico com auxílio do Google Earth e dos dados dos poços SIAGAS relacionados na Tabela 6.1. Esse corte é mostrado na Figura 6.1.

Tabela 6.1 – Poços SIAGAS utilizados na elaboração do corte da Figura 6.1

SIAGAS	RELATÓRIO	ZONA	UTM E	UTM N	LONG	LATIT	PERF.	NE
2900014189	17	23L	564275	8612089	-44,41	-12,55	nov/05	jan/06
2900000256	25	23L	583790	8629273	-44,23	-12,40	jun/80	jul/80
2900001741	30	23L	547708	8611907	-44,56	-12,56	out/82	out/82
2900004236	34	23L	573478	8623372	-44,32	-12,45	dez/94	dez/94
2900004242	38	23L	570453	8621076	-44,35	-12,47	out/84	out/84
2900005510	51	23L	581580	8627559	-44,25	-12,41	dez/96	dez/96
2900005511	52	23L	597454	8633839	-44,10	-12,36	nov/89	
2900013919	54	23L	533177	8597797	-44,69	-12,68	mar/06	abr/06

A zona assinalada em amarelo na figura 6.1 corresponde à zona de recarga discernida na potenciometria. O corte NE-SW acima mostrado situa-se totalmente nessa zona de recarga. Os seguintes comentários, relativos a esse corte, são pertinentes:

- As rochas do Grupo Urucuia assorearam a paleo-superfície esculpida no Grupo Bambuí, com relevo razoavelmente movimentado. Constatam-se, nessa paleo-superfície, desníveis de, pelo menos, 80 metros. Essa movimentação do relevo pré-Urucuia parece ser condicionada por falhamentos conforme mostrado na Figura 5.11 do item 5.2.2.
- As maiores espessuras do Grupo Urucuia, observadas nos poços cadastrados, são superiores a 115 metros, como amostrado no poço 17. A menor espessura observada nos poços desse grupo é de 7 metros, observada no poço 25.
- A geologia obtida dos poços analisados mostra que o Marimbu⁸ Santa Helena e outras drenagens de menor porte removeram todo o capeamento Urucuia e chegaram mesmo a dissecar certa porção do topo dos calcários. Esse comportamento, amostrado no corte da Figura 6.1, é frequente nas drenagens da área piloto de São Desidério. A Figura 6.2 mostra, a propósito, um magnífico afloramento de calcários da Formação São Desidério exumados pelo rio Tamanduá, no local denominado de Sumidouro da Pedra Branca.
- Apenas o poço 51, no flanco sul do Marimbu Santa Helena foi perfurado diretamente sobre rochas calcárias. Este poço, dentre os 8 analisados (ver Tabela 6.1), é, portanto, o único que capta indiscutivelmente águas do Grupo Bambuí, no corte em análise. Muitos outros poços na área piloto de São Desidério, entretanto, perfurados em situação topográfica semelhante, isto é, nos flancos dos talvegues, captam água do Grupo Bambuí.
- Existem, portanto, na área piloto de São Desidério, poços captando apenas o aquífero Bambuí e poços captando apenas o aquífero Urucuia. No que diz respeito a este último, as informações de nível estático obtidas dos testes de produção dos poços, associadas aos perfis litológicos, permitem constatar espessuras saturadas que podem chegar

⁸ Designação local de terras baixas e pantanosas. Zona intermediária, alagadiça, entre o canal do rio e a terra firme propriamente dita.

a, pelo menos 50 metros. É o caso do poço 17 que capta o Urucuia numa zona de depressão do topo do Bambuí.

- As datas dos níveis estáticos utilizados para a visualização da potenciométrica, no corte da Figura 6.1, variam entre julho/1980 e abril/2006. De acordo com os registros pluviométricos do INMET, os últimos 28 anos se caracterizaram por uma alternância regular de estações secas e estações úmidas, sem períodos extensos de seca que pudessem comprometer significativamente o comportamento do Aquífero Urucuia na Chapada de Baianópolis (Figura 6.3).

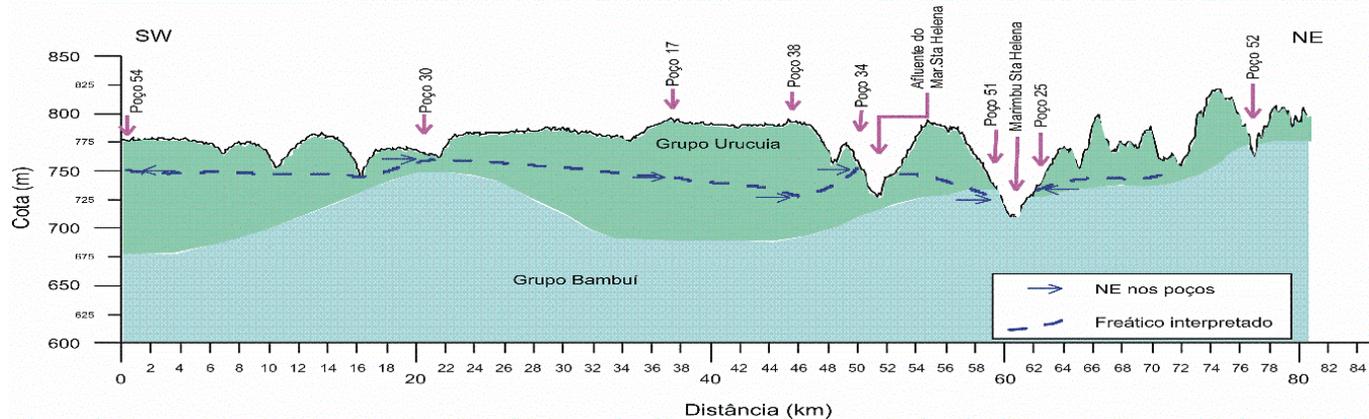
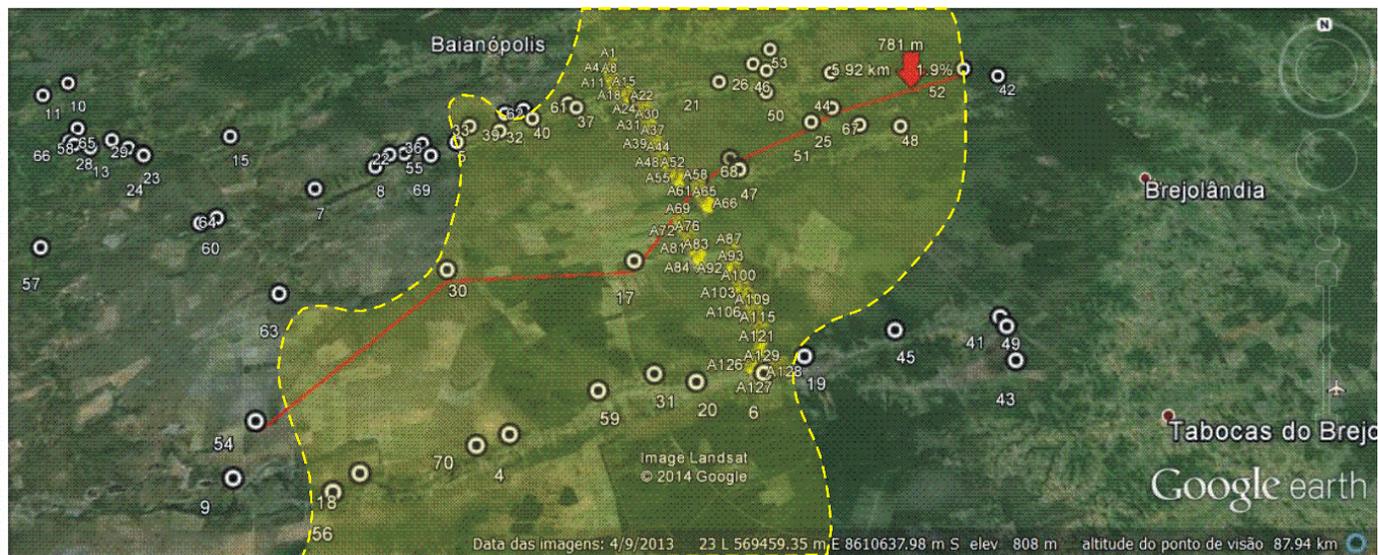


Figura 6.1 – Corte topográfico/geológico SW-NE da Chapada de Baianópolis (topografia a partir de cotas SRTM).

- Se considerarmos os níveis estáticos obtidos entre 06/12/2013 e 21/02/2014, nos poços cadastrados no âmbito do presente estudo, o Aquífero Urucuia avulta em potencialidade, apresentando espessuras saturadas que podem chegar a 100 metros na zona de depressão do topo do Bambuí (ver Figura 6.1).



Figura 6.2 – Calcários da Formação São Desidério no leito do rio Tamanduá, na localidade de Pedra Branca.

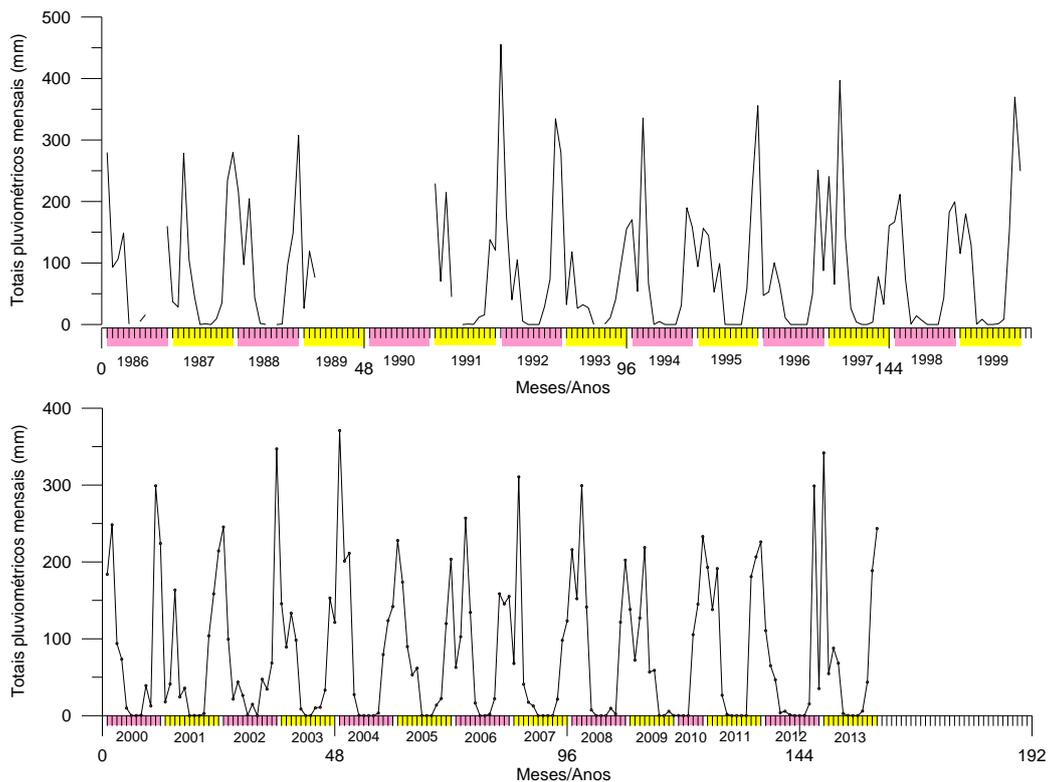


Figura 6.3 – Pluviometria na estação 83236 de Barreiras. Fonte INMET.

As considerações acima tecidas vêm resgatar a importância do Aquífero Urucuia na área piloto de São Desidério, nas zonas topograficamente elevadas. Os poços nessa situação captam unicamente este aquífero. Nas proximidades dos talwegues, nas zonas topograficamente baixas, os poços captam unicamente o Bambuí. Não foram observadas, numa primeira análise dos poços SIAGAS com perfil, unidades captando conjuntamente os dois aquíferos.

6.1.2 Aquífero Bambuí

As rochas calcárias da Formação São Desidério afloram numa área de cerca de 216 km², no baixo vale do Rio São Desidério, já nas proximidades da cidade de São Desidério. Nessa área foram registrados 11 poços captando o Aquífero Bambuí diretamente, ou sob delgado recobrimento de arenitos Urucuia. A análise desses poços mostra que nos poços mais profundos, até 180 metros, as vazões são nulas ou muito baixas⁹. As maiores vazões, de 11,00 m³/h até 30,00 m³/h são encontradas até os 80 metros de profundidade (Tabela 6.2).

Tabela 6.2 – Poços SIAGAS captando diretamente o Aquífero Bambuí na área ao sul da cidade de São Desidério.

Ponto	Refer. SIAGAS	Graus W	Graus S	Profund. (m)	Esp. Urucuia (m)	Esp. Bambuí (m)	VAZÃO (m ³ /h)
10	2900013368	-44,92	-12,34	47	12	35	20,8
11	2900013372	-44,94	-12,35	104	14	90	1,83
12	2900013373	-44,94	-12,54	55	35	20	15,5
13	2900013374	-44,88	-12,41	33	0	33	15,84
14	2900013375	-44,96	-12,42	120	0	120	0,6
27	2900001044	-45,00	-12,32	60	0	60	11,31
28	2900001668	-44,87	-12,41	80	0	80	28,26
29	2900001673	-44,85	-12,41	65	17	48	30,45
57	2900021964	-44,90	-12,52	150	0	150	0,347
65	2900024303	-44,90	-12,39	180	0	180	S/ info
66	2900024304	-44,90	-12,40	180	0	180	S/ info

Uma análise envolvendo a totalidade de poços captando o Bambuí na área piloto resultou no gráfico apresentado a seguir na Figura 6.4.

⁹ Apenas dois poços sem informação de vazão

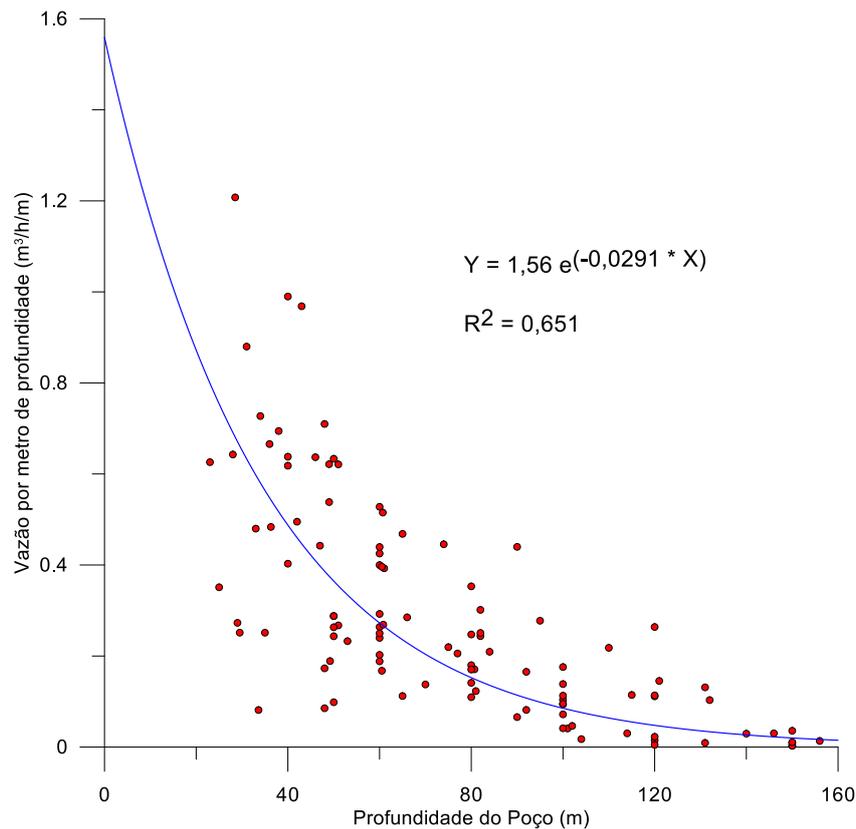


Figura 6.4: Vazão/metro de profundidade x profundidade dos poços captando o Bambuí.

Observa-se no gráfico acima uma razoável correlação entre a vazão por metro de profundidade e a profundidade dos poços nos calcários. É possível verificar, assim, que o aprofundamento dos poços no Aquífero Bambuí não traz aumentos significativos de vazão. Quando se tenta correlacionar as vazões, em si, com as respectivas profundidades dos poços obtém-se o gráfico mostrado abaixo, na Figura 6.5.

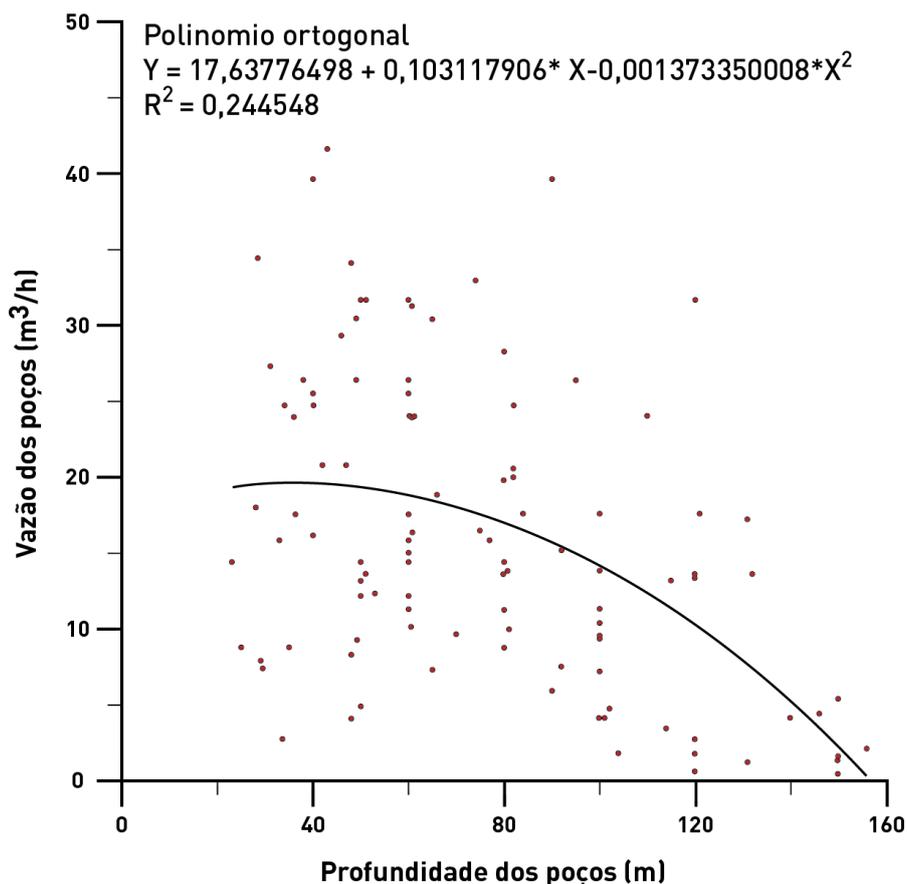


Figura 6.5: Vazão x profundidade dos poços captando o Bambuí.

Na Figura 6.5 não se observa uma correlação significativa entre as vazões, em si, e as respectivas profundidades dos poços. Entretanto, não há como não perceber uma tendência a vazões insignificantes nos poços mais profundos.

Os resultados acima apontam para um comportamento cárstico restrito a uma fatia de terreno compreendida entre a superfície e a profundidade de 120 metros, a menos de eventuais anomalias locais. Recomenda-se, assim, considerar, nos calcários do Grupo Bambuí, na área piloto da Bacia do Rio São Desidério, uma espessura de 120 metros para fins de avaliação da reserva.

6.2 Litologia, estrutura e carstificação

A Bacia do Rio São Desidério é litologicamente formada por rochas dos Grupos Urucuia e Bambuí. Os calcários do Grupo Bambuí, agrupados sob a denominação de Formação São Desidério¹⁰, afloram nas janelas de erosão dos arenitos do Urucuia.

¹⁰ CPRM/CBPM (2003) posicionam a Formação São Desidério, estratigraficamente, na porção superior do Grupo Bambuí, acima do subgrupo Paraopeba indiviso. Do ponto de vista litológico, entretanto, e considerando sua proximidade a afloramentos da Formação Serra de Santa Helena (Figura 4.34), é lícito admitir a possibilidade de correlação com a F. Sete Lagoas ou Lagoa do Jacaré.

A estruturação da região mostra que as fraturas seguem duas direções preferenciais, N-S e NE-SW, e que a hidrografia acompanha essas direções principais. Essa estruturação influencia também na carstificação dos calcários da Formação São Desidério, visto que o Sistema Cárstico do Rio João Rodrigues (SCRJR), acompanha a direção NE-SW, tendo sua nascente na divisa dos municípios de Catolândia e São Desidério e tendo sua última surgência no Poço do Surubim, já no encontro com o Rio São Desidério. Desde a nascente até seu último ponto de surgência, já foram catalogadas mais de 150 cavidades e mais de 12 km de cavernas já foram mapeados ao longo do seu eixo principal.

Lobo *et al.* (2013) chamam a atenção para o fato de que a extensa rede de condutos subterrâneos possibilita a captação de água de bacias hidrográficas adjacentes. Esse comportamento faz com que as regiões cársticas sejam casos especiais de gestão de recursos hídricos subterrâneos. Isso fica bem de acordo com o conceito de bacia hidrogeológica que pode abranger, em sua área de ocorrência, várias bacias hidrográficas. No caso especial dos aquíferos cársticos, como bem ressaltam os autores, a captação de águas alheias à bacia hidrográfica em que se situam fica exacerbada pelas propriedades hidrodinâmicas do meio aquífero.

6.2.1 Ensaios com traçadores – Aspectos Metodológicos

A aplicação de traçadores corantes visa investigar os caminhos preferenciais de fluxo hídrico ao longo das zonas de escoamento subterrâneo do aquífero cárstico, considerando-se a existência de uma bateria de poços em atividade e um poço para injeção do referido corante, em estado estacionário.

O uso de traçadores corantes é uma ferramenta de análise de conexões hidráulicas subterrâneas em diversos ambientes aquíferos, notadamente, os aquíferos cársticos. Aley & Fletcher (1976a), Smart *et al.* (1986), Quinlan (1987a), Mull *et al.* (1988), Aley (1999), Field (2002) e outros apresentam discussões amplas sobre a aplicação de traçadores corantes na determinação de rotas de fluxos subterrâneos e dos atributos hidrodinâmicos, considerando-se os aspectos metodológicos envolvidos e a necessária adequação dos procedimentos e das técnicas de investigação.

A execução dos ensaios com traçadores consistiu basicamente na injeção direta de corantes artificiais em poços tubulares de bombeamento, valendo-se do monitoramento contínuo da água para possível detecção desses corantes, através de uma bateria de poços em atividade, situados nas vizinhanças dos poços de injeção, em regime estacionário.

As etapas realizadas durante a execução desses ensaios são as seguintes:

- **1ª Etapa: Reconhecimento de Campo e Definição da Rede de Monitoramento**

Avaliação dos distintos aspectos geológicos estruturais, morfológicos e hidrológicos das bacias de inserção dos ensaios., e assim estabelecer os pontos favoráveis à injeção dos traçadores corantes e de sua detecção, de

acordo com a disponibilidade de poços com autorização para servirem aos ensaios.

- **2ª Etapa: Planejamento e Execução do Ensaio**

Definição dos pontos de observação (poços ativos) como dispositivos de monitoramento / detecção dos corantes, poços tubulares de bombeamento que, mantidos sob regime contínuo de operação, possam ser amostrados durante um período não inferior a 72 horas contínuas. Nesses locais são realizadas duas campanhas de amostragem para o estudo de *background* de fluorescência das águas e uma campanha de amostragem de monitoramento contínuo no período de pós-injeção, para a potencial detecção dos traçadores.

Além da coleta manual das amostras de água são instalados dispositivos de carvão (fluocaptadores), que permitem o acúmulo das substâncias fluorescentes, enquanto os fluxos hídricos passam pelo dispositivo.

- **3ª Etapa: Coleta de *Background* para fluorescência**

Em geral, as águas podem conter substâncias que emitem fluorescência em comprimentos de onda semelhantes aos corantes que são utilizados nos ensaios.

Em vista da possibilidade de haver coincidência entre a resposta espectral de certos corantes com a resposta de substâncias contidas naturalmente nas águas circulantes (dada à presença de algas, matéria orgânica, etc.), a análise prévia das concentrações naturais torna-se de suma importância. Com isso, todo ensaio de traçador deve previamente avaliar as características de fluorescência natural das águas que circulam no meio em análise (*background*).

Foram realizadas três campanhas de coleta de amostras de água para *background*, nos meses de agosto e outubro do ano de 2014 e janeiro de 2015. Na primeira campanha, foram coletadas apenas amostras de água. As amostras de água passam por uma avaliação do pH. Em casos em que o meio é ácido torna-se necessário realizar um tamponamento, que é feito com uma solução básica de neutralização. E então, as amostras foram analisadas em espectrofotômetro de fluorescência (HITACHI F-2700).

Os dados gerados são visualizados em conjunto para a avaliação da intensidade de fluorescência e faixas do espectro de ocorrência dos picos de fluorescência relativos à presença de substâncias pertencentes ao ambiente em estudo. Esses valores são utilizados na comparação dos resultados obtidos na análise do material coletado após a injeção dos traçadores corantes.

- **4ª Etapa: Injeção de Traçadores Corantes**

A injeção de traçadores constitui na aplicação direta dos corantes selecionados para os ensaios nos poços de bombeamento estrategicamente definidos para uma provável medição em outros supostamente de descarga dos fluxos subterrâneos, onde são instalados detectores para absorção do traçador, qualitativa e/ou quantitativamente.

Os traçadores corantes definidos para os ensaios foram a Fluoresceína (ou Uranina), Amino G e a Rodamina WT.

- **5ª Etapa: Monitoramento após a Injeção dos Traçadores Corantes**

Para a detecção dos traçadores corantes injetados nos poços tubulares e o mapeamento das rotas de fluxo de água subterrânea, o monitoramento dos poços de bombeamento foi organizado em quatro etapas:

- Instalação de fluorímetros de campo nos poços de bombeamento em estudo;
 - Instalação de carvão nos poços de bombeamento (fluocaptadores);
 - Coleta manual de amostras de água;
 - Leituras *in loco*, utilizando fluorímetros de mão modelo Aquafluor.
- **6ª Etapa: Análises laboratoriais**

Os corantes injetados no meio aquífero podem ser identificados por suas propriedades de fluorescência. Fluorescência é o fenômeno de emissão de luz associado ao movimento dos elétrons saindo de um estado excitado para o estado fundamental. No espectrofotômetro de fluorescência, a amostra absorve energia radiante da lâmpada de Xenônio pela excitação de elétrons nas moléculas de seus compostos e, quando esses retornam para o estado fundamental, emitem parte da energia na forma de luz. A luz emitida apresenta comprimento de onda maior e mais baixa energia que a luz de incidência.

A absorção das radiações e a emissão da luz fluorescente pela amostra dependem das estruturas das moléculas que a compõem e são características para cada substância química, sendo necessário, portanto, conhecer previamente os comprimentos de onda de máxima excitação e emissão das substâncias que se pretende estudar. Existem nos espectrofotômetros várias lentes e fendas que têm como objetivo colimar e selecionar os feixes de luz apropriados, ou seja, permitem selecionar o espectro de emissão ou/e de excitação.

Utilizando-se o espectrofotômetro de fluorescência (HITACHI F-2700), no modo WL-Scan (*Synchronous Scan*), é obtida para uma dada faixa do espectro selecionada, a curva de intensidade de fluorescência emitida pela amostra. A faixa do espectro selecionada para o estudo corresponde a um intervalo entre 450 nm e 600 nm e abrange os picos de máxima fluorescência dos corantes que foram utilizados no estudo. Os comprimentos de onda de excitação/emissão que produzem maior intensidade de fluorescência e que permitem caracterizar a Fluoresceína são 491 nm e 512 nm, e para a Rodamina WT são, respectivamente, 554 nm e 580 nm. Já para o Amino G os comprimentos de ondas de excitação/emissão são 260/520

As amostras de carvão, antes de serem analisadas, passam por um pré-tratamento com a finalidade de extrair as substâncias adsorvidas. Este tratamento consiste primeiramente em secar a amostra, retirando ao máximo a umidade presente nas partículas de carvão e, posteriormente, é adicionado um eluente capaz de desprender as substâncias retidas.

O eluente é uma solução que permite a liberação das substâncias adsorvidas no carvão para a fase líquida, após um tempo de imersão de aproximadamente 20 minutos. Parte da solução é armazenada em um frasco etiquetado para ser analisada e outra parte é armazenada como registro.

Cabe ressaltar que as amostras das águas devem passar por uma avaliação do pH antes de serem analisadas pelo espectrofotômetro de fluorescência. Em casos em que o meio é ácido torna-se necessário realizar um tamponamento, que é feito com uma solução básica de neutralização e, posteriormente analisadas em espectrofotômetro de fluorescência (HITACHI F-2700)

Os dados gerados são visualizados em conjunto para a avaliação da intensidade de fluorescência e faixas do espectro de ocorrência dos picos de fluorescência relativos à presença de substâncias pertencentes ao ambiente em estudo. Esses valores serão utilizados na comparação dos resultados obtidos na análise do material coletado após a aplicação dos corantes.

Os fluocaptadores são atados a uma corda de náilon® e então posicionados de modo que permaneçam junto à zona de maior saturação e frequência de fluxos dos locais pretendidos. Os detectores de carvão, após a coleta, são acondicionados em frascos plásticos esterilizados, lacrados e transportados para o laboratório. De forma semelhante, as amostras de água coletadas foram reservadas em frascos plásticos estéreis para serem levadas até o laboratório.

Já os fluorímetros de campo foram instalados de forma a se obter leituras contínuas em intervalos pré-definidos, sendo registrados dados de leitura a cada 20 minutos para obtenção da curva de recuperação do(s) traçador(es).

- **7ª Etapa: Interpretação dos Resultados**

Os dados obtidos no experimento são inicialmente analisados de forma qualitativa, visando ao reconhecimento da conexão hidráulica entre o ponto de injeção e o ponto de monitoramento, pela presença ou não do traçador. A interpretação parte da comparação entre os resultados obtidos para água e carvão em cada ponto monitorado e aqueles valores obtidos durante a campanha de *background*, nos respectivos pontos. Assim, são identificados os resultados positivos e negativos em relação à presença dos traçadores investigados.

6.2.2 Ensaios com traçadores - Execução

Para o município de São Desidério foram selecionadas duas baterias de injeção sendo uma em Tabocas do Brejo Velho e a outra em Baianópolis. No entanto, em face da proibição por parte da prefeitura, só foi possível realizar a bateria de ensaios no município de Baianópolis, conforme apresentado na Tabela 6.3 a seguir. A Figura 6.6 apresenta a Localização dos Pontos de Injeção e monitoramento,

Tabela 6.3 - Rede do Ensaio de Traçadores em Baiaonópolis

Código Ponto	Coordenada UTM E	Coordenada UTM N	Descrição Geral do Ponto
PBA-FL	545.407	8.639.085	Poço localizado para injeção de Fluoresceína
PBA-01	544.772	8.638.970	Poço de Monitoramento da Prefeitura Municipal de Baianópolis
PBA-02	544.978	8.638.915	Poço de Monitoramento
PBA-03	545.688	8.639.121	Poço de Monitoramento

Ressalte-se que em todos os pontos apresentados na tabela acima, amostras de água foram previamente analisadas quanto a sua condição de fluorescência natural, ou seja, para se diagnosticar as concentrações de background de fluorescência em fase pré-injeção do corante.

Os ensaios no município de Baianópolis iniciaram-se no dia 27 de outubro de 2014. Foram escolhidos para monitoramento três poços tubulares localizados na área de estudo da bacia do rio Tamanduá. Nesses locais foram coletadas amostras de água, tanto durante a análise da fluorescência natural (estudos de *background* das águas) quanto no período de pós-injeção, para a detecção dos traçadores. Além disso, foram realizadas medições de campo, para avaliação das características hidroquímicas das águas dos aquíferos nesses locais.

O traçador corante definido para o ensaio foi a Fluoresceína. Para iniciar o ensaio de traçador, o poço de injeção foi lavado com cerca de 1.000L, em seguida o corante foi injetado diretamente no poço de bombeamento, sendo 150 mL de fluoresceína no dia 27/11/2014 e 100mL de fluoresceína no dia 28/11/2014.

Nos pontos PBA-01, PBA-02 e PBA-03 as leituras nos fluorímetros foram realizadas entre o período de 10:00h do dia 27/10/2014 até 12:00h do dia 29/10/2014, totalizando cerca de 50 horas de leitura. No entanto, cabe ressaltar que o poço de bombeamento PBA-01, da Prefeitura, foi desligado assim que a equipe encerrou as atividades no primeiro dia. Desta forma, para não comprometer o estudo foi realizada uma nova injeção no dia 28/10/2014 às 14:00h.

Para um maior suporte às leituras *in loco*, também foram utilizados fluorímetros de mão realizando-se as leituras dos dois traçadores. Amostras de água foram coletadas a cada 20 minutos em frascos de 30 ml para serem analisadas em laboratório através do espectrofotômetro de fluorescência (HITACHI F-2700).

Para finalizar a última etapa de campo foi realizada mais uma coleta de água e carvão nos três poços selecionados para avaliar se parte dos corantes injetados havia ficado retida em algum trecho rota de fluxos e, assim, retardada a sua detecção. Além disso, foi recolhido todo o material instalado no início dos trabalhos de campo.



Figura 6.6 – Localização dos pontos de injeção e monitoramento

Os resultados obtidos foram negativos, no sentido de que não foram detectados quaisquer sinais dos corantes injetados, após um prazo de 80 dias de observação. Os autores levantaram três hipóteses para explicar o insucesso: (1) utilização de uma massa do corante que se mostrou inferior ao mínimo necessário para atingir concentrações mensuráveis nos locais de detecção; (2) material detrítico proveniente da erosão do Urucuia preenchendo boa parte dos vazios dos calcários e fazendo diminuir a velocidade de fluxo; (3) gradientes hidráulicos mais baixos que os esperados, fazendo diminuir a velocidade de fluxo; (4) Em função das hipóteses acima, teria sido curto o tempo de 80 dias adotado para observação da resposta às injeções do corante.

6.3 Zoneamento de vazões

Para a obtenção do zoneamento de vazões foram utilizados 221 poços do Siagas com vazão informada. O zoneamento contemplou indiferentemente poços captando os arenitos Urucuia e poços captando os calcários Bambuí, sendo mostrado na Figura 6.7¹¹.

Duas zonas de vazões superiores a 15,0 m³/h, designadas de A e B, são enfatizadas. Embora alguns poços, nessas zonas, captem água dos arenitos Urucuia, observa-se que o zoneamento de vazões é muito influenciado, na área piloto, por dois alinhamentos de poços captando os calcários, coincidentes, respectivamente, com o Marimbu Santa Helena, ao norte, e o rio São Desidério (rio dos Cocos), ao sul.

A maior vazão, de 79 m³/h, é fornecida pelo poço 67 (SIAGAS 2900024651), na área B, completado com filtros no calcário alterado entre 12 e 33 metros. Esse poço situa-se na Zona B. No Urucuia a maior vazão foi de 15 m³/h no poço 17 (SIAGAS 2900014189) e de 47 m³/h no poço 54 (SIAGAS 2900013919). Ambos os poços se situam na Zona A.

¹¹ Muitos dos poços utilizados para a obtenção do zoneamento situam-se fora dos limites da área piloto, não sendo mostrados na figura.

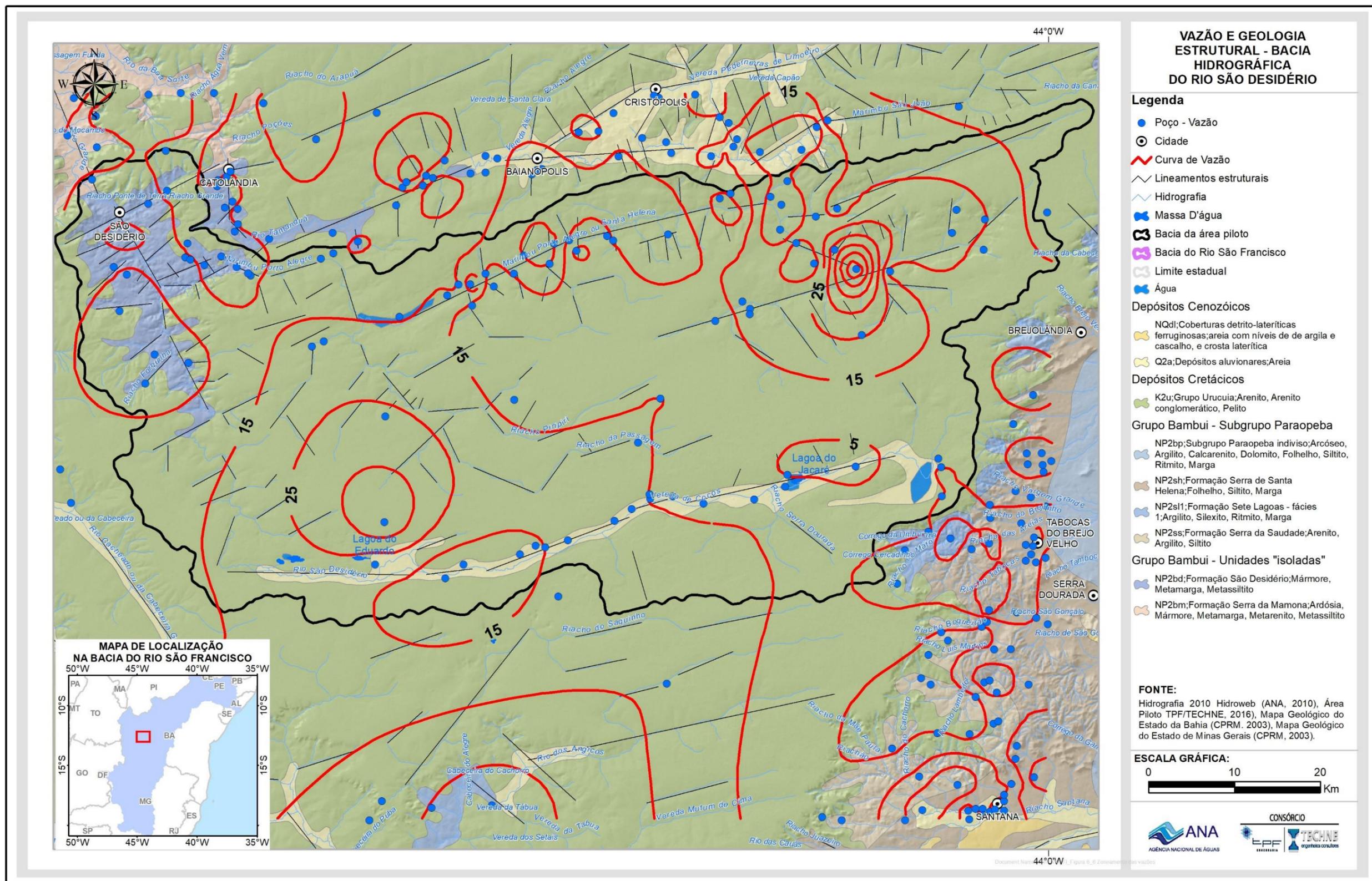


Figura 6.7: Zoneamento das vazões dos poços da região de São Desidério.

6.4 Parâmetros hidrodinâmicos

Os parâmetros hidrodinâmicos na área piloto do rio São Desidério foram avaliados a partir de testes de aquífero realizados com foco no Aquífero Bambuí, de maneira que não foram avaliados parâmetros hidrodinâmicos do Urucuia. Sendo adotado para o Aquífero Urucuia uma condutividade hidráulica média de 10^{-6} m/s, obtida de Gaspar (2006). Por outro lado, uma vez que as reservas sob pressão desse aquífero na Chapada de Baianópolis, são consideradas insignificantes ou inexistentes, não serão adotados valores para o coeficiente de armazenamento.

Ainda no que diz respeito ao Urucuia, da Luz *et al.* (2009) informam sete valores de porosidade efetiva, variando entre 1% e 5%. Cinco desses valores foram compilados pelos autores, de estudos anteriores, e dois deles foram obtidos por eles próprios em testes de aquífero na Faz. Bombarda, situada 57 km a SSW de São Desidério. Será adotada assim, para o Aquífero Urucuia, uma porosidade efetiva de 5%, considerada compatível com a natureza dos arenitos que o constituem.

No que diz respeito ao Aquífero Bambuí foram realizados cinco testes de aquíferos no Sistema Aquífero Bambuí (SAB) envolvendo cinco conjuntos de poços indicados na Figura 6.8. A interpretação desses testes foi realizada pelo método de Boulton (1963) adaptado para meio fraturado por Boulton & Streltsova (1977).

6.4.1 Metodologia para a análise dos testes de aquífero

6.4.1.1 Método baseado na produção dos poços no crivo da bomba

Para o Sistema de Condutores Hidráulicos Bambuí (SCHB) foi utilizado o método da capacidade específica fractal (Manoel Filho, 1996). Trata-se de um método prático e rápido que permite avaliar a capacidade de produção do poço em regime de funcionamento “sustentável” até o alcance do crivo da bomba. Assim sendo é possível avaliar a produção global de água nas áreas pilotos e obter subsídios para a gestão da exploração de água subterrânea com uma incerteza muito menor do que aquela que seria possível obter usando parâmetros hidráulicos determinados através de modelos computacionais concebidos para meios contínuos e homogêneos, quando se sabe que o meio cárstico-fissural é descontínuo e heterogêneo.

O modelo proposto tem como base as seguintes hipóteses:

- O poço é o único elemento que liga o subdomínio no qual ele se encontra, ao mundo exterior;
- O subdomínio e o poço constituem um *condutor hidráulico* ou *reservatório subterrâneo isolado*, de volume desconhecido (rede de vazios produzidos por fraturas ou por dissolução cárstica, na qual o poço penetra);
- O condutor hidráulico pode conter apenas um ou muitos poços, mas em cada poço o nível dinâmico sempre tenderá para o crivo da bomba após

um tempo que depende da vazão bombeada. *A priori* esse tempo não pode ser determinado;

- O rebaixamento máximo permissível (RMP) é dado pela diferença entre as profundidades do crivo da bomba e do nível estático;
- A vazão do poço pode ser constante ou variável e a capacidade específica Q/s [m³/h.m] é aproximada por uma capacidade específica fractal Q^*/s^D de dimensão $[L^3 T^{-1} L^{-1}] = [L^2 T^{-1}]$, sendo Q^* uma vazão constante de dimensão $[L^3 T^{-1}]$ e s^D um rebaixamento fractal de dimensão $[L^D]$;
- O parâmetro D , desse modelo, caracteriza a variabilidade da vazão durante o teste e tem o seguinte significado:
 - $D < 1$ indica que houve uma variação crescente da vazão do teste e implica numa dimensão do fluxo menor do que 3;
 - $D > 1$ indica uma variação decrescente da vazão do teste e implica numa dimensão do fluxo maior do que 3;
 - $D = 1$ indica uma variação nula (teste com vazão constante) e implica numa dimensão do fluxo igual a 3;
- O regime de vazão constante fica caracterizado no gráfico di-log $s^D \times \left(\frac{Q}{s}\right)$ de rebaixamento fractal versus capacidade específica;
- Com os dados de vazão e rebaixamento obtidos no teste de produção do poço (no condutor hidráulico e não no aquífero), o método permite avaliar, através de um simples gráfico de rebaixamento em função da vazão específica, a capacidade de produção “sustentável” do poço até atingir o crivo da bomba. Admite-se que antes que isso aconteça, o poço deve funcionar em condições sustentáveis;
- No estágio atual de exploração, nas áreas piloto de São Desidério, Lapão e Montes Claros os poços já funcionam em regime de exploração há muito tempo e o sistema de condutores hidráulicos Bambuí (SCHB) se encontra em regime dinâmico, não havendo como “recuperar” em pouco tempo as condições iniciais. Isto porque o nível atual de cada um dos poços resulta do seu próprio bombeamento e das interferências produzidas pelos poços produtores vizinhos, ao longo de décadas de extração de água. A interpretação dos testes nessas condições se baseia no princípio da superposição dos escoamentos. Ademais, por se tratar de domínio cárstico, essa interpretação fica restrita à avaliação da capacidade específica dos poços, à luz dos registros de níveis obtidos através de *dataloggers*. Em última instância é essa capacidade que interessa conhecer para fins de gestão dos recursos hídricos.

6.4.1.2 Método baseado nos parâmetros hidráulicos do meio fraturado

Considerando, porém, que um dos objetivos estabelecidos nos TDRs é a obtenção de parâmetros hidráulicos do meio para fins de estimativa de fluxo regional e de reservas permanentes, a hipótese de meio contínuo equivalente (MCE) deverá ser considerada. Todavia, a utilização dos parâmetros hidráulicos deve ser feita com as ressalvas apresentadas na introdução, pois o meio descontínuo de geometria desconhecida do SCHB é substituído por um meio *contínuo macroscópico* ou *contínuo Darciniano* (Freeze & Cherry, 1979), no qual cada ponto corresponde a um Elemento de Volume Representativo (EVR).

6.4.2 Testes realizados na área piloto da Bacia do Rio São Desidério

Para o Sistema Aquífero Bambuí (SAB) os parâmetros hidrodinâmicos dos condutores hidráulicos analisados estão resumidos na Tabela 6.4.

Tabela 6.4 – Parâmetros hidrodinâmicos do Sistema Aquífero Bambuí (SAB) obtidos em cinco testes de aquíferos realizados na área de São Desidério/BA.

Teste	Poço	Tf m ² /s	Sf	a (mm)	Kf m/s	Kf m/dia
1	Prefeitura Tabocas	1,29x10 ⁻⁰⁴	1,70x10 ⁻⁰²	0,54	2,37x10 ⁻⁰⁷	0,020
	Zequinha 1	3,06x10 ⁻⁰⁴	1,29x10 ⁻⁰²	0,73	4,22x10 ⁻⁰⁷	0,036
2	Prefeitura Baianópolis	1,89x10 ⁻⁰⁵	1,36x10 ⁻⁰⁴	0,29	6,58x10 ⁻⁰⁸	0,006
	Do Rocha	7,46x10 ⁻⁰⁴	3,10x10 ⁻⁰⁴	0,98	7,64x10 ⁻⁰⁷	0,066
	Do Paraíba	1,24x10 ⁻⁰⁵	3,45x10 ⁻⁰⁷	0,25	4,98x10 ⁻⁰⁸	0,004
	Do Chico	1,84x10 ⁻⁰⁴	8,22x10 ⁻⁰⁷	0,61	3,00x10 ⁻⁰⁷	0,026
3	Novato	1,36x10 ⁻⁰⁴	1,64x10 ⁻⁰⁴	0,55	2,46x10 ⁻⁰⁷	0,021
4	Riacho Grande	1,57x10 ⁻⁰⁴	1,50x10 ⁻⁰⁴	0,58	2,70x10 ⁻⁰⁷	0,023
5	Água Boa	7,74x10 ⁻⁰⁶	7,43x10 ⁻⁰³	0,21	3,63x10 ⁻⁰⁸	0,003
Média		1,89x10 ⁻⁰⁴	4,23x10 ⁻⁰³	0,53	2,66x10 ⁻⁰⁷	0,023

*Tf = transmissividade das fraturas; Sf = coeficiente de armazenamento das fraturas; a = abertura média das fraturas; Kf = condutividade hidráulica das fraturas.

De modo geral, os testes foram realizados em condições adversas, com os poços sempre em exploração e submetidos a influências mútuas. Mesmo assim, os resultados são satisfatórios, com valores dentro do esperado.

No que se refere ao armazenamento nas fraturas, o parâmetro S_f parece refletir a extrema heterogeneidade do meio cárstico fraturado. O maior valor desse parâmetro, com efeito, é cerca de 100.000 vezes maior que o menor valor ($3,4 \times 10^{-7} \leq S_f \leq 1,7 \times 10^{-2}$), consistente com a realidade. A condutividade hidráulica nas fraturas é muito baixa (média de 0,023 m/dia), porém consistente com valores encontrados na literatura, assim como a abertura média nas fraturas que é de apenas 0,53 mm.

O arranjo de poços existentes previstos para observação é constituído de três unidades conforme indicado na Tabela 6.5. Ressalta-se que não foi possível instalar o tubo guia para o transdutor de pressão no poço Zequinha 2, uma vez que não houve condições de retirar a bomba do poço. Por esta razão o monitoramento de níveis ficou restrito aos poços da Prefeitura e Zequinha 1.

Tabela 6.5 – Matriz de distâncias entre os três poços previstos para observação na Fazenda Juazeiro – município de Tabocas do Brejo Velho.

Nome	Poço	x	Y	z	P1	P2	P3	Observação
Zequinha 1	P1	595474	8600671	762	0	22	66	
Zequinha 2	P2	595464	8600654	772	22	0	47	Não monitorado
Prefeitura	P3	595427	8600639	765	66	47	0	SIAGAS 2900005440 e CERB 1-1641/83

O perfil litológico e construtivo típico dos poços testados no condutor hidráulico da Fazenda Juazeiro é o do Poço da Prefeitura de Tabocas do Brejo Velho (P3), Cadastrado pela CPRM/SIAGAS (Figura 6.9) e pela CERB.

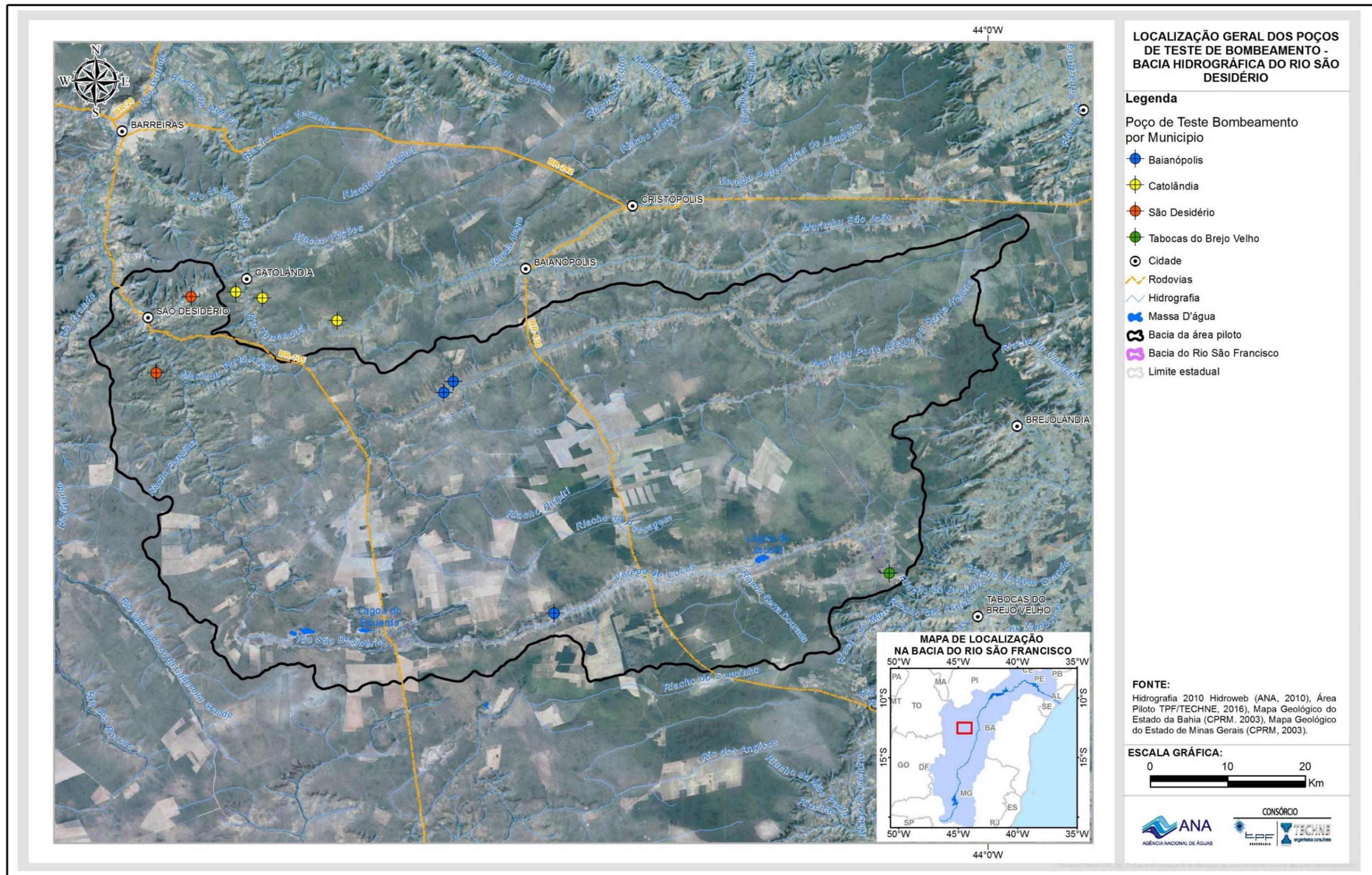


Figura 6.8: Conjuntos de poços utilizados nos testes de aquíferos.

6.4.2.1 Testes na Fazenda Juazeiro – Tabocas do Brejo Velho/BA

Devido às necessidades de abastecimento da comunidade e dos rebanhos na Fazenda Juazeiro somente foi possível efetuar bombeamentos em dois poços e ainda assim sem condições de paralisar os demais que continuaram a operar normalmente. Assim sendo, foram realizados três testes de bombeamento, sendo um no poço Prefeitura de Tabocas e os dois outros no Poço Zequinha 1. Houve ainda o pré-teste do poço Zequinha 1, com vazão de 7 m³/h, usado no cálculo dos parâmetros hidráulicos.

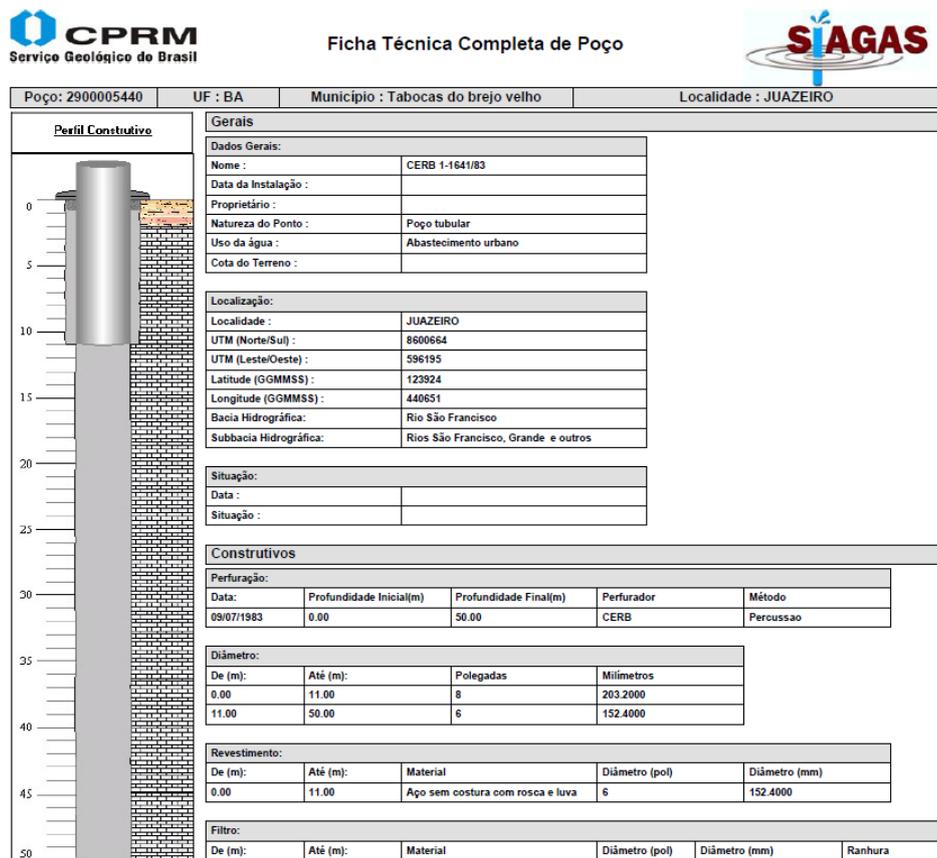


Figura 6.9: Perfil litológico e construtivo do poço testado na Fazenda Juazeiro – município de Tabocas do Brejo Velho – BA. Condutor hidráulico cárstico - fissural com entradas de água aos 35, 39, 44 e 45 m.

Os gráficos das Figura 6.10, Figura 6.11 e Figura 6.12 são de capacidade específica, sendo as duas primeiras figuras do poço Zequinha 1 para vazões constantes de 18 m³/h e 16 m³/h, respectivamente e a última do poço da Prefeitura de Tabocas, também testado com vazão constante 6,6 m³/h. Em todos eles a dimensão fractal da capacidade específica igual a 1, comprovando que as vazões bombeadas foram realmente constantes.

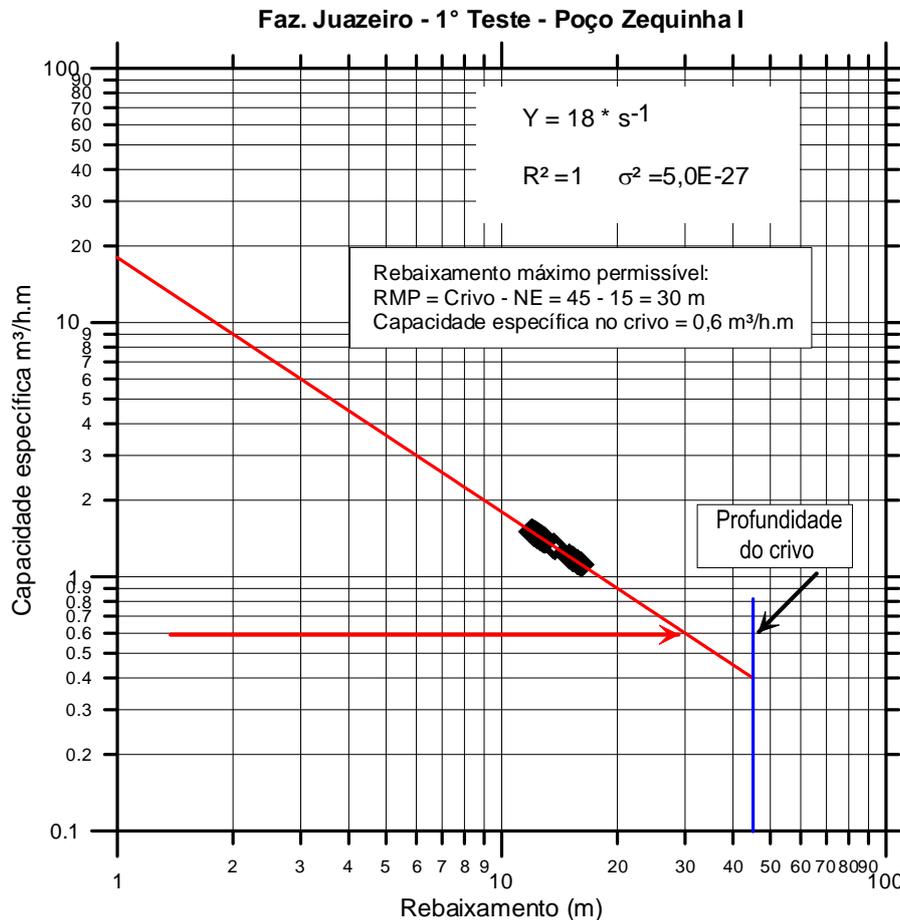


Figura 6.10: Capacidade específica observada durante o primeiro teste com vazão constante de 18 m³/h no poço Zequinha 1 - Fazenda Juazeiro - município de Tabocas do Brejo Velho/BA.

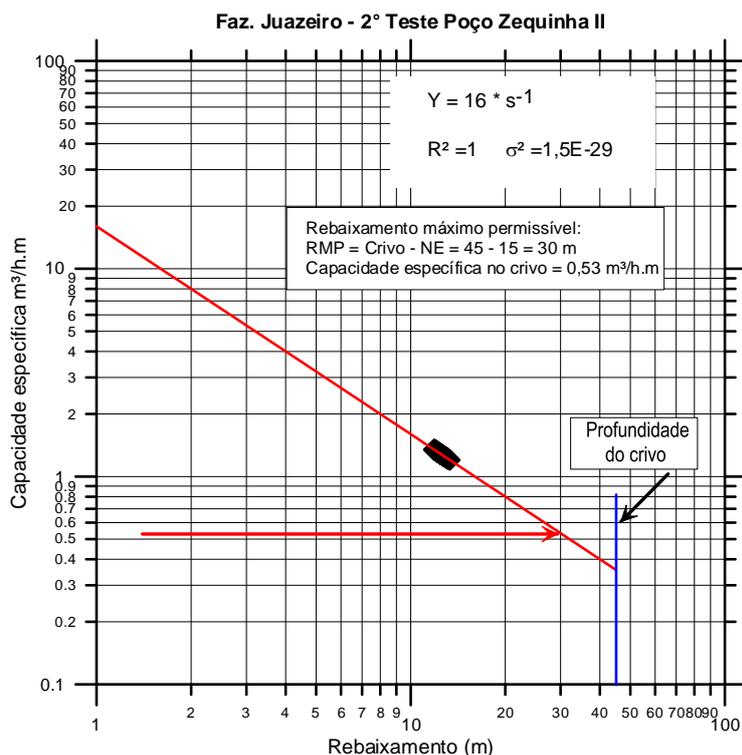


Figura 6.11: Capacidade específica observada durante o segundo teste com vazão constante de 16 m³/h no poço Zequinha 1 - Fazenda Juazeiro - município de Tabocas do Brejo Velho – BA.

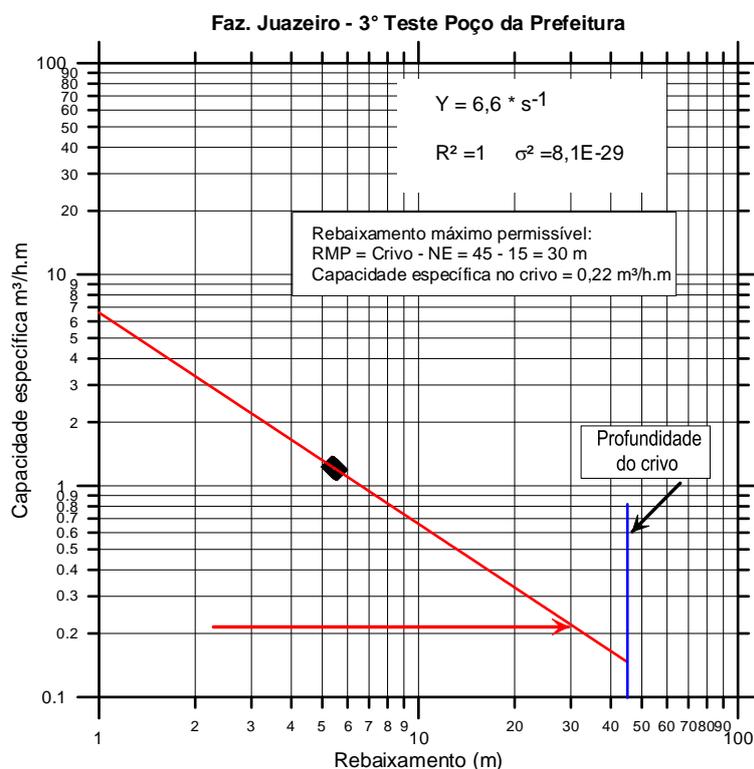


Figura 6.12: Capacidade específica observada durante o terceiro teste com vazão constante de 6,6 m³/h no poço da Prefeitura - Fazenda Juazeiro - município de Tabocas do Brejo Velho – BA.

Cálculo dos Parâmetros Hidráulicos na Fazenda Juazeiro

As propriedades hidráulicas do meio fraturado serão avaliadas no plano (r,z) , pelo processo clássico de superposição da curva de rebaixamento versus tempo obtida no campo com a curva padrão da função do poço em meio fraturado pelo método de Boulton (1963).

- Poço Bombeado da Prefeitura de Tabocas do Brejo Velho

A superposição da curva de rebaixamento obtida no teste do poço da Prefeitura com a curva da função de Boulton para meio fraturado (Figura 6.13), permitiu obter os parâmetros indicados na Tabela 6.6.

Tabela 6.6 – Parâmetros da função de Boulton obtidos na superposição com a curva de rebaixamento do poço da Prefeitura de Tabocas do Brejo Velho/BA.

Poço	Q m ³ /s	t seg	s (m)	Θ	W Θ	H	r/B
Prefeitura Tabocas	$1,83 \times 10^{-03}$	6600	3,5	2	3,1	1000	0,2

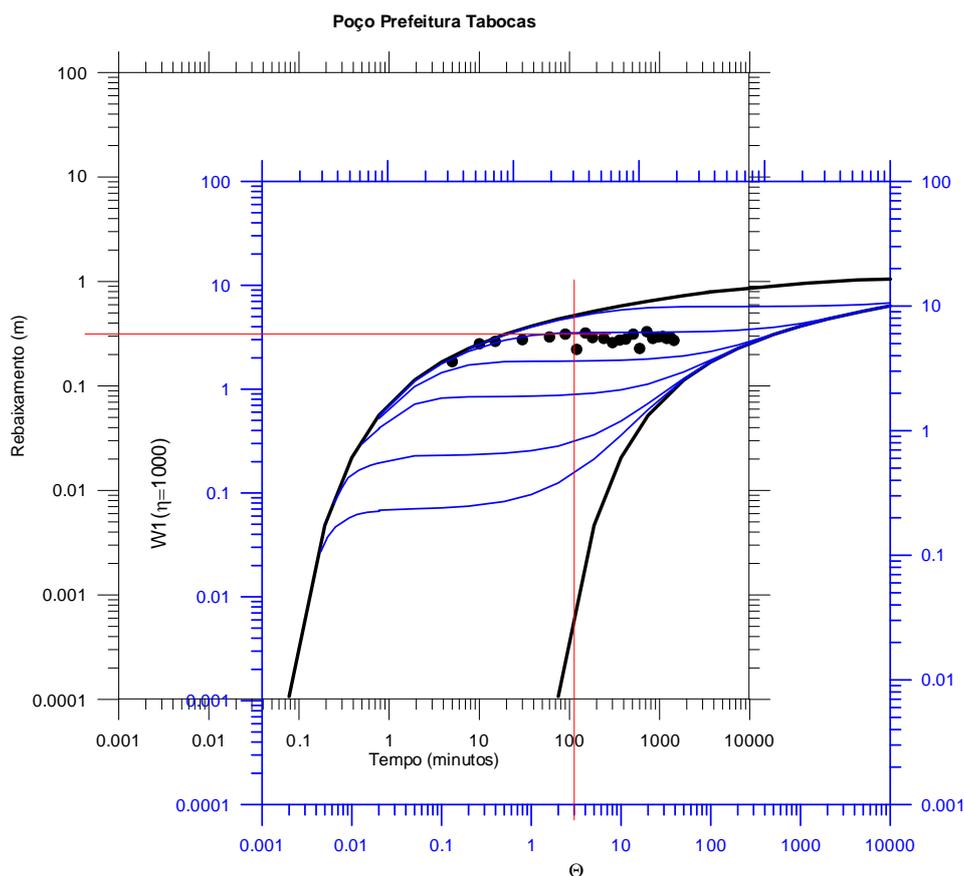


Figura 6.13: Avaliação dos parâmetros hidráulicos no poço da Prefeitura de Tabocas, pelo método de superposição de escoamentos (modelo de Boulton 1963).

Usando os parâmetros da Tabela 6.6 obtidos da superposição de curvas da Figura 6.13 foram calculadas no poço bombeado da Prefeitura de Tabocas as propriedades hidráulicas de transporte e armazenamento do meio fraturado indicadas na Tabela 6.7.

Tabela 6.7 – Parâmetros hidrodinâmicos obtidos no teste de bombeamento do poço da Prefeitura de Tabocas do Brejo Velho – BA.

Poço	Tf m ² /s	Sf	a (mm)	Kf m/s
Prefeitura de Tabocas	1,3x10 ⁻⁰⁴	1,7x10 ⁻⁰²	0,545	2,37x10 ⁻⁰⁷

*Tf = transmissividade das fraturas; Sf = coeficiente de armazenamento das fraturas; a = abertura média das fraturas; Kf = condutividade hidráulica das fraturas.

- Poço Bombeado Zequinha 1

A superposição da curva de rebaixamento obtida no pré-teste do poço Zequinha 1, com vazão de 7 m³/h, com a curva da função de Boulton para meio fraturado (Figura 6.144), permitiu obter os parâmetros indicados na Tabela 6.8.

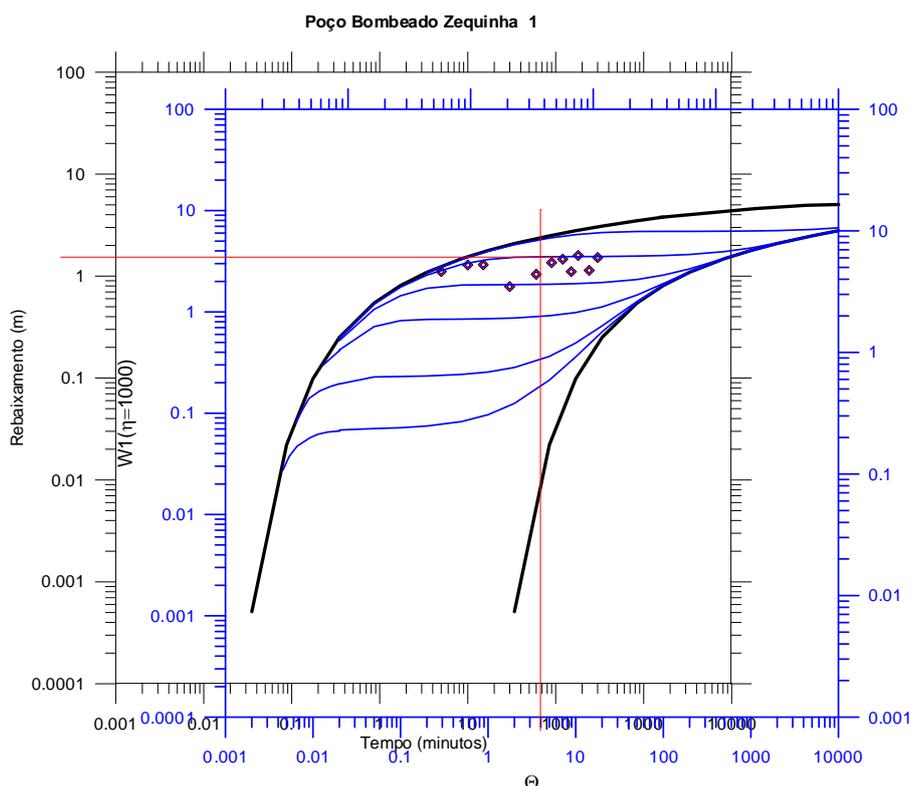


Figura 6.14: Avaliação dos parâmetros hidráulicos no poço Bombeado Zequinha 1, pelo método de superposição de escoamentos usando o modelo de Boulton 1963.

Tabela 6.8 – Parâmetros da função de Boulton obtidos na superposição com a curva de rebaixamento do poço Zequinha 1 na Fazenda Juazeiro – Tabocas do Brejo Velho/BA.

Poço	Q m ³ /s	t seg	s (m)	q	Wq	H	r/B
Zequinha 1	0,00176	4200	1,6	4	3,5	1000	0,2

Usando os parâmetros da Tabela 6.8 obtidos da superposição de curvas da Figura 6.14 foram calculadas no poço bombeado Zequinha 1 as propriedades hidráulicas de transporte e armazenamento do meio fraturado indicadas da Tabela 6.9.

Tabela 6.9 – Parâmetros hidrodinâmicos obtidos no teste de bombeamento do poço Zequinha 1, na Fazenda Juazeiro – Tabocas do Brejo Velho/BA.

Poço	Tf m ² /s	Sf	a (mm)	Kf m/s
Zequinha 1	3,06E-04	1,29E-02	0,73	4,22E-07

*Tf = transmissividade das fraturas; Sf = coeficiente de armazenamento das fraturas; a = abertura média das fraturas; Kf = condutividade hidráulica das fraturas.

6.4.2.2 Teste em Malhada Grande – Baianópolis/BA

O teste em Malhada Grande incluiu além do bombeamento no posto da Prefeitura mais quatro poços para observação e acompanhamento. A posição desse conjunto, do ponto de vista regional, é indicada na Figura 6.7 acima. O perfil litológico típico é ilustrado na Figura 6.15 e o monitoramento automático dos níveis de água no período de 04/11/2014 a 09/11/2014 em Malhada Grande foi realizado através de sensores instalados em quatro poços, conforme mostrado na Tabela 6.10 e na Figura 6.16.

Tabela 6.10 – Períodos de registros de nível de água obtidos com dataloggers, nos poços selecionados para observação na Comunidade Malhada Grande - município de Baianópolis BA.

Poço	Início	Fim	Horas
Do Chico	04-11-14 às 10:35h	05-11-14 às 18:49h	32
Do Paraíba	05-11-14 às 17:47h	09-11-14 às 13:43h	92
Do Rocha	05-11-14 às 18:20h	09-11-14 às 13:18h	94
Da Prefeitura	05-11-14 às 21:59h	09-11-14 às 13:18h	86

O perfil litológico típico dos poços testados em Malhada Grande em condutor hidráulico – fissural, no sistema aquífero Bambuí é análogo ao perfil do poço SIAGAS 2900016655 (CERB 1-1755/83) apresentado na Figura 6.16, testado Malhada Grande, município de Baianópolis/BA.

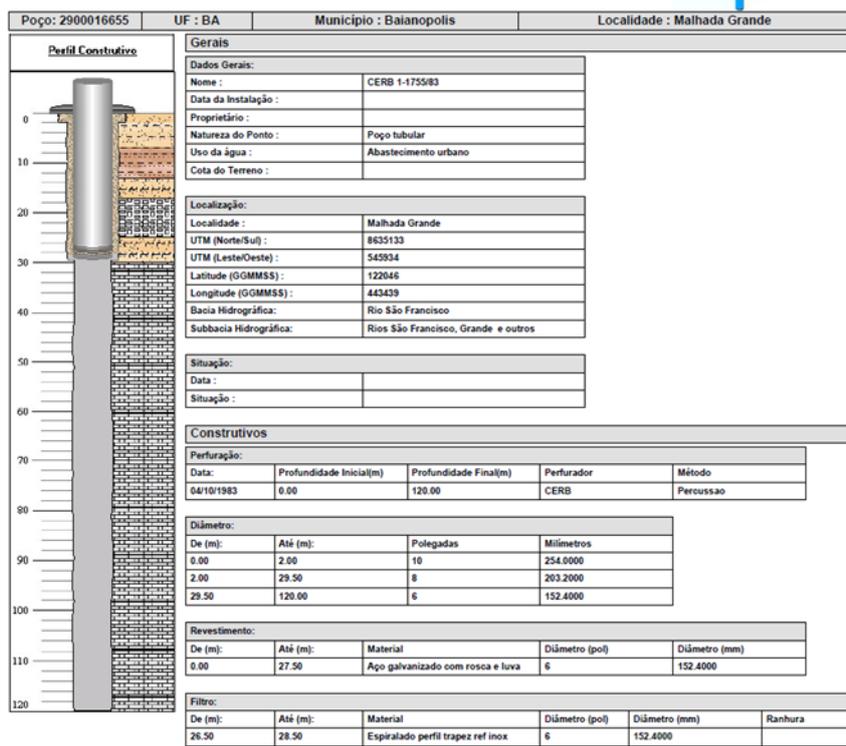


Figura 6.15: Perfil litológico e construtivo do poço testado em Malhada Grande – Baianópolis BA. Condutor hidráulico cárstico-fissural com entradas de água abaixo dos 30 m de profundidade.

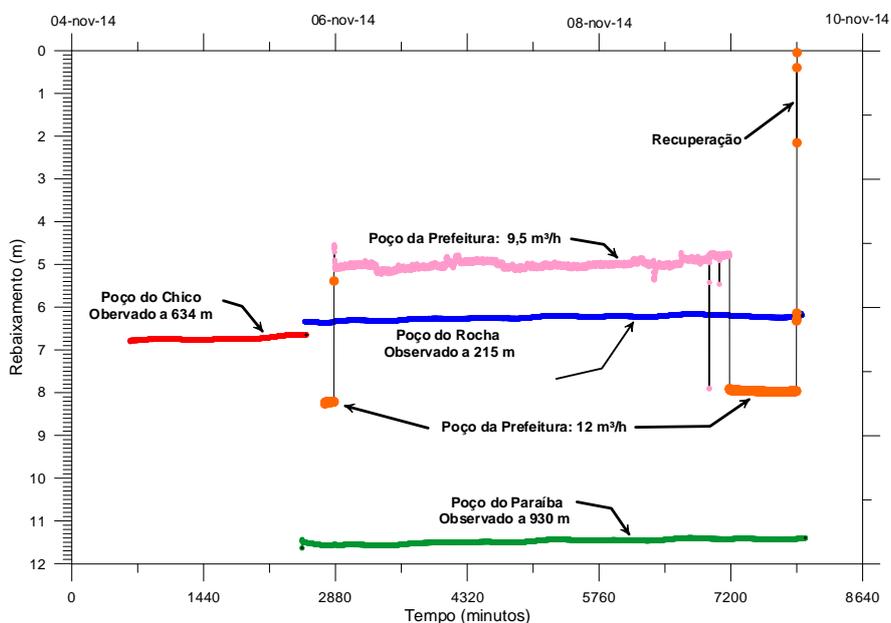


Figura 6.16: Curvas dos rebaixamentos registrados na Comunidade Malhada Grande nos poços Do Chico, Do Rocha, Do Paraíba e da Prefeitura de Baianópolis – BA.

O gráfico da Figura 6.17 mostra a evolução da capacidade específica com o rebaixamento do poço da Prefeitura de Baianópolis, testado em duas etapas com vazões constantes, de 9,5 m³/h e de 12 m³/h, respectivamente, e que são representadas pelas retas paralelas com declividade correspondente à dimensão fractal $D = 1$ (expoente do rebaixamento s^{-1}).

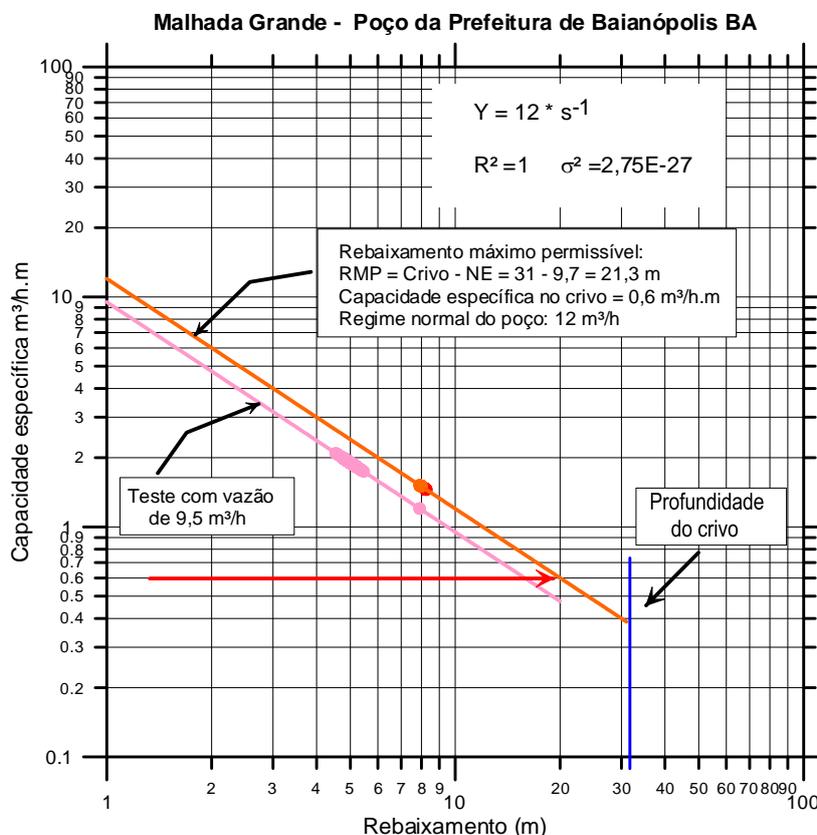


Figura 6.17: Capacidade específica observada no poço da Prefeitura – Malhada Grande - município de Baianópolis/BA, durante o teste realizado em duas etapas, com vazões constantes de 9,5 m³/h e 12 m³/h.

Cálculo dos Parâmetros Hidráulicos em Malhada Grande

- Poço Bombeado da Prefeitura de Baianópolis

A superposição da curva de rebaixamento obtida no teste do poço da Prefeitura de Baianópolis com a curva da função de Boulton para meio fraturado (Figura 6.18), permitiu obter os parâmetros indicados na Tabela 6.11.

Tabela 6.11 – Parâmetros da função de Boulton obtidos na superposição com a curva de rebaixamento do poço da Prefeitura de Baianópolis - BA.

Poço	Q m³/s	t seg	s (m)	θ	$W\theta$	η	r/B
Prefeitura Baianópolis	$2,50 \times 10^{-03}$	18000	40	100	3,8	100	0,005

Usando os parâmetros da Tabela 6.11 obtidos da superposição das curvas da Figura 6.18 foram calculadas (usando a metodologia descrita no RP05) no

poço bombeado da Prefeitura de Baianópolis as propriedades hidráulicas de transporte e armazenamento do meio fraturado indicadas da Tabela 6.12.

Tabela 6.12 – Parâmetros hidrodinâmicos obtidos no teste de bombeamento do poço da Prefeitura de Baianópolis, em Malhada Grande – Baianópolis/BA.

Poço	Tf m ² /s	Sf	a (mm)	Kf m/s
Prefeitura Baianópolis	1,89x10 ⁻⁰⁵	1,36x10 ⁻⁰⁴	0,29	6,58x10 ⁻⁰⁸

*Tf = transmissividade das fraturas; Sf = coeficiente de armazenamento das fraturas; a = abertura média das fraturas; Kf = condutividade hidráulica das fraturas.

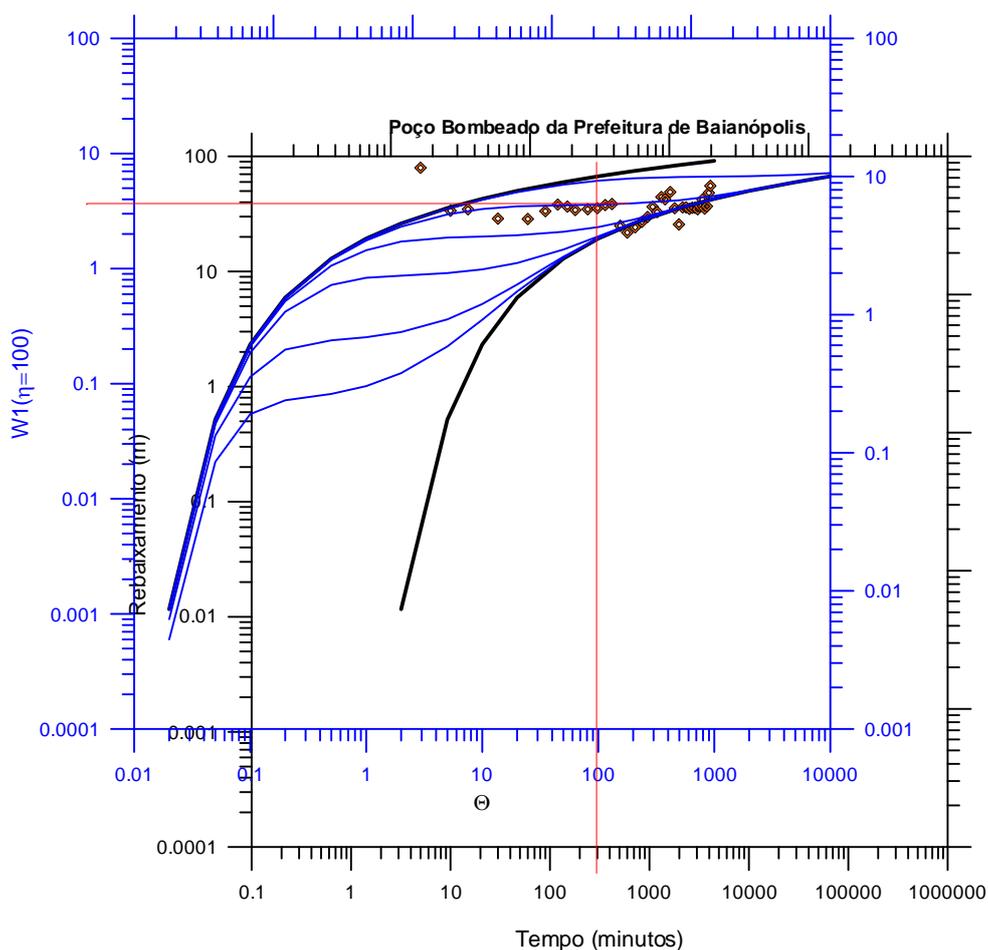


Figura 6.18: Avaliação dos parâmetros hidráulicos no poço Bombeado da Prefeitura de Baianópolis pelo método de superposição de escoamentos (modelo de Boulton 1963).

- **Poço Observado do Rocha a 215 m de distância 18**

A superposição da curva de rebaixamento obtida no teste do poço observado do Rocha com a curva da função de Boulton para meio fraturado (Figura 6.1919), permitiu obter os parâmetros indicados na Tabela 6.13.

Tabela 6.13 – Parâmetros da função de Boulton obtidos na superposição com a curva de rebaixamento do poço do Rocha observado a 215 m de distância do poço bombeado da Prefeitura de Baianópolis - BA.

Poço	Q m ³ /s	t seg	s (m)	Θ	WΘ	η	r/B
Do Rocha	2,50x10 ⁻⁰³	9600	0,032	2	0,12	100	3

Usando os parâmetros da Tabela 6.12 obtidos da superposição das curvas da Figura 6.19 foram calculadas no poço bombeado da Prefeitura de Baianópolis as propriedades hidráulicas de transporte e armazenamento do meio fraturado indicadas da Tabela 6.14.

Tabela 6.14 – Parâmetros hidrodinâmicos obtidos no teste de bombeamento do poço observado do Rocha, em Malhada Grande – Baianópolis/BA.

Poço	Tf m ² /s	Sf	a (mm)	Kf m/s
Do Rocha	7,46E-04	3,10E-04	0,98	7,64E-07

*Tf = transmissividade das fraturas; Sf = coeficiente de armazenamento das fraturas; a = abertura média das fraturas; Kf = condutividade hidráulica das fraturas.

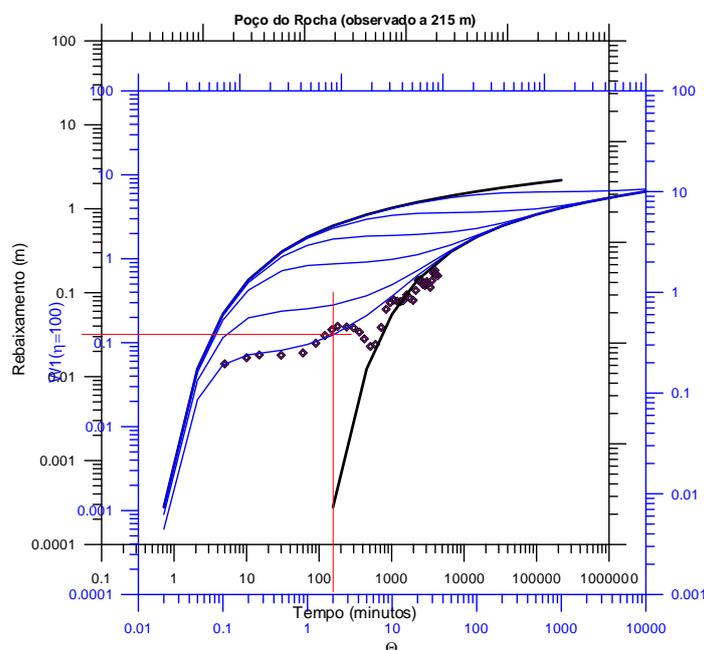


Figura 6.19: Avaliação dos parâmetros hidráulicos no poço observado do Rocha (a 215 m), pelo método de superposição de escoamentos (modelo de Boulton 1963).

- **Poço Observado do Chico a 634 m de distância**

A superposição da curva de rebaixamento obtida no teste do poço do Chico observado a 634 m com a curva da função de Boulton para meio fraturado (Figura 6.19), permitiu obter os parâmetros indicados na Tabela 6.15.

Tabela 6.15 – Parâmetros da função de Boulton obtidos na superposição com a curva de rebaixamento do poço observado do Chico a 634 m de distância do poço bombeado da Prefeitura de Baianópolis - BA.

Poço	Q m ³ /s	t seg	s (m)	Θ	WΘ	η	r/B
Do Chico	2,50x10 ⁻⁰³	90000	6,5	200	6	100	0,005

Usando os parâmetros da Tabela 6.15 obtidos da superposição das curvas da Figura 6.20 foram calculadas (usando a metodologia descrita no RP05) no poço do Chico, observado a 634 m de distância, as propriedades hidráulicas de transporte e armazenamento do meio fraturado indicadas na Tabela 6.16.

Tabela 6.16 – Parâmetros hidrodinâmicos obtidos no teste de bombeamento do poço observado do Chico, em Malhada Grande – Baianópolis/BA.

Poço	Tf m ² /s	Sf	a (mm)	Kf m/s
Do Chico	1,84x10 ⁻⁰⁴	8,22x10 ⁻⁰⁷	0,61	3,00x10 ⁻⁰⁷

*Tf = transmissividade das fraturas; Sf = coeficiente de armazenamento das fraturas; a = abertura média das fraturas; Kf = condutividade hidráulica das fraturas.

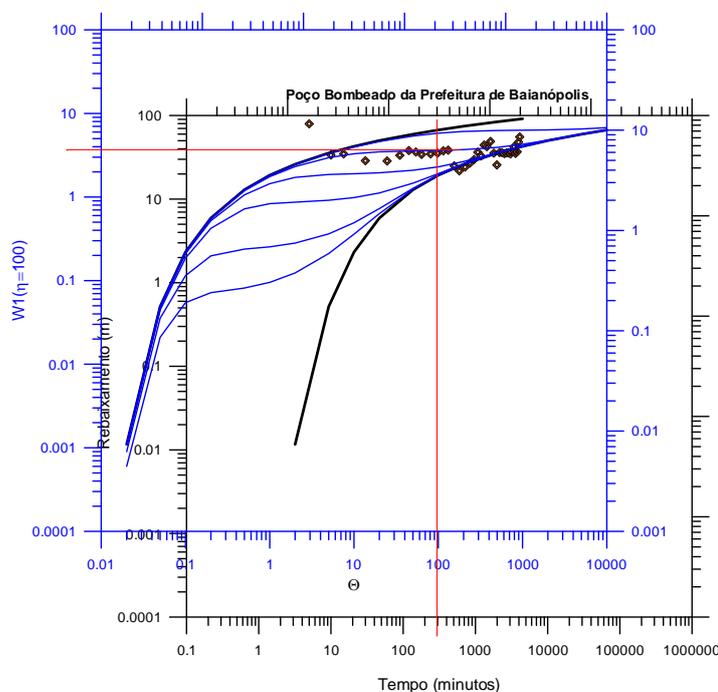


Figura 6.20: Avaliação dos parâmetros hidráulicos no poço observado do Chico (a 634 m), pelo método de superposição (modelo de Boulton 1963).

- **Poço Observado do Paraíba a 930 m de distância**

A superposição da curva de rebaixamento obtida no teste do poço observado do Paraíba com a curva da função de Boulton para meio fraturado (Figura 6.21), permitiu obter os parâmetros indicados na Tabela 6.17.

Tabela 6.17 – Parâmetros da função de Boulton obtidos na superposição com a curva de rebaixamento do poço observado do Paraíba a 930 m de distância do poço bombeado da Prefeitura de Baianópolis/BA.

Poço	Q m ³ /s	t seg	s (m)	Θ	WΘ	η	r/B
Do Paraíba	2,50x10 ⁻⁰³	120000	8	20	0,5	100	0

Usando os parâmetros da Tabela 6.17 obtidos da superposição das curvas da Figura 6.21 foram calculadas (usando a metodologia descrita no RP05) no poço bombeado da Prefeitura de Baianópolis as propriedades hidráulicas de transporte e armazenamento do meio fraturado indicadas da Tabela 6.18.

Tabela 6.18 – Parâmetros hidrodinâmicos obtidos no teste de bombeamento do poço observado do Paraíba, em Malhada Grande – Baianópolis/BA.

Poço	Tf m ² /s	Sf	a (mm)	Kf m/s
Do Paraíba	1,24x10 ⁻⁰⁵	3,45x10 ⁻⁰⁷	0,25	4,98x10 ⁻⁰⁸

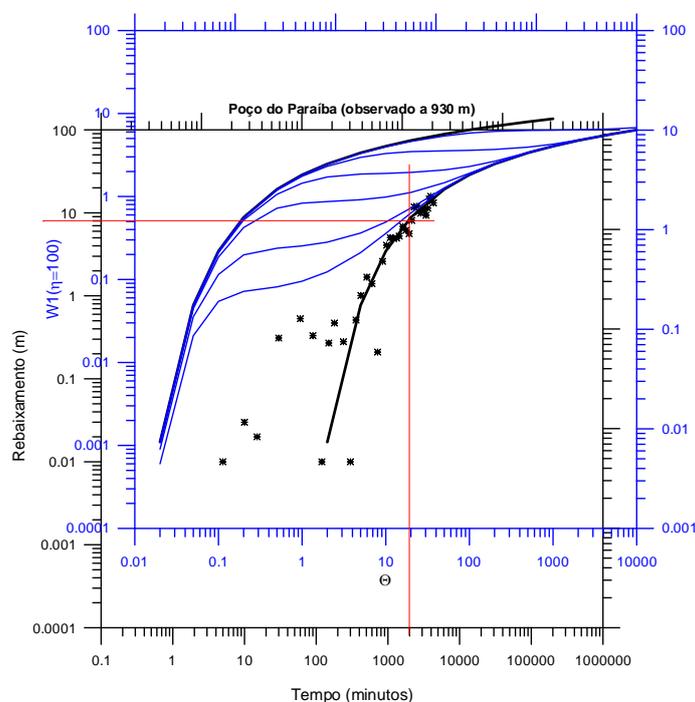


Figura 6.21: Avaliação dos parâmetros hidráulicos no poço observado do Paraíba (a 930 m) pelo método de superposição de escoamentos usando o modelo de Boulton 1963.

6.4.2.3 Teste em Várzeas – Baianópolis/BA

A localização do poço bombeado Novato é ilustrada na Figura 6.8. O teste foi realizado com duração de 72 horas de bombeamento e 14 horas de recuperação.

O perfil litológico e construtivo típico do poço bombeado é ilustrado na Figura 6.22 e caracteriza um condutor hidráulico cárstico com entradas de água aos 45 e 51 m. O monitoramento automático dos níveis de água foi realizado no período de 11/11/2014 a 16/11/2014 no poço Novato através de sensor automático, transdutor de pressão, cujos registros são mostrados na Figura 6.23.

Partindo de um nível estático de 3,68 m, logo depois do primeiro minuto de bombeamento o nível de água baixou para 11,76 m e a partir daí se manteve com pequenas oscilações até o final das observações quando atingiu 12,12 m, estando o crivo da bomba a 13 m de profundidade. Essa evolução aconteceu para uma vazão constante de 7.6 m³/h, comprovada pelo gráfico de capacidade específica fractal (Figura 6.24) no qual a equação ajustada revela que o valor do expoente do rebaixamento é igual a 1.

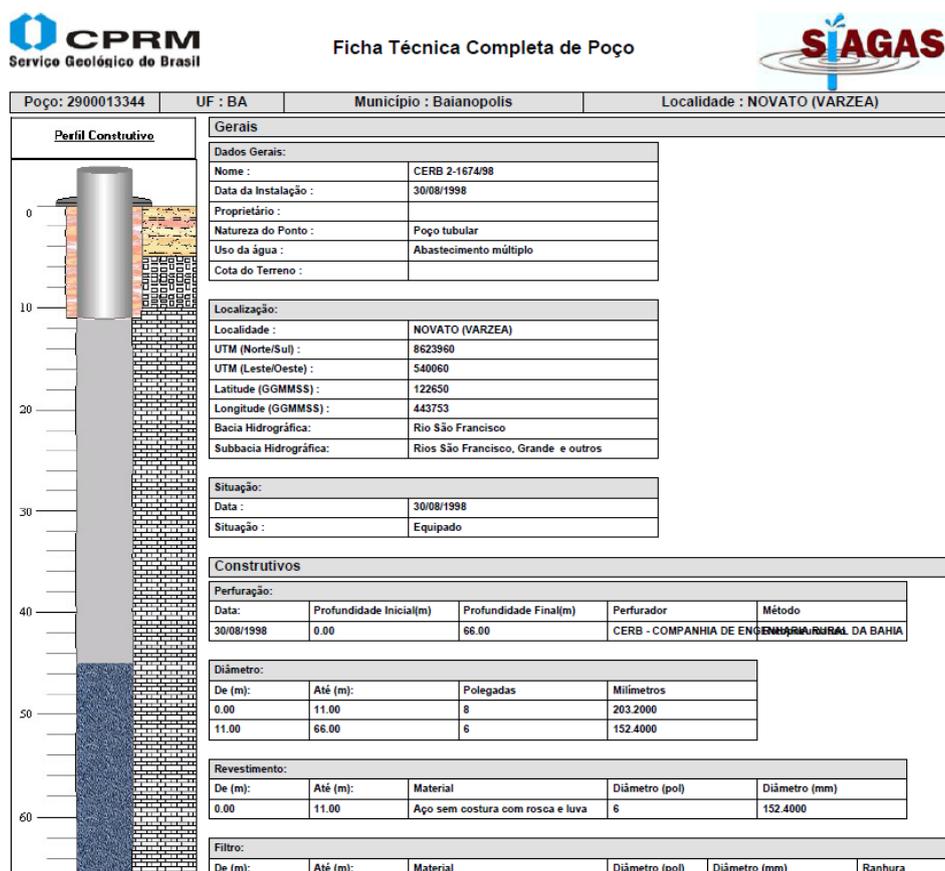


Figura 6.22: Perfil litológico e construtivo do poço testado em Novato – Várzeas – município de Baianópolis/BA. Condutor hidráulico cárstico com entradas de água aos 45 e 51 m.

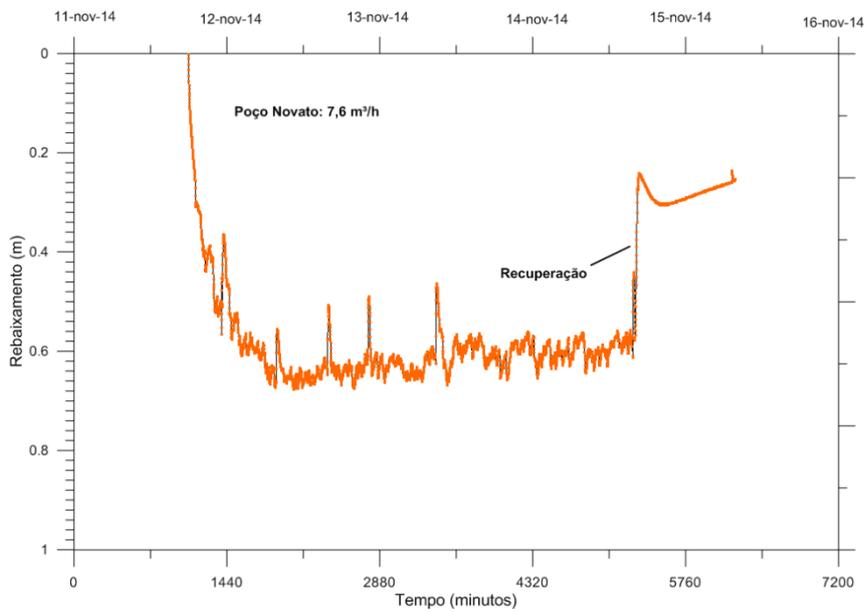


Figura 6.23: Curva de rebaixamento e recuperação registrada na Comunidade Várzea no poço Novato - Baianópolis BA.

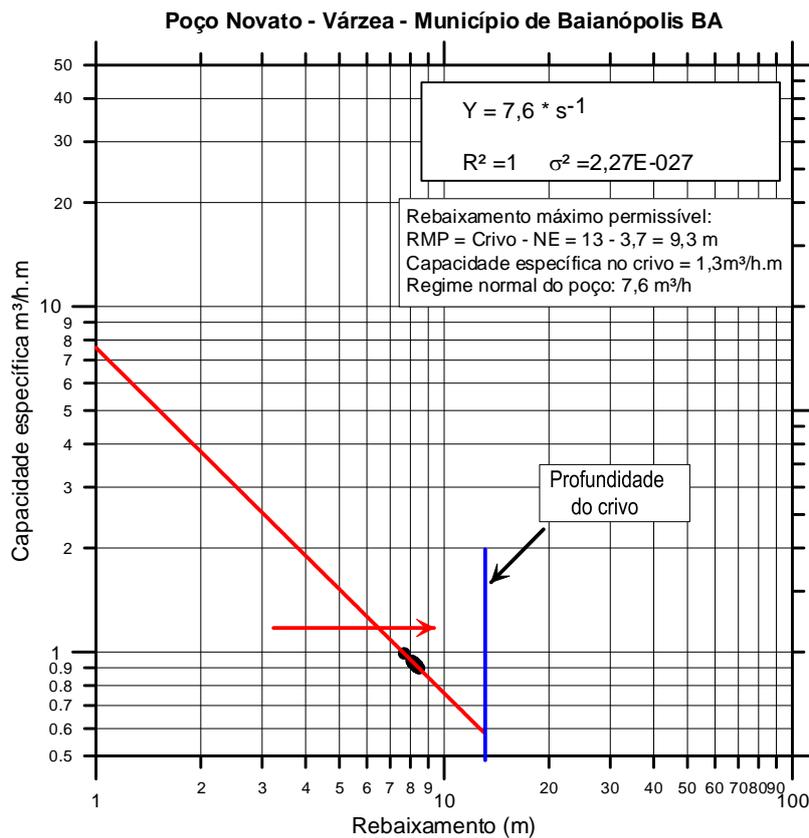


Figura 6.24: Capacidade específica observada no poço Novato – Várzeas - Baianópolis/BA, durante o teste realizado com vazão constante de 7,6 m³/h.

6.4.2.3.1 Cálculo dos Parâmetros Hidráulicos em Várzeas

- **Poço Bombeado Novato**

A superposição da curva de rebaixamento obtida no teste do poço bombeado Novato com a curva da função de Boulton para meio fraturado (Figura 6.25), permitiu obter os parâmetros indicados na Tabela 6.19.

Tabela 6.19 – Parâmetros da função de Boulton obtidos na superposição com a curva de rebaixamento do poço observado do Paraíba a 930 m de distância do poço bombeado da Prefeitura de Baianópolis/BA.

Poço	Q m ³ /s	t seg	s (m)	Θ	WΘ	η	r/B
Novato	2,11E-03	3000	8	100	6,5	1000	0,005

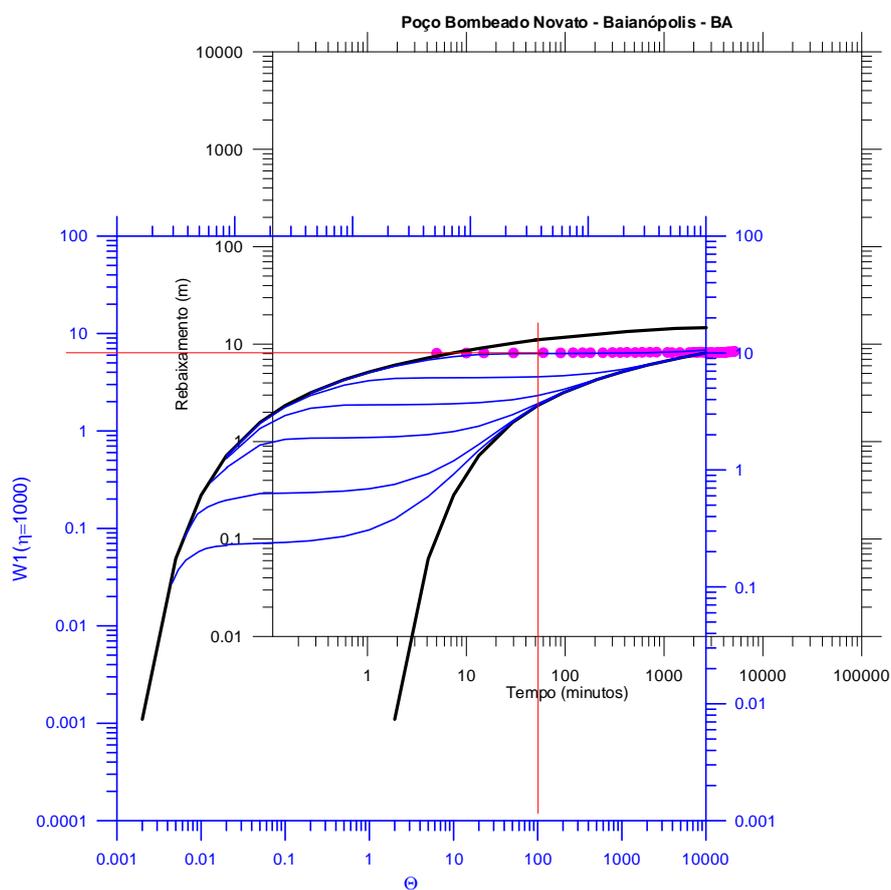


Figura 6.25: Avaliação dos parâmetros hidráulicos no poço bombeado Novato pelo método de superposição de escoamentos (Modelo de Boulton 1963).

Usando os parâmetros da Tabela 6.19 obtidos da superposição das curvas da Figura 6.25 foram calculadas no poço bombeado de Novato as propriedades hidráulicas de transporte e armazenamento do meio fraturado indicadas na Tabela 6.20.

Tabela 6.20 – Parâmetros hidrodinâmicos obtidos no teste de bombeamento do poço bombeado Novato em Várzeas – Baianópolis/BA.

Poço	Tf m ² /s	Sf	a (mm)	Kf m/s
Novato	1,24x10 ⁻⁰⁵	3,45x10 ⁻⁰⁷	0,25	4,98x10 ⁻⁰⁸

*Tf = transmissividade das fraturas; Sf = coeficiente de armazenamento das fraturas; a = abertura média das fraturas; Kf = condutividade hidráulica das fraturas.

6.4.2.4 Teste em Riacho Grande – São Desidério/BA

A localização do poço bombeado Riacho Grande é ilustrada na Figura 6.8. O teste foi realizado com duração de 72 hs de bombeamento e 14 de recuperação.

O perfil litológico e construtivo típico do poço bombeado é ilustrado na Figura 6.26 e caracteriza um condutor hidráulico cárstico com entradas de água aos 15, 21 e 45 m. O monitoramento automático dos níveis de água foi realizado no período de 01/12/2014 a 06/12/2014 no poço Riacho Grande através de sensor automático, transdutor de pressão, cujos registros são mostrados na Figura 6.27.

Partindo de um nível estático de 21,22 m, o nível dinâmico evoluiu progressivamente durante o bombeamento com um rebaixamento crescente de 0,80 a 6,51 m no final das observações. Com a utilização de um registro de globo regulado manualmente foi possível manter a vazão constante e igual a 7,6 m³/h, comprovada pelo valor do expoente do rebaixamento igual a 1 na equação ajustada de capacidade específica fractal apresentada no gráfico da Figura 6.28. No gráfico da Figura 6.28, todavia, utilizado para o cálculo dos parâmetros hidrodinâmicos do condutor hidráulico se observa claramente no ramo terminal da curva de rebaixamento que o nível de água tende para o crivo da bomba.

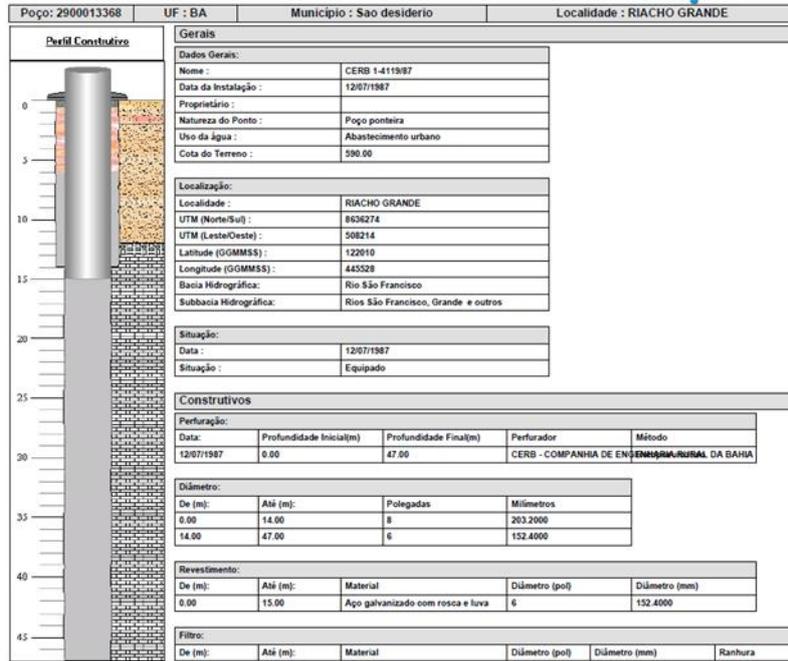


Figura 6.26: Perfil litológico e construtivo do poço testado em Riacho Grande/BA. Conductor hidráulico cárstico com entradas de água aos 15, 21 e 45m.

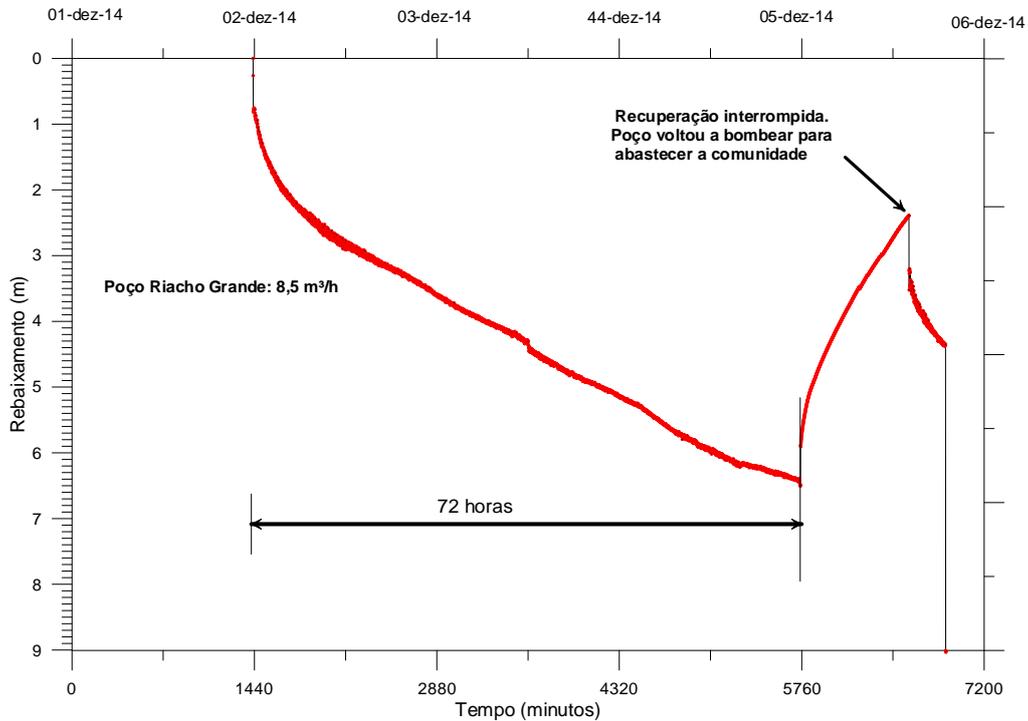


Figura 6.27: Curvas de rebaixamento e recuperação registradas no poço Riacho Grande município de São Desiderio– BA.

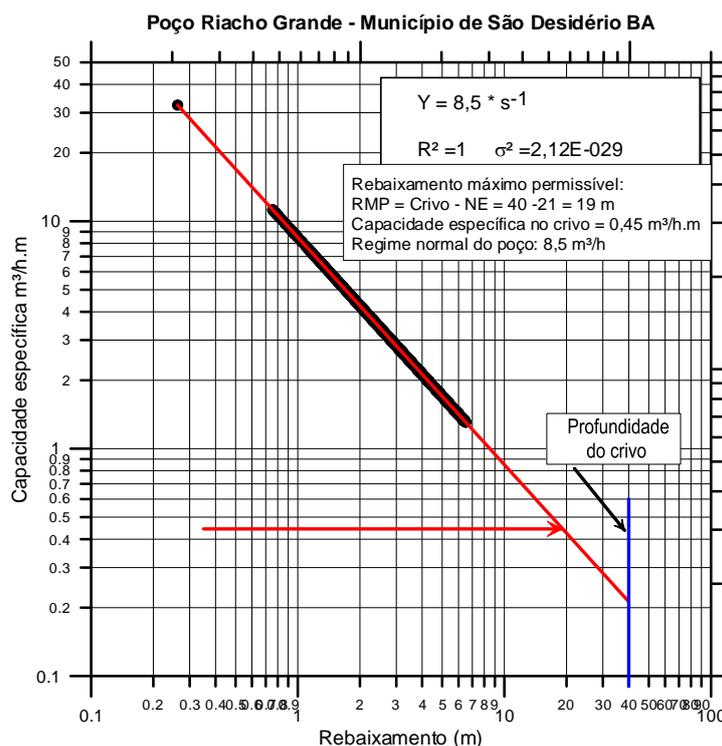


Figura 6.28 - Capacidade específica observada no poço Riacho Grande - município de São Desidério – BA, durante o teste realizado com vazão constante de 8,5 m³/h.

Cálculo dos Parâmetros Hidráulicos em Riacho Grande

- **Poço Bombeado Riacho Grande – Município de São Desidério/BA**

A superposição da curva de rebaixamento obtida no teste do poço bombeado Riacho Grande com a curva da função de Boulton para meio fraturado (Figura 6.29), permitiu obter os parâmetros indicados na Tabela 6.21.

Tabela 6.21 – Parâmetros da função de Boulton obtidos na superposição com a curva de rebaixamento do poço bombeado Riacho Grande em Riacho Grande município de São Desidério/BA.

Poço	Q m³/s	t seg	s (m)	Θ	W Θ	η	r/B
Riacho Grande	$2,36 \times 10^{-03}$	4800	3	200	2,5	10	1

Usando os parâmetros da Tabela 6.11 obtidos da superposição das curvas da Figura 6.29 foram calculadas no poço bombeado de Riacho Grande as propriedades hidráulicas de transporte e armazenamento do meio fraturado indicadas da Tabela 6.22.

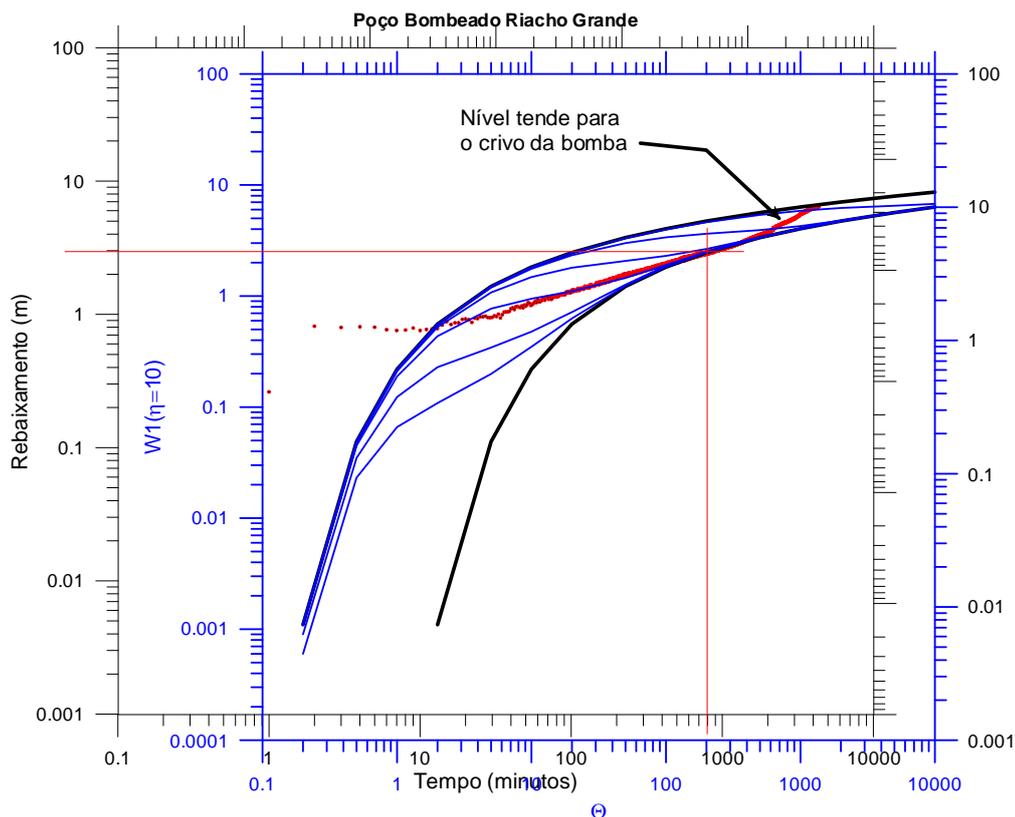


Figura 6.29: Avaliação dos parâmetros hidráulicos no poço bombeado Riacho Grande pelo método de superposição de escoamentos usando o modelo de Boulton 1963.

Tabela 6.22 – Parâmetros hidrodinâmicos obtidos no teste de bombeamento do poço bombeado Riacho Grande – município de São Desidério/BA.

Poço	Tf m ² /s	Sf	a (mm)	Kf m/s
Riacho Grande	1,57x10 ⁻⁰⁴	1,50x10 ⁻⁰⁴	0,58	2,70x10 ⁻⁰⁷

*Tf = transmissividade das fraturas; Sf = coeficiente de armazenamento das fraturas; a = abertura média das fraturas; Kf = condutividade hidráulica das fraturas.

6.4.2.5 Teste Água Boa – Baianópolis/BA

O poço Água Boa, em Baianópolis, tem sua localização apresentada na Figura 6.8. O teste foi realizado com duração de 72 horas de bombeamento e 14 horas de recuperação.

O perfil litológico e construtivo típico do poço bombeado é ilustrado na Figura 6.30 e caracteriza um condutor hidráulico cárstico com entradas de água aos 63 m. O monitoramento automático dos níveis de água foi realizado no período de 18/11/2014 a 22/11/2014 através de sensor automático, transdutor de pressão, cujos registros são mostrados na Figura 6.31.

A Figura 6.32 mostra a capacidade específica observada no poço Água Boa, para vazões constantes de 3,0 e 3,5 m³/h, garantidas com um registro globo, e capacidade do regime normal de funcionamento vigente de 4 m³/h.

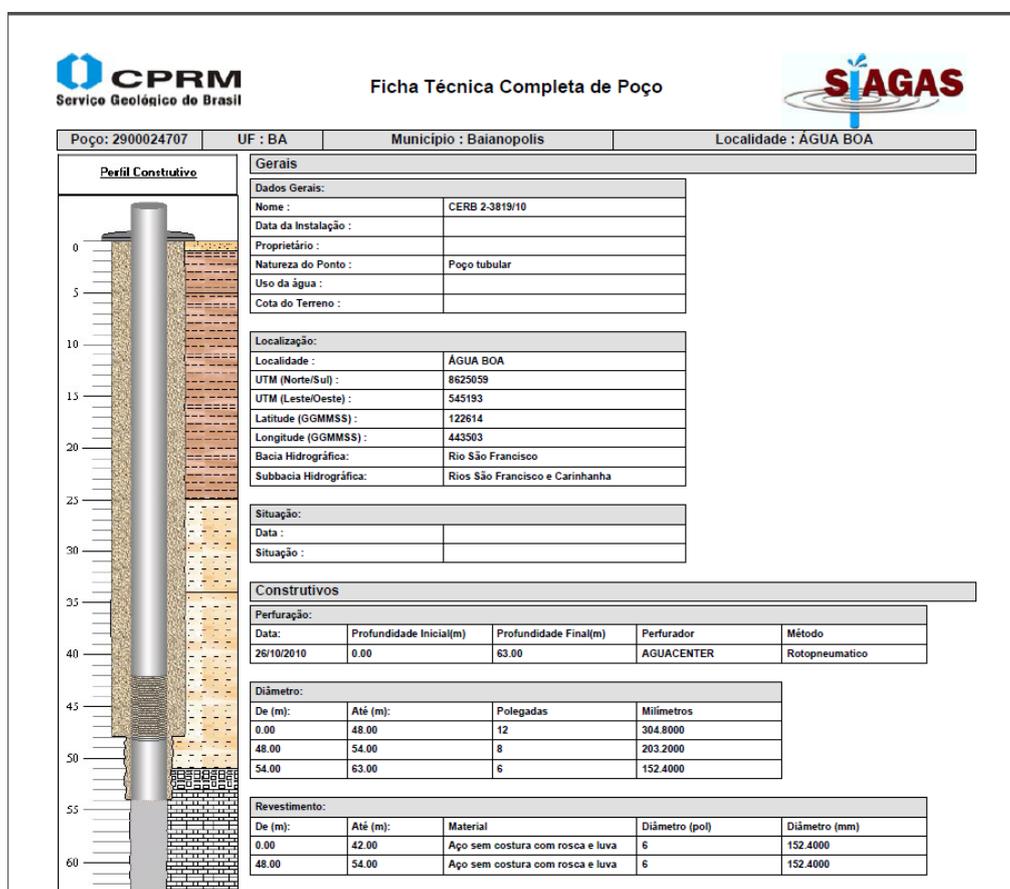


Figura 6.30: Perfil litológico e construtivo do poço testado em Água Boa – município de Baianópolis BA. Condutor hidráulico cárstico com entrada de água aos 63 m.

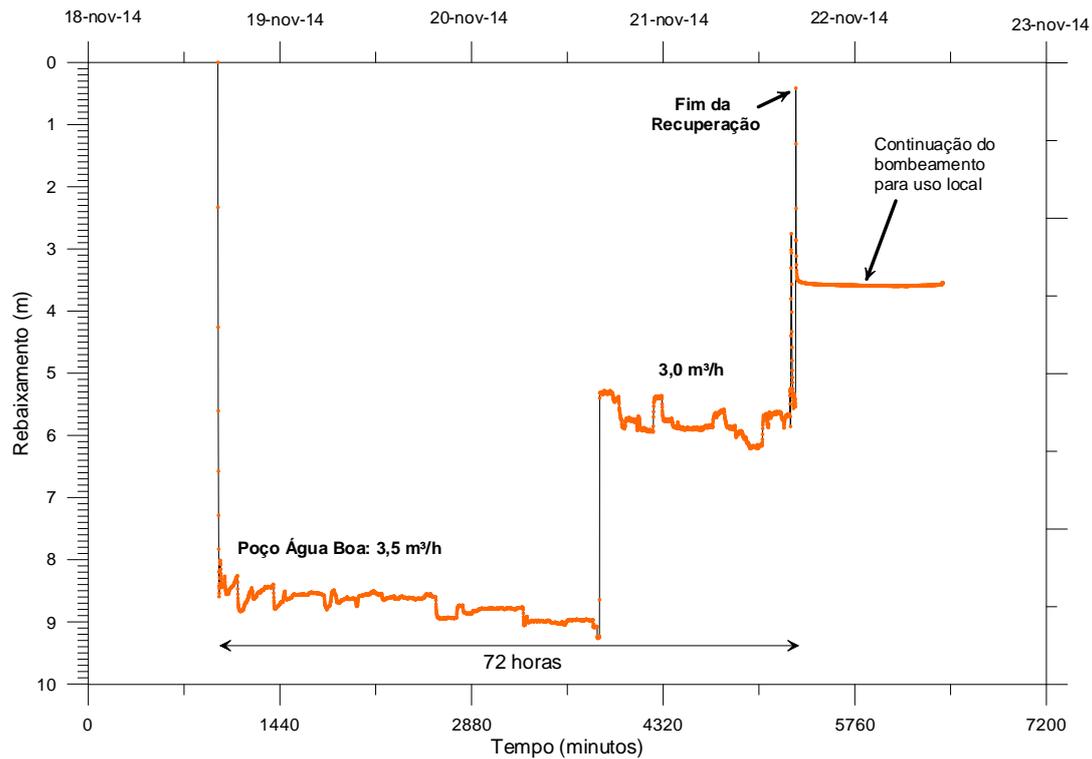


Figura 6.31: Curvas de rebaixamento e recuperação registradas na Comunidade Água Boa no poço Água Boa município de Baianópolis/BA.

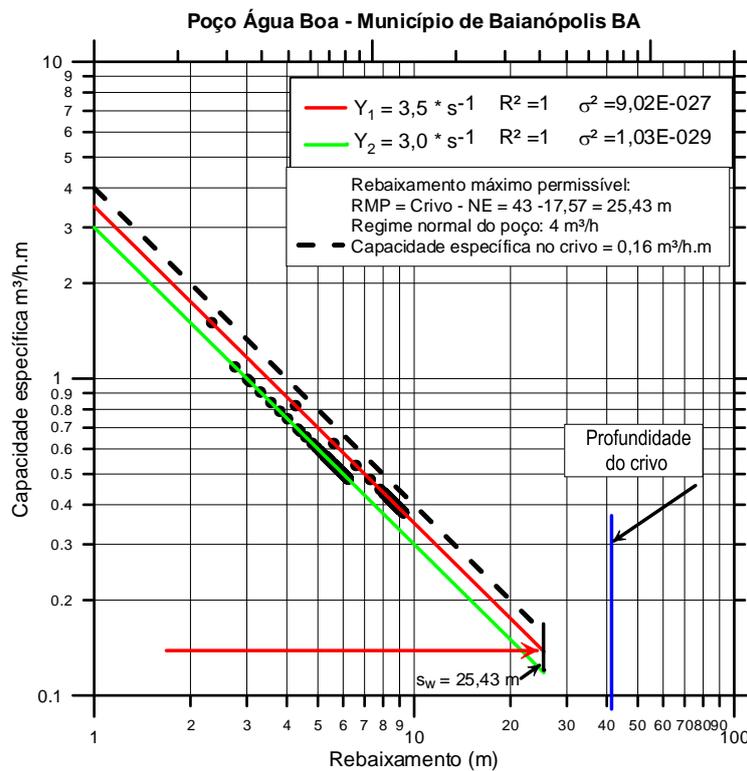


Figura 6.32: Capacidade específica observada no poço Água Boa - município de Baianópolis – BA, para vazões constantes de 3,0 e 3,5 m³/h e capacidade do regime normal de funcionamento vigente de 4 m³/h.

Cálculo dos Parâmetros Hidráulicos em Água Boa

- Poço Bombeado Água Boa – Município de Baianópolis/BA

A superposição da curva de rebaixamento obtida no teste do poço bombeado Água Boa com a curva da função de Boulton para meio fraturado (Figura 6.33), permitiu obter os parâmetros indicados na Tabela 6.23.

Tabela 6.232 – Parâmetros da função de Boulton obtidos na superposição com a curva de rebaixamento do poço bombeado Água Boa em Água Boa município de Baianópolis/BA.

Poço	Q m ³ /s	t seg	s (m)	Θ	W Θ	η	r/B
Água Boa	9,72E-04	72000	9	3	0,9	100	1

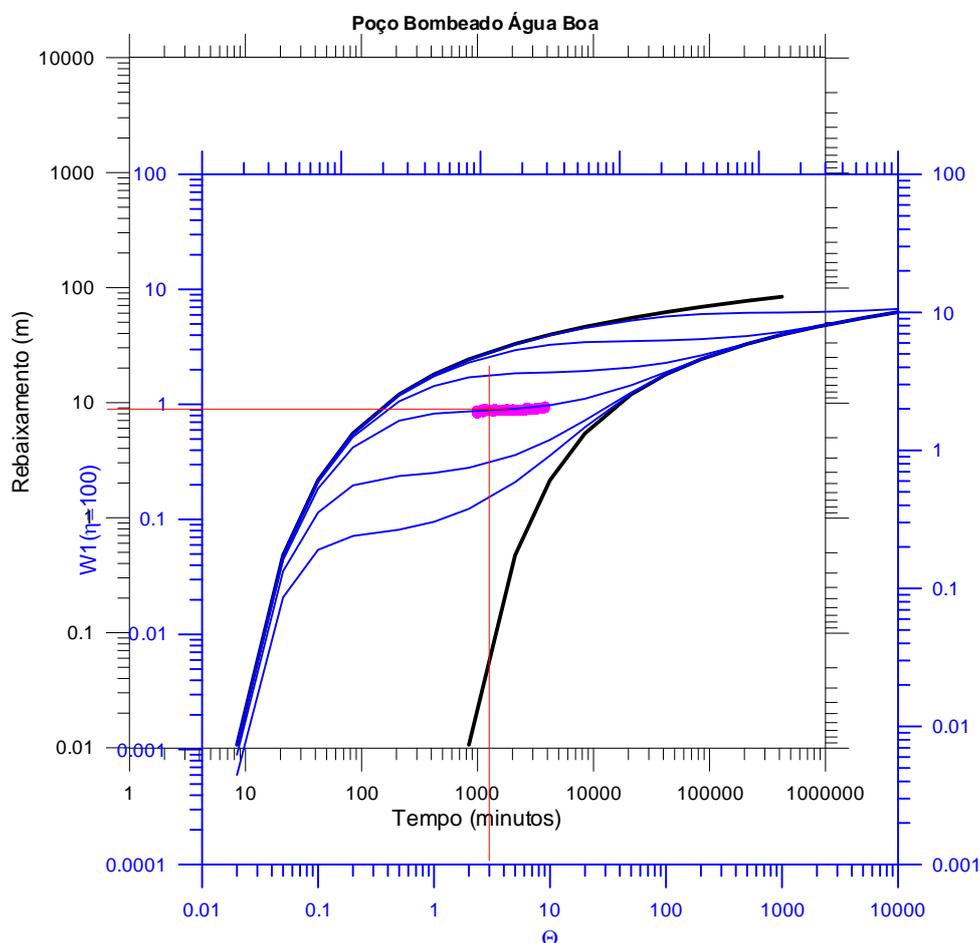


Figura 6.33: Avaliação dos parâmetros hidráulicos no poço bombeado Água Boa pelo método de superposição de escoamentos usando o modelo de Boulton 1963.

6.5 Recargas e exutórios

O cômputo das recargas médias anuais que ocorrem na Área Piloto de São Desidério/BA está calculado, inicialmente, na avaliação dos hidrogramas médios anuais representativos da estação fluviométrica denominada Fazenda Coqueiro, código ANA 46490000, cuja superfície de contribuição abrange aproximadamente 6.360 km².

Essa área total também inclui a sub-bacia hidrográfica do córrego Tamanduá situada imediatamente ao norte da área piloto, tendo sido anexada em função do reconhecimento dos volumes aportados à calha do rio São Desidério a partir dos fluxos subterrâneos oriundos do Sistema Cárstico do rio João Rodrigues - SCRJR, de acordo com os estudos elaborados por HIDROVIA (2009).

Como se observa na Figura 6.34, a configuração hidrográfica da bacia vinculada à estação Barreiras revela que a área piloto está integralmente contida em seu interior. Já a bacia hidrográfica vinculada à estação Fazenda Coqueiro além de estar contida na bacia da estação Barreiras, abrange cerca de 90% da área piloto.

Desse modo, julga-se pertinente avaliar os exutórios e as recargas correspondentes ao domínio global de abrangência de todo o sistema hidrológico em questão, conformado pela área de contribuição de aproximadamente 19.000 km² da estação Barreiras, como apresentado na Figura 6.34 a seguir.

O referido mapa indica que 91,2% dos tipos de rocha mapeados em superfície correspondem aos arenitos do Grupo Urucuia, sendo os carbonatos representativos de apenas 4,8% da superfície geral e, o restante mapeado, correspondente aos depósitos aluvionares.

As condições de contorno locais denunciam a existência de sistemas aquíferos porosos que influenciam na dinâmica hídrica cárstica, a partir das contribuições oriundas das porções elevadas de superfície, vinculadas ainda às zonas estruturadas pelas chapadas areníticas circunvizinhas.

Em termos de sua dinâmica hídrica de sub-superfície, este sistema deve ser regulado pela recarga oriunda, majoritariamente, da incidência das águas meteóricas nas coberturas dos terrenos areníticos do entorno, e nas próprias coberturas de materiais porosos sobrejacentes aos pacotes de rocha calcária (Cenozoico), localmente, seguindo-se pelas circulações no ambiente de porosidade secundária das rochas carbonáticas até atingir as zonas de descarga que se definem nas proximidades das calhas de drenagem afluentes, como a surgência do Surubim citada anteriormente.

A circulação dos fluxos subterrâneos se apresenta em função dos gradientes hidráulicos gerados a partir das zonas de recarga materializadas ainda nas faixas elevadas das chapadas areníticas nos setores leste e oeste da bacia do rio Grande (estação Barreiras), indicando uma tendência a se deslocar para a calha que representa o nível de base regional (Rios São Desidério / Grande), sendo tal gradiente uma combinação resultante, inclusive, de águas com composições químicas diferenciadas (Hidrovia, 2009).

De acordo com as observações realizadas nos estudos hidrogeológicos do Sistema Aquífero Urucuia (ANA, 2017) muitas são as implicações derivadas das bacias hidrográficas e os respectivos divisores subterrâneos. Embora seja importante ressaltar tais aspectos, a escala regional de abordagem dos estudos permite admitir que a margem de erro dos próprios recursos metodológicos empregados nos cálculos hidrológicos para quantificação dos exutórios (preenchimento de lacunas de séries hidrológicas, consistência de dados, análises estatísticas, etc.) se equivale às diferenças existentes quanto aos limites reais das bacias hidrológicas / hidrogeológicas, sobretudo quando considerada a presença de relevos cársticos, cuja geometria pode, inclusive, implicar em variações espaço-temporais desses limites.

Quando analisados os apontamentos dos estudos realizados por Hidrovia (2009), observa-se que as feições detectadas tanto pela interpretação dos estudos de imagens aéreas, como pela análise *in loco* de extensas cavidades, verifica-se a presença de descontinuidades geológicas que favorecem o aparecimento destas cavidades, evidenciando a existência de um controle geológico-estrutural no condicionamento espeleogenético e hidrogeológico, corroborando a existência de expressivos alinhamentos estruturais que coincidem com a direção ENE-WSW.

O arcabouço hidrogeológico regional está inserido em um domínio de sistemas aquíferos mistos, porosos e fraturados, seja pela ocorrência dos arenitos no topo da superfície, seja pelos calcários subjacentes. Há contribuição de domínios cársticos que se desenvolvem de maneira concentrada, a partir de verdadeiros condutos de dissolução, onde a preponderância dos volumes escoados se desenvolve por fluxos turbulentos, denotando a presença de uma dinâmica cárstica extremamente ativa, em parte considerável do sistema hidrológico ao redor da cidade de São Desidério.

Diversas janelas cársticas podem ser observadas também a leste da área urbana de São Desidério, denotando, possivelmente, a existência de variações altimétricas do topo da rocha carbonática que podem estar associadas a estruturas tipo *Horst-Grabens*.

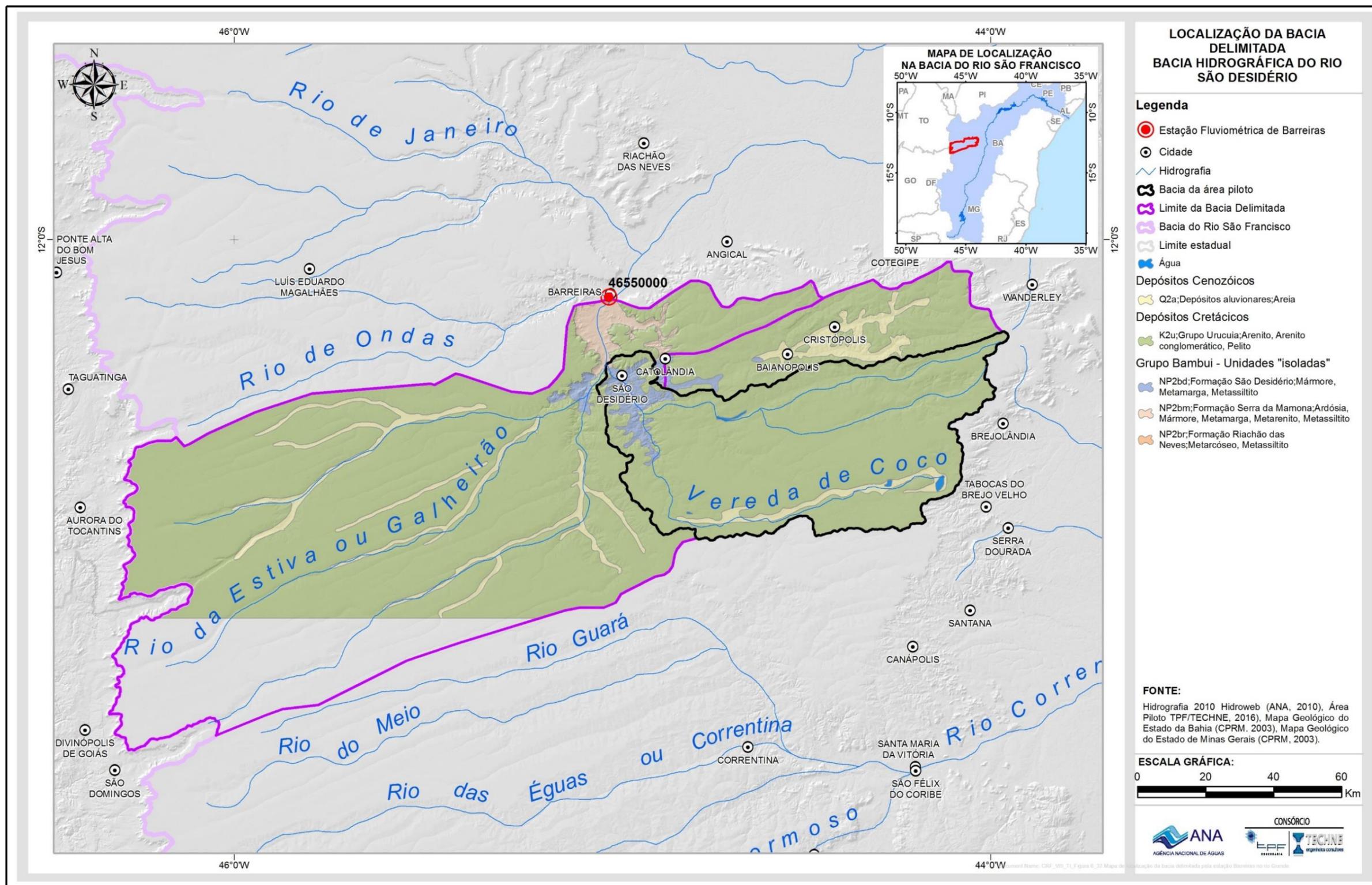


Figura 6.34: Mapa de localização da bacia delimitada pela estação Barreiras no rio Grande, envolvendo a área piloto de São Desidério e as acrescidas pela sub-bacia do córrego Tamanduá.

Do ponto de vista hidrogeológico, a análise e interpretação dos dados de interesse ao cômputo da recarga da área piloto de São Desidério foi pautada pela integração das respostas hidrológicas obtidas a partir de 58 hidrogramas (1934-2006) anuais para a estação Barreiras, e de 29 hidrogramas anuais (1977-2006) para estação Fazenda Coqueiro. Os procedimentos implicaram, basicamente, na estruturação de uma rotina configurada em ambiente *Visual Basic* no Excel, estudando-se as curvas de recessão de cada ano hidrológico validado pelas análises de consistência dos registros de descargas e a separação dos escoamentos de base e superficial, a fim de quantificar as parcelas relativas apenas às contribuições subterrâneas.

A partir de métodos de separação de escoamento é possível identificar em um hidrograma a parcela da vazão que se origina do escoamento superficial bem como aquela porção que advém do escoamento subterrâneo. Destaca-se que diversos métodos têm sido propostos com o objetivo de separar tais escoamentos, dentre eles destacam-se os métodos gráficos (facilmente aplicados a eventos isolados de chuva) e os filtros numéricos ou digitais, estes amplamente utilizados em hidrogramas de maiores extensões temporais.

Para períodos de estiagem, a curva de recessão do hidrograma pode ser aproximada para uma exponencial decrescente, sendo representada pela Equação 6.1:

$$Q_{(t)} = Q_0 \times e^{\frac{-1}{k}t} \quad \text{(Equação 6.1)}$$

onde t é o tempo, Q_0 representa a vazão em um instante t_0 , $Q_{(t)}$ é a vazão no instante t , e é a base dos logaritmos naturais e k é a constante (em unidade de tempo) (COLLISCHONN, 2008).

Para cada ano hidrológico, portanto, foi calculado um valor para $\frac{-1}{k}$ (Figura 6.35). Este cálculo foi realizado a partir da aproximação da curva no período de recessão com uma curva de tendência exponencial.

Os filtros numéricos permitem separar, de modo aproximado, as componentes superficial e subterrânea de um hidrograma. Para tanto, supõe-se que a vazão total de um hidrograma (y) em um intervalo de tempo (i) é formada pelas componentes escoamento superficial (f) e escoamento subterrâneo (b):

$$y_i = f_i + b_i \quad \text{(Equação 6.2)}$$

onde i representa o intervalo de tempo adotado.

Considerando a existência de uma relação linear em períodos de estiagem entre o armazenamento de água nos aquíferos e a vazão, pode-se adotar para os períodos sem recarga do aquífero a seguinte equação:

$$b_{i+1} = b_i \times e^{\frac{-\Delta t}{k}} \quad \text{(Equação 6.3)}$$

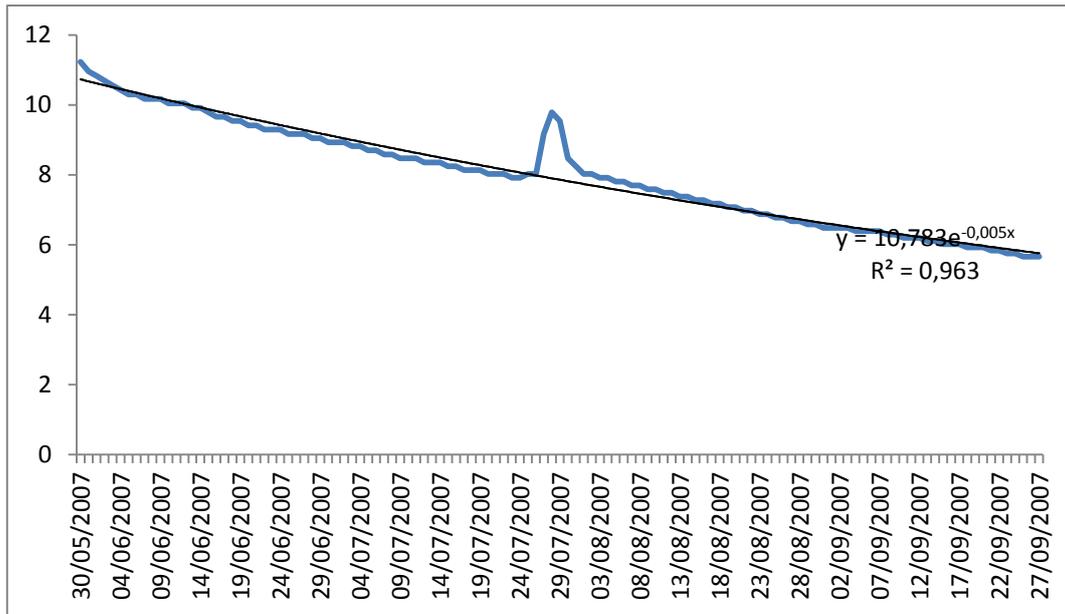


Figura 6.35: Valor de $(-1)/k$ a partir da curva exponencial do referente ao período de recessão.

onde que k é a constante e Δt é o tamanho do intervalo de tempo entre i e $i+1$. Esta mesma equação também pode ser expressa por:

$$b_{i+1} = b_i \times a \quad \text{(Equação 6.4)}$$

onde

$$a = e^{\frac{-\Delta t}{k}} \quad \text{(Equação 6.5)}$$

Uma forma de estimar o valor de b_i para cada intervalo de tempo i foi proposta por Lyne e Hollick (1979) e posteriormente modificada por Chapman (1991) (e.g., Eckhardt, 2005):

$$b_i = \frac{a}{2-a} \times b_{i-1} + \frac{1-a}{2-a} \times y_i \quad \text{(Equação 6.6)}$$

Se a aplicação desta equação resultar em um valor $b_i > y_i$, então $b_i = y_i$.

O filtro acima, denominado neste estudo como “Filtro A”¹², é recomendado para bacias cuja contribuição de escoamento subterrâneo seja relativamente baixa em relação ao escoamento total. Para bacias em que a contribuição

¹² Em geral é feita uma observação dos tipos de rocha e das suas capacidades como aquíferos. Encontram-se referências do uso do filtro B para rios perenes e aquíferos porosos (utilizando $BFI_{max}=0,80$), rios efêmeros e intermitentes e aquíferos porosos (utilizando $BFI_{max}=0,50$) e rios perenes e aquíferos impermeáveis (utilizando $BFI_{max}=0,25$). No caso em estudo, foi considerado o valor médio do escoamento subterrâneo calculado pelos filtros A e B.

subterrânea é maior, foi proposto por Eckhardt (2005) um filtro (“Filtro B”) com dois parâmetros:

$$b_i = \frac{(1-BFI_{max}) \times a \times b_{i-1} + (1-a) \times BFI_{max} \times y_i}{(1-a) \times BFI_{max}} \quad \text{(Equação 6.7)}$$

como no caso anterior, limitado a valores b_i menores ou iguais a y_i .

BFI_{max} representa o máximo percentual de escoamento subterrâneo que o filtro permite calcular, e pode ser estimado ao se estender a curva de recessão, de trás pra frente no tempo (recessão inversa):

$$b_i = \frac{b_{i+1}}{a} \quad \text{(Equação 6.8)}$$

limitado a valores b_i menores ou iguais a y_i , como nos casos anteriores. A partir da aplicação da recessão inversa, obtém-se um hidrograma “r” cujos valores são utilizados para o cálculo do BFI_{max} pela fórmula:

$$BFI_{max} \approx \frac{\sum_{i=1}^N r_i}{\sum_{i=1}^N y_i} \quad \text{(Equação 6.9)}$$

onde N representa o número de intervalos de tempo do hidrograma.

Desse modo, para o contexto de avaliação das recargas da área piloto de São Desidério, recorreu-se a duas estações fluviométricas cujas leituras de descarga atenderam de modo satisfatório à premissa relativa ao volume de dados com período de medições igual ou superior a 30 anos, considerando-se a tomada de dados consistidos em cada uma dessas estações. A estação Fazenda Coqueiro apresenta 29 anos de medições, período satisfatório para os cálculos.

A Tabela 6.24 apresenta os dados básicos das estações utilizadas para os cálculos de recarga, sendo mostradas ainda, informações como dimensão da bacia, código e nome da estação, e o período a que se referem os registros de medições de descarga em cada uma delas.

Tabela 6.24 – Informações básicas sobre as estações fluviométricas utilizadas nos cálculos de recarga da área piloto da Bacia do Rio São Desidério

Código da estação*	Latitude	Longitude	Denominação	Curso d'água	Área (km ²) GIS	Período de monitoramento	Período adotado para cálculo
46550000	-12,1525	-45,0094	Barreiras	Rio Grande	18.960,36	1934 - 2015	1934 - 2006
46490000	-12,4044	-44,9531	Fazenda Coqueiro	São Desidério	6.360,36	1977 - 2015	1977 - 2007

*Obs.: código adotado pela Agência Nacional de Águas - ANA

Sob o ponto de vista geológico, o conteúdo litológico aflorante presente apenas na área piloto, mostra-se distribuído pelas seguintes tipologias: Grupo Urucuia (91,1%), Formação São Desidério (4,8%) e Formação Serra da Mamona (0,1). Os 4% restantes correspondem às aluviões e áreas cobertas por corpos d'água.

A Tabela 6.25, apresentada a seguir, indica os percentuais de distribuição de cada uma das tipologias litológicas existentes, considerando-se as bacias de interesse para os cálculos de recarga, quais sejam Barreiras e Fazenda Coqueiro. A seguir, no item relativo aos resultados de cada uma dessas estações/bacias, estão indicados cada um dos valores de recarga encontrados para os distintos tipos litológicos (Tabela 6.25).

Tabela 6.25 – Identificação dos percentuais de distribuição das litologias na área piloto e nas respectivas estações fluviométricas analisadas.

GEOLOGIA DA ÁREA PILOTO DE SÃO DESIDÉRIO			
Unidade Geológica	Área (km²)	%	Tipologia Litológica
Grupo Urucuia	4.215,74	91,13	Arenito conglomerático, Rocha pelítica, Arenito
Formação São Desidério	221,45	4,79	Metassiltito, Mármore, Metamarga
Formação Serra da Mamona	4,09	0,09	Metassiltito, Ardósia, Metarenito, Mármore, Metamarga
Depósitos aluvionares	173,48	3,75	Areia
Corpos de água	11,07	0,24	
Total	4.625,84	100	
GEOLOGIA DA BACIA HIDROGRÁFICA DA ESTAÇÃO BARREIRAS			
Unidade Geológica	Área (km²)	%	Tipologia Litológica
Grupo Urucuia	17.289,70	91,19	Arenito conglomerático, Rocha pelítica, Arenito
Formação São Desidério	598,66	3,16	Metassiltito, Mármore, Metamarga
Formação Serra da Mamona	249,81	1,32	Metassiltito, Ardósia, Metarenito, Mármore, Metamarga
Formação Riachão das Neves	9,93	0,05	Metarcóseo, Metasiltito
Depósitos aluvionares	801,18	4,23	Areias
Corpos de água	11,07	0,06	
Total	18.960,36	100	
GEOLOGIA DA BACIA HIDROGRÁFICA DA ESTAÇÃO FAZENDA COQUEIRO*			
Unidade Geológica	Área (km²)	%	Tipologia Litológica
Grupo Urucuia	5.680,61	92,66	Arenito conglomerático, Rocha pelítica, Arenito
Formação São Desidério	491,01	3,21	Metasiltito, Mármore, Metamarga
Formação Serra da Mamona	4,49	0,07	Metasiltito, Ardósia, Metarenito, Mármore, Metamarga
Depósitos aluvionares	173,48	3,88	Areia
Corpos de água	11,07	0,17	
Total	6.360,66	100,00	

*Obs.: Envolve o domínio da bacia do córrego Tamanduá.

6.5.1 Resultados

De posse da análise dos hidrogramas de cada uma das duas estações pluviométricas adotadas, pôde-se levantar, perante a metodologia descrita anteriormente, os quantitativos referentes às descargas subterrâneas para cada tipologia litológica, bem como os valores médios de recarga anual e seus respectivos percentuais, quando considerada a média pluviométrica obtida pelas isoietas analisadas por doze estações no entorno da área piloto de São Desidério. O mapa da Figura 6.36 a seguir, mostra o resultado da interpolação dos valores de precipitação, os quais denotam uma pluviometria média que varia em torno de 1.000mm a 1.100mm anuais.

Os hidrogramas de cada estação de interesse, os quais serviram para caracterizar os volumes médios que representam as descargas oriundas dos aquíferos, estão apresentados no ANEXO 1.2. Nestes hidrogramas podem ser visualizados os traçados que representam os filtros adotados nos procedimentos metodológicos (ECKHARDT, 2005), e que serviram para calcular os volumes médios de referência (Filtros A e B) para o escoamento subterrâneo (recarga), considerando-se todo o período de medição de descargas de cada estação¹³. Nesses hidrogramas podem ser observados ainda os valores de precipitação, no caso da existência de estações pluviométricas associadas.

Já os hidrogramas representativos de cada uma das estações podem ser visualizados a seguir, através das Figura 6.37 e Figura 6.38.

Cada tipologia litológica apresenta uma determinada característica hidrogeológica, ou seja, suas propriedades físicas intrínsecas permitem que sua capacidade de armazenamento de água seja variável entre distintos tipos de rocha. O conjunto de rochas presentes numa dada bacia hidrográfica vai definir o potencial médio de água capaz de ser liberada no tempo, e no espaço físico da bacia hidrográfica, o que, por sua vez, definirá o volume de descarga específica média numa dada seção pluviométrica e, também, se for o caso, por tipologia litológica.

A análise ano a ano de cada hidrograma, segundo os métodos de aplicação de filtros para separação dos escoamentos superficial e subterrâneo, revela-se como ferramenta importante para o reconhecimento dessas descargas específicas médias, numa dada seção pluviométrica de interesse.

Já a porosidade efetiva para fluxos, ou porosidade efetiva equivalente, reflete o percentual de água que é capaz de ser transmitida numa dada unidade aquífera. Diversos autores consagrados na literatura apresentam intervalos aceitáveis para estes percentuais (Freeze & Cherry 1979; Fetter 1994; Domenico & Schwartz 1998), a partir dos quais se inicia o processo de seleção do melhor valor que se ajusta à recarga do domínio hidrográfico de interesse.

¹³ Esses filtros consideram todo o período de medição de cada hidrograma (ao longo de um ano hidrológico).

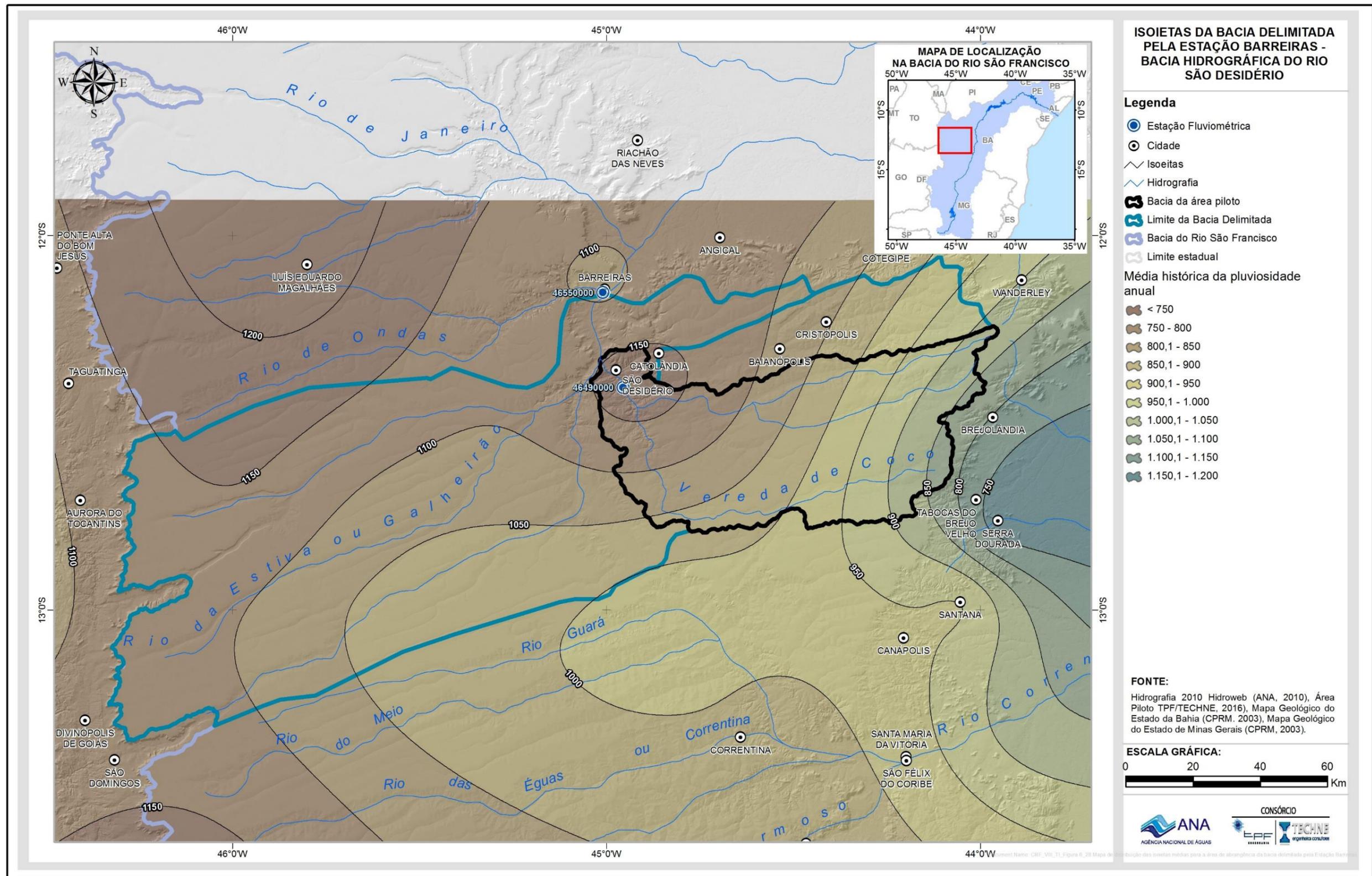


Figura 6.36: Mapa de distribuição das isoietas médias para a área de abrangência da bacia delimitada pela Estação Barreiras.

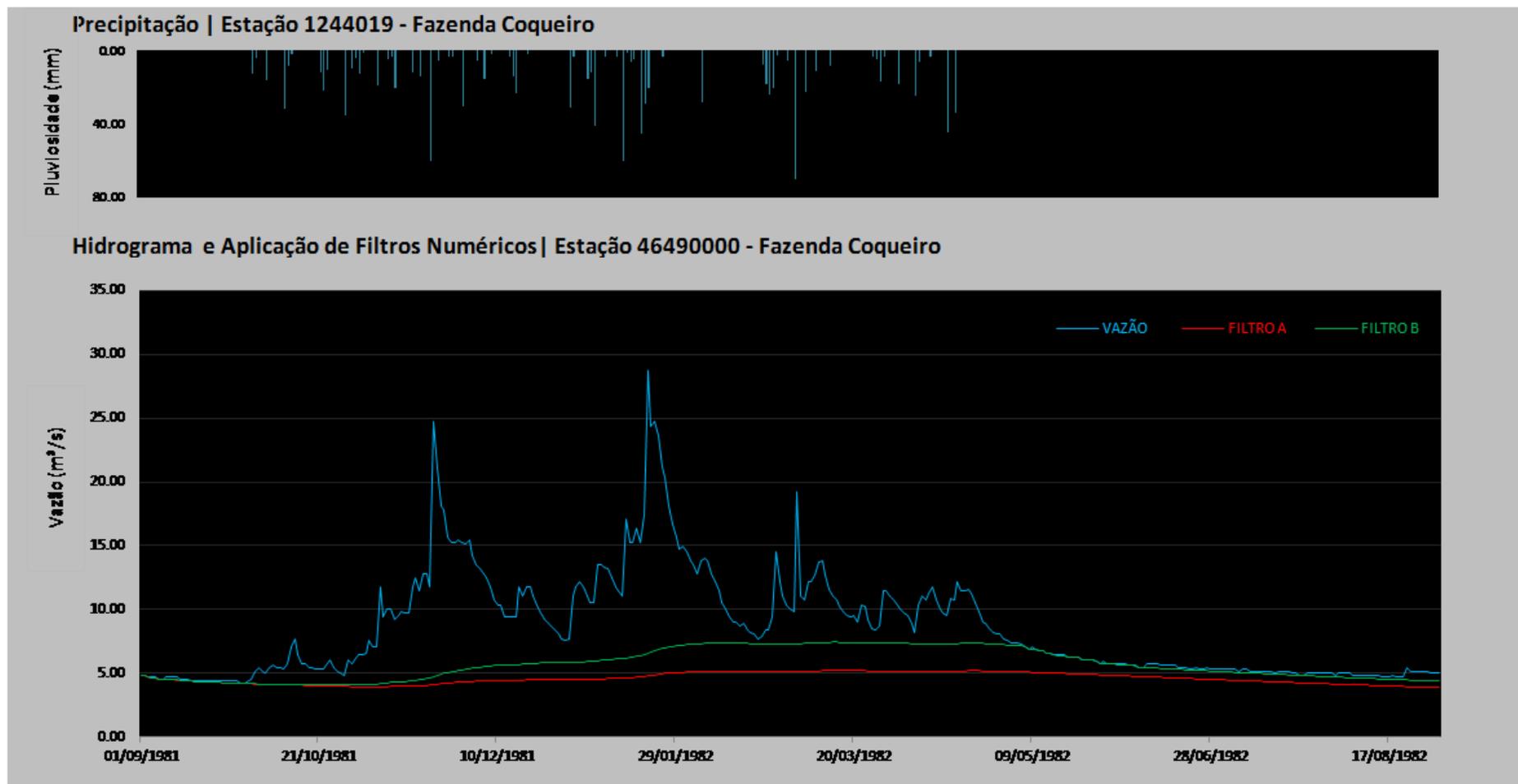


Figura 6.37: Hidrograma representativo da Estação Fluviométrica Fazenda Coqueiro (46490000) e da Estação Pluviométrica Fazenda Coqueiro (1244019), no ano hidrológico 1981-1982.

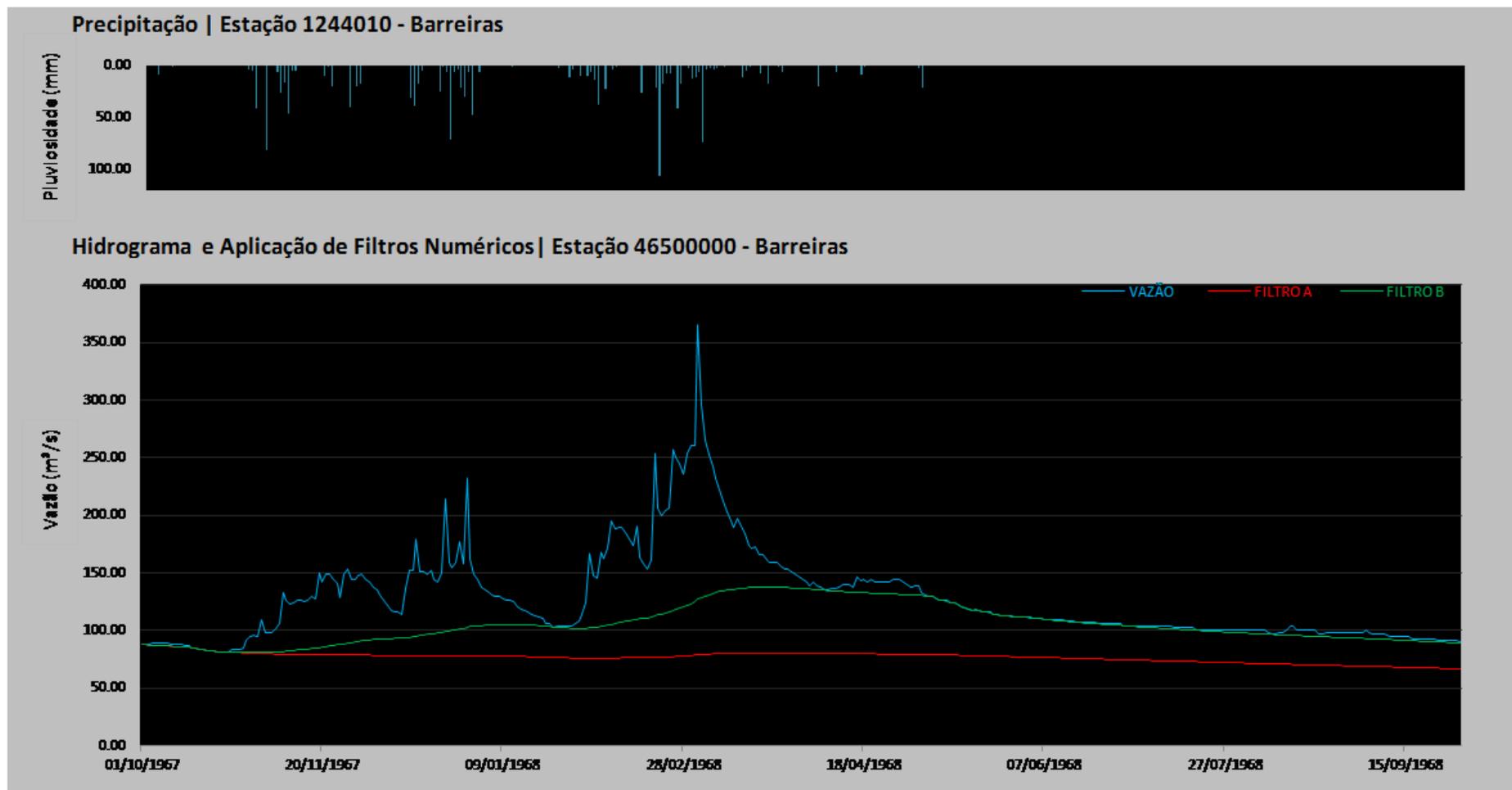


Figura 6.38: Hidrograma representativo da Estação Fluviométrica Barreiras (46550000) e da Estação Pluviométrica Barreiras (1244010), no ano hidrológico 1967-1968.

Os resultados finais para os volumes médios de recarga obtidos em cada estação são apresentados nas Tabelas 6.26 e Tabela 6.27.

Na Tabela 6.26, são apresentados os valores resultantes das análises realizadas para a bacia demarcada pela Estação Fazenda Coqueiro, cujos cálculos levam em consideração o acréscimo da área relativa ao córrego Tamanduá (1.893 km²), totalizando uma área final de 6.360,66 km². O valor médio do escoamento subterrâneo calculado para a bacia foi de 3.740,07 L/s. Logo, considerando a área total (6.360,66 km²) o valor médio de vazão subterrânea específica da bacia corresponde a 0,588 L/s/km². Considera-se esse valor muito baixo para o referido ambiente hidrogeológico, conformado basicamente por arenitos do Grupo Urucua e calcários da Formação São Desidério, estes correlatos aos calcários da Formação Lagoa do Jacaré do Grupo Bambuí.

Como observado através dos resultados encontrados junto à bacia conformada pela estação fluviométrica Fazenda Coqueiro, o valor de 0,588 l/s/km² indica que a recarga média do domínio equivale apenas a um percentual médio de precipitação anual de 1,85% (precipitação anual média equivalente a 1000 mm), o que não seria compatível com o potencial do Sistema Aquífero Urucua observado em outras estações fluviométricas.

Desse modo, partindo-se da análise dos hidrogramas da estação Barreiras, verificou-se que os valores de descarga subterrânea específica da bacia e de recarga obtidos para um cenário similar em termos litológicos são maiores (4,25 l/s.km² e 13,4%, respectivamente), sendo mais coerentes com o esperado.

Diante dos valores encontrados para as recargas dos aquíferos contidos no polígono delimitado para a área piloto de São Desidério, verifica-se a partir da Tabela 6.26, apresentada a seguir, que parece haver, à primeira vista, uma anomalia no domínio específico relativo à área de drenagem da estação fluviométrica Fazenda Coqueiro, caracterizada por valores anormalmente baixos de descarga subterrânea específica encontrados. Essa questão será discutida adiante no item 6.8.

Tabela 6.26 – Valores de recarga para a bacia hidrográfica conformada pela estação Fazenda Coqueiro

Área total da bacia	Fazenda Coqueiro	Tipos Litológicos por Unidade Mapeada	Área		Descarga Subterrânea Específica (l/s.km ²)	Recarga Média Anual* (PPT=1000mm)	Percentual de Recarga*
			(km ²)	%			
Área total da bacia	Corpo D'água		11,07	0,17	--	--	
	Grupo Urucuia	Arenito conglomerático, Rocha pelítica, Arenito	5.680,61	89,31	0,61	19,2	19,2%
	Formação São Desidério	Metasiltito, Mármore, Metamarga	491,01	7,72	0,29	9,1	9,1%
	Formação Serra da Mamona	Metasiltito, Ardósia, Metarenito, Mármore, Metamarga	4,49	0,07	0,07	2,1	2,1%
	Depósitos aluvionares	Areia	173,48	2,73	0,84	26,6	26,6%
	Totais		6.360,66	100,00			
Bacia exterior à área Piloto	Corpo D'água	--	0,00	0,00	--	--	0,0%
	Grupo Urucuia	Arenito conglomerático, Rocha pelítica, Arenito	76,27	48,16	0,82	25,9	25,9%
	Formação São Desidério	Metasiltito, Mármore, Metamarga	77,99	49,25	0,39	12,2	12,2%
	Formação Serra da Mamona	Metasiltito, Ardósia, Metarenito, Mármore, Metamarga	4,09	2,58	0,09	2,9	2,9%
	Depósitos aluvionares	Areia	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0%
	Total		158,35	100,00			

*obs.: *precipitação média considerada para a bacia

Tabela 6.27– Valores de recarga para a bacia hidrográfica conformada pela estação Barreiras

Área total da bacia	Barreiras	Tipos Litológicos por Unidade Mapeada	Área		Descarga Subterrânea Específica (l/s.km ²)	Recarga Média Anual* (PPT=1000mm)	Percentual de Recarga
			(km ²)	%			
Área total da bacia	Corpo de água		11,07	0,06	--	--	
	Grupo Urucuia	Arenito conglomerático, Rocha pelítica, Arenito	17.289,70	91,19	4,31	135,8	13,6%
	Formação São Desidério	Metasiltito, Mármore, Metamarga	598,66	3,16	2,03	64,1	6,4%
	Formação Serra da Mamona	Metasiltito, Ardósia, Metarenito, Mármore, Metamarga	249,81	1,32	0,48	15,1	1,5%
	Formação Riachão das Neves	Metarcóseo, metasiltito	9,93	0,05	0,36	11,3	1,1%
	Depósitos aluvionares	Areia	801,18	4,23	5,98	188,6	18,9%
	Totais		18.960,36	1,00			

*obs.: precipitação média considerada para a bacia

Tabela 6.28 – Resultados de recarga encontrados para a área piloto de São Desidério, em proporcionalidade aos dados encontrados para a Estação Barreiras. (R_e = recarga específica média; R = recarga média; Nef = porosidade efetiva equivalente).

VALORES DE RECARGA PARA A ÁREA PILOTO DE SÃO DESIDÉRIO						
Unidade Geológica	Área (km ²)	%	Tipologia Litológica	R_e (L/s.km ²)	R (L/s)	Nef (%)
Grupo Urucuia	4.215,74	91,13	Arenito conglomerático Rocha pelítica Arenito	4,31	18.169,8	18,0
Formação São Desidério	221,45	4,79	Metasiltito Mármore Metamarga	2,03	449,5	8,5
Formação Serra da Mamona	4,09	0,09	Metasiltito Ardósia Metarenito Mármore Metamarga	0,48	1,96	2,0
Depósitos aluvionares	173,48	3,75	Areia	5,98	1.037,4	25,0
Corpo de água	11,07	0,24	---	---	---	---
Total	4.625,83	1	---	---	19.658,76	---

Assim, utilizando os valores da descarga específica média por litologia, calculados na bacia a montante da estação Barreiras (Tabela 6.27), e a área das litologias dentro da área piloto de São Desidério (Tabela 6.28) é possível calcular a recarga para a área piloto, somando a contribuição subterrânea de cada litologia (Tabela 6.28).

Portanto, em termos médios, a recarga média anual a ser considerada para a área piloto do rio São Desidério é de 19.658,76 L/s ou $6,20 \cdot 10^8$ m³/ano ou 134 mm/ano ou $6,2 \cdot 10^2$ hm³/ano numa superfície de $4,626 \cdot 10^9$ m². Considerando que a pluviometria média na área piloto é de 1000 mm/ano, tem-se um coeficiente de infiltração de 13,40% ($C_i = 134 \text{ mm/ano} \div 1000 \text{ mm/ano} \times 100$).

6.6 Situação da exploração na área piloto da Bacia do Rio São Desidério.

A situação da exploração de água subterrânea na área piloto da Bacia do Rio São Desidério é avaliada a partir das informações existentes sobre poços tubulares produtores que foram sistematizados e fazem parte do Sistema de Informações Geográficas – SIGCARSTE_SF, desenvolvido no âmbito do presente estudo e que constitui a principal fonte de consulta sobre poços.

6.6.1 Poços Catalogados e Cadastrados

A pesquisa hidrogeológica desenvolvida na área piloto baseou-se em dados de 168 poços, dos quais 88 foram catalogados do SIAGAS – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas do Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2010), 51 são novos poços cadastrados no âmbito deste estudo e 29 foram catalogados da CERB – Companhia de Engenharia Ambiental e de Recursos Hídricos da Bahia. Esses poços estão disponíveis no ANEXO 1.3 – Tabela de poços da área piloto do Rio São Desidério.

6.6.2 Tratamento Estatístico dos Dados de Poços Catalogados e Cadastrados

Na Tabela 6.29 é apresentada a estatística descritiva dos valores numéricos de profundidade, diâmetro do revestimento, nível estático, nível dinâmico e vazão dos poços cadastrados e catalogados na área piloto do Rio São Desidério, na porção noroeste da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco.

Tabela 6.29 - Parâmetros estatísticos dos dados de poços da Área Piloto do Rio São Desidério.

Parâmetros Estatísticos	Profundidade (m)	Diâmetro da boca (mm)	Nível Estático - NE (m)	Nível Dinâmico - ND (m)	Vazão (m ³ /h)
Média	78,0	151,3	11,6	27,4	16,7
Mediana	65,0	152,4	8,4	16,8	11,3
Desvio Padrão	41,9	7,5	11,0	25,9	29,6
Coefficiente Variação	0,5	0,0	1,0	0,9	1,77
Valor máximo	265,0	152,4	51,9	107,4	306
Valor mínimo	15,0	101,6	0,2	0,9	0,3
Nº valores	140	46	143	100	115

Profundidade

A profundidade dos poços inventariados na área piloto do Rio São Desidério (Tabela 6.30) variou de 15 a 265 m. A profundidade média é de 78 m e se explica pelo fato de que a classe mais frequente é a de poços com profundidade superior a 50 m e inferior a 100 m, com 28%. Se considerarmos todos os poços com mais de 50 m teremos 109 poços ou 85% do total, na Área Piloto da Bacia do Rio São Desidério. A frequência dos poços rasos, com profundidade inferior a 20 m é muito pequena (1,4%). Nota-se ainda uma frequência significativa na classe de 100 a 150 m (21%) que também se repete (21%) para a classe de poços com mais de 200 m.

Tabela 6.30 – Frequência da profundidade dos poços levantados no SIAGAS/CPRM, CERB e dos novos cadastrados na Área Piloto do Rio São Desidério.

Classe Profundidade (m)	Frequência Absoluta	Frequência Acumulada	Frequência Relativa	% Acumulado
0<x≤20	2	2	0,01	1,43
20<x≤50	20	22	0,14	15,71
50<x≤100	39	61	0,28	43,57
100<x≤150	30	91	0,21	65,00
150<x≤200	19	110	0,14	78,57
x>200	30	140	0,21	100,00
Total	140			

A distribuição da frequência da profundidade dos poços na área piloto do Rio São Desidério pode ser visualizada no diagrama da Figura 6.39.

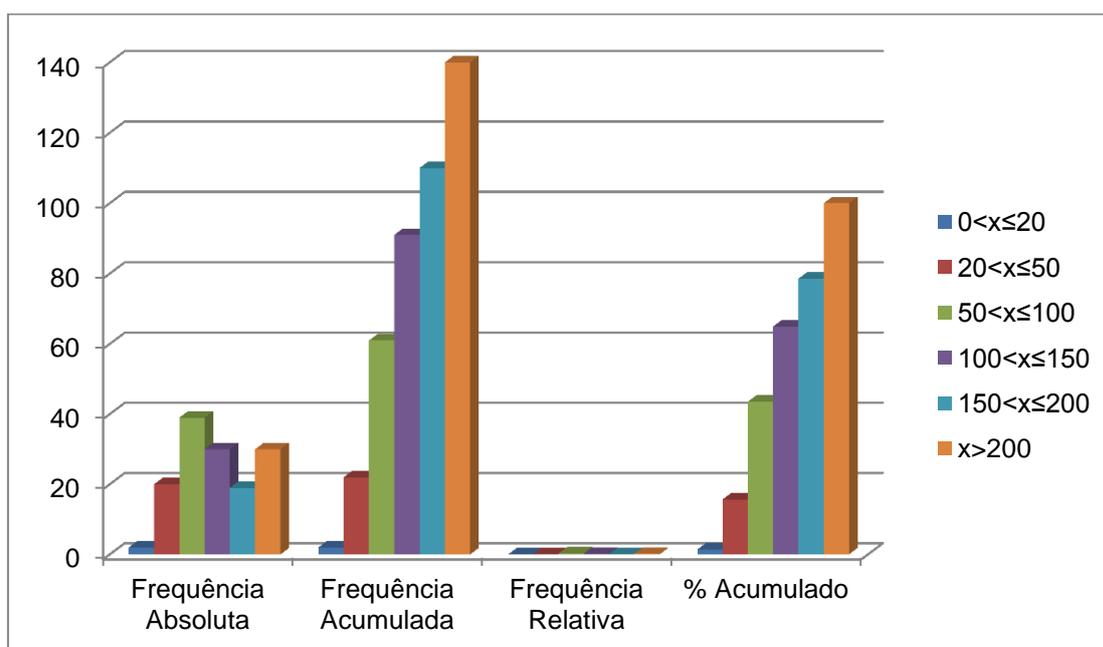


Figura 6.39: Frequências das classes de profundidade dos poços na Área Piloto de São Desidério.

Diâmetro da Boca do Poço

De acordo com a Tabela 6.31 na área piloto da Bacia do Rio São Desidério, todos os 46 poços que apresentam diâmetro de boca informado possuem até 152 mm. Uma observação importante é para o baixo número de poços encontrados, com diâmetro informado, na montagem do banco de dados onde foram encontrados pouquíssimos poços com esse parâmetro.

Tabela 6.31 – Frequência dos diâmetros da boca dos poços tubulares levantados no SIAGAS/CPRM, na CERB e dos novos cadastrados na Área Piloto da Bacia do Rio São Desidério.

Classe Diâmetro da Boca (mm)	Frequência Absoluta	Frequência Acumulada	Frequência Relativa	% Acumulado
0<x≤152	46	46	1,00	100,00
Total	46			

A Figura 6.40 ilustra a distribuição de frequência do diâmetro da boca dos poços na Área Piloto da Bacia do Rio São Desidério.

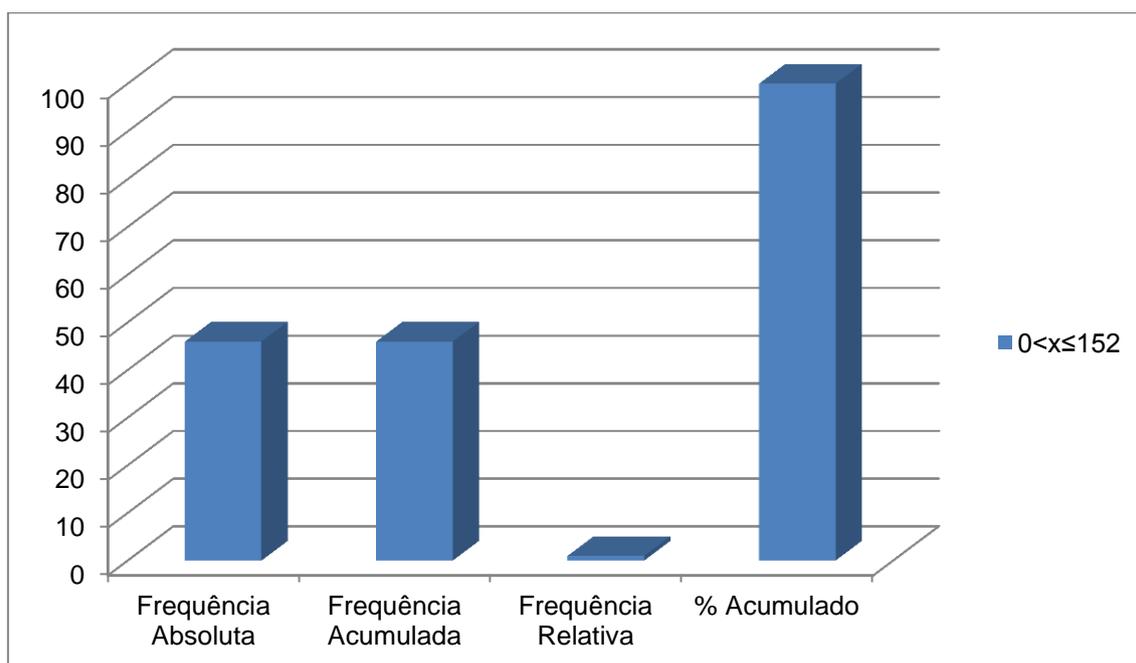


Figura 6.40: Frequências das classes de diâmetro de revestimento dos poços na Área Piloto do Rio São Desidério.

Nível Estático

De acordo com os dados da Tabela 6.32 e Figura 6.41 observa-se que aproximadamente 83% dos poços apresentam níveis estáticos até 20 m, o que significa que esses níveis são rasos, de modo geral. Nas classes de 20 a 30 m encontram-se cerca 11% dos poços e no intervalo de poços acima de 30 m estão 6% do total. A rigor, todos esses níveis, notadamente os mais profundos, não são “estáticos”, já que a superfície das águas subterrâneas freáticas sofre notável influência dos poços existentes em exploração.

Tabela 6.32 – Distribuição de frequência da profundidade dos níveis estáticos dos poços levantados no SIAGAS/CPRM, CERB e novos poços cadastrados na Área Piloto do Rio São Desidério.

Classe Nível Estático (m)	Frequência Absoluta	Frequência Acumulada	Frequência Relativa	% Acumulado
$0 < x \leq 10$	80	80	0,56	55,94
$10 < x \leq 20$	38	118	0,27	82,52
$20 < x \leq 30$	16	134	0,11	93,71
$x > 30$	9	143	0,06	100,00
Total	143			

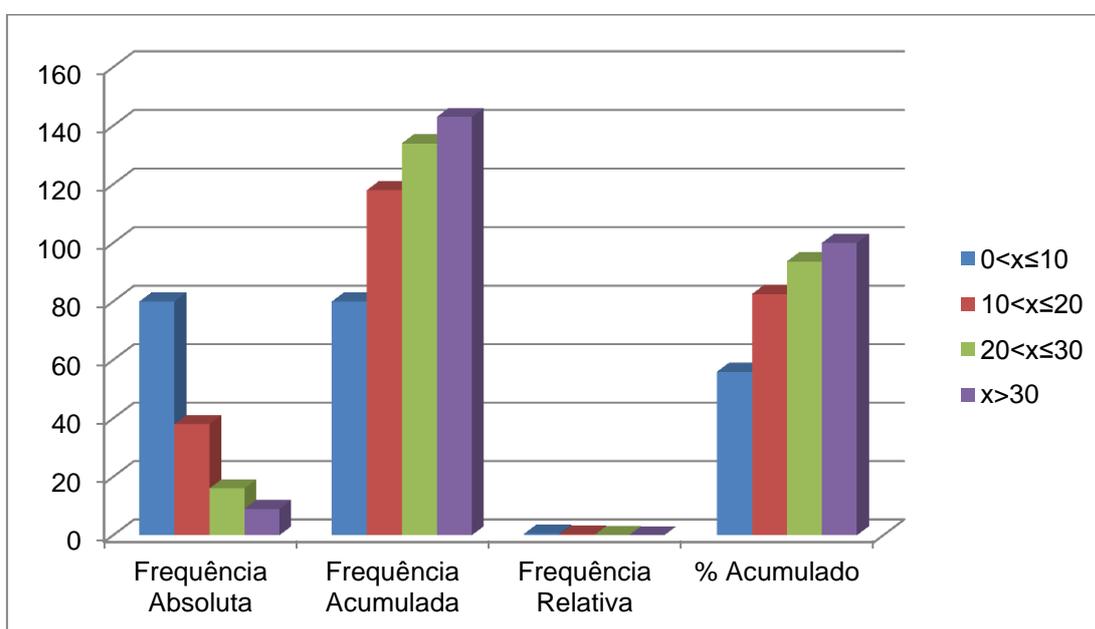


Figura 6.21: Frequências das classes de profundidade dos níveis estáticos dos poços na Área Piloto do Rio São Desidério.

Nível Dinâmico

Para os níveis dinâmicos dos poços na Área Piloto da Bacia do Rio São Desidério, tem-se que a classe menos frequente corresponde ao intervalo de mais de 20 a 30 m (8,66%). Secundariamente, 17% dos poços (31/100) estão no intervalo entre 10 e 20 metros, como pode ser observado na Tabela 6.33 e Figura 6.42. Nota-se, finalmente, que a grande maioria dos níveis dinâmicos (35/100), representando 35%, está no intervalo de poços com profundidades maiores que 30 metros.

Tabela 6.33 – Distribuição de frequência da profundidade dos níveis dinâmicos dos poços levantados no SIAGAS/CPRM, CERB e novos poços cadastrados na Área Piloto do Rio São Desidério.

Classe Nível Dinâmico (m)	Frequência Absoluta	Frequência Acumulada	Frequência Relativa	% Acumulado
$0 < x \leq 10$	31	31	0,31	31,00
$10 < x \leq 20$	23	54	0,23	54,00
$20 < x \leq 30$	11	65	0,11	65,00
$x > 30$	35	100	0,35	100,00
Total	100			

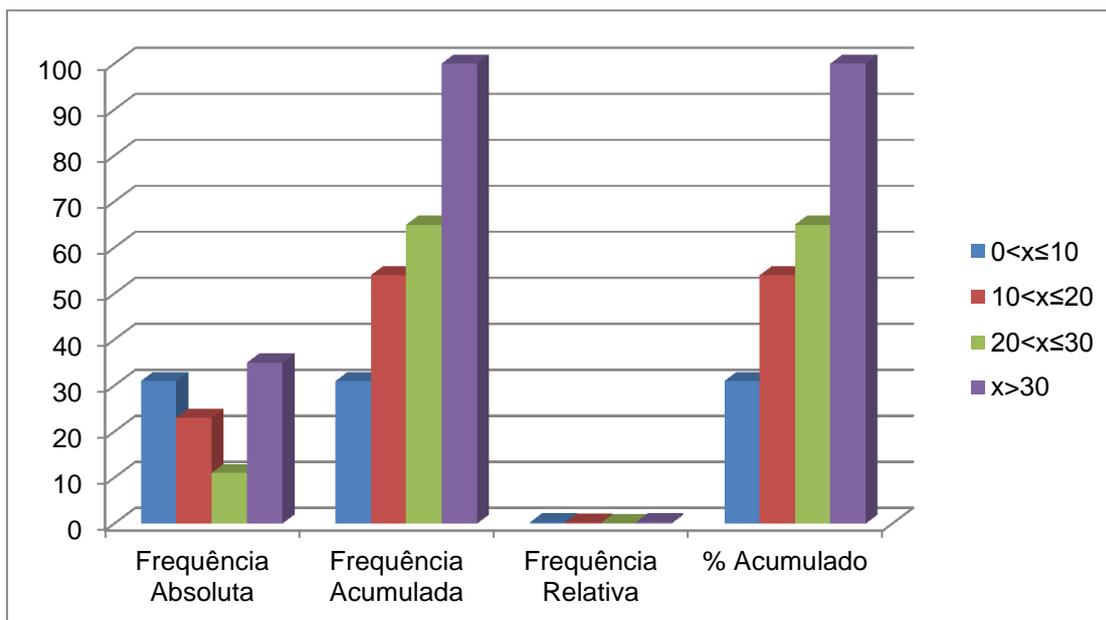


Figura 6.42: Frequências das classes dos níveis dinâmicos dos poços na Área Piloto do Rio São Desidério.

Vazão

No que se refere à vazão dos poços que exploram o aquífero Bambuí, verifica-se que do total de poços catalogados e cadastrados existem 115 poços com vazão informada (Tabela 6.34 e Figura 6.43). Observa-se que a classe mais frequente é a entre 0 e 10 m³/h, com aproximadamente 45% e frequência absoluta de 52 poços. As de menores frequências são os intervalos entre 40 e 50 m³/h, com apenas 2% do total.

Tabela 6.34 – Distribuição de frequência da vazão dos poços levantados no SIAGAS/CPRM, CERB e novos poços cadastrados na Área Piloto do Rio São Desidério.

Classe Vazão (m³/h)	Frequência Absoluta	Frequência Acumulada	Frequência Relativa	% Acumulado
0<x≤10	52	52	0,45	45,22
10<x≤20	37	89	0,32	77,39
20<x≤30	16	105	0,14	91,30
30<x≤40	6	111	0,05	96,52
40<x≤50	2	113	0,02	98,26
x>50	2	115	0,02	100,00
Total	115			

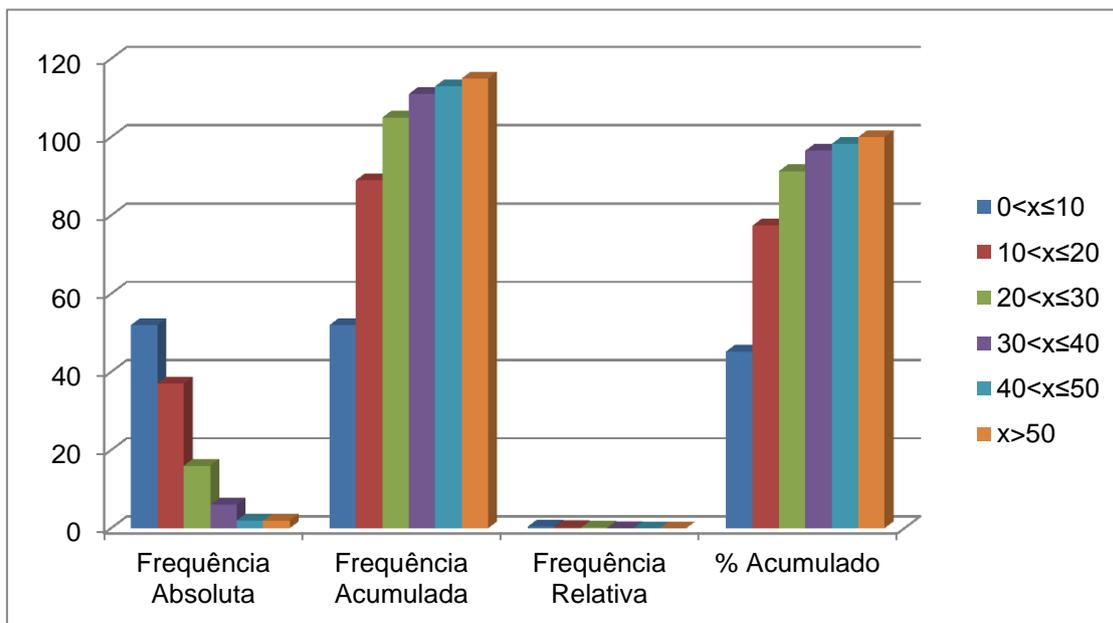


Figura 6.43: Frequências das classes de vazão dos poços cadastrados na Área Piloto da Bacia do Rio São Desidério.

Não obstante, de acordo com as condições operacionais em que se encontram os poços (Tabela 6.35) verifica-se que existem 124 unidades (74,3%) em condições de funcionamento, ou seja, são poços que estão bombeando (47,9%), estão equipados (26,3%) conforme ANEXO 1.3 – Tabela de poços da área piloto da Bacia do Rio São Desidério.

Tabela 6.35 – Situação operacional dos 168 poços catalogados e cadastrados na Área Piloto do Rio São Desidério.

Registros	Bombeando	Equipado	Seco	Abandonado	Sem informação	Em condições de funcionamento
168	80	44	3	1	40	124
100%	47,9%	26,3%	1,8%	0,6%	23,4%	74,3%

Regime de Funcionamento dos Poços

Na Tabela 6.36 são mostrados os valores dos parâmetros estatísticos de horas por dia em que são bombeados os poços da área estudada, segundo dados do cadastro de água subterrânea realizado no âmbito do projeto.

Existem apenas 47 poços com regime de funcionamento informado e o cálculo do regime médio de funcionamento para todos os 65 poços, em condições de utilização é feito usando a média ponderada pela frequência do número de horas de bombeamento, nos intervalos de classe, conforme a expressão:

$$\bar{R}_{ej} = \sum_{j=1}^{13} R_{ej} \times w_j \quad \text{Equação 6.10}$$

O regime médio estimado é dado pela somatória do regime médio ponderado pela frequência relativa ou fator de ponderação.

Tabela 6.36 – Estimativa do regime médio de funcionamento previsto para poços na região de São Desidério.

Classe Regime Informado (h/dia)	Regime médio informado (h/dia)	Frequência Absoluta Número de Poços n_j	Frequência Relativa ou Peso $w_j = n_j/N$	Regime médio ponderado (h/dia) $R_{ej} * w_j$
$0 < x \leq 1$	1	3	0,064	0,064
$1 < x \leq 2$	1,925	8	0,170	0,328
$2 < x \leq 3$	3	3	0,064	0,191
$3 < x \leq 4$	4	3	0,064	0,255
$4 < x \leq 5$	5	1	0,021	0,106
$5 < x \leq 6$	6	5	0,106	0,638
$6 < x \leq 7$	7	1	0,021	0,149
$7 < x \leq 8$	8	6	0,128	1,021
$8 < x \leq 9$	9	2	0,043	0,383
$9 < x \leq 10$	10	2	0,043	0,426
$10 < x \leq 11$	11	1	0,021	0,234
$11 < x \leq 12$	12	7	0,149	1,787
$12 < x \leq 24$	21,6	5	0,106	2,298
Soma	47			7,881

Legenda:

$N = \sum n_j$ = número total de poços com regime de funcionamento informado

Frequência Absoluta (n_j): número de poços com regime de funcionamento informado.

Regime Médio Informado (R_{ej}) = Média de horas de funcionamento dos poços em cada classe.

Regime médio ponderado em cada intervalo de classe: ($R_{ej} \times w_j$).

Frequência Relativa ou fator de ponderação: $w_j = n_j / N$.

Regime Médio Estimado: $\bar{R}_{ej} = \sum_{j=1}^{13} R_{ej} \times w_j$ 7 horas e 53 minutos.

Como visto na Tabela 6.37 o regime médio de funcionamento estimado para os poços na área piloto do Rio São Desidério em 2015 é de 7,88 horas por dia, o que equivale a aproximadamente 7h53min.

Conclusões

Com base nos dados apresentados anteriormente referentes ao Aquífero Bambuí é possível concluir que:

- A profundidade dos poços inventariados na área piloto da Bacia do Rio São Desidério variou de 15 a 265 m, com média aproximada de 78 m, sendo que os poços nos intervalos acima de 50 metros constituem as classes mais frequente (85%);
- 56% dos poços possuem níveis estáticos entre 0 e 10 m de profundidade. Vale ressaltar que a rigor esses níveis não são “estáticos”, pois a superfície das águas subterrâneas freáticas sofre notável influência dos poços existentes em exploração;
- As vazões informadas dos poços em cerca de 45% dos casos são menores ou iguais a 10 m³/h e nos 55% restantes oscilam entre mais de 10 m³/h até 51,9 m³/h.
- Em termos de condições operacionais do total de 168 poços existem 4 poços secos e abandonados, ainda 40 poços sem informação sobre o tema. Dos poços com condições de utilização são: 80 poços bombeando, 44 equipados na área Piloto da Bacia do Rio São Desidério.
- Já no que se refere ao tipo de equipamento, de bombeamento dos poços, verificou-se que nos 72 poços com informações sobre bombas, sendo dois pistões acionados com roda de água, quatro pistões acionados a motor, 52 bombas submersas e 14 compressores de ar.

6.6.3 Produção Global dos Poços

Considerando o regime de funcionamento e a vazão média dos diferentes intervalos de classe de vazão apresentados na Tabela 6.37, obtém-se uma produção estimada de 16.355,8 m³/dia, ou 189 L/s.

A Tabela 6.37 apresenta a distribuição da produção global dos poços em condições de funcionamento de acordo com a situação operacional informada (ANEXO 1.3). A produção global de água estimada para os 124 poços atinge 0,189 m³/s (Tabela 6.38). Só com os 115 poços em operação, a exploração extraía 64,5% desse total, ou seja, 0,122 m³/s.

Tabela 6.37 - Produção global estimada, explotada na área piloto da Bacia do Rio São Desidério.

Classe Vazão (m³/h)	Frequência Absoluta	Frequência Relativa	Vazão Média (m³/h)	Efetivo de Poços	Vazão Estimada (m³/dia)	Vazão Estimada (m³/s)
						124 poços
0<x≤1	3	0,026	0,469	3	11,96	0,0001
1<x≤2,5	5	0,043	1,747	5	74,23	0,0009
2,5<x≤5	11	0,096	3,900	12	364,55	0,0042
5<x≤7,5	21	0,183	6,534	23	1166,01	0,0135
7,5<x≤10	12	0,104	9,334	13	951,82	0,0110
10<x≤15	24	0,209	12,685	26	2587,06	0,0299
15<x≤30	29	0,252	21,698	31	5347,16	0,0619
x>30	10	0,087	68,877	11	5853,01	0,0677
Total	115	1,000		124	16355,80	0,189

Legenda:
 N = número total de poços com vazão informada no SIG.
 Frequência Absoluta (FA) = número de poços com vazão informada no SIG em cada intervalo de classe.
 Frequência Relativa (FR) = FA/N.
 Vazão Média (QM) = média dos valores de vazão informada em cada intervalo de classe.
 Efetivo de poços = N° P.P. x FR= número de poços produtores (bombeando/equipado) encontrados dentro dos limites do subdomínio.
 Vazão Estimada (QE) m³/dia = QM x RME x Efetivo de poços em cada intervalo de classe.
 Vazão Estimada (QE) m³/s = QE (m³/dia) x Quantidade de segundos em um dia (84.600).

Tabela 6.38 - Situação dos 124 poços em condições de funcionamento na área piloto da Bacia do Rio São Desidério.

Poços	Em condições de funcionamento	Bombeando	Equipado
Número	124	80	44
Percentual	100%	64,5%	35,5
Vazão (m³/s)	0,189	0,122	0,067

A distribuição espacial dos 124 poços em condições de funcionamento na área piloto do Rio São Desidério é mostrada na Figura 6.44 que foi gerada a partir dos dados da tabela contida no ANEXO 1.3.

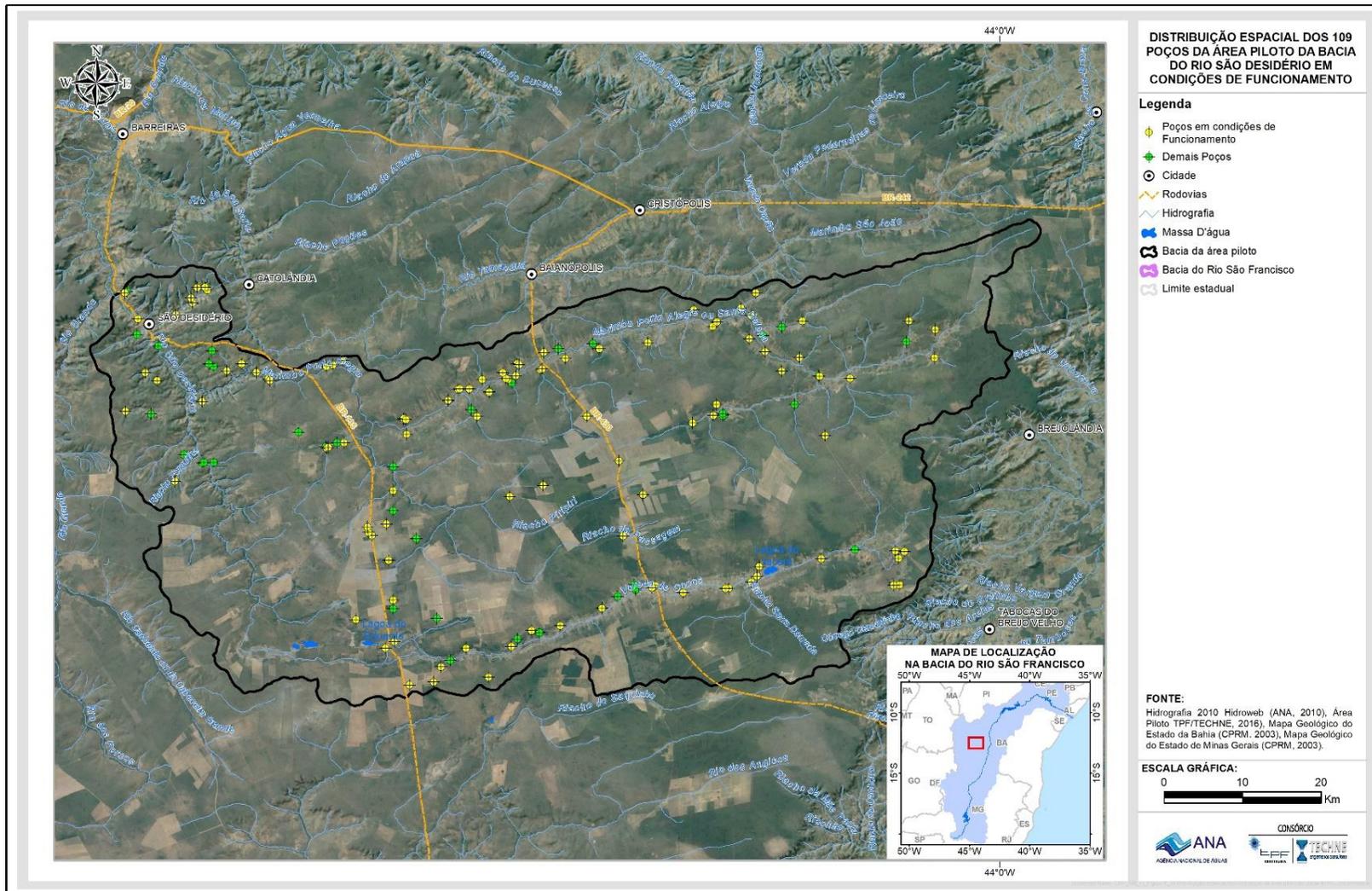


Figura 6.44: Distribuição espacial dos 124 poços da área piloto da Bacia do Rio São Desidério em condições de funcionamento.

6.7 Reservas, recursos e exploração

As reservas permanentes de água subterrânea se traduzem por volumes que representam a totalidade da água armazenada em um aquífero ou sistema aquífero, sem participar do escoamento sazonal. Assim, as unidades que expressam as reservas permanentes de água subterrânea têm dimensão L³, sendo comum a utilização do metro cúbico, hectômetro cúbico ou mesmo o litro.

A utilização da água subterrânea, ou seja, a retirada de volumes de água de um dado aquífero destina-se por sua vez a um consumo, seja ele abastecimento público, industrial, irrigação ou outros. Este consumo ocorre invariavelmente a certa taxa temporal. É natural e intuitiva, portanto, a consideração do tempo na exploração de recursos hídricos em geral. No que diz respeito à recarga dos aquíferos, por outro lado, verifica-se que sua descrição também requer a introdução do tempo. Dessa maneira, tanto os volumes explorados dos aquíferos como aqueles aí repostos têm dimensão L³T⁻¹, sendo considerados como recursos.

6.7.1 Reservas permanentes

As reservas permanentes serão descritas separadamente para os aquíferos Urucuia e Bambuí.

Urucuia

Considera-se que a reserva permanente do Aquífero Urucuia, na área piloto da Bacia do Rio São Desidério, é constituída unicamente pela reserva de saturação. Esta reserva foi avaliada a partir do volume de rocha saturada dessa unidade de fluxo e da sua porosidade efetiva.

A espessura saturada média (b) pode ser considerada como 40 metros, de acordo com as argumentações apresentadas no item 6.1.1. A área de ocorrência do Aquífero Urucuia (A), por sua vez, é de 4.215 km² (item 6.1), e a porosidade efetiva (η_e) é considerada como 5% (item 6.4). A reserva de saturação (RS), portanto, é dada por:

- $RS = A \times b \times \eta_e = 4215 \text{ km} \times 0,040 \text{ km} \times 0,05 = 8,43 \text{ km}^3 \text{ ou } 8.430,00 \text{ hm}^3.$

Bambuí

De acordo com a discussão apresentada no item 6.1.2 as dissoluções cársticas ocorrem predominantemente acima de 120 metros de profundidade. É, assim, escassa a probabilidade de sucesso de perfurações que, improdutivas até essa profundidade, sejam aprofundadas além. Como o nível estático médio é da ordem de 5 a 10 metros, na área de franco afloramento do Bambuí (Formação São Desidério), considerar uma espessura saturada de 110 metros afigura-se como verossímil.

A área de afloramento deste aquífero, por sua vez, foi avaliada em 200,0 km² no mesmo item 6.1.2.

No que diz respeito à porosidade efetiva foi adotado o coeficiente de armazenamento das fraturas S_f determinado nos testes de aquífero pelo

método fractal (ver item 6.4.2). Esse parâmetro, entretanto, é pontual, válido apenas nas cercanias imediatas do poço testado. Aplicando-se esse valor para toda a área de ocorrência do Bambuí (200 km²), significa admitir que as características cársticas detectadas no local do teste prevalecem em toda a área de estudo, o que não é realista. Nessas condições foi julgado preferível adotar as porosidades efetivas que foram utilizadas na avaliação da contribuição dos diferentes aquíferos às descargas de base medidas nos hidrogramas. Em se tratando de aquíferos cársticos, essas porosidades não têm o sentido clássico da porosidade efetiva definida para meios porosos. Trata-se antes, aqui, de uma porosidade efetiva equivalente cujo valor numérico resultou, para as diferentes formações e diferentes bacias hidrográficas, de ajustes da recarga à descarga de base (ver item 6.5.1). Assim, no caso em análise, vamos considerar uma porosidade efetiva equivalente de 0,09 para o aquífero cárstico aflorante desenvolvido na Formação São Desidério.

A reserva permanente deste aquífero (RP) será dada, portanto, por: área de ocorrência (A) x espessura saturada (b) x porosidade efetiva equivalente (η_e)

- $RP = A \times b \times \eta_e = 200 \text{ km} \times 0,11 \text{ km} \times 0,09 = 1,98 \text{ km}^3 \text{ ou } 1.980,00 \text{ hm}^3$

6.7.2 Reserva reguladora ou recarga

A recarga corresponde à parcela da precipitação pluviométrica média anual que se infiltra e efetivamente alcança os aquíferos livres, constituindo assim a reserva renovável ou reguladora. A recarga foi acima avaliada (item 6.5) a partir da análise de hidrogramas como sendo de $6,20 \cdot 10^8 \text{ m}^3/\text{ano}$ ou 134 mm/ano. Este será o valor considerado no presente relatório.

Nada impede, entretanto, que se explorem, para fins comparativos, outras informações obtidas nos trabalhos de campo, tais como, as medições de nível nos poços disponíveis. Isso é feito abaixo separadamente para os aquíferos Urucuia e Bambuí.

6.7.2.1 Aquífero Urucuia

A recarga foi também avaliada através das informações disponíveis sobre a variação sazonal do freático na área piloto. Foram feitas no âmbito do presente estudo, com efeito, duas campanhas de medição de níveis, sendo a primeira no verão e sendo a segunda no período chuvoso do ano de 2014. Foram 65 poços observados, dos quais, 10 poços ficaram situados no âmbito da área piloto. A análise dos níveis, nesses 10 poços, aponta para uma variação sazonal média (ΔNE) de 3,6 metros numa área de ocorrência do Aquífero Urucuia aproximadamente igual a 4.226 km^2 . Considerando-se uma porosidade efetiva (η_e) de 5% (item 6.4), obtém-se uma recarga R de:

- $R = A \times \Delta NE \times \eta_e = 4226 \text{ km}^2 \times 0,0036 \text{ km} \times 0,05 = 0,76068 \text{ km}^3/\text{ano}$ ou $4,564 \cdot 10^8 \text{ m}^3/\text{ano}$.

Este valor ($7,607 \cdot 10^8 \text{ m}^3/\text{ano}$ ou 180,00 mm) representa 18,0% da pluviometria média anual de 1000 mm, o que é comparável aos 13,4% obtidos a partir da análise das recessões na estação fluviométrica de Barreiras (ver item 6.5).

6.7.2.2 Aquífero Bambuí

Será considerada, aqui, a mesma variação sazonal média (ΔNE) de 3,6 metros considerada acima para o Aquífero Urucuia. Admitindo-se a porosidade efetiva equivalente de 0,09 (ver item 6.6.2) e uma área de ocorrência do Aquífero Bambuí igual a 200,0 km², obtém-se uma recarga R de:

- $R = A \times \Delta NE \times \eta_e = 200 \text{ km} \times 0,0036 \text{ km} \times 0,09 = 0,0648 \text{ km}^3/\text{ano}$ ou 64,8 hm³/ano.

6.7.2.3 Comentários sobre a recarga

Do exposto nos itens acima (6.7.2.1 e 6.7.2.2) verifica-se que a recarga avaliada pela variação do freático (soma das recargas do Urucuia e do Bambuí) é de 8,25.10⁸ m³/ano ou 178 mm enquanto que esse mesmo parâmetro, obtido pela análise dos hidrogramas (item 6.5) é de 6,20.10⁸ m³/ano ou 134 mm/ano. A ordem de grandeza desses valores, obtidos por abordagens completamente distintas, é sugestiva da representatividade que pode lhes ser atribuída.

No presente relatório será considerada a recarga avaliada pela análise dos hidrogramas (6,20.10⁸ m³/ano ou 134 mm/ano).

6.7.3 Exploração

A exploração de água subterrânea na área piloto da Bacia do rio São Desidério foi avaliada conjuntamente para os aquíferos Urucuia e Bambuí. Essa avaliação foi feita a partir dos 168 poços que compõem a planilha de poços da área piloto, mesmo os que não apresentam perfil.

O termo exploração, aqui, é utilizado para designar os recursos de água subterrânea sendo produzidos pelo conjunto de poços existentes numa dada área.

Dos 168 poços existentes na área piloto, 61 não têm a vazão informada. Para completar as lacunas, o seguinte procedimento foi adotado, utilizando-se as vazões informadas.

Inicialmente foi construído um histograma de frequências relativas (Figura 6.45), onde se verifica que as vazões obedecem a uma distribuição de frequência assimétrica.

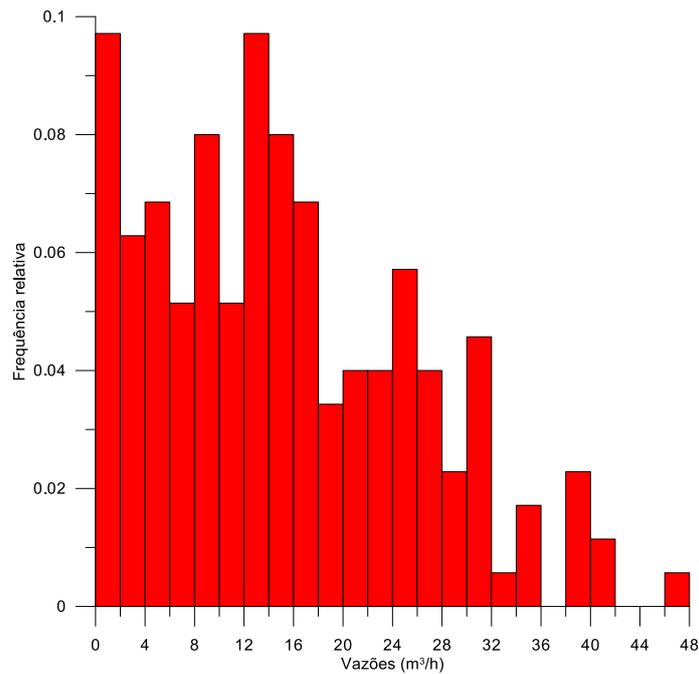


Figura 6.45: Histograma de vazões – Área piloto da Bacia do Rio São Desidério.

- Em seguida foi construído um gráfico vazões x frequências relativas (Figura 6.46), utilizando-se as frequências das classes de vazão do histograma. A distribuição dos pontos, nesse gráfico, admite o ajuste de uma lei exponencial, onde o parâmetro $1/\lambda$ representa uma aproximação da média da distribuição de frequências. Essa média, assim, é de 14,41 m³/h.

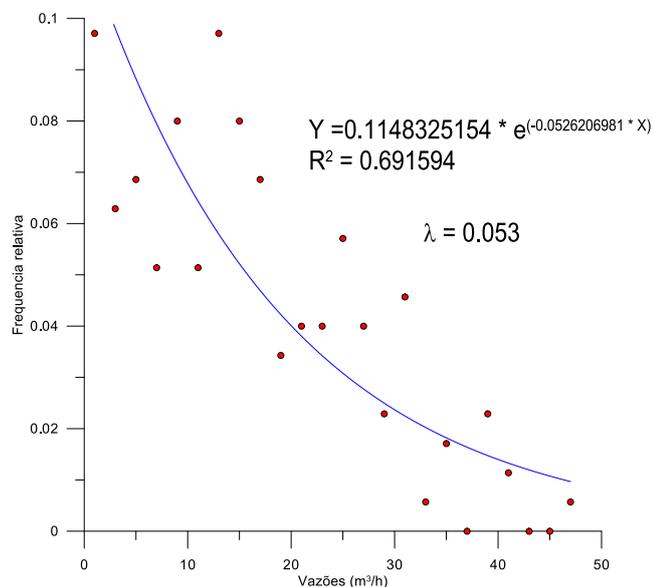


Figura 6.46: Frequências relativas – Área piloto da Bacia do Rio São Desidério.

A média de 14,41 m³/h será adotada para o preenchimento das lacunas na planilha de poços.

Com as lacunas referentes às vazões preenchidas conforme acima discutido, foi possível avaliar a exploração instalada na área piloto da Bacia do Rio São Desidério. Os resultados obtidos apontam para uma descarga de 34 hm³/ano.

6.7.4 Síntese da avaliação dos recursos hídricos subterrâneos

No Tabela 6.39, abaixo, são sintetizados as reservas e recursos de água subterrânea avaliada para os aquíferos Urucuaia e Bambuí na área piloto da Bacia de São Desidério.

Tabela 6.39 – Síntese da avaliação dos recursos hídricos subterrâneos.

		Urucuaia	Bambuí	Ambos
Reservas	Saturação (hm ³)	8.430,00	1.980,00	10.410,00
	Sob Pressão (hm ³)	--	--	--
Exploração	Instalada			34,000
Recarga (hm³/ano)				620,00
Reserva Explotável (hm³/ano)				124,00

6.7.5 Zoneamento do Saldo Hídrico

Para a gestão sustentável das outorgas de água subterrânea na área de São Desidério foram elaborados os mapas de produção de água e de zoneamento dos saldos hídricos.

6.7.5.1 Mapa de Distribuição Espacial da Produção de Água

O mapa de distribuição espacial da produção de água subterrânea na área piloto da Bacia do Rio São Desidério a partir das vazões informadas é apresentado na Figura 6.47 considerando-se conjuntamente o aquífero cárstico e o Urucuaia. Numa amostra de 124 poços, a vazão média por poço é de 16,7 m³/h, com desvio padrão de 29,6 m³/h. Esse desvio configura um coeficiente de variação de 177% que reflete a extrema variação que ocorre na produção dos poços, com um mínimo de 0,3 m³/h e um máximo de 306 m³/h, mas que é perfeitamente consistente com o comportamento reinante em terrenos cársticos.

6.7.5.2 Mapa de Zoneamento dos Saldos Hídricos

O mapa de zoneamento do saldo hídrico foi elaborado dividindo a área de estudo com uma superfície aproximada de 4630 km² em 72 células quadradas, cada uma delas equivalente a uma área de aproximadamente 9,1 x 9,1 ≈ 84 km².

Sobre cada célula da malha regular foi realizado um balanço tendo como vazão de entrada, em cada célula, a recarga e como vazão de saída a produção global de água avaliada com base na vazão informada no cadastro de poços existentes em condições de funcionamento em cada célula, A quantidade de poços corresponde a um total de 165 poços bombeando 7,8h/dia. Em conjunto explotam o equivalente em média a 112,4 m³/dia para cada um. O resultado

desse balanço é apresentado na Tabela 6.40 e o mapa é apresentado na Figura 6.48, mostrando que existe excedente hídrico significativo em todas as células, que varia de 355 a 373 m³/dia.km².

Tabela 6.40 – Balanço Recarga x Exploração do aquífero Bambuí na área Piloto Bacia do Rio São Desidério,

Célula	X	Y	Número de Poços	Área km ²	Recarga (m ³ /dia)	Exploração (m ³ /dia)	Saldo (m ³ /dia)
1	-44,95	-12,27	0	6,83	2508,50	0	2508
2	-44,86	-12,27	0	0,9	330,55	0	331
3	-44,20	-12,27	0	5	1836,38	0	1836
4	-44,11	-12,27	0	20,23	7430,00	0	7430
5	-44,03	-12,27	0	41,7	15315,41	0	15315
6	-43,94	-12,27	0	9,97	3661,74	0	3662
7	-45,03	-12,35	4	31,22	11466,36	450	11017
8	-44,95	-12,35	7	84	30851,19	787	30064
9	-44,86	-12,35	1	19,44	7139,85	112	7027
10	-44,61	-12,35	0	6,55	2405,66	0	2406
11	-44,53	-12,35	1	34,57	12696,73	112	12584
12	-44,44	-12,35	2	64,09	23538,73	225	23314
13	-44,36	-12,35	4	63,06	23160,43	450	22711
14	-44,28	-12,35	6	70,4	25856,24	674	25182
15	-44,20	-12,35	1	82,08	30146,02	112	30034
16	-44,11	-12,35	3	84	30851,19	337	30514
17	-44,03	-12,35	0	58,58	21515,03	0	21515
18	-45,03	-12,43	1	36,33	13343,14	112	13231
19	-44,95	-12,43	7	84	30851,19	787	30064
20	-44,86	-12,43	6	78,9	28978,08	674	28304
21	-44,78	-12,43	3	74,07	27204,14	337	26867
22	-44,69	-12,43	5	62,49	22951,08	562	22389
23	-44,61	-12,43	13	80,16	29440,85	1461	27980
24	-44,53	-12,43	10	84	30851,19	1124	29727
25	-44,44	-12,43	1	84	30851,19	112	30739
26	-44,36	-12,43	3	84	30851,19	337	30514
27	-44,28	-12,43	6	84	30851,19	674	30177
28	-44,20	-12,43	5	84	30851,19	562	30289
29	-44,11	-12,43	1	83,58	30696,94	112	30585
30	-44,03	-12,43	0	47,87	17581,51	0	17582
31	-45,03	-12,52	0	23,52	8638,33	0	8638
32	-44,95	-12,52	4	83,67	30729,99	450	30280
33	-44,86	-12,52	1	84	30851,19	112	30739
34	-44,78	-12,52	8	84	30851,19	899	29952
35	-44,69	-12,52	3	84	30851,19	337	30514
36	-44,61	-12,52	0	84	30851,19	0	30851
37	-44,53	-12,52	2	84	30851,19	225	30626

38	-44,44	-12,52	2	84	30851,19	225	30626
39	-44,36	-12,52	0	84	30851,19	0	30851
40	-44,28	-12,52	0	84	30851,19	0	30851
41	-44,20	-12,52	1	84	30851,19	112	30739
42	-44,11	-12,52	0	66,44	24401,82	0	24402
43	-44,95	-12,60	0	61,06	22425,88	0	22426
44	-44,86	-12,60	0	84	30851,19	0	30851
45	-44,78	-12,60	0	84	30851,19	0	30851
46	-44,69	-12,60	7	84	30851,19	787	30064
47	-44,61	-12,60	0	84	30851,19	0	30851
48	-44,53	-12,60	0	84	30851,19	0	30851
49	-44,44	-12,60	1	84	30851,19	112	30739
50	-44,36	-12,60	0	84	30851,19	0	30851
51	-44,28	-12,60	1	84	30851,19	112	30739
52	-44,20	-12,60	2	84	30851,19	225	30626
53	-44,11	-12,60	3	74,7	27435,52	337	27098
54	-44,95	-12,68	0	37,17	13651,65	0	13652
55	-44,86	-12,68	0	83,36	30616,14	0	30616
56	-44,78	-12,68	1	84	30851,19	112	30739
57	-44,69	-12,68	3	84	30851,19	337	30514
58	-44,61	-12,68	1	84	30851,19	112	30739
59	-44,53	-12,68	6	84	30851,19	674	30177
60	-44,44	-12,68	9	84	30851,19	1012	29840
61	-44,36	-12,68	4	84	30851,19	450	30402
62	-44,28	-12,68	4	84	30851,19	450	30402
63	-44,20	-12,68	0	70,43	25867,26	0	25867
64	-44,11	-12,68	2	24,3	8924,81	225	8700
65	-44,86	-12,77	0	39,26	14419,26	0	14419
66	-44,78	-12,77	0	53,17	19528,07	0	19528
67	-44,69	-12,77	2	56,41	20718,04	225	20493
68	-44,61	-12,77	7	48,96	17981,84	787	17195
69	-44,53	-12,77	1	15,09	5542,20	112	5430
70	-44,44	-12,77	0	42,14	15477,01	0	15477
71	-44,36	-12,77	0	38,81	14253,99	0	14254
72	-44,28	-12,77	0	36,7	13479,03	0	13479
73	-44,20	-12,77	0	19,73	7246,36	0	7246
1	-44,95	-12,27	0	6,83	2508,50	0	2508

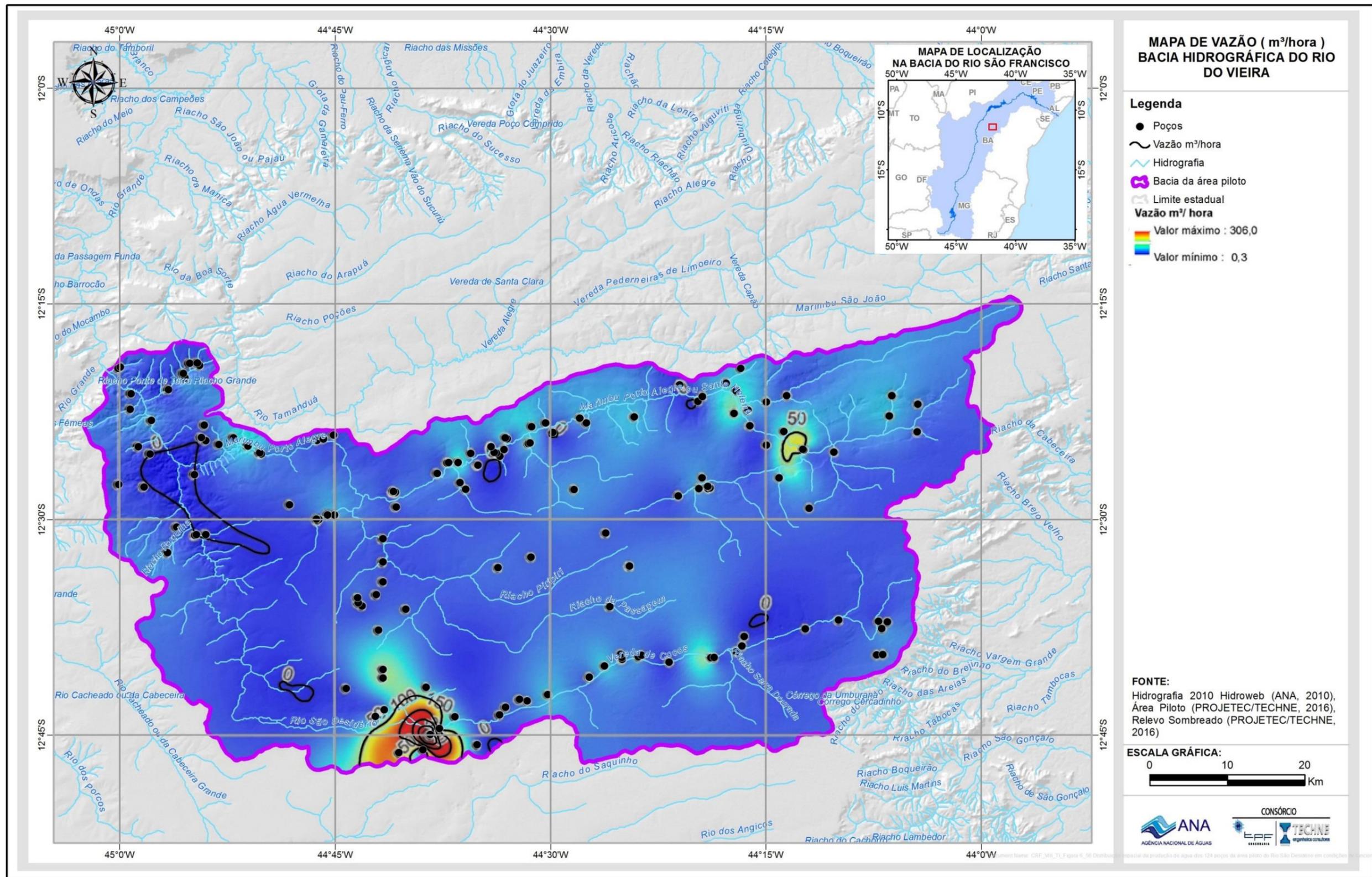


Figura 6.47: Distribuição espacial da produção de água dos 124 poços da área piloto do Rio São Desidério em condições de funcionamento.

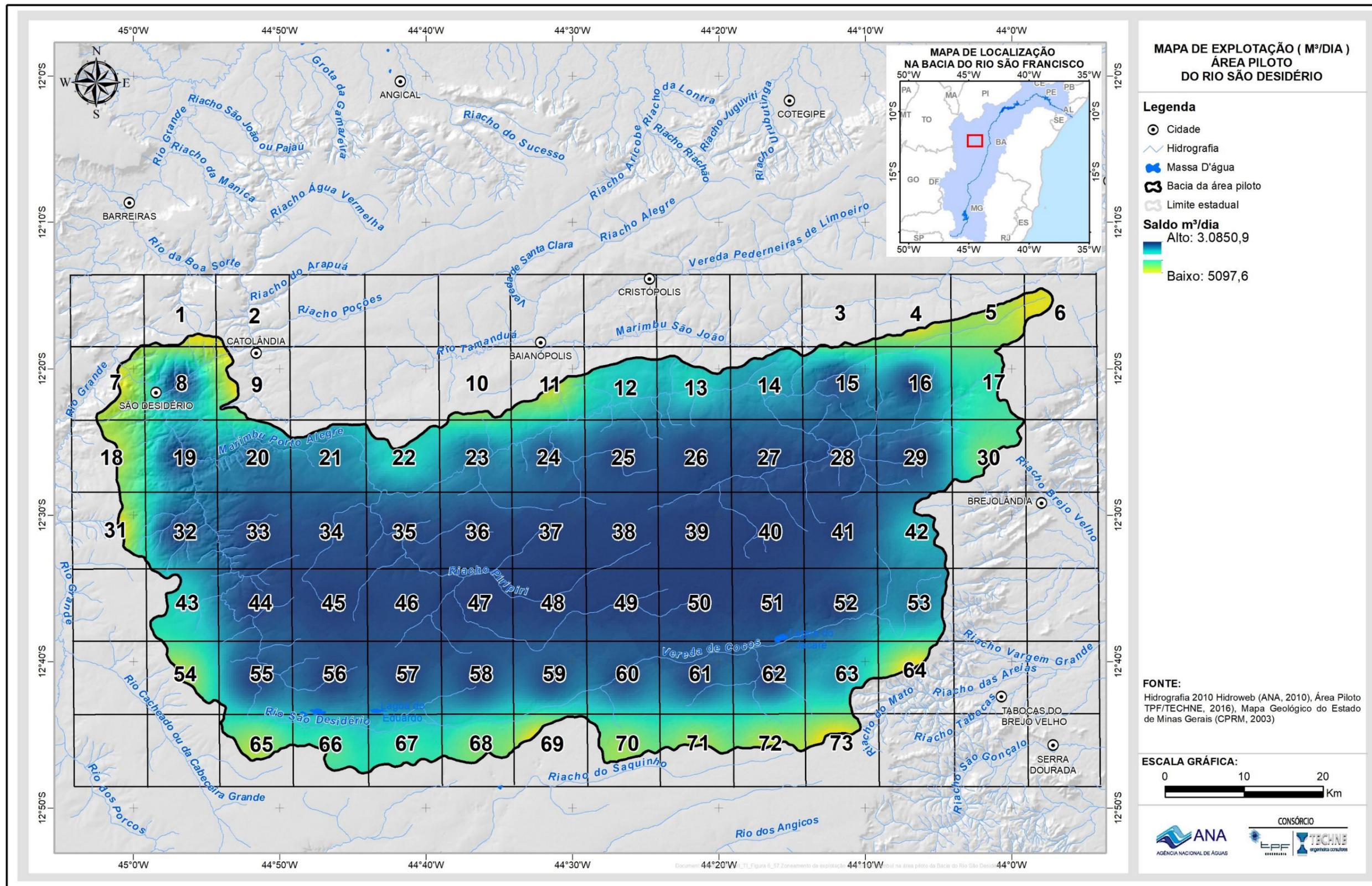


Figura 6.48: Zoneamento do saldo hídrico do aquífero Bambuí na área piloto da Bacia do Rio São Desidério.

6.8 Relações entre os Sistemas Aquíferos Urucuia e Bambuí

A potenciometria do Aquífero Urucuia na área piloto da Bacia do Rio São Desidério é mostrada na Figura 6.49 a seguir. Foram utilizados valores de nível estático medidos nos 63 poços cadastrados na área piloto e seus arredores. Os níveis estáticos utilizados foram medidos no ato do cadastramento, no período entre 06/12/2013 a 08/04/2014. A Tabela 6.41 mostra as cargas hidráulicas utilizadas bem como uma estatística sumária das mesmas. As curvas isopotenciométricas se restringiram à região da área piloto e foram interpretadas levando-se em conta as drenagens e os limites geológicos.

Gaspar (2006) informa que a condutividade hidráulica do Urucuia varia de 10^{-6} a 10^{-7} m/s. Consideraremos o valor máximo de 10^{-6} m/s. Na Figura 6.49 têm-se os seguintes valores aproximados:

- Espessura saturada média de 50,0 metros;
- Gradiente médio de 0,006;
- Frente de escoamento de 256 km ao longo da curva isopotenciométrica de 720 metros (ver Figura 6.49).

De posse desses valores pode-se avaliar a vazão de escoamento natural que os arenitos Urucuia vertem para os vales, segundo a expressão abaixo:

VEN = K.b.i.L em que

K = Condutividade hidráulica em m/s;

b = Espessura média saturada, em metros;

i = Gradiente hidráulico, adimensional;

L = Comprimento da frente de escoamento, em km.

Tabela 6.41 – Cargas hidráulicas para a potenciometria, sua média e desvio padrão

SIAGAS	Trackmaker	utmE z23s	utmN z23s	NE	Cota SRTM	Carga Hid. (m)
2900013339	4	553953	8595645	2,3	765	762,7
2900013340	5	547520	8626591	6,13	697	690,87
2900013342	6	574927	8600328	11,8	760	748,2
2900013343	7	534743	8621602	8,22	695	686,78
2900013344	8	540060	8623960	2,19	687	684,81
2900013367	9	532206	8592853	1,39	744	742,61
2900013368	10	508214	8636274	13,59	594	580,41
2900013372	11	506131	8634769	7,19	550	542,81
2900013373	12	506006	8613850	24,35	660	635,65
2900013374	13	512499	8627733	1	593	592
2900013375	14	503804	8626507	3,6	607	603,4
2900013376	15	525694	8628431	2,24	683	680,76
2900013377	16	502325	8627459	27,7	555	527,3
2900014189	17	564275	8612089	51,86	799	747,14
2900014231	18	542218	8592809	4,2	750	745,8
2900014232	19	578460	8601794	13,2	764	750,8
2900014235	20	569255	8599759	4,6	755	750,4
2900000130	21	572989	8633204	2,4	711	708,6
2900000131	22	541269	8625371	1,45	692	690,55
2900000175	23	517631	8626686	11,7	673	661,3
2900000177	24	517843	8626501	27,7	668	640,3
2900000256	25	583790	8629273	0,8	734	733,2
2900000260	26	577795	8634512	0,7	719	718,3
2900001044	27	499800	8637500	8,41	500	491,59
2900001668	28	514342	8628592	3,05	621	617,95
2900001673	29	516153	8627516	10,8	594	583,2
2900001741	30	547708	8611907	1,8	774	772,2
2900001749	31	565788	8600659	4,5	764	759,5
2900004234	32	551965	8629993	1,65	705	703,35
2900004235	33	548641	8628555	3,25	699	695,75
2900004236	34	573478	8623372	0	760	760
2900004237	35	564921	8631165	0,78	711	710,22
2900004240	36	544260	8626565	2,33	696	693,67
2900004241	37	558881	8630440	5	715	710
2900004242	38	570453	8621076	21,82	746	724,18
2900004244	39	551569	8627812	8,5	694	685,5
2900004248	40	554651	8629220	4,32	708	703,68
2900005435	41	596056	8603982	15,47	766	750,53
2900005437	42	600712	8632721	14,19	766	751,81
2900005440	43	596195	8600664	12,2	773	760,8
2900005442	44	584165	8633880	7,22	725	717,78

2900005443	45	586431	8603982	12,28	765	752,72
2900005444	46	576529	8635498	2,71	714	711,29
2900005446	47	574259	8621988	8,52	757	748,48
2900005447	48	590123	8626643	4,5	728	723,5
2900005448	49	595666	8604936	17,5	768	750,5
2900005453	50	577545	8631625	0	710	710
2900005510	51	581580	8627559	6,1	735	728,9
2900005512	52	578376	8637398	5,51	763	757,49
2900013919	53	533177	8597797	29,88	776	746,12
2900014399	54	542658	8625400	3,42	689	685,58
2900021901	55	540285	8591306	10,25	752	741,75
2900021964	56	510865	8616183	3,6	627	623,4
2900021965	57	510839	8628225	11,5	653	641,5
2900022834	58	561109	8599287	3	754	751
2900023459	59	524809	8618172	13,18	696	682,82
2900023834	60	558067	8631056	1,8	693	691,2
2900023835	61	553748	8630420	3,1	694	690,9
2900023956	62	526198	8618693	4,1	692	687,9
2900024651	63	586199	8626993	1,37	714	712,63
2900024654	64	574200	8622265	4,23	746	741,77
2900024707	65	545193	8625059	15,78	702	686,22
2900024818	66	551328	8594791	1,72	754	752,28
					Média	697,37
					Desvio Pad.	62,01
					Valor Max.	772,2
					Valor Min.	491,99

A vazão de escoamento natural é, portanto, estimada em 2,42 hm³/ano ou 2.421.964,80 m³/ano, valor este não considerado representativo da recarga do Aquífero Urucuia pelos motivos apresentados no item 6.7.2.

A área piloto da Bacia do rio São Desidério situa-se na porção norte da Chapada de Baianópolis. Essa área é ocupada por arenitos Urucuia entre o vale do rio São Desidério e o Marimbu Santa Helena. As curvas isopotenciométricas de 740 metros e 720 metros se desenvolvem numa zona de altas cotas topográficas, exibindo fracos gradientes e um fluxo radial centrífugo para todos os quadrantes. Os arenitos do Grupo Urucuia na área piloto constituem, assim, um reservatório que verte suas águas para o norte, na direção do Marimbu Santa Helena; para o sul, na direção do rio São Desidério; para oeste, também na direção do rio São Desidério que, neste trecho, corre de sul para norte; e para leste, na direção da base das escarpas do Urucuia, onde afloram sedimentos pouco permeáveis da Formação Santa Helena. Nas proximidades desses exutórios, acima citados, o gradiente hidráulico torna-se nitidamente mais forte, refletindo a forte declividade do freático.

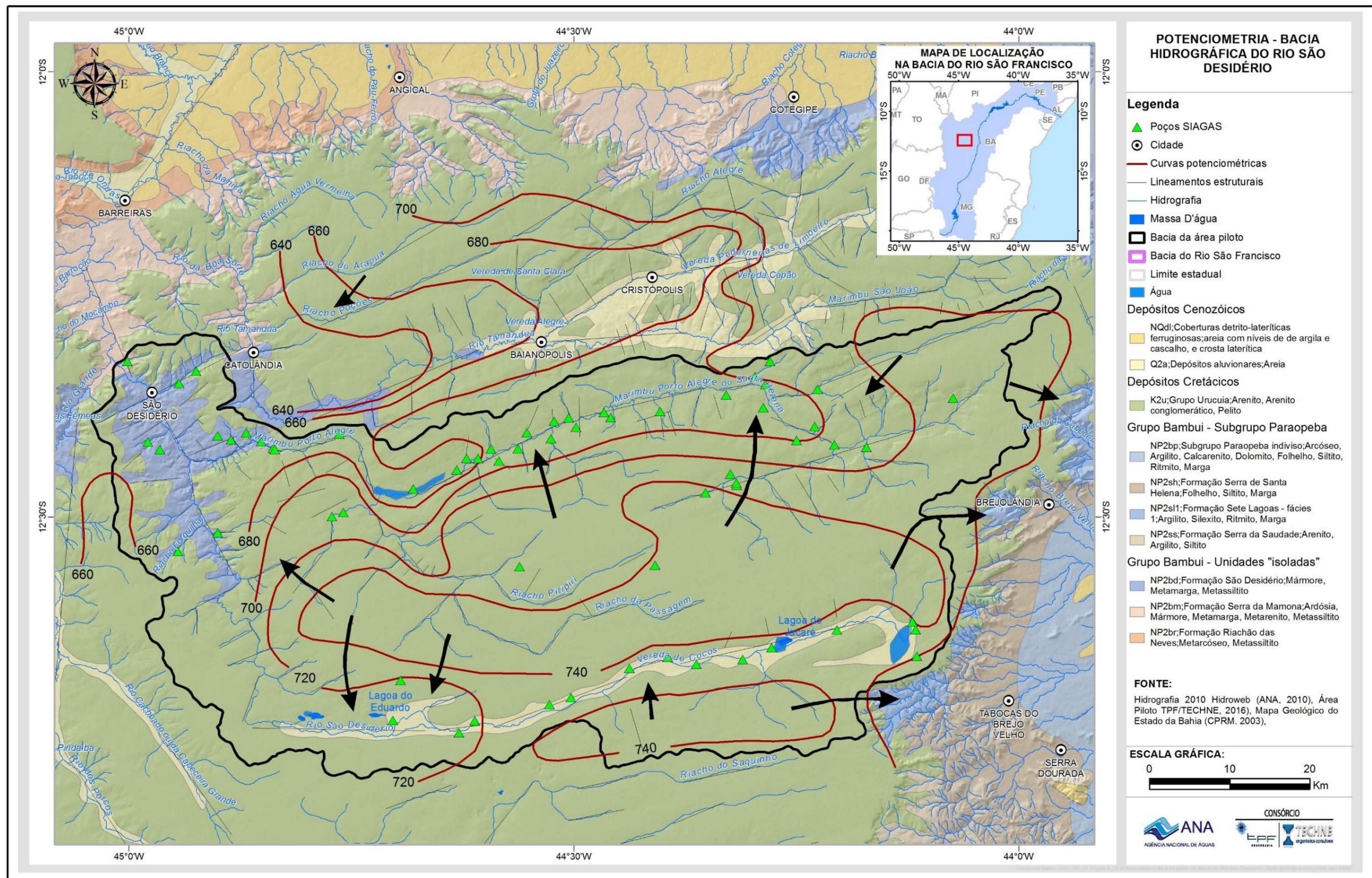


Figura 6.49: Potenciometria da área piloto da Bacia do Rio São Desidério. Base geológica compilada de CPRM (2003)..

Em função do acima exposto, verifica-se que o Aquífero Urucuia desempenha dois papéis no contexto hidrogeológico da área piloto em estudo. Em primeiro lugar, ele constitui um reservatório que pode ser explorado para o atendimento de demandas locais. Em segundo lugar, as cargas hidráulicas deste reservatório são mais elevadas que as do Bambuí sotoposto. Isso leva a admitir que o Urucuia possa, em princípio, prover uma recarga do Bambuí, quer por drenagem vertical descendente, quer pelas águas restituídas aos vales onde afloram os calcários. As informações disponíveis não permitem, no momento, maiores considerações sobre as relações hidráulicas entre o Bambuí e o Urucuia. Seria necessário, para tal, a perfuração de, pelo menos, um poço multinível de pesquisa, atravessando o Urucuia saturado e penetrando suficientemente no Bambuí. Nesse poço seria registrada a distribuição vertical de cargas hidráulicas que informaria sobre as relações entre os dois aquíferos.

Na Figura 6.50 mostra-se um bloco diagrama esquemático da área piloto de São Desidério com o objetivo de ilustrar suas feições geológicas e hidrogeológicas mais proeminentes.

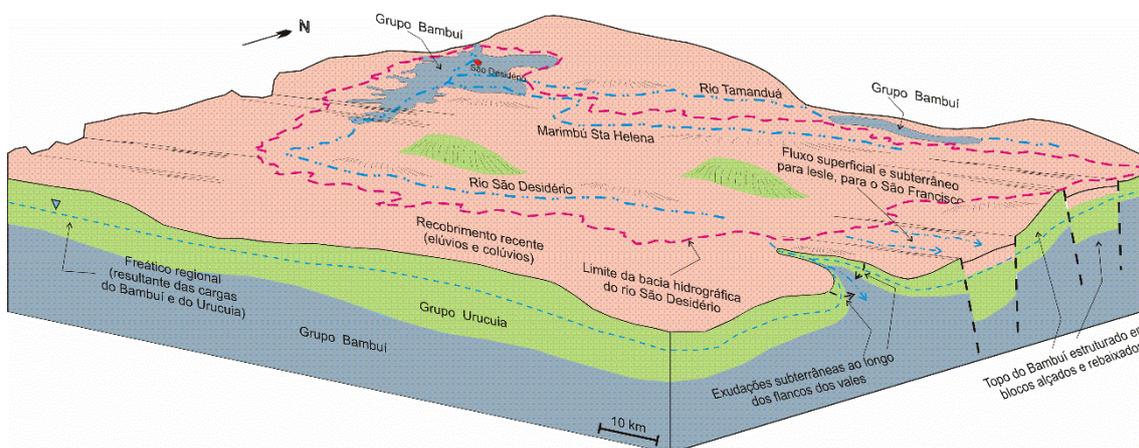


Figura 6.50: Bloco diagrama esquemático da área piloto de São Desidério

Na inexistência de informações sobre a distribuição vertical de cargas hidráulicas, e buscando-se discutir melhor a questão, foi tentada uma análise mais elaborada da chamada Chapada de Baianópolis. Essa feição, como explanado no item 4.2.1, corresponde a uma apófise da Chapada do Urucuia (Figura 6.51) quase separada do corpo principal da mesma por profundas incisões de drenagens NNW- SSE, com cabeceiras quase coalescentes. Uma das incisões verte para NNW, para o Rio Grande em Barreiras, enquanto que a outra despeja para SSE, para o Rio Corrente na região de Correntina.

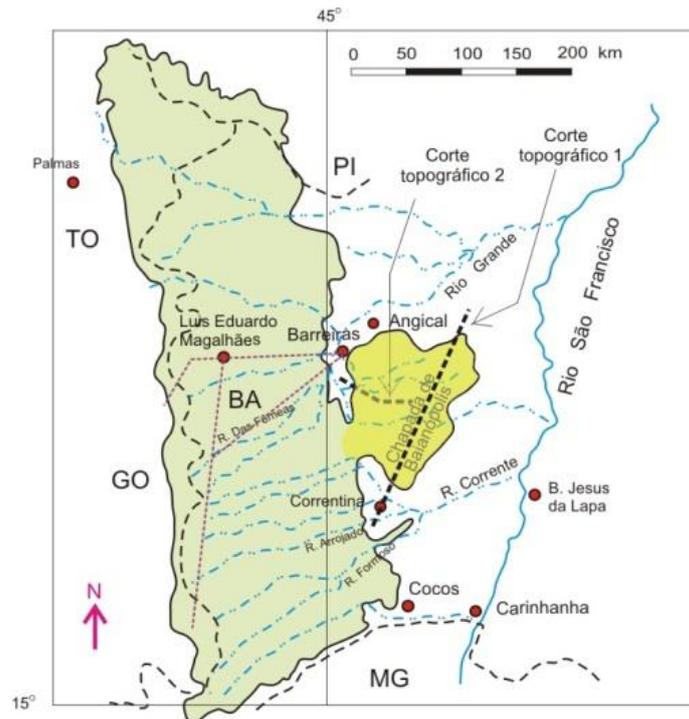


Figura 6.51: Chapada de Baianópolis (Elaborado a partir do Mapa Geológico do Brasil, Escala 1/5.000.000, DNPM, MME, 1971)

A superfície da Chapada de Baianópolis apresenta caimento topográfico para oeste, em direção ao vale do Rio Grande. Na Figura 6.52 é mostrado o corte topográfico 1, alinhado NNE-SSW, cuja posição é indicada na Figura 6.51.

Vê-se, na Figura 6.52, que o topo da Chapada de Baianópolis se nivela na cota de 780 m com entalhes de drenagem que se aprofundam nos arenitos até cotas da ordem de 680 m na extremidade NNE da chapada, na região de Baianópolis e Cristópolis. Nessa extremidade a chapada se termina por uma pronunciada escarpa de onde se descortina a vasta região peneplanizada do baixo vale do rio Grande, extensivamente mascarada por recobrimentos recentes.

Na extremidade SSW do corte acima mostrado, as cotas descaem suavemente, de forma oscilante, na direção da cidade de Correntina. Os entalhes de drenagem, aqui, se devem aos vários rios paralelos que, encaixados em fraturamentos ENE-WSW, procedem de WSW, de altas cotas da Chapada do Urucuia, fazendo as águas do SAU convergirem no Rio Correntes que as leva ao São Francisco.

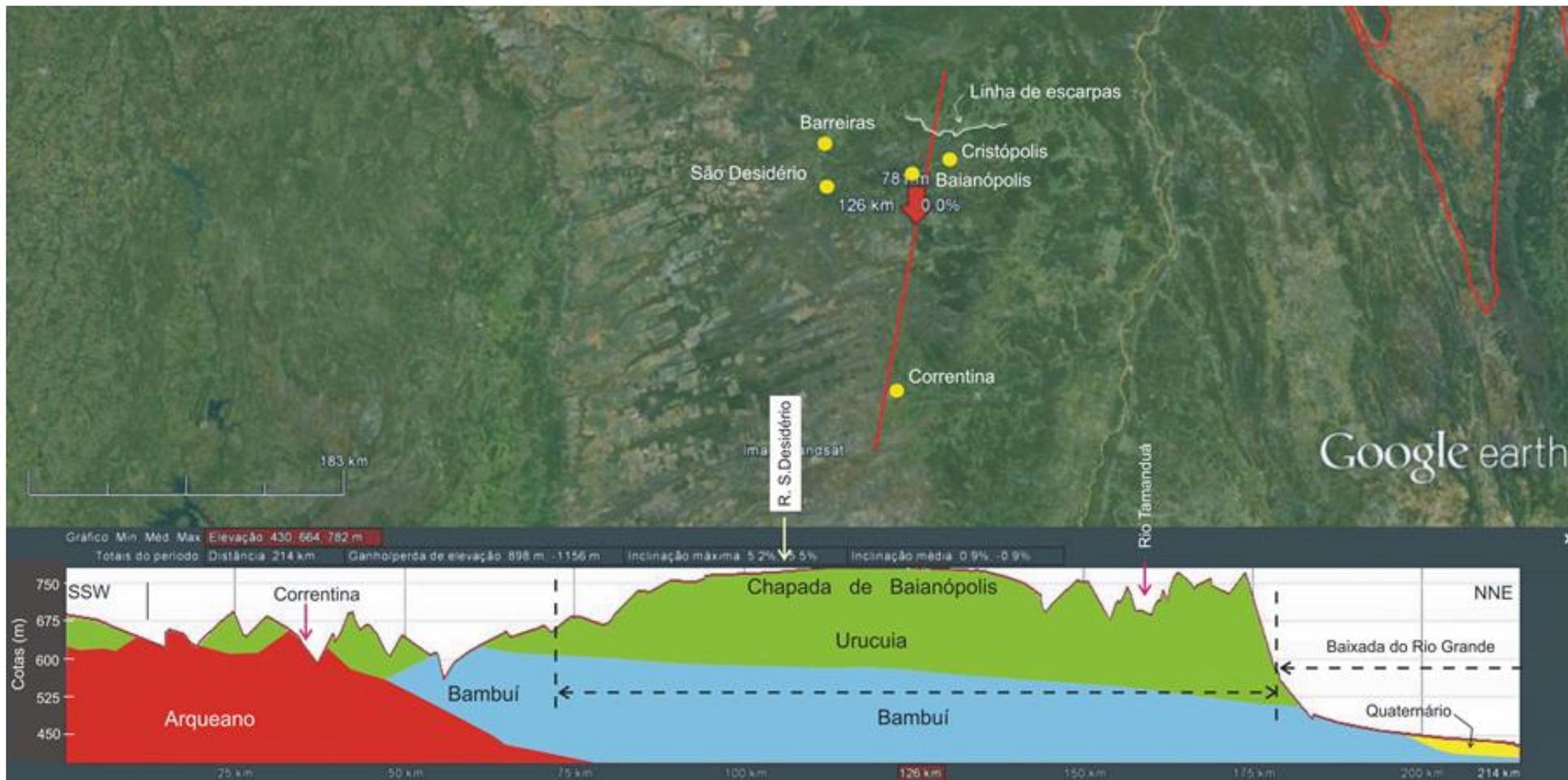


Figura 6.52: Corte SSW-NNE na Chapada de Baianópolis. Topografia do Google Earth. Geologia esquemática obtida de CPRM/CBPM (2003).

Uma aparente intumescência do Arqueano faz aflorar rochas cristalinas antigas na região de Correntes. Não se trata, entretanto, de uma ocorrência generalizada. Assim, o truncamento do Bambuí é aparente, devido às particularidades do corte.

A partir de dados disponíveis de perfis litológicos de poços do SIAGAS foi possível elaborar o mapa topográfico mostrado na Figura 6.53. Com base na topografia mostrada na Figura 6.53, foi selecionado o corte topográfico 2 cuja posição é indicada no mapa da Figura 6.51.

As medições geofísicas (eletrorresistividade) realizadas sobre o Urucuia na Chapada de Baianópolis consistiram de um perfil de resistividade. A interpretação desse perfil, embora não tenha quantificado as espessuras dos arenitos Urucuia, resultou em importantes informações qualitativas sobre a estruturação do topo dos calcários Bambuí (figuras 5.11 e 5.12). A gravimetria, por sua vez, apenas esboçou o comportamento do topo do Bambuí, dada a imprecisão das densidades conhecidas.

Pelos motivos acima expostos foi julgado mais preciso elaborar o corte topográfico 2 utilizando os dados dos oito poços mostrados na Tabela 6.42 (cotas do topo do Bambuí e cargas hidráulicas). Este corte é mostrado na Figura 6.54.

Tabela 6.42: Poços utilizados no corte topográfico 2

Poço	UTM E	UTM N	Dist. (m)	Cota (m)	Topo do Bambuí (m)	NE (m)	Carga hid. (m)
2900024303	510659	8630222	0	659	659		
2900001668	514342	8628592	4.027,58	621	621	3	618
2900001673	516153	8627516	6.134,12	594	577	10,8	583,2
2900000177	517843	8626501	8.105,49	668	598	27,7	640,3
2900023956	526198	8618693	19.541,00	692	682	4,1	687,9
2900023955	533191	8610115	30.608,26	756	716		
2900001741	547708	8611907	45.235,44	774	749	1,8	772,2
2900014189	564275	8612089	61.803,44	799	694	51,86	747,14

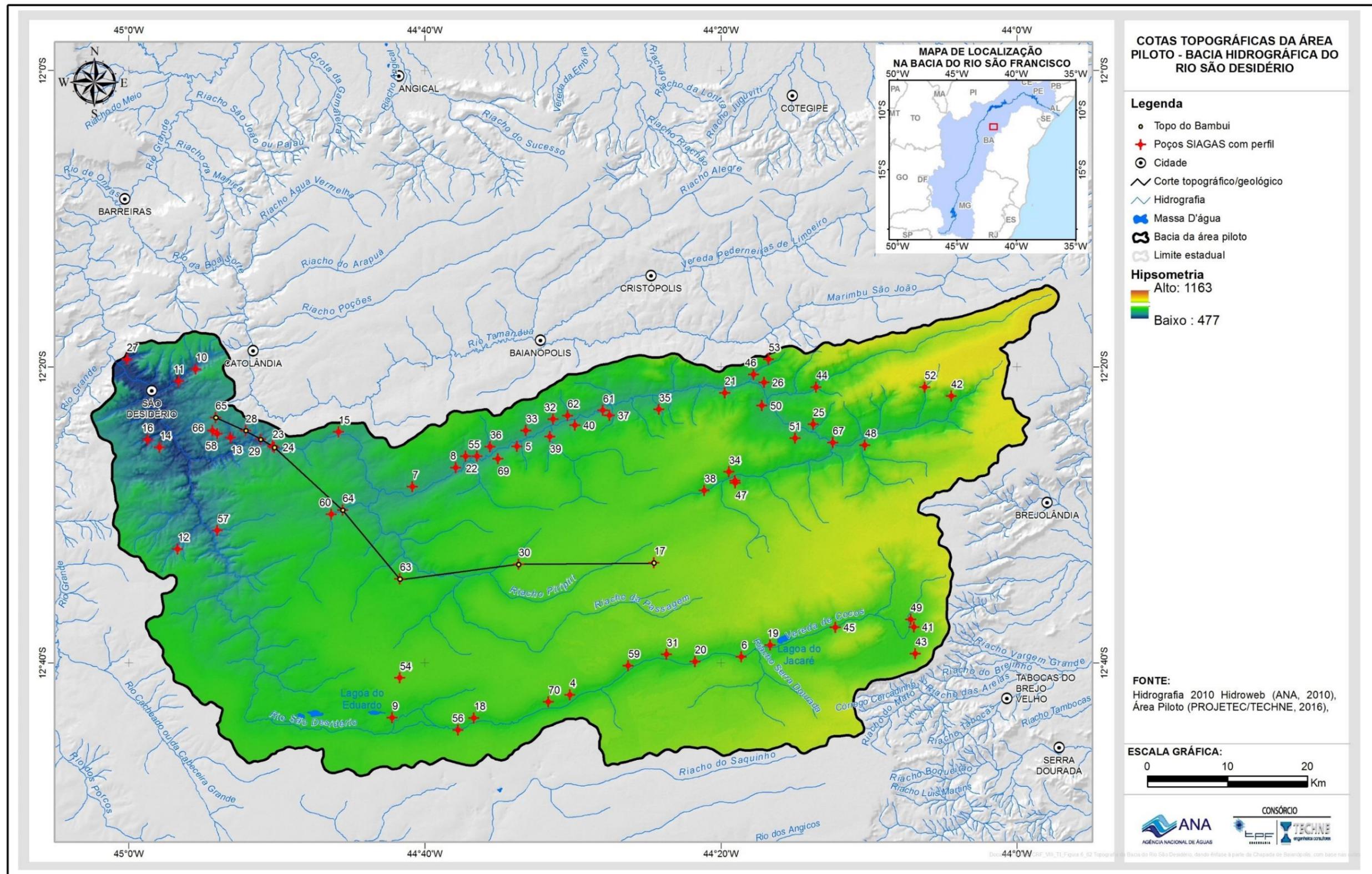


Figura 6.53: Topografia da Bacia do Rio São Desidério, dando ênfase à parte da Chapada de Baianópolis, com base nas cotas

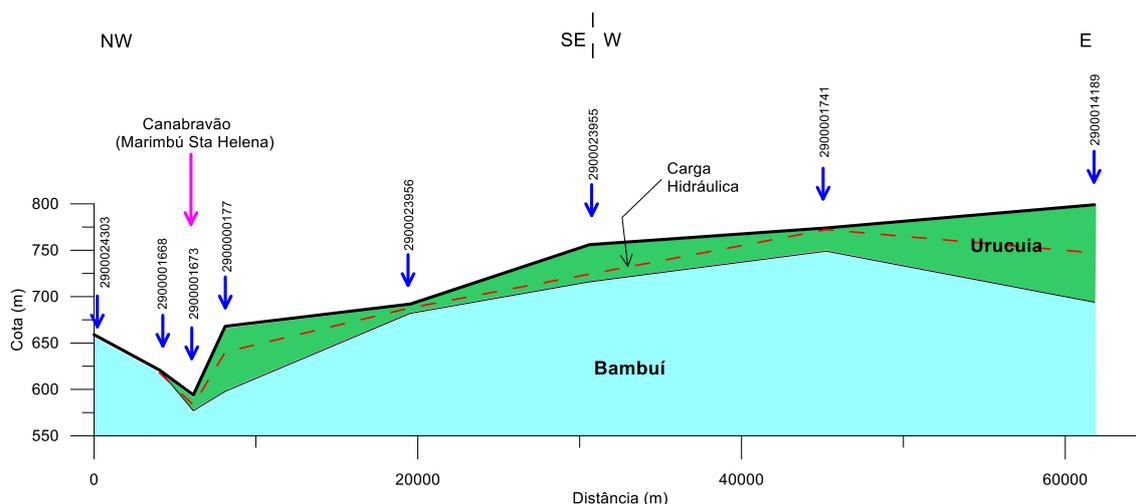


Figura 6.54: Corte topográfico/geológico 2 na Chapada de Baianópolis.

No corte acima apresentado as seguintes observações são pertinentes:

- O nível potenciométrico acompanha, de forma aproximada, a superfície do terreno.
- A espessura máxima do Urucua atravessada por perfurações, na Chapada de Baianópolis, é de 120 metros. No corte acima mostrado, a espessura máxima é de 105 metros, na sua extremidade E.
- A espessura máxima do Bambuí, penetrada por poços, é de 180 metros nos poços 2900024303 e 2900024304, na extremidade noroeste do corte acima mostrado. As espessuras totais dos calcários do Grupo Bambuí, nessa área, não devem, entretanto, ser inferiores a 500 metros, com base em medições de resistividade realizadas na baixada do rio São Desidério.

Admite-se, com base no comportamento normal das sequências aquíferas, que toda a sequência sedimentar representada na Figura 6.54 se encontra saturada abaixo do freático. O corte topográfico mostra a carga hidráulica média do sistema, isto é, a carga hidráulica média do conjunto dos aquíferos Urucua e Bambuí. Esta é uma situação de equilíbrio hidrodinâmico estabelecido ao longo da história geológica recente. Admite-se também, com base no comportamento hidrodinâmico dos sistemas aquíferos, que subidas mais ou menos repentinas do freático, devidas a períodos chuvosos, rompem momentaneamente o equilíbrio preexistente, gerando um diferencial de carga hidráulica favorável ao Urucua. Na condição topográfica em análise, em que a superfície potenciométrica tem uma feição aproximada de domo, o diferencial de carga induz um fluxo centrífugo inclinado, com uma componente horizontal e outra vertical. A componente horizontal faz despejar grande parte das águas do Urucua nas drenagens periféricas que circundam a Chapada de Baianópolis e nas drenagens que entalham seu bojo. A componente vertical de fluxo pode prover, teoricamente, uma certa recarga do aquífero Bambuí em profundidade.

O mecanismo acima descrito deve prevalecer não apenas na Chapada de Baianópolis, mas em todo o chapadão do Urucua. É de se esperar, assim, que o grande domo de água doce associado a esse chapadão acarrete, em suas proximidades mais imediatas, uma significativa recarga indireta do Bambuí, com uma consequente melhoria da qualidade química das águas deste último.

Nada impede, no presente momento, que se faça um exercício especulativo sobre as descargas possíveis de serem transmitidas ao Grupo Bambuí a partir dos arenitos Urucuia que o recobrem. Consideremos, assim, todo o Chapadão do Urucuia ocupando uma área de 76.000 km², incluído o apêndice de Baianópolis. Este, por sua vez, ocupa uma área da ordem de 7.000 km².

Considerando que a separação Urucuia/Bambuí seja representada pela paleosuperfície calcária deste último¹⁴, que teria preservado no todo ou em parte as características cársticas originais. Os paleoexocarstes, entretanto, devem estar muito colmatados por sedimentos arenoargilosos, o que deve ter comprometido em certa extensão suas capacidades de receber água. Nessas condições, admite-se que essa interface Urucuia/Bambuí (ou Urucuia/cristalino) ofereça uma baixa condutividade hidráulica vertical¹⁵ às recargas procedentes dos arenitos, o que leva a adotar um valor de $K = 1,0 \cdot 10^{-9}$ m/s (Freeze & Cherry, 1979).

Foram medidos níveis estáticos em 10 poços na área piloto, em duas campanhas escalonadas no tempo. A primeira medição foi feita no verão e a segunda medição foi feita no final do inverno do ano de 2014. Essas medições apontaram para uma variação sazonal média de 3,6 metros. Se considerarmos uma espessura média saturada de 270 metros para toda a área do Urucuia (Gaspar, 2006), tem-se um gradiente hidráulico vertical médio de 0,0133.

Aplicando-se a Lei de Darcy para os parâmetros acima se chega aos seguintes valores:

- Para todo o Chapadão do Urucuia - 32,0 hm³/ano
- Para a Chapada de Baianópolis - 3,0 hm³/ano

Esses valores são muito baixos em face dos 1.000,00 hm³/ano repostos no SAU pelas precipitações (Gaspar, 2006). Acredita-se, assim, que o substrato geológico dos arenitos Urucuia, quer seja o embasamento cristalino, quer se trate dos calcários Bambuí, deve receber ínfima recarga desses arenitos por filtração vertical direta. Essa hipótese, ademais, fica compatível com a conceituação de um Bambuí – ou de um embasamento cristalino – total e permanentemente saturado sob o domo líquido dos arenitos. É admissível apenas que o substrato do Urucuia possa experimentar pequenas oscilações sazonais na parcela sob pressão do seu armazenamento. É também admissível que essas oscilações sazonais façam variar o fluxo radial centrífugo que em si é possível que exista, gerado pelas altas pressões hidrostáticas reinantes nesse substrato. É mais plausível, em última análise, admitir que todo ou quase todo o volume sazonal dos recursos renováveis do Urucuia flua sub-horizontalmente para os exutórios naturais representados pelos inúmeros rios perenes que drenam os arenitos. Em suma, e de forma mais incisiva, pode-se dizer que os substratos, cristalino e calcário, dos arenitos Urucuia não devem receber parcelas significativas de recarga por filtração vertical, pelo simples fato de já se encontrarem plenamente saturados.

No item 6.5 comenta-se que foram medidos deflúvios muito pequenos na estação fluviométrica de Fazenda Coqueiro, situada no rio São Desidério,

¹⁴ Ou pela paleosuperfície do cristalino, na porção norte do chapadão

¹⁵ Condutividade hidráulica equivalente

imediatamente a montante da cidade de São Desidério¹⁶. Esses deflúvios apontam para uma taxa de infiltração nos arenitos Urucuia de apenas 1,85% da pluviometria média (1.000 mm anuais), considerada inicialmente irreal para as condições geológicas locais. Admite-se, com efeito, que a infiltração na cobertura representada pelos arenitos Urucuia é, em realidade, de 13,4% da pluviometria, como obtido a partir dos deflúvios medidos na estação fluviométrica de Barreiras.

A pequena taxa de infiltração obtida na estação da Fazenda Coqueiro levou, inicialmente, à cogitação da existência de uma anomalia local representada por uma substancial perda para os calcários, dos volumes infiltrados no Urucuia. Na realidade, entretanto, a área definida pela estação Fazenda Coqueiro (Chapada de Baianópolis) tem características morfológicas e hidrogeológicas significativamente diferentes daquelas da grande e monótona área definida pela estação de Barreiras. Na primeira, a área de ocorrência dos arenitos Urucuia é restrita e muito dissecada, apresentando um fluxo subterrâneo radial com fortes gradientes (ver potenciometria – Figura 6.49). Dois aspectos dessa potenciometria são relevantes:

- Parte das infiltrações pode estar buscando prematuramente os flancos das drenagens e, os talvegues, se manifestando na estação de Fazenda Coqueiro, possivelmente, como fluxo de superfície.
- Parte significativa do fluxo subterrâneo deriva para leste buscando as escarpas orientais da Chapada de Baianópolis em Vanderlei, Brejolândia e Tabocas do Brejo Velho, e contribuindo aos rios que buscam diretamente o São Francisco. Esse fluxo, obviamente, deixa de ser registrado na estação Fazenda Coqueiro.

Os aspectos acima resultam em menores descargas de base na estação Fazenda Coqueiro e levam à avaliação de uma menor recarga específica¹⁷ nos arenitos.

Na área definida pela estação de Barreiras, por outro lado, a extensão e uniformidade dos arenitos Urucuia, justificam uma maior recarga específica traduzida pela taxa de infiltração de 13,4% da pluviometria, considerada realista para esses sedimentos (Figura 6.55).

¹⁶ Área de drenagem inclui a bacia do rio Tamanduá, contígua à bacia do rio São Desidério.

¹⁷ Recarga por unidade de área

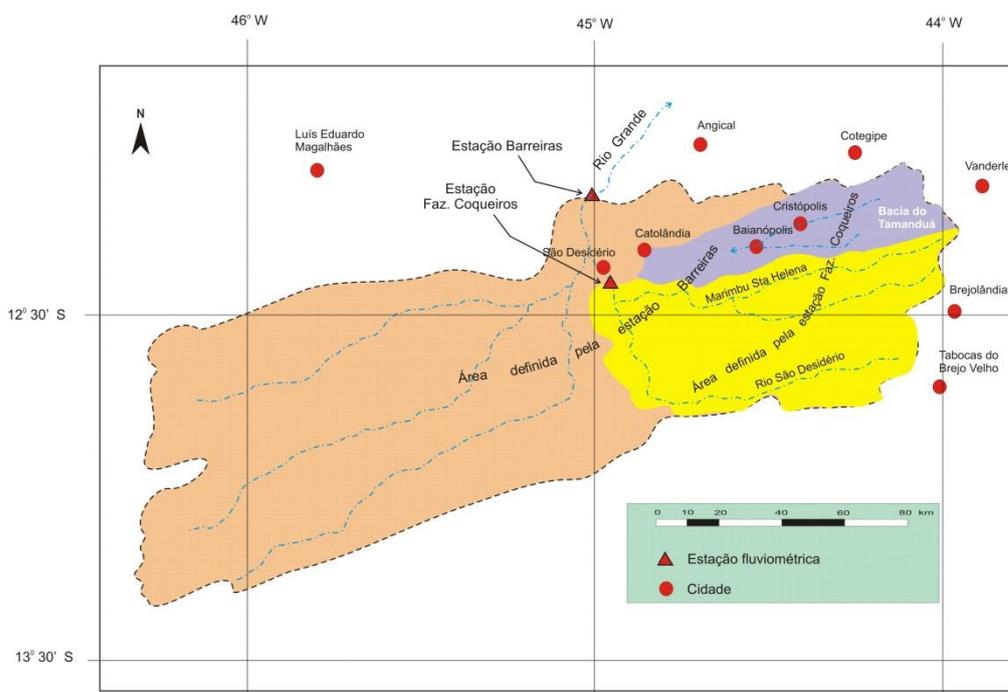


Figura 6.55: Áreas das estações fluviométricas de Barreiras e Faz. Coqueiros

Enfim, a pequena taxa de infiltração obtida na estação da Fazenda Coqueiro não configura uma anomalia local de perdas diretas para os calcários Bambuí. Essa pequena taxa (1,85%) traduz antes as condições hidrogeológicas da área drenada para a estação em apreço. Também aqui, como de resto em toda a área de ocorrência dos arenitos Urucuia, acredita-se que o substrato desses sedimentos possa receber apenas contribuições insignificantes de recarga por filtração vertical direta. As perdas dos arenitos para os calcários se dão sempre de forma indireta a partir, essencialmente, das exsudações que buscam os flancos das drenagens.

Finalmente, encerrando este tópico, nunca é demais insistir na necessidade de estudos específicos visando a uma compreensão realística das relações hidrodinâmicas entre os grupos Urucuia e Bambuí na área piloto em foco. Esses estudos passam necessariamente pela perfuração de poços multiníveis de pesquisa.

7. Hidroquímica da Bacia do Rio São Desidério

7.1 Amostragem de Águas

Foram realizadas duas campanhas de amostragem de águas subterrâneas e superficiais na bacia do Rio São Desidério.

A primeira campanha foi realizada no período de 19 a 28 de Agosto de 2014, representando o período seco da região, e foram coletados 14 pontos de águas subterrâneas.

Todos os poços coletados na primeira campanha foram amostrados também na segunda campanha, que foi realizada no período de 17 de Março a 16 de Abril de 2015, representando o período úmido da região. Nessa campanha, foi acrescentado um ponto de água subterrânea (cacimba, C-204) e 5 pontos de água superficial, os quais: a nascente do rio João Rodrigues (CS-205), o Rio Grande (CS-206), o rio São Desidério (CS-208), o rio Mutamba (CS-209) e a surgência do Poço do Surubim (CS-210). Os referidos pontos foram adicionados no intuito de acrescentar informações ao trabalho e, ainda, por ocasião da coleta dos parâmetros específicos.

Em ambas as campanhas foi realizada a coleta de águas em um poço no aquífero Uruçuia (C-147).

Todos os laudos de análises químicas estão apresentados nos ANEXOS 1.9 (Período seco) e 1.10 (Período chuvoso).

A amostragem contou da coleta de águas para a determinação de quatro grupos de parâmetros, os quais:

- **Físico-químicos:** sólidos dissolvidos totais, condutividade elétrica, dureza, cor aparente, turbidez, amônia, nitrito, nitrato, ferro, manganês, cálcio, magnésio, potássio, sódio, alcalinidade total, bicarbonato, carbonato, cloreto, fluoreto, sulfato;
- **BTEX, Fenóis e metais:** BTEX (benzeno, etilbenzeno, tolueno, m,p-xilenos, o-Xileno, xilenos), índice de fenóis e metais (arsênio, bário, boro, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel e zinco);
- **Agroquímicos** (43 compostos): abamectina, acefato, acetamiprido, azoxistrobina, boscalide, captana, carbenzadim + benomil, carbosulfano, cialotrina lmbda, ciflutrina (soma), cimoxanil, cipermetrina (soma), ciproconazol, ciromazina, clorantraniliprole, clorfenapir, clorotalonil, clorpirifós + clorpirifós-oxon, deltametrina, dibromofluorometano, difenoconalzo, dimetoato, diurom, famaxadona, fenitrotiom, fenpropatrim, flumioxazim, glifosato + ampa, imidaclopride, iprodiona, linurom, metalaxil, p-bromofluorbenzeno, picoxistrobina, piraclostrobina, procimidona, tebuconazol, tetraconazol, tiabendazole, tiamentoxam, tiofanato metílico, triazofós, trifloxistrobina;

- **Isótopos:** Oxigênio-18 (^{18}O), Deutério (^2H), Trítio (^3H)¹⁸ e Estrôncio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$).

Na primeira campanha foram determinados apenas os parâmetros físico-químicos e na segunda campanha foram analisados todos os grupos supracitados, para alguns poços selecionados.

A seleção de pontos para amostragem de BTEX, fenóis, metais e agroquímicos teve como base, principalmente, os resultados da primeira campanha, análise do cadastro de fontes de contaminação e análise do mapa de uso de solo.

Para os agroquímicos, além desses critérios de seleção, foi realizado um cadastramento das principais culturas agrícolas existentes nas três áreas, e posterior levantamento em campo e em instituições dos principais agroquímicos empregados.

Em todos os pontos de coleta foram determinados em campo, com auxílio de sondas multiparamétricas, os parâmetros pH, temperatura, condutividade elétrica, sólidos dissolvidos totais e potencial de oxirredução.

7.1.1 Rede de Amostragem

A localização e distribuição dos poços amostrados na área piloto de São Desidério podem ser visualizadas na Figura 7.1. A Tabela 7.1 apresenta os parâmetros analisados em cada ponto coletado.

¹⁸ Os resultados de trítio apresentaram problemas analíticos e, portanto, não foi possível a sua utilização nesse estudo.

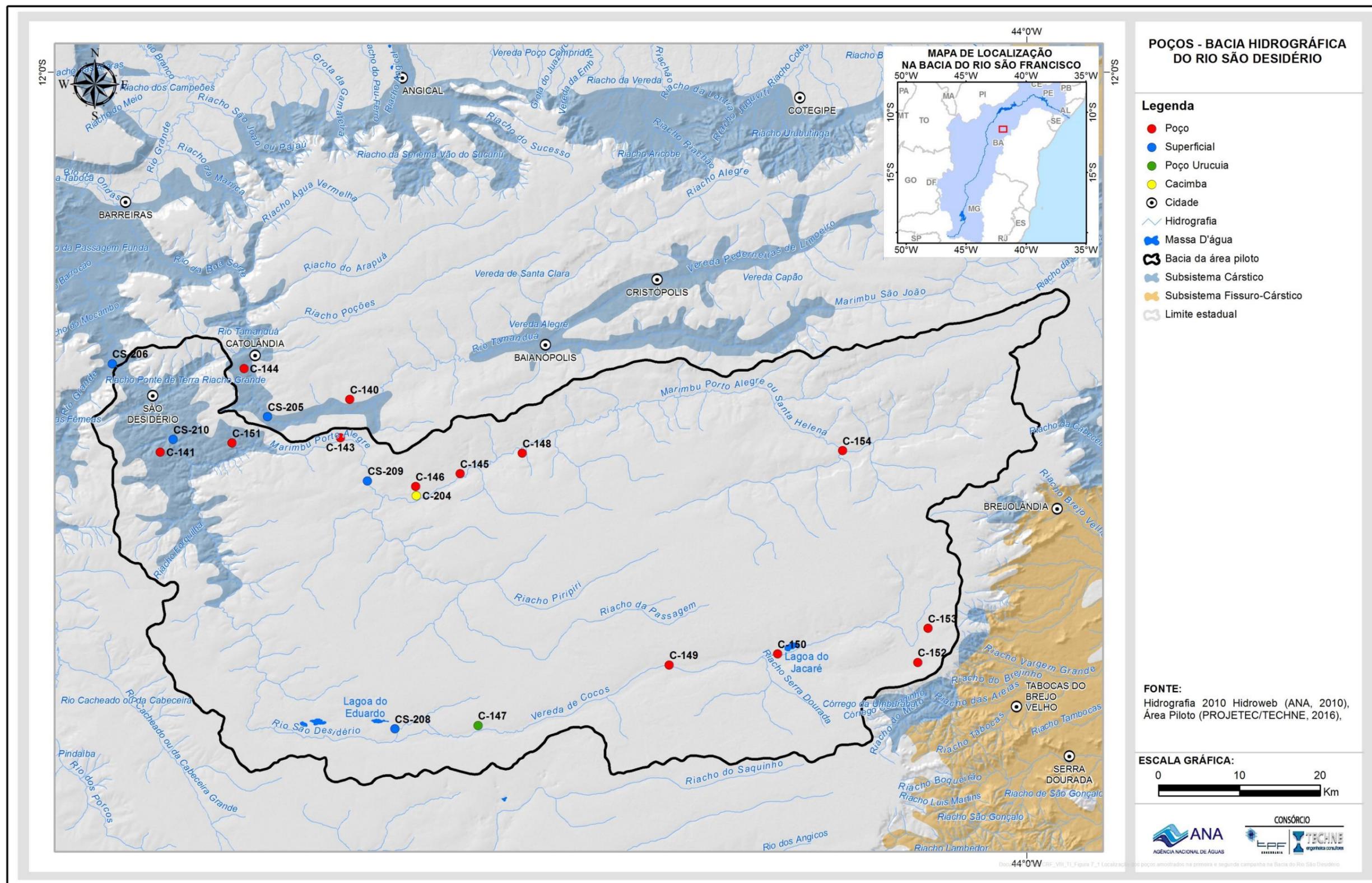


Figura 7.1: Localização dos poços amostrados na primeira e segunda campanha na Bacia do Rio São Desidério.

Tabela 7.1 – Pontos coletados na bacia do Rio São Desidério e respectivos parâmetros analisados.

ID	Amostra	1° Campanha (período seco)	2° Campanha (período úmido)
C-140	Subterrânea	Físico-químicos	Físico-químicos Agroquímicos Isótopos
C-141	Subterrânea	Físico-químicos	Físico-químicos Agroquímicos.
C-143	Subterrânea	Físico-químicos	Físico-químicos
C-144	Subterrânea	Físico-químicos	Físico-químicos
C-145	Subterrânea	Físico-químicos	Físico-químicos BTEX, fenóis e metais Agroquímicos
C-146	Subterrânea	Físico-químicos	Físico-químicos BTEX, fenóis e metais Isótopos
C-147	Subterrânea	Físico-químicos	Físico-químicos Isótopos
C-148	Subterrânea	Físico-químicos	Físico-químicos
C-149	Subterrânea	Físico-químicos	Físico-químicos BTEX, fenóis e metais.
C-150	Subterrânea	Físico-químicos	Físico-químicos
C-151	Subterrânea	Físico-químicos	Físico-químicos Agroquímicos.
C-152	Subterrânea	Físico-químicos	Físico-químicos
C-153	Subterrânea	Físico-químicos	Físico-químicos
C-154	Subterrânea	Físico-químicos	Físico-químicos Agroquímicos Isótopos
C-204	Subterrânea (cacimba)	-	Físico-químicos Isótopos
CS-205	Superficial: Nascente rio João Rodrigues	-	Físico-químicos Agroquímicos Isótopos
CS-206	Superficial: rio Grande	-	Agroquímicos Isótopos
CS-208	Superficial: rio São Desidério	-	Agroquímicos
CS-209	Superficial: rio Mutamba	-	Agroquímicos
CS-210	Superficial: surgência poço do Surubim	-	Físico-químicos

7.1.2 Procedimentos de Coleta

Nos casos em que as bombas dos poços se encontravam desligadas no momento da coleta, procedeu-se o acionamento por aproximadamente 30 minutos antes de coletar, permitindo a renovação da água e evitando, assim, a coleta de porções estagnadas não representativas da formação geológica. As coletas sempre foram realizadas o mais próximo possível do poço, e nunca coletadas após permanecerem armazenadas em caixas de água, cisternas e/ou adicionadas de cloro.

No momento da coleta das amostras foram medidos parâmetros in situ mediante o uso de sondas específicas, conforme Tabela 7.2 e Figura 7.2 a Figura 7.5.

Tabela 7.2 - Parâmetros obtidos in situ e equipamento utilizado.

Parâmetro	Marca e Modelo da Sonda
pH	HANNA - HI 8424; HI98129
Temperatura, °C	HANNA - HI 8424; HI98129; HI8731
Condutividade elétrica, $\mu\text{S}/\text{cm}$	HANNA - HI8731; HI98129
Sólidos Dissolvidos Totais, mg/L	HANNA - HI98129; HI8731
Potencial de oxirredução (ORP), mV	HANNA - HI3230B



Figura 7.2 - Sonda e eletrodos para determinação da temperatura, pH e ORP.



Figura 7.3 - Leitura dos parâmetros condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos.



Figura 7.4 - Inserção do eletrodo para leitura dos parâmetros in situ.

Os frascos utilizados na coleta das águas foram fornecidos pelo laboratório. Imediatamente após a coleta eles foram acondicionados em caixas térmicas com gelo (Figura 7.5) e encaminhados por via aerea ou terrestre ao laboratório de forma que a sua determinação desse início em até 24 horas após a coleta.



Figura 7.5 – Caixa térmica com gelo para acondicionamento e envio das amostras para o laboratório.

7.1.3 Métodos de Análise

As amostras de águas foram determinadas em laboratórios da Bioagri Ambiental. A Tabela 7.3 apresenta método, metodologia e limite de quantificação (LQ) dos parâmetros determinados.

Tabela 7.3 – Métodos analíticos utilizados e limite de quantificação (LQ) dos parâmetros de análise.

ID Método	Parâmetros	Limite	Unidade	Preservante + Frasco (todos refrigerados)	Tempo para Análise
Titulação potenciométrica	Alcalinidade Total	0	mg/L	Frasco Plástico de 1L refrigerado (1)	14 dias
	Bicarbonato (como CaCO ₃)	0	mg/L		
	Carbonato (como CaCO ₃)	0	mg/L		
Cromatografia de Ions	Nitrato (como N)	0,1	µg/L	Frasco de 100 mL Plástico refrigerado (2)	48 horas
	Nitrito (como N)	0,02	µg/L		28 dias
	Cloreto	1	µg/L		
	Fluoreto	0,1	µg/L		
	Sulfato	1	µg/L		
Leitura em condutivímetro	Condutividade	0,1	µS/cm	Mesmo (1)	28 dias
Espectrofotometria	Cor Aparente	5	Pt/Co	Mesmo (1)	48 horas
Titulação potenciométrica	Dureza Total	5	mg/L	Frasco 500 mL com H ₂ SO ₄ até pH < 2 (4)	6 meses
Flow Injection Analysis (FIA)	Fenóis Totais	0,001	mg/L	Mesmo (4)	14 dias
ICP-MS	Arsênio	1	µg/L	Frasco 500 mL com HNO ₃ até pH < 2 (5)	6 meses, exceto mercúrio que é de 28 dias
	Bário	1	µg/L		
	Boro	1	µg/L		
	Cádmio	1	µg/L		
	Cálcio	50	µg/L		
	Chumbo	1	µg/L		
	Cobre	1	µg/L		
	Cromo	1	µg/L		
	Ferro	1	µg/L		
	Magnésio	50	µg/L		
	Manganês	1	µg/L		
	Mercúrio	0,1	µg/L		
	Níquel	1	µg/L		
	Potássio	50	µg/L		
	Sódio	50	µg/L		
Zinco	1	µg/L			
Espectrofotometria	Amônia (como NH ₃)	0,1	mg/L	Mesmo (4)	14 dias
Gravimetria	Sólidos Dissolvidos Totais	5	µg/L	Mesmo (1)	7 dias
GCMS	Benzeno	1	µg/L	2 vials de 40 mL	14 dias

	Etilbenzeno	1	µg/L	preservados com HCl (6 e 7)	
	m,p-Xilenos	2	µg/L		
	o-Xileno	1	µg/L		
	Tolueno	1	µg/L		
Turbidímetro	Turbidez	0,1	NTU	Mesmo (1)	48 horas
LCMSMS e GCMSMS	Agroquímicos	0,1	µg/L	Vidro âmbar	14 dias
Radioatividade	Deutério (2H)	-	‰ VSMOW	Frasco âmbar 1 L com HNO ₃ até pH < 2 (7)	180 dias
Radioatividade	Estrôncio (87Sr/86Sr)	-		Mesmo (7)	180 dias
Radioatividade	Oxigênio-18	-	‰ VSMOW	Mesmo (7)	180 dias

7.2 Caracterização das Águas

7.2.1 Avaliação da distribuição dos dados físico-químicos e químicos

Com o objetivo de avaliar a distribuição dos dados físico-químicos e químicos foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov, através do programa ioGAS 4.0, para todas as variáveis, sendo estas separadas por período de coleta.

O teste de Kolmogorov-Smirnov compara a função de distribuição acumulada do universo amostral com a distribuição esperada caso os dados tivessem uma distribuição normal. Se existir uma diferença significativa nos dados, o teste rejeita a hipótese nula da normalidade populacional.

Assim, se o teste é não significativo ($p \geq 0,05$) ele informa que os dados da amostra não diferem significativamente de uma distribuição normal, isto é, eles provavelmente se apresentam na forma desta distribuição. Caso contrário, se o p assume valores abaixo desse patamar ($p < 0,05$), isso é um indicativo de que o pressuposto da normalidade foi violado.

A Tabela 7.4 mostra os resultados da aplicação do teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov para as variáveis analisadas no âmbito do projeto, em cada período amostral.

Segundo a análise dos resultados, as variáveis pH, temperatura, CE, STD, dureza, cálcio e bicarbonato (com $p > 0,150$) mostram distribuição normal com 5% de significância, em ambos os períodos. De forma a ilustrar essa situação, as Figura 7.6 e Figura 7.7 apresentam o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov para os dados de CE, no período seco e úmido, respectivamente. Nota-se, para ambos os períodos, uma distribuição normal tanto na análise de gráfico (distribuição contínua e próxima a linha de normalidade), como pelo baixo valor de desvio padrão em relação à média e também pelo valor de p suficientemente grande.

Os parâmetros magnésio, sódio, potássio, sulfato, cloreto, fluoreto, nitrato, ferro e manganês, conforme observado na Tabela 7.4, mostram valores de $p < 0,05$, ou seja, não mostram uma tendência de distribuição normal dos resultados. Para ilustrar essa situação, as Figura 7.8 e Figura 7.9 mostram

respectivamente, o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov para os dados de sulfato, no período seco e úmido. Observa-se um domínio de valores baixos que desenham uma curva discordante da normalidade, para os dois períodos. Tal comportamento, portanto, é explicado devido um domínio de valores muito baixo, próximo do limite de detecção do método de análise.

O resultado do teste de normalidade aplicado contribuirá no entendimento dos gráficos de dispersão e, especialmente, na interpretação dos coeficientes de correlação de Pearson. Convém ressaltar, que valores de média também são fortemente influenciados pelas formas de distribuição dos resultados (se obedecem ou não a curva de normalidade).

O teste evidenciou que uma parte significativa das variáveis mostra distribuição normal. A não normalidade dos dados para algumas variáveis deve-se ao domínio de valores baixos (inferiores ao LD), e, conseqüentemente, os testes paramétricos ou não paramétricos não geram respostas consistentes.

Tabela 7.4 – Resultados de p valor para testes de normalidade pelo método de Kolmogorov-Smirnov, para os parâmetros físico-químicos e químicos das amostras nos dois períodos de amostragem.

Parâmetro	Período Seco		Período Úmido	
	<i>p value</i>	NORMA L	<i>p value</i>	NORMA L
pH	> 0,150	Sim	> 0,150	Sim
Temperatura	> 0,150	Sim	> 0,150	Sim
CE	> 0,150	Sim	> 0,150	Sim
STD	> 0,150	Sim	> 0,150	Sim
Dureza	> 0,150	Sim	> 0,150	Sim
Cálcio	> 0,150	Sim	> 0,150	Sim
Magnésio	< 0,010	Não	< 0,010	Não
Sódio	0,010	Não	0,096	Não
Potássio	0,073	Não	0,028	Não
Bicarbonato	> 0,150	Sim	> 0,150	Sim
Sulfato	< 0,010	Não	< 0,010	Não
Cloreto	< 0,010	Não	< 0,010	Não
Fluoreto	0,120	Não	0,085	Não
Nitrato	0,123	Não	< 0,010	Não
Ferro	< 0,010	Não	0,045	Não
Manganês	< 0,010	Não	< 0,010	Não

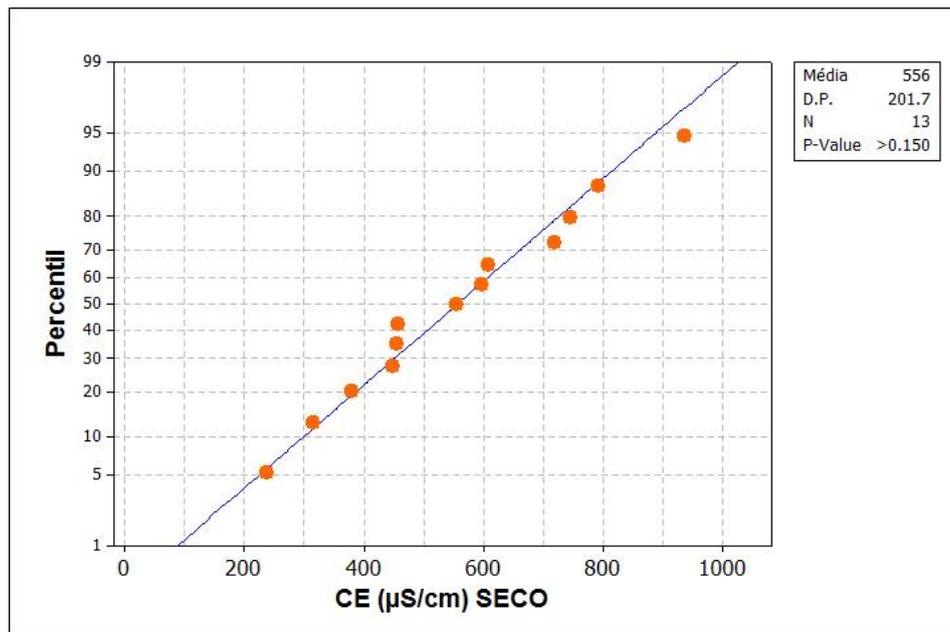


Figura 7.6: Teste de Kolmogorov-Smirnov aplicado aos dados de condutividade elétrica do período seco.

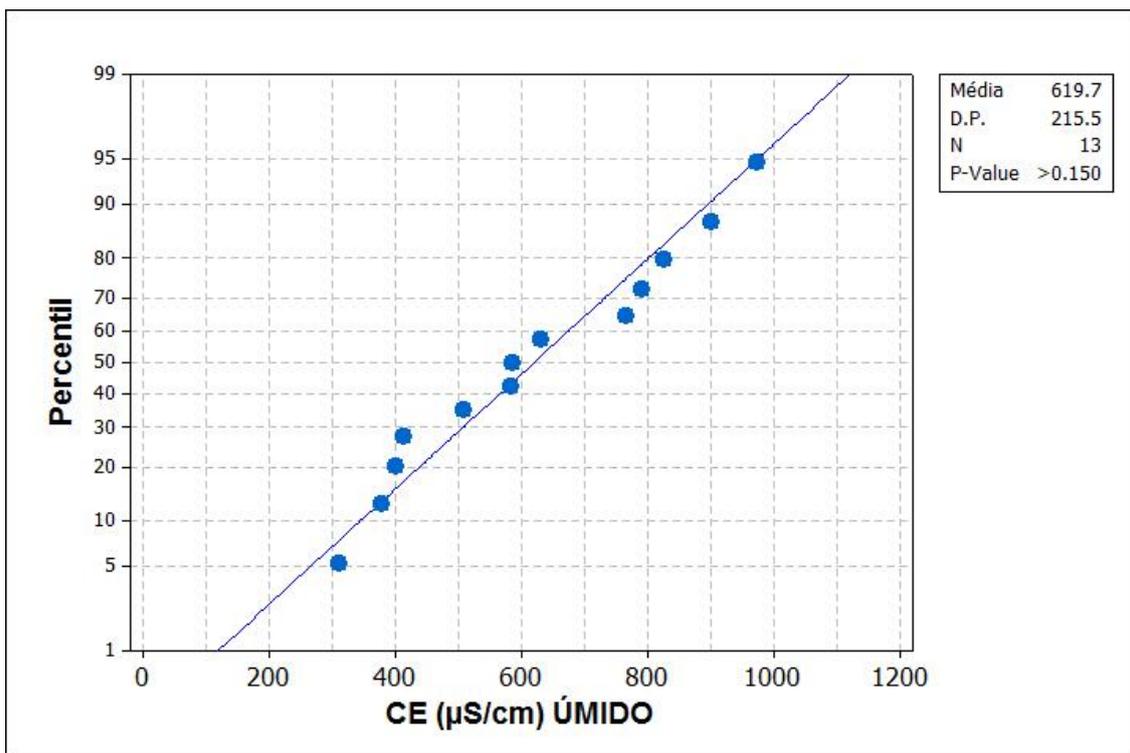


Figura 7.7: Teste de Kolmogorov-Smirnov aplicado aos dados de condutividade elétrica do período úmido.

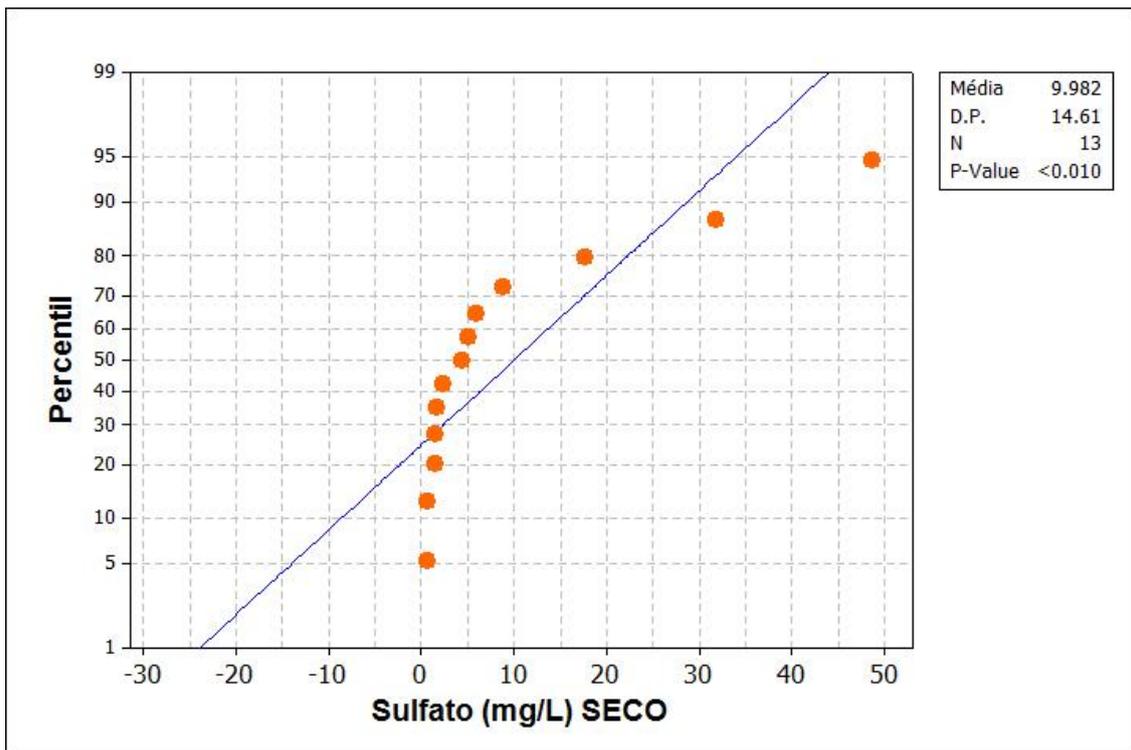


Figura 7.8: Teste de Kolmogorov-Smirnov aplicado aos dados de sulfato do período seco.

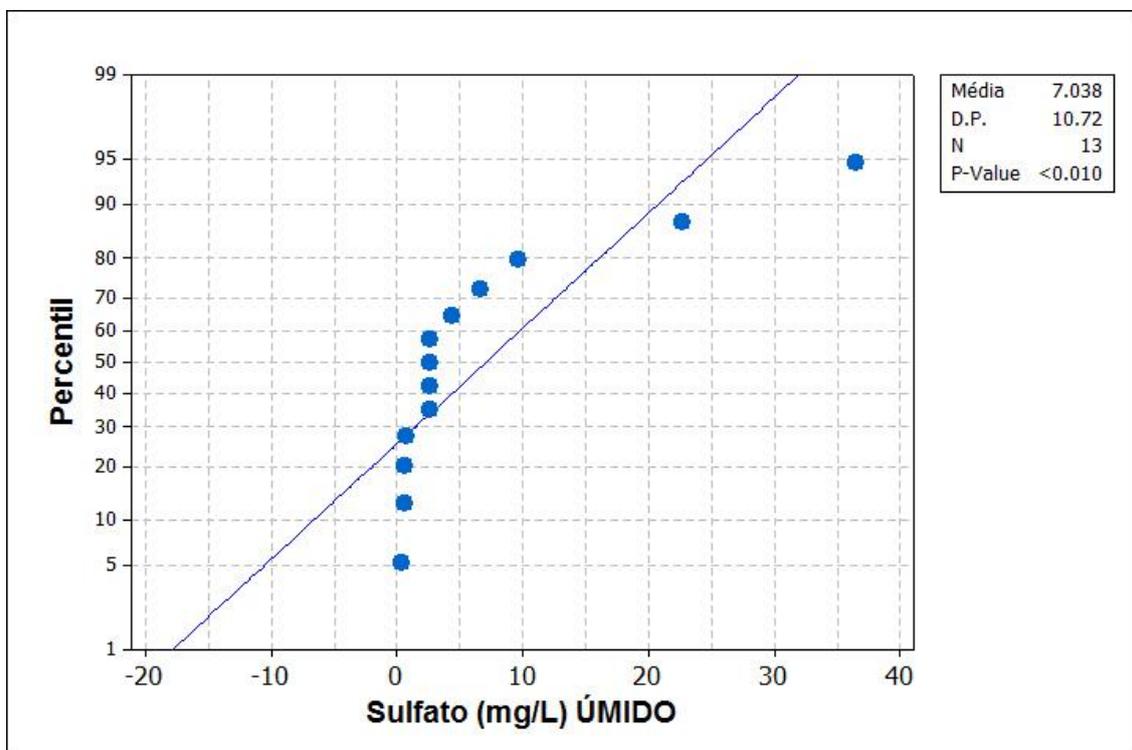


Figura 7.9: Teste de Kolmogorov-Smirnov aplicado aos dados de sulfato do período úmido.

7.2.2 Avaliação do efeito sazonal na hidroquímica

Para avaliar a contribuição das condições climáticas na qualidade natural das águas subterrâneas da bacia do Rio São Desidério foram elaborados os gráficos das Figura 7.10 a Figura 7.19. Da análise dos gráficos, têm-se as seguintes considerações:

- Os resultados analíticos para os parâmetros STD (Figura 7.10), dureza (Figura 7.11), cálcio (Figura 7.12) e sulfato (Figura 7.13) apresentam leve tendência de elevação no período seco, quando comparado ao período úmido.
- Os parâmetros pH (Figura 7.10), sódio (Figura 7.15), potássio (Figura 7.16) e magnésio (Figura 7.17) não apresentam nenhuma tendência clara de resposta ao efeito sazonal, já que parte dos seus resultados analíticos são superiores no período seco e parte são superiores no período úmido.
- Os resultados analíticos para os parâmetros bicarbonato (Figura 7.14) e cloreto (Figura 7.19) não evidenciam diferenças significativas entre os dois períodos climáticos, na medida em que a maioria das amostras tende a se posicionar próxima à linha de igual valor.

Para os parâmetros fluoreto, nitrato, ferro e manganês não foram realizadas essas avaliações porque a maior parte dos resultados analíticos em ambos os períodos amostrais foram abaixo do LD.

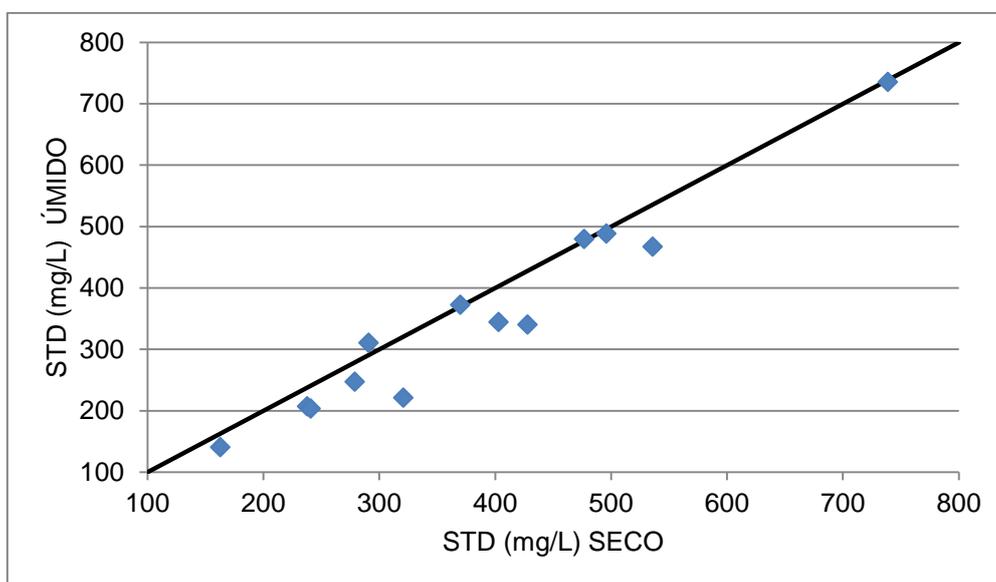


Figura 7.10: Comparação dos resultados de STD (mg/L) obtidos na amostragem representativa do período seco (1ª campanha) e úmido (2ª campanha) na bacia do Rio São Desidério.

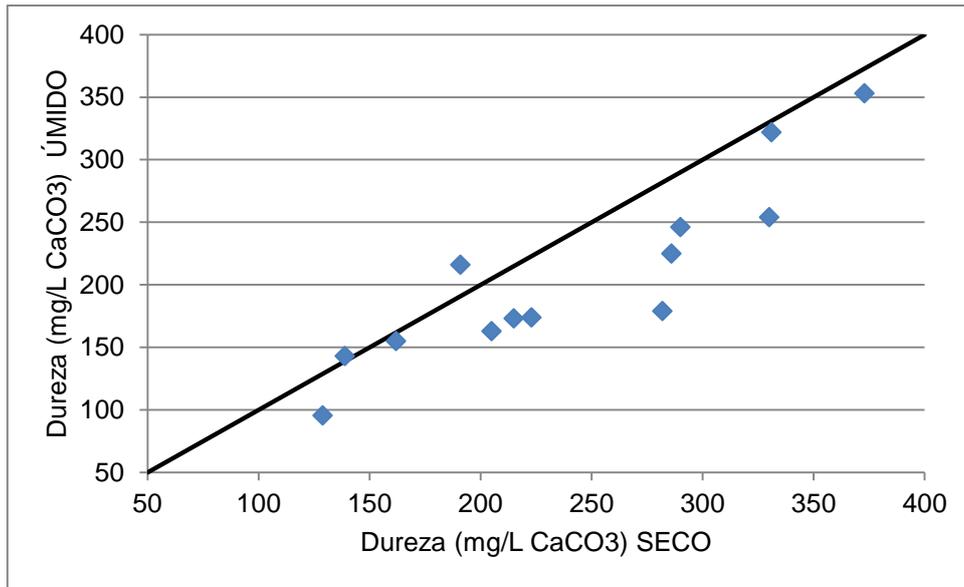


Figura 7.11: Comparação dos resultados de dureza (mg/L como CaCO₃) obtidos na amostragem representativa do período seco (1° campanha) e úmido (2° campanha) na bacia do Rio São Desidério.

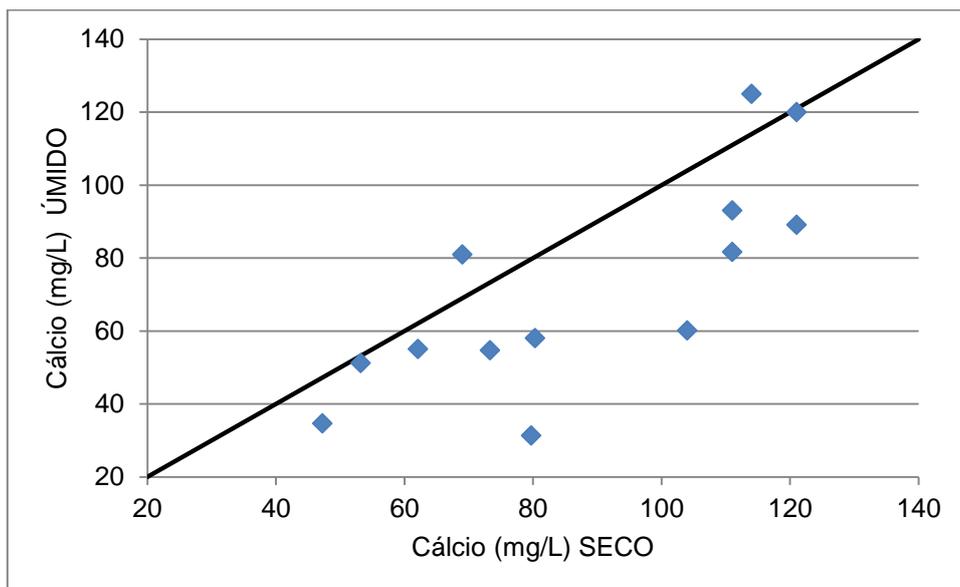


Figura 7.12: Comparação dos resultados de cálcio (mg/L) obtidos na amostragem representativa do período seco (1° campanha) e úmido (2° campanha) na bacia do Rio São Desidério.

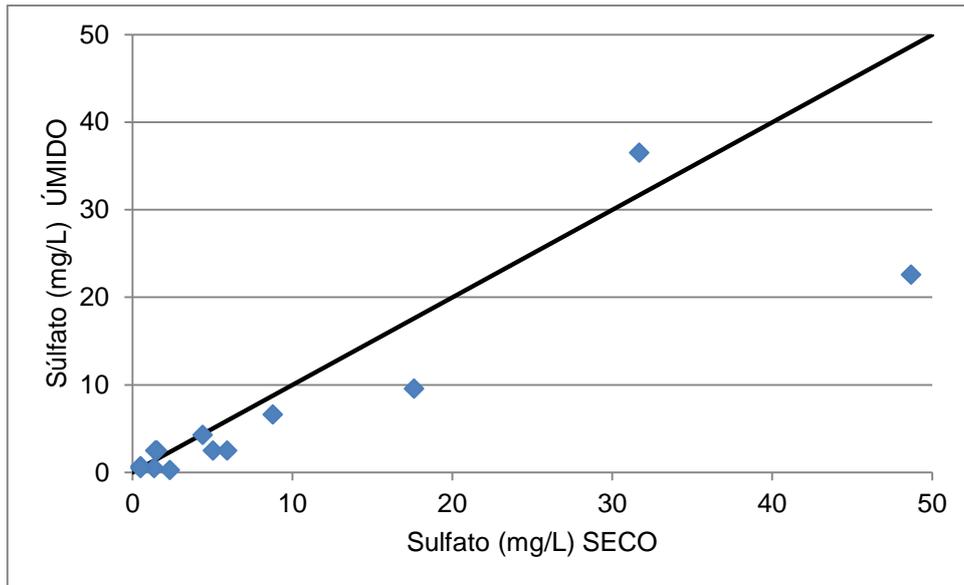


Figura 7.13: Comparação dos resultados de sulfato (mg/L) obtidos na amostragem representativa do período seco (1° campanha) e úmido (2° campanha) na bacia do Rio São Desidério.

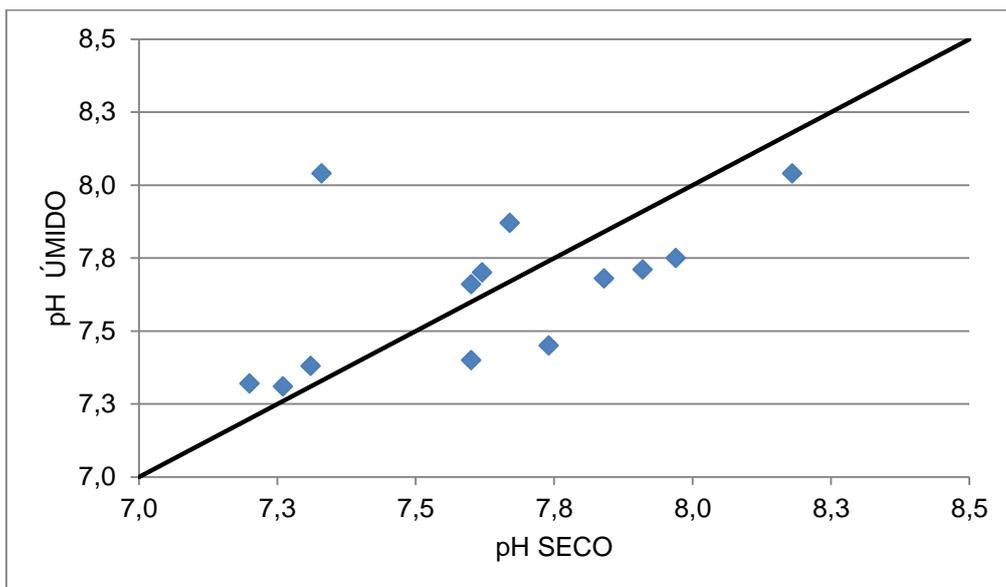


Figura 7.14: Comparação dos resultados de pH obtidos na amostragem representativa do período seco (1° campanha) e úmido (2° campanha) na bacia do Rio São Desidério.

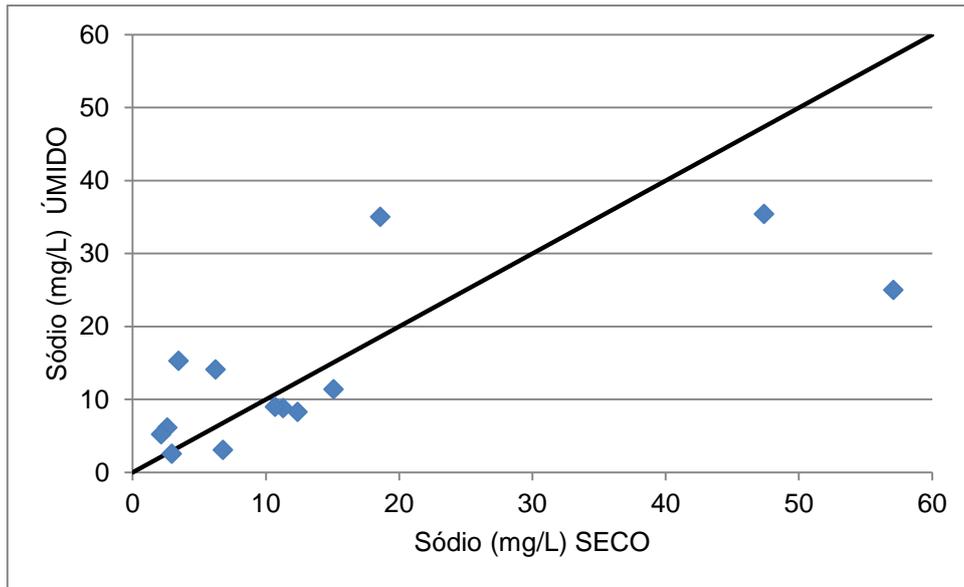


Figura 7.15: Comparação dos resultados de sódio (mg/L) obtidos na amostragem representativa do período seco (1° campanha) e úmido (2° campanha) na bacia do Rio São Desidério.

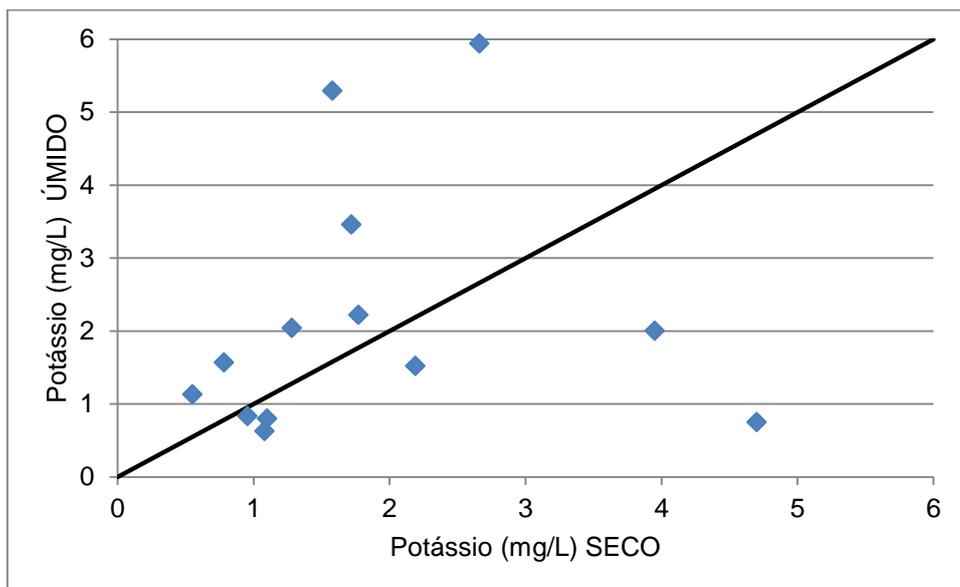


Figura 7.16: Comparação dos resultados de potássio (mg/L) obtidos na amostragem representativa do período seco (1° campanha) e úmido (2° campanha) na bacia do Rio São Desidério.

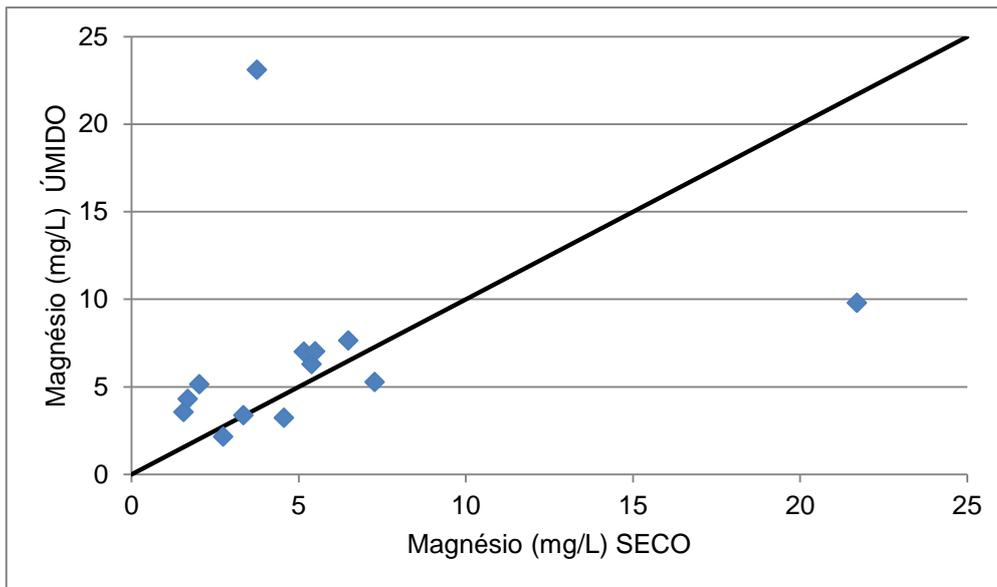


Figura 7.17: Comparação dos resultados de magnésio (mg/L) obtidos na amostragem representativa do período seco (1° campanha) e úmido (2° campanha) na bacia do Rio São Desidério.

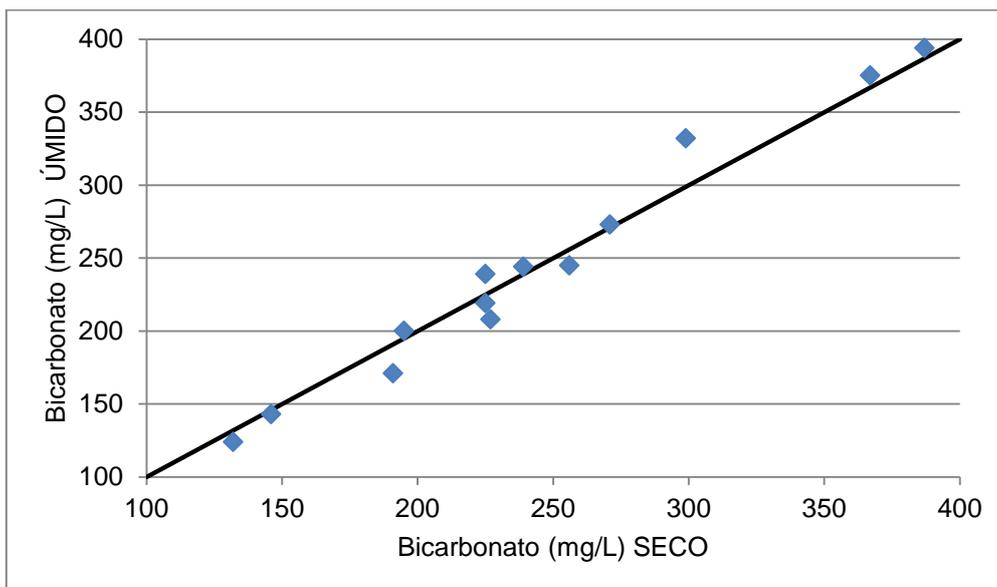


Figura 7.18: Comparação dos resultados de bicarbonato (mg/L) obtidos na amostragem representativa do período seco (1° campanha) e úmido (2° campanha) na bacia do Rio São Desidério.

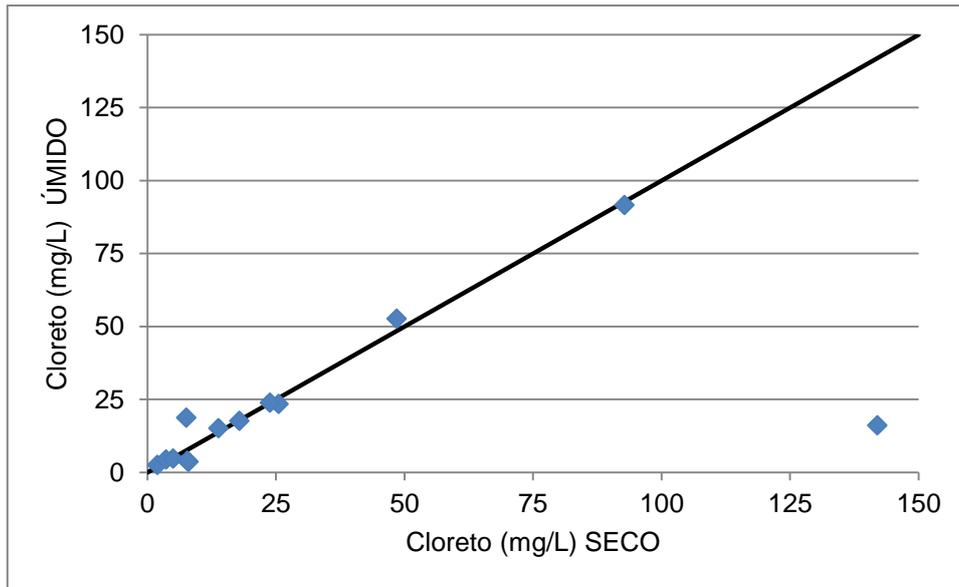


Figura 7.19: Comparação dos resultados de cloreto (mg/L) obtidos na amostragem representativa do período seco (1º campanha) e úmido (2º campanha) na bacia do Rio São Desidério.

7.3 Avaliação Hidrogeoquímica

Na avaliação hidrogeoquímica das águas subterrâneas da bacia do Rio São Desidério optou-se por agrupar as amostras de acordo com as características geológicas/hidrogeológicas obtidas da análise dos perfis litológicos e construtivos dos poços amostrados.

Foram definidos dois grupos no aquífero Bambuí, os quais:

- Bambuí aflorante: Os poços desse grupo captam águas do aquífero Bambuí, cujo calcário encontra-se aflorante ou sobreposto a uma pequena espessura de solo. Nessa situação estão 6 poços: C-140, C-141, C-151 e C-152.
- Bambuí com cobertura: Os poços desse grupo captam águas do aquífero Bambuí, que se encontra recoberto pelo Grupo Urucuia com espessura de até 40 m. Nessa situação estão 6 poços: C-143, C-144, C-145, C-146, C-148, C-149, C-153 e C-154.

Ainda, na interpretação hidrogeoquímica serão considerados os dados de um poço captando águas do aquífero Urucuia (C-147), de um poço misto captando águas dos aquíferos Urucuia e Bambuí conjuntamente (C-150) e de uma cacimba com 25 metros de profundidade localizada na área de afloramento do Grupo Urucuia (C-204), além das amostras de águas superficiais.

7.3.1 Estatística Descritiva

As características físico-químicas e químicas das águas subterrâneas da bacia do Rio São Desidério possuem variações condicionadas por fatores diversos, entre eles fatores geológicos/hidrogeológicos e da sazonalidade climática da região. Tais fatores serão avaliados sob o ponto de vista da hidroquímica, num primeiro momento, mediante a análise dos dados estatísticos obtidos para cada grupo individualizado (Bambuí aflorante e Bambuí com cobertura) e por período amostral (seco e úmido) (Tabela 7.5 a Tabela 7.8). A Figura 7.20 apresenta a localização das amostras supracitadas.

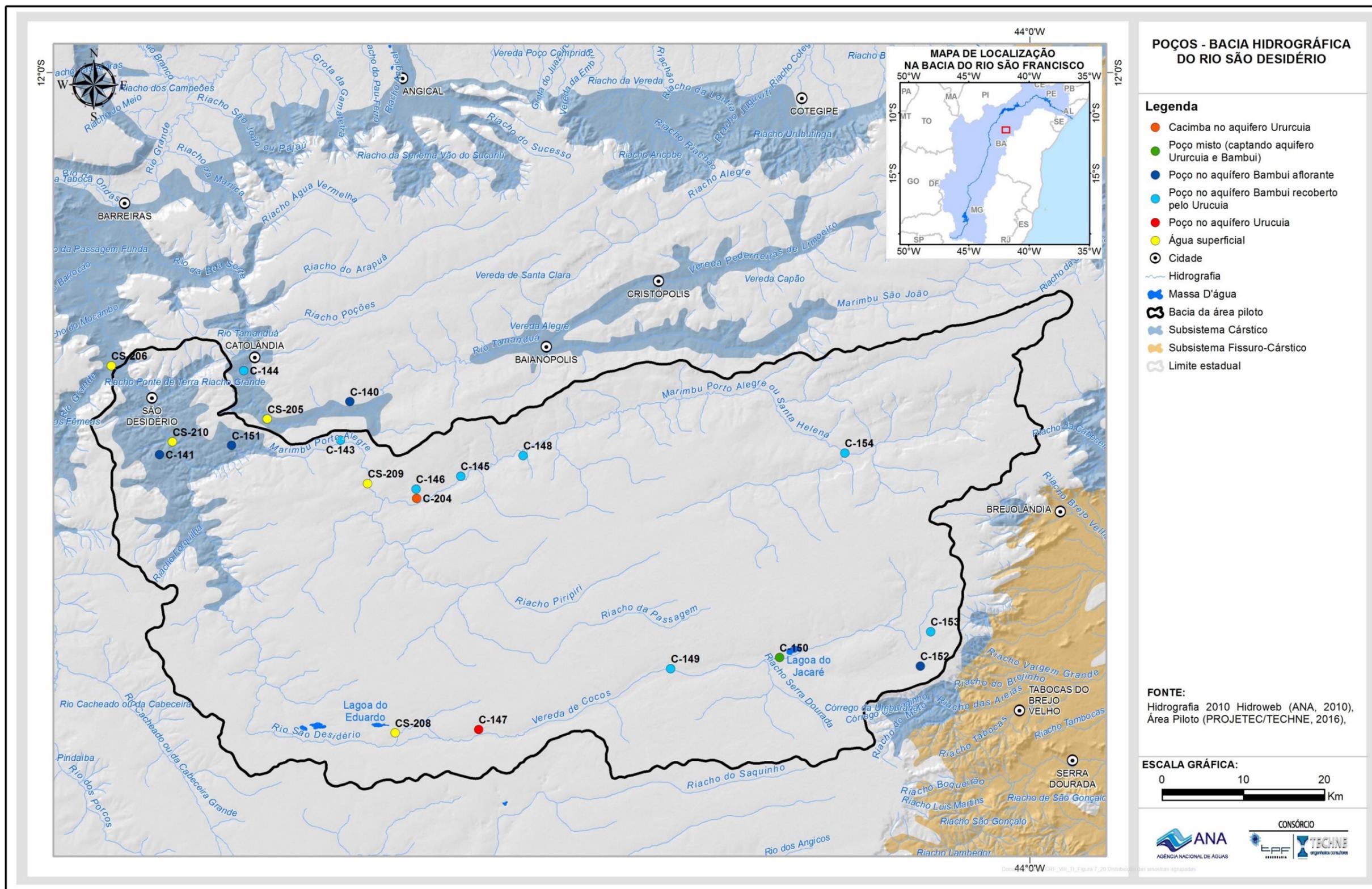


Figura 7.20: Distribuição das amostras agrupadas.

Tabela 7.5 – Sumário estatístico¹⁹ das águas do Bambuí aflorante, coletadas no período seco (n=4).

Variável	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	DP	CV (%)	Amplitude
pH	7,20	7,33	7,28	7,29	0,06	0,80	0,13
T (°C)	24,80	26,30	25,80	26,05	0,69	2,67	1,50
CE (µS/cm)	596,00	791,00	684,25	675,00	98,11	14,34	195,00
ORP (mV)	-3,60	149,10	71,70	70,65	62,40	87,04	152,70
STD (mg/L)	403,00	496,00	451,00	452,50	42,95	9,52	93,00
Dureza (mg/L)	286,00	373,00	320,00	310,50	40,77	12,74	87,00
Cálcio (mg/L)	111,00	121,00	114,25	112,50	4,72	4,13	10,00
Magnésio (mg/L)	2,03	21,70	8,59	5,32	9,02	105,01	19,67
Sódio (mg/L)	2,96	12,40	7,53	7,38	5,02	66,63	9,44
Potássio (mg/L)	0,96	3,95	1,77	1,09	1,45	82,08	3,00
Bicarbonato (mg/L CaCO ₃)	271,00	387,00	331,00	333,00	54,94	16,60	116,00
Sulfato (mg/L)	2,33	48,70	25,08	24,65	19,79	78,91	46,37
Cloreto (mg/L)	5,00	23,80	12,66	10,91	8,28	65,42	18,80
Fluoreto (mg/L)	0,13	0,28	0,17	0,14	0,07	41,71	0,15
Fosfato (mg/L P)	-	-	-	-	-	-	-
Amônia (mg/L NH ₃)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00
Nitrito (mg/L N)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
Nitrato (mg/L N)	0,15	3,38	1,76	1,75	1,35	76,68	3,23
Ferro (mg/L)	0,02	0,36	0,13	0,08	0,15	114,95	0,34
Manganês (mg/L)	0,02	1,47	0,38	0,02	0,73	191,06	1,45

Tabela 7.6 – Sumário estatístico das águas do Bambuí aflorante, coletadas no período úmido (n=4).

Variável	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	DP	CV (%)	Amplitude
pH	7,31	8,04	7,51	7,35	0,35	4,70	0,73
T (°C)	23,90	25,80	24,73	24,60	0,97	3,94	1,90
CE (µS/cm)	582,00	901,00	768,00	794,50	135,93	17,70	319,00
ORP (mV)	2,30	219,00	83,08	55,50	94,42	113,66	216,70
STD (mg/L)	340,00	488,00	412,75	411,50	81,79	19,82	148,00
Dureza (mg/L)	225,00	353,00	286,50	284,00	60,84	21,24	128,00
Cálcio (mg/L)	81,60	125,00	104,90	106,50	20,95	19,97	43,40
Magnésio (mg/L)	3,37	9,80	5,90	5,21	2,74	46,54	6,43
Sódio (mg/L)	2,57	15,30	8,74	8,54	5,21	59,59	12,73
Potássio (mg/L)	0,63	2,00	1,06	0,81	0,63	59,27	1,37
Bicarbonato (mg/L CaCO ₃)	273,00	394,00	343,50	353,50	53,68	15,63	121,00
Sulfato (mg/L)	0,25	36,50	17,23	16,08	15,78	91,64	36,25
Cloreto (mg/L)	3,67	23,90	11,86	9,94	9,54	80,40	20,23
Fluoreto (mg/L)	0,03	1,33	0,38	0,09	0,63	165,51	1,31
Fosfato (mg/L P)	0,01	0,06	0,03	0,03	0,02	76,59	0,06
Amônia (mg/L NH ₃)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00
Nitrito (mg/L N)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
Nitrato (mg/L N)	0,25	2,52	0,88	0,38	1,10	124,48	2,27
Ferro (mg/L)	0,11	0,75	0,46	0,50	0,34	72,54	0,64
Manganês (mg/L)	0,01	0,30	0,10	0,04	0,14	139,98	0,29

¹⁹ Nota: n=número de amostras. DP=Desvio Padrão. CV=Coefficiente de Variação

Tabela 7.7 – Sumário estatístico das águas do Bambuí com cobertura, coletadas no período seco (n=8).

Variável	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	DP	CV (%)	Amplitude
pH	7,60	8,18	7,77	7,71	0,20	2,59	0,58
T (°C)	24,00	27,00	25,79	25,95	0,97	3,75	3,00
CE (µS/cm)	237,00	934,00	514,13	455,00	222,88	43,35	697,00
ORP (mV)	24,50	436,00	148,18	130,65	129,57	87,44	411,50
STD (mg/L)	163,00	739,00	367,13	306,00	185,49	50,53	576,00
Dureza (mg/L)	129,00	330,00	214,25	210,00	67,21	31,37	201,00
Cálcio (mg/L)	47,20	121,00	78,46	76,50	24,49	31,21	73,80
Magnésio (mg/L)	1,56	6,49	4,39	4,86	1,62	36,90	4,93
Sódio (mg/L)	2,60	57,10	20,56	12,90	20,37	99,05	54,50
Potássio (mg/L)	0,78	4,70	2,09	1,75	1,20	57,36	3,92
Bicarbonato (mg/L CaCO ₃)	132,00	256,00	205,13	225,00	44,80	21,84	124,00
Sulfato (mg/L)	0,50	8,77	3,62	2,96	2,89	79,88	8,27
Cloreto (mg/L)	1,95	142,00	43,00	21,70	49,90	116,06	140,05
Fluoreto (mg/L)	0,03	0,33	0,11	0,09	0,10	88,31	0,31
Fosfato (mg/L P)	-	-	-	-	-	-	-
Amônia (mg/L NH ₃)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00
Nitrito (mg/L N)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
Nitrato (mg/L N)	0,15	4,06	1,51	0,81	1,53	101,70	3,91
Ferro (mg/L)	0,02	1,92	0,28	0,04	0,66	235,60	1,91
Manganês (mg/L)	0,00	0,29	0,04	0,00	0,10	269,66	0,29

Tabela 7.8 – Sumário estatístico das águas do Bambuí com cobertura, coletadas no período úmido (n=8).

Variável	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	DP	CV (%)	Amplitude
pH	7,40	8,04	7,69	7,69	0,21	2,68	0,64
T (°C)	24,00	26,70	25,50	25,70	1,06	4,14	2,70
CE (µS/cm)	309,00	972,00	573,00	546,00	223,00	38,92	663,00
ORP (mV)	15,70	221,40	133,86	142,45	61,92	46,26	205,70
STD (mg/L)	140,00	735,00	337,38	278,50	190,68	56,52	595,00
Dureza (mg/L)	95,40	254,00	174,68	173,50	46,97	26,89	158,60
Cálcio (mg/L)	31,30	89,10	57,49	56,35	20,04	34,86	57,80
Magnésio (mg/L)	2,15	23,10	7,50	6,65	6,63	88,36	20,95
Sódio (mg/L)	3,07	35,40	17,39	12,75	12,77	73,45	32,33
Potássio (mg/L)	0,75	5,94	2,85	2,13	1,88	66,00	5,19
Bicarbonato (mg/L CaCO ₃)	124,00	245,00	199,13	213,50	47,46	23,83	121,00
Sulfato (mg/L)	0,50	6,61	2,74	2,50	1,99	72,59	6,11
Cloreto (mg/L)	2,50	91,60	28,32	18,15	29,86	105,44	89,10
Fluoreto (mg/L)	0,05	0,99	0,48	0,38	0,38	80,42	0,94
Fosfato (mg/L P)	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01	131,99	0,04
Amônia (mg/L NH ₃)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00
Nitrito (mg/L N)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
Nitrato (mg/L N)	0,25	2,27	0,91	0,25	0,92	101,16	2,02
Ferro (mg/L)	0,01	1,75	0,42	0,17	0,59	140,98	1,74
Manganês (mg/L)	0,00	0,11	0,02	0,00	0,04	202,33	0,11

7.3.1.1 Amostras do Bambuí aflorante

As amostras de águas dos poços inseridas no grupo Bambuí aflorante apresentam como característica principal uma mineralização pouco expressiva, quando comparadas com outras águas típicas de aquíferos cársticos. Todos os valores encontrados para STD, nos dois períodos de coleta, foram inferiores a 1000 mg/L (Tabela 7.5 e Tabela 7.6) sendo portanto, todas as águas classificadas como Doces. No período úmido os valores de STD presentes nas águas dos poços amostrados variaram de 340 a 488 mg/L, com média de 412,75 mg/L. No período seco ocorreu um leve aumento de mineralização com valores variando de 403 a 496 mg/L e média de 412,75 mg/L.

Os valores de temperatura das amostras, no Bambuí aflorante, oscilaram entre 24,8 e 26,3 °C, com valores de média e de mediana em torno de 26 °C no período seco (Tabela 7.5). No período úmido variou de 23,9 e 25,8 °C, com valores de média e de mediana próximos a 25 °C (Tabela 7.6). Dessa forma, observa-se que no período seco as temperaturas das amostras foram levemente superiores às do período úmido. Ressalta-se que a temperatura medida em campo não representa o valor real da água do aquífero, mas equivale à temperatura da água no interior do poço. Dessa forma, acredita-se que variação de temperatura aqui evidenciada não está influenciando o comportamento do CO₂ dissolvido nessas águas e nem refletindo no teor de cálcio, já que para acontecer escape de CO₂ e precipitação de CaCO₃ seria necessário um aumento mais forte da temperatura da água do aquífero.

Os valores de pH do Bambuí aflorante, nos diferentes períodos de campanha, apresentam valores oscilando bem próximos da neutralidade, com média e mediana próximos a 7,0 (Tabela 7.6 e Tabela 7.6). Indica, portanto, que não ocorreram grandes variações entre os períodos de amostragem.

Com relação aos íons maiores para as duas campanhas avaliadas, o bicarbonato é o principal ânion destas águas, com concentrações, no Bambuí aflorante, variando entre 271 e 387 mg/L no período seco e de 273 a 394 mg/L no período úmido (Tabela 7.5 e Tabela 7.6).

A distribuição dos resultados de pH e bicarbonato, para os dois períodos de coleta, por grupo de águas (Bambuí aflorante e Bambuí com cobertura) pode ser visualizada nas Figura 7.21 e Figura 7.22. Os referidos gráficos mostram que os maiores valores de bicarbonato estão no Bambuí aflorante, enquanto que o Bambuí com cobertura tem, em geral, valores de pH discretamente mais altos. No Bambuí aflorante existe um predomínio de valores de pH entre 7,2 e 7,4. As distribuições de bicarbonato x pH nas referidas figuras mostram uma tendência de correlação negativa, ou seja, que o aumento de pH corresponde, normalmente, a uma queda nas concentrações de bicarbonato.

Os outros ânions maiores, como sulfato e cloreto, comumente apresentaram quantidades inferiores que 50 mg/L. Os ânions, no geral, mostram a exemplo do STD, maiores teores no período seco.

O cálcio, entre os cátions, se destaca nas amostras analisadas, não apresentando significativas variações entre os períodos de coleta. As médias para Bambuí aflorante foram de 114,25 e 104,9 mg/L, no período seco e úmido, respectivamente. Os teores altos do cálcio estão relacionados, certamente, ao arcabouço mineralógico do aquífero bem como o tempo de interação entre a

água e a rocha. Os gráficos de correlação Ca x Mg (Figura 7.23 e Figura 7.24) mostram que os teores de cálcio são sempre nitidamente maiores do que o Mg, nos dois períodos de amostragem, tanto no Bambuí aflorante quanto no Bambuí com cobertura.

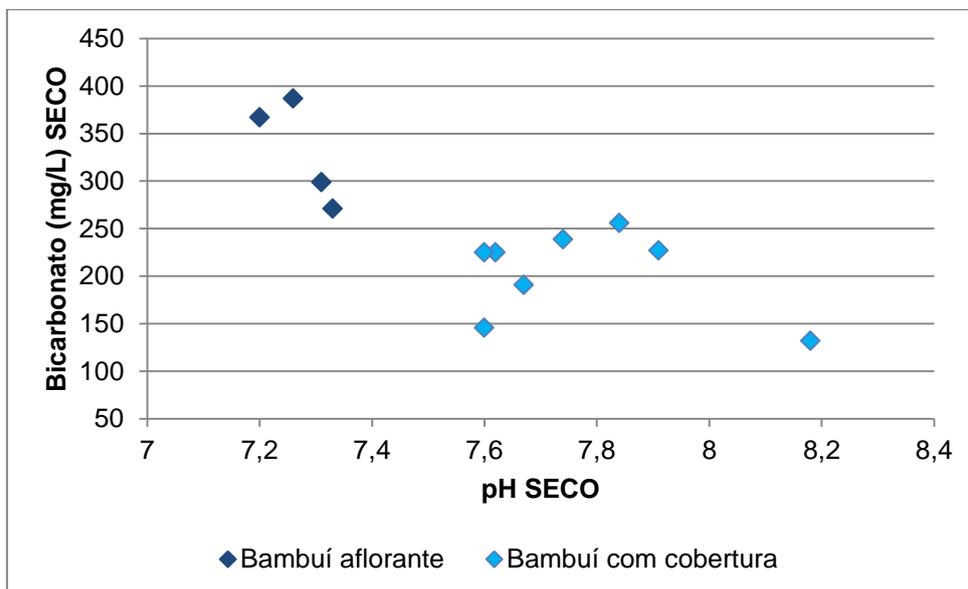


Figura 7.21: Gráfico de correlação entre o bicarbonato e o pH no período seco para as águas do Bambuí aflorante e Bambuí com cobertura.

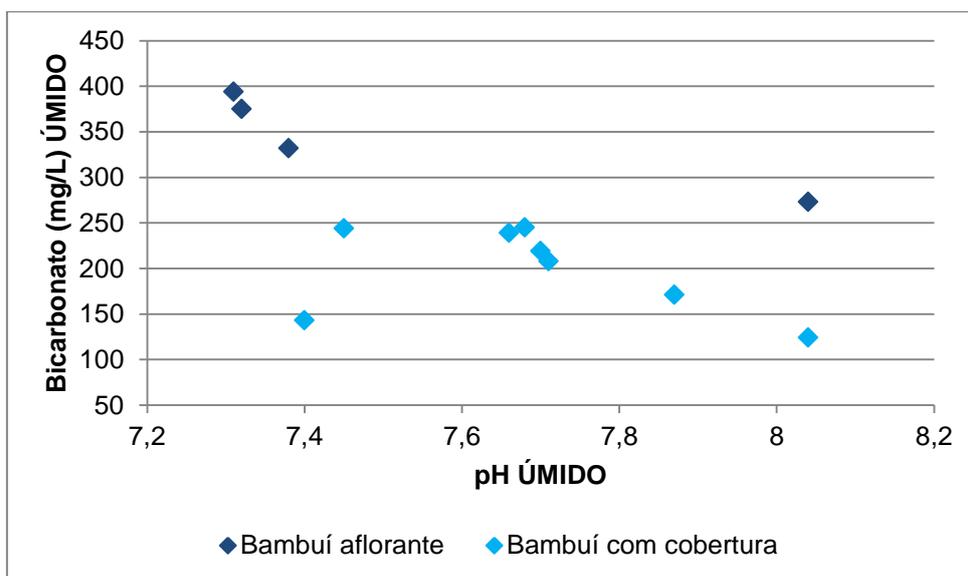


Figura 7.22: Gráfico de correlação entre o bicarbonato e pH no período úmido para as águas do Bambuí aflorante e Bambuí com cobertura.

O magnésio apresenta, na maioria dos casos, teores baixos e menores do que o de cálcio (Figura 7.23 e Figura 7.24). No período seco os teores de Mg estão entre 2,03 a 21,7 mg/L, com média de 8,59 mg/L; enquanto que no período úmido, os teores variam de 3,37 a 9,8 mg/L, com média de 5,9 mg/L.

Os outros cátions principais, sódio e potássio, ocorrem em teores discretos, não contribuindo, assim, de forma efetiva para o quimismo dessas águas.

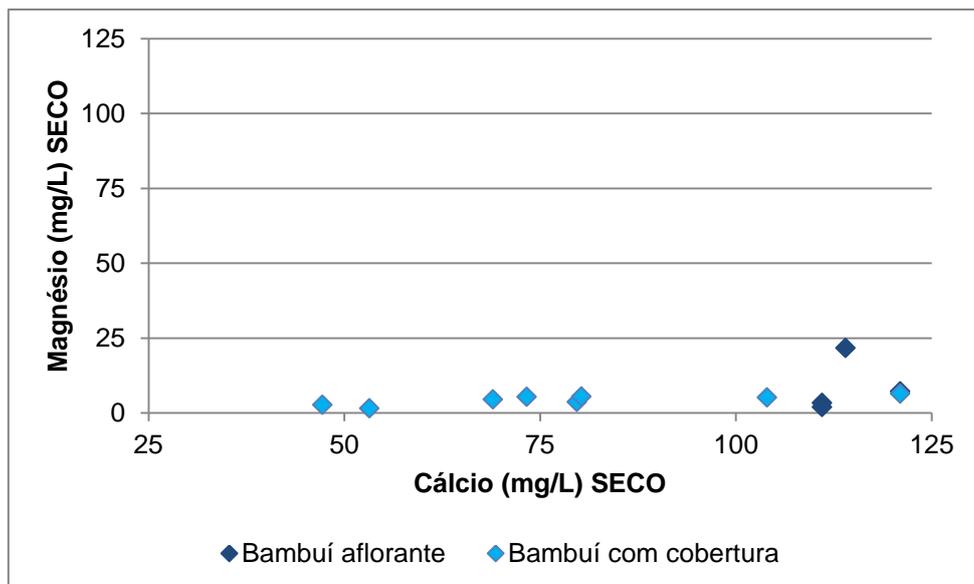


Figura 7.23: Gráfico de correlação entre o magnésio e o cálcio no período seco, para as águas do Bambuí aflorante e Bambuí com cobertura.

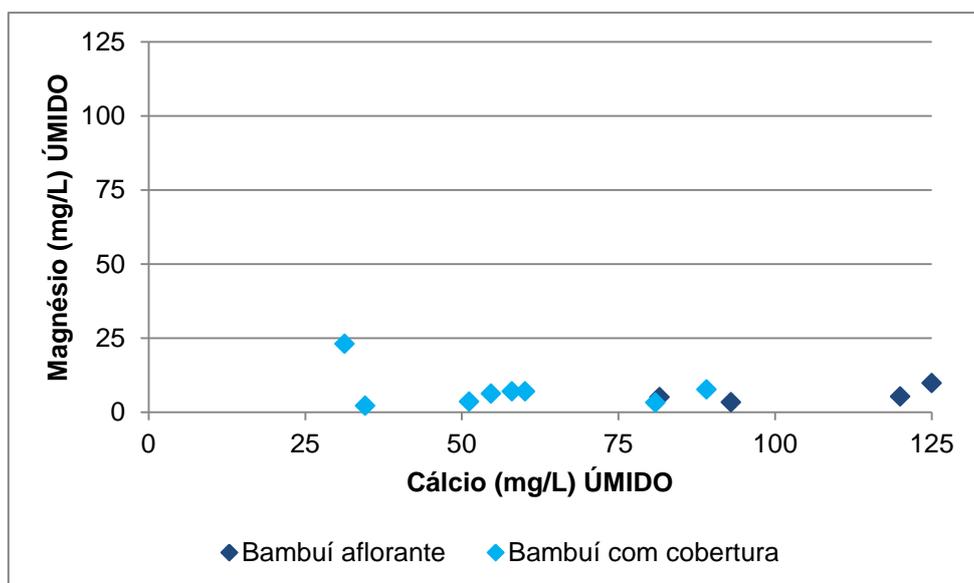


Figura 7.24: Gráfico de correlação entre o magnésio e o cálcio no período úmido, para as águas do Bambuí aflorante e Bambuí com cobertura.

7.3.1.2 Amostras do Bambuí com cobertura

As águas do Bambuí com cobertura são pouco mineralizadas, a exemplo do Bambuí aflorante. De acordo com as Tabela 7.7 e Tabela 7.8, nas águas do Bambuí com cobertura, o STD variou entre 163 e 739 mg/L, com média de 367,13 mg/L e mediana de 306 mg/L, no período seco. No período úmido variou entre 140 e 735 mg/L, com média e mediana, respectivamente de 337,38 mg/L e 278,5 mg/L.

Comparando-se os resultados obtidos nos dois períodos, ambos inseridos no mesmo ambiente hidrogeológico, nota-se um leve crescimento dos teores de STD no período seco. Essa observação pode estar relacionada à baixa

pluviometria do período seco, que favorece a concentração dos íons que estavam em solução.

A Figura 7.25, ilustra o comportamento dos valores de STD, nos dois períodos para o Bambuí aflorante e Bambuí com cobertura. Nota-se que os valores de STD no Bambuí com cobertura são, no geral, menores, do que os registrados para o Bambuí aflorante. Este fato pode estar associado à presença da cobertura arenítica do Grupo Urucua que certamente contribui no quimismo dessa água. Uma exceção ocorre nos poços C-145 e C-146, cuja água apresentou um valor elevado de STD (superior a 500 mg/L). Nesse caso, é provável que a presença das camadas argilosas na cobertura arenítica esteja contribuindo para a maior concentração iônica dessas águas.

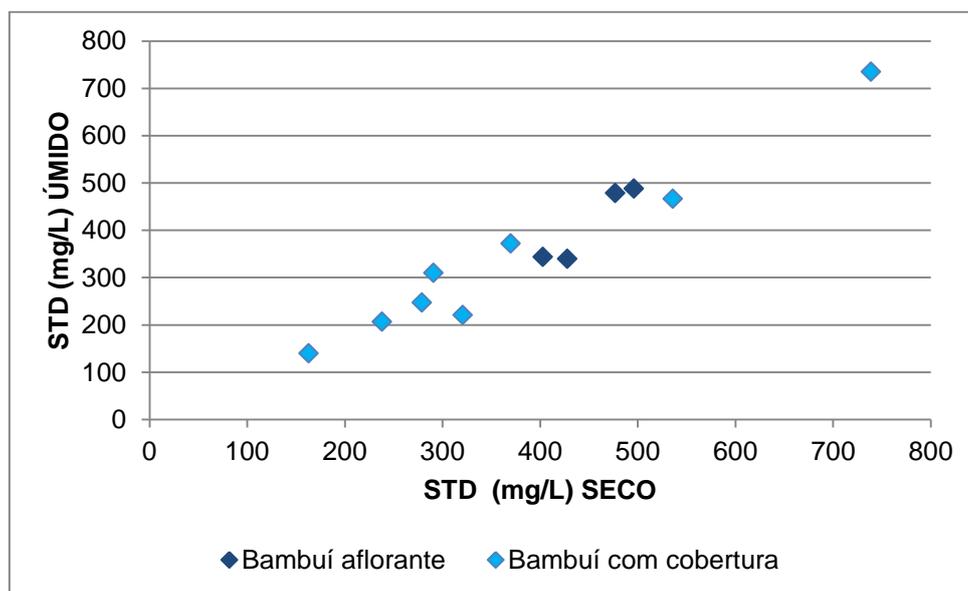


Figura 7.25: Correlação entre o STD no período seco e STD no período úmido para as águas do Bambuí aflorante e Bambuí com cobertura.

No Bambuí com cobertura os valores de pH estão variando entre 7,6 e 8,18, com média de 7,77, para o período seco, enquanto que no período úmido variaram de 7,4 a 8,04, com média de 7,69 (Tabelas 7.7 e 7.8). Esses valores caracterizam essas águas como neutras a alcalinas, não havendo variações significativas dos valores de pH entre os períodos de amostragem.

Outro aspecto a ser ressaltado é que ambos os grupos de águas do aquífero Bambuí têm valores relativamente similares, configurando, portanto, um comportamento muito semelhante em relação aos ambientes hidroquímicos dos poços amostrados.

As temperaturas medidas em campo nos dois períodos de coleta não mostram grandes variações durante os períodos de coletas e nem entre os distintos ambientes hidrogeológicos.

No Bambuí com cobertura, a exemplo do Bambuí aflorante, o ânion dominante é o íon bicarbonato, sendo responsável, juntamente com o cálcio e o magnésio, pela mineralização das águas dos poços amostrados. Quantidades elevadas dos teores de bicarbonato, nos dois ambientes hidroquímicos, são provenientes

da presença de CO₂ atmosférico e/ou da dissolução de minerais carbonáticos (calcita e dolomita) presente nesses ambientes.

A Figura 7.26 mostra que os teores de bicarbonato não apresentaram variações expressivas durante os dois períodos de coleta. No período seco variou de 132 a 256 mg/L, com média de 205,13 mg/L, enquanto no período úmido os teores variaram entre 124 a 245 mg/L, com média de 199,13 mg/L. Nota-se, ainda, que as águas amostradas podem ser diferenciadas pelos teores de bicarbonato, ou seja, o Bambuí aflorante é mais enriquecido em bicarbonato quando comparado às águas do Bambuí com cobertura. Isso é explicado devido à influência da cobertura arenítica que certamente contribui para o quimismo dessas águas.

Os demais ânions principais (cloreto e sulfato) ocorrem em teores menos significativos em ambos os grupos de águas do aquífero Bambuí, nos dois períodos de coleta. Esses dados indicam que os referidos ânions não são comuns nos ambientes cársticos da área da bacia do Rio São Desidério.

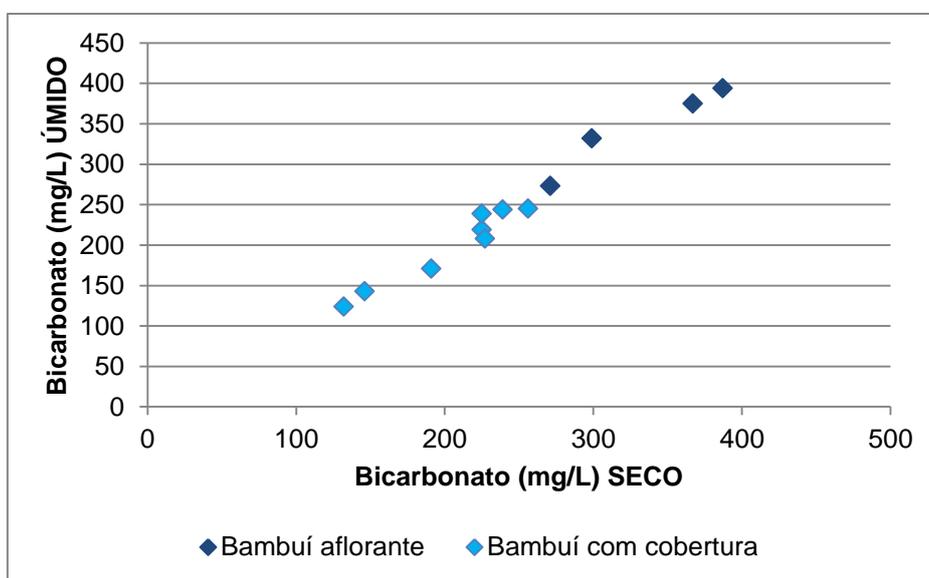


Figura 7.26: Correlação entre o bicarbonato no período seco e o bicarbonato no período úmido para as águas do Bambuí aflorante e Bambuí com cobertura.

Para os cátions, no Bambuí com cobertura, observa-se nas Tabelas 7.7 e 7.8, que o íon cálcio predomina amplamente sobre os íons sódio e magnésio e, esse sobre o íon potássio. Esse último apresenta valores inferiores aos limites de detecção dos métodos analíticos utilizados, para grande maioria das amostras. Os teores de sódio são um pouco maiores do que os teores de magnésio, podendo estar relacionados com a presença de níveis pelíticos na cobertura arenítica, que promovem, localmente, o enriquecimento em sódio por meio do processo de troca de bases.

No Bambuí com cobertura, o cálcio varia de 47,2 a 121 mg/L, com média de 78,46 mg/L e mediana de 76,5 mg/L para o período seco. No período úmido o cálcio apresentou média de 57,49 mg/L, com mediana de 56,35 mg/L e valores mínimo e máximo de 31,3 e 89,1 mg/L, respectivamente (Tabelas 7.7 e 7.8).

A Figura 7.27 mostra a relação do cálcio nos diferentes períodos de coleta, para os distintos ambientes hidrogeológicos. Nota-se, que o cálcio no Bambuí com cobertura registra teores menores que no Bambuí aflorante. Isso evidencia, portanto, que a cobertura arenítica do Urucuia permite o abrandamento das águas do Bambuí nos locais em que esse se encontra recoberto pelo pacote sedimentar do Urucuia, com diminuição dos teores de cálcio.

Os demais cátions ocorrem em teores relativamente baixos, e, portanto, não contribuem efetivamente, para evolução da composição hidroquímica das águas amostradas.

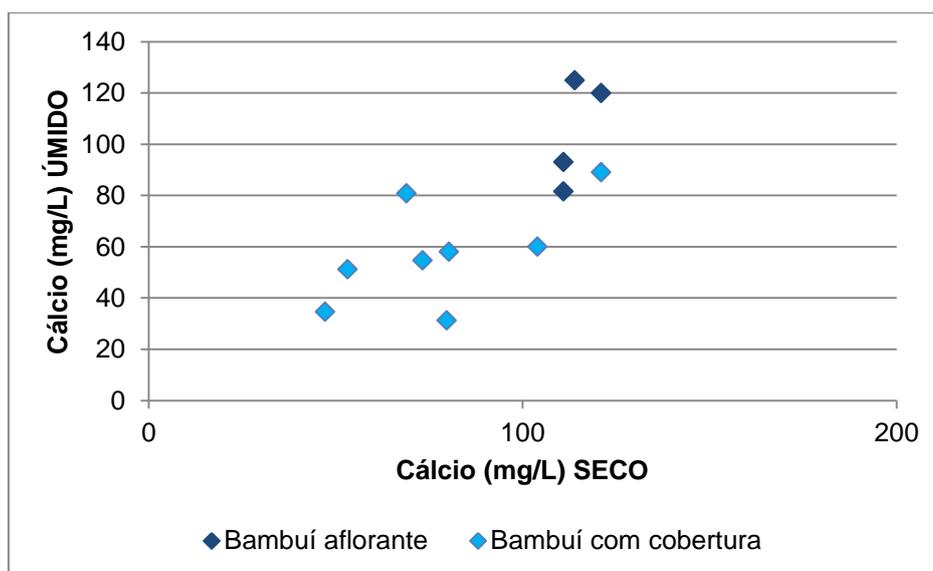


Figura 7.27: Correlação entre o cálcio no período seco e o cálcio no período úmido para as águas do Bambuí aflorante e Bambuí com cobertura.

7.3.2 Caracterização dos grupos de poços através de diagramas Box & Whisker

Para uma melhor compreensão e visualização das características dos agrupamentos de poços definidos no item 7.3, foram construídos diagramas de Box & Whisker (também chamados de box plot), com o uso do software Statística 7, para alguns parâmetros considerados representativos dessa individualização.

A Figura 7.28 apresenta os diagramas para a CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) no período seco e úmido. A CE nos períodos seco e úmido indicam valores de média e mediana mais altos para o Bambuí aflorante e mais baixos para o poço do Urucuia. O Bambuí com cobertura apresenta mediana relativamente similar ao poço Misto (captando o Bambuí e o Urucuia), indicando a influência do pacote arenítico na hidroquímica do aquífero Bambuí. Salienta-se a grande amplitude dos resultados de CE nos oito poços do Bambuí com cobertura. Os resultados também evidenciam valores nitidamente mais baixos para o Urucuia.

A Figura 7.29 representa os diagramas box plot para a dureza (mg/L) no período seco e úmido nos diferentes grupos de poços. Observa-se um

comportamento similar ao da CE. O grupo de poços do Bambuí aflorante é individualizado por apresentar maiores teores e, conseqüentemente, médias mais significativas. Por outro lado, o poço no Urucuia (aquífero poroso) apresenta valor discreto de dureza. A média do Bambuí com cobertura é relativamente similar ao poço do Misto (que possui filtro no Urucuia e nas rochas carbonáticas do Bambuí) e, são discretamente mais altas do que o registrado na cacimba.

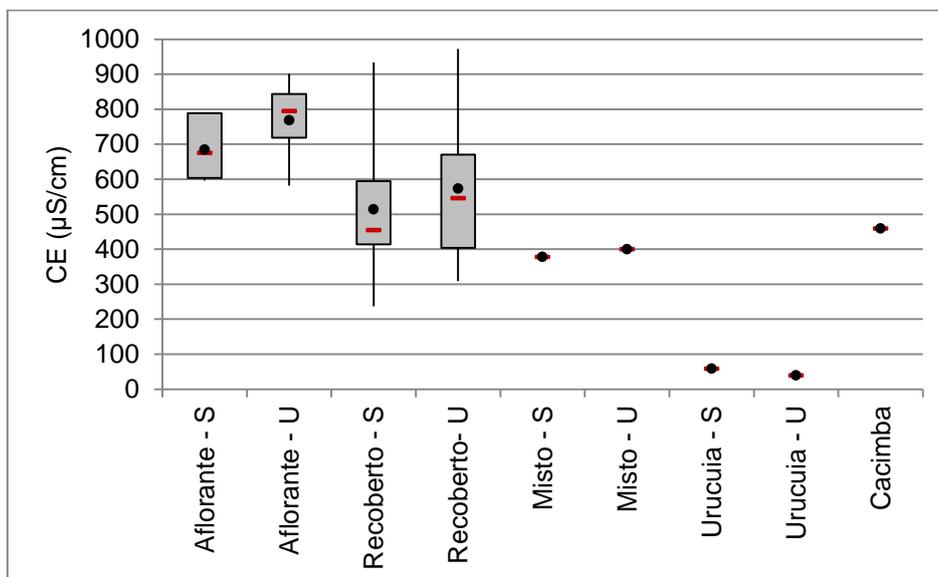


Figura 7.28: Diagramas box plot²⁰ representando os valores de CE (µS/cm) para os diferentes grupos de poços, no período seco.

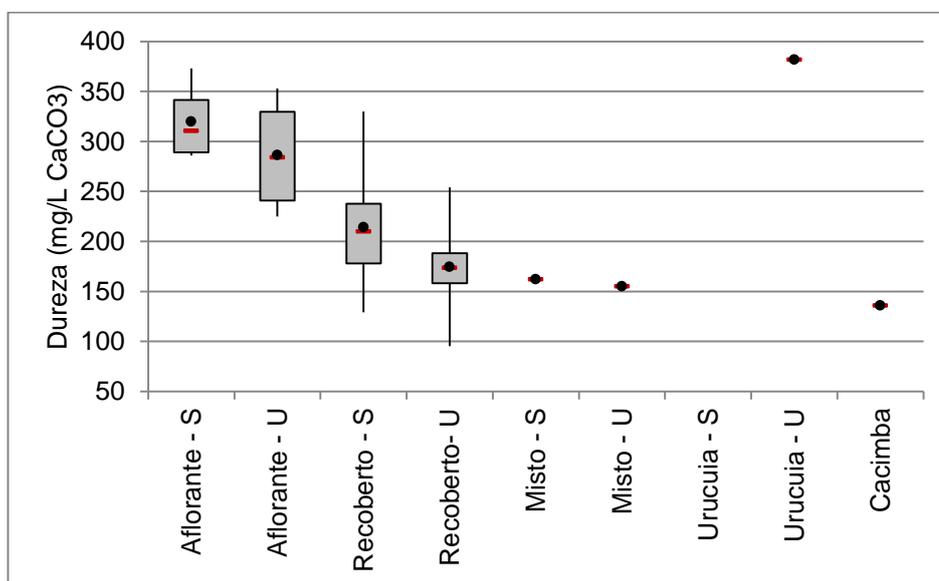


Figura 7.29: Diagramas box plot representando os valores de dureza (mg/L) para os diferentes grupos de poços, no período seco.

²⁰ A bola representa a média e a linha horizontal vermelha a mediana. A caixa cinza representa a amplitude interquartil e a linha vertical a amplitude interlimiar. O Misto, Urucuia e Cacimba contam apenas com um poço amostrado no período.

A Figura 7.30 representa os diagramas de **pH** no período seco e úmido. As médias de pH dos grupos Bambuí aflorante, Bambuí com cobertura e do poço Misto são relativamente similares, variando de 7,3 a 7,9 e nitidamente mais altas do que o poço Urucuia (aquífero poroso), que tem um pH mais baixo (6,5), tendendo, portanto, a ser ácido. Os diagramas *box plot* de pH em ambos os períodos amostrais ilustram bem a individualização dos poços no Bambuí com relação ao poço no Urucuia.

A Figura 7.31 representa os diagramas de bicarbonato no período seco e úmido. Os diagramas *box plot* indicam que os poços no Bambuí aflorante são individualizados por apresentarem maiores valores e, conseqüentemente, médias mais significativas. Por outro lado, o poço completado no aquífero Urucuia, também, é separado por apresentar valor discreto de bicarbonato. A média dos poços inseridos no grupo do Bambuí com cobertura é relativamente similar ao poço Misto (com filtros no Urucuia e no Bambuí). O resultado do bicarbonato no poço construído no aquífero Urucuia é bem inferior aos demais.

Assim, com base nestas observações apresentadas, foi possível evidenciar as características hidroquímicas dos diferentes grupos, e confirmar a individualização dos poços definidos por critérios geológicos e hidrogeológicos.

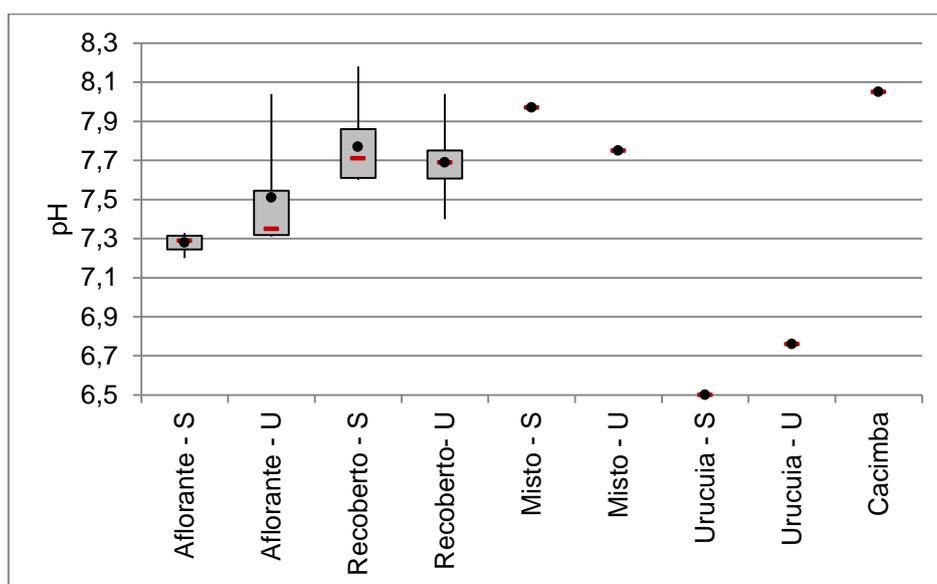


Figura 7.30: Diagramas *box plot* representando os resultados de pH para os diferentes grupos de poços, no período seco.

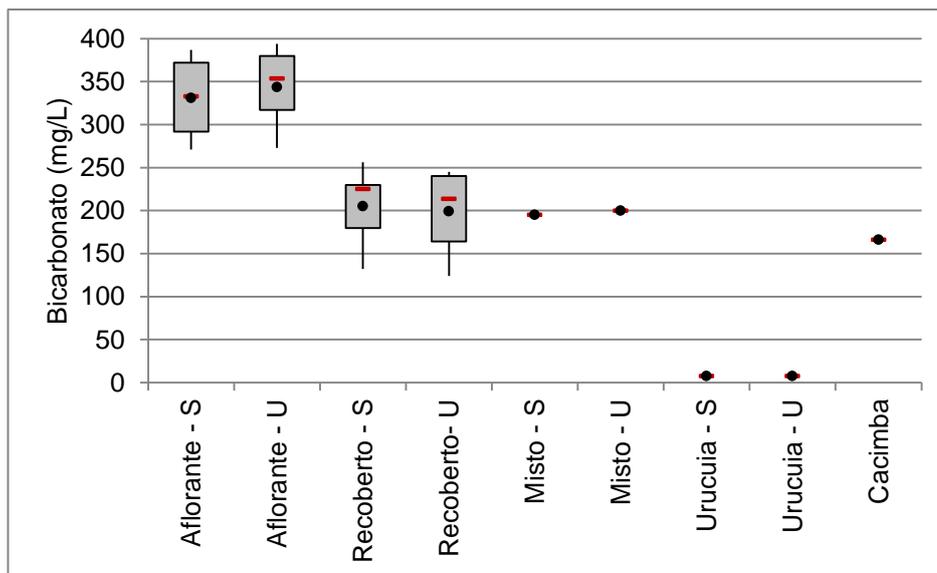


Figura 7.31: Diagramas box plot representando os valores de bicarbonato (mg/L CaCO₃) para os diferentes grupos de poços, no período seco. A bola representa a média e a linha horizontal vermelha a mediana.

7.3.3 Fácies hidroquímicas

Nas Figura 7.32 e Figura 7.33 (período seco e período úmido, respectivamente) estão representados os diagramas de Piper (Piper, 1944) das amostras de água analisadas no âmbito do projeto. Diagramas de Piper possibilitam a classificação das águas e permitem comparar distintos grupos químicos.

As mesmas amostras estão também representadas em diagramas de Stiff (Stiff 1951) nas Figura 7.34 e Figura 7.35 (período seco e período úmido, respectivamente). A espacialização dos diagramas de Stiff permite uma avaliação das quantidades relativas de íons principais dissolvidos nas águas.

As águas do Bambuí aflorante em ambos os períodos amostrais tendem a serem bicarbonatadas cálcicas (Tabela 7.9). Os poços captando o aquífero Bambuí, nos setores em que se encontram capeados pelo Grupo Urucuia, apresentam águas bicarbonatadas cálcicas a bicarbonatadas cloretadas cálcico-sódicas (Tabela 7.9) nos dois períodos de amostragem.

As fácies hidroquímicas semelhantes em ambos os grupos (Bambuí aflorante e Bambuí com cobertura) podem ser diferenciadas através dos diagramas de Stiff especializados na área de estudo. Para a grande maioria das amostras, se observa maior concentração iônica nas águas do aquífero Bambuí aflorante, o que confirma as observações levantadas nos itens 7.3.1 e 7.3.2.

As amostras no aquífero Urucuia (poço amostrado em ambos os períodos e cacimba amostrada apenas no período úmido) apresentam fácies bicarbonatada cálcica, e no diagrama de associação de Piper se posicionam no campo das águas do Bambuí com cobertura (Tabela 7.9). Essa configuração evidencia a influência química local do aquífero Urucuia nas águas do aquífero Bambuí, isto é, a provável mistura de águas entre ambas as unidades. Corroborando com essa afirmação, verifica-se a mesma configuração dos

diagramas de Stiff para as amostras C-146 (BambuÍ com cerca de 25 metros de cobertura de arenito) e C-204 (cacimba de 25 metros, no Urucuia).

O poço Misto (completado no Urucuia e Bambuí) em ambos os períodos amostrais apresentam águas bicarbonatadas cálcicas e no diagrama de associação de Piper se posicionam no campo das águas do aquífero Bambuí (aflorante e com cobertura) e concentração iônica semelhante às águas do aquífero Bambuí com cobertura. Mostrando, portanto, o domínio do aquífero Bambuí na química dessa água.

Para a maioria das amostras observa-se uma maior concentração iônica na amostragem representativa do período seco, conforme pode ser observado na comparação dos diagramas de Stiff para cada amostra na Figura 7.36. É provável que a recarga proveniente das precipitações no período úmido tenha provocado a diluição das águas subterrâneas.

Ressalta-se ainda, que a predominância das águas bicarbonatadas cálcicas é característica dos aquíferos cársticos, e reflete a presença dos minerais calcita e dolomita nas rochas.

Percebe-se, então, que os poços situados no domínio do Bambuí aflorante mostram-se sensivelmente diferentes daqueles onde o Bambuí ocorre recoberto pelo Grupo Urucuia. As águas do Bambuí aflorante tendem a serem mais bicarbonatadas cálcicas que as águas dos poços no domínio do Bambuí com cobertura (conforme pode ser verificado nos diagramas de Piper) e também apresentam maior concentração iônica (conforme evidenciado nos diagramas de Stiff). Em alguns casos observam-se evidências de mistura de águas entre o aquífero Bambuí e o aquífero Urucuia.

Com relação às águas superficiais (nascente do rio João Rodrigues e da surgência do poço do Surubim), quimicamente há dificuldades de distinção entre essas águas e a dos poços amostrados. Ambas são bicarbonatadas cálcicas, com algum componente cloretado. A origem desses cloretos deve estar relacionada à circulação das águas na bacia ou à contaminação por efluentes domésticos ao longo do sistema João Rodrigues.

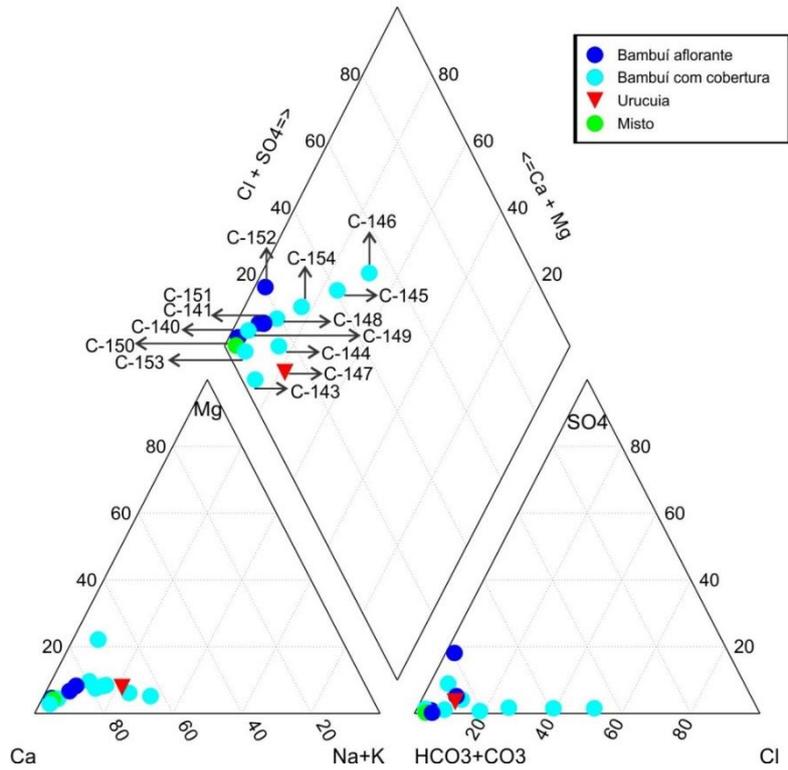


Figura 7.32: Diagrama de Piper das amostras coletadas no período seco.

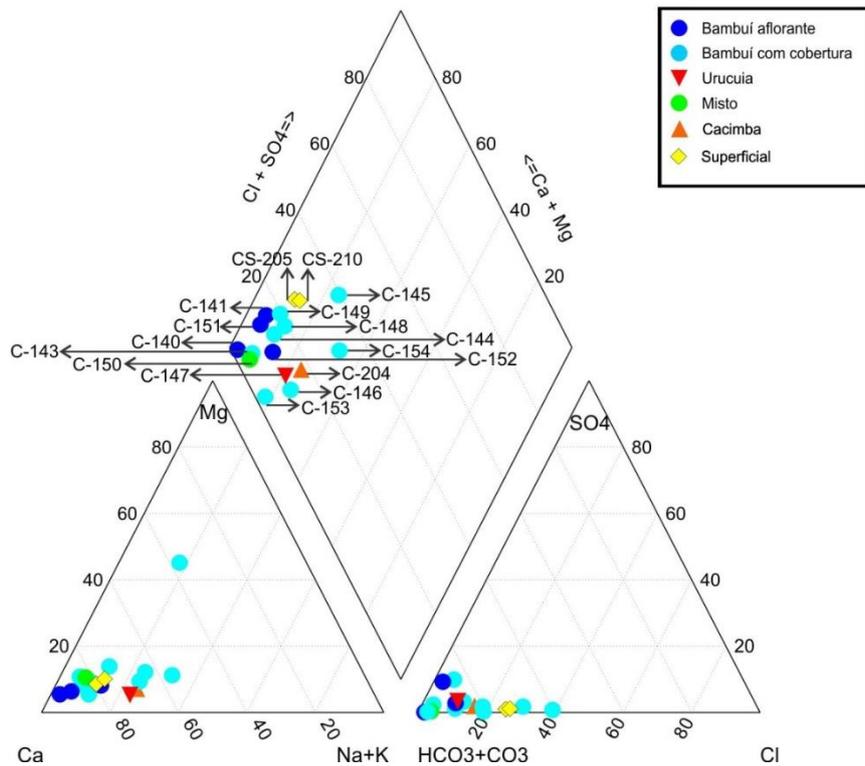


Figura 7.33: Diagrama de Piper das amostras coletadas no período úmido.

Tabela 7.9 – Classificação das águas avaliadas na Bacia do Rio São Desidério.

ID	Amostra	Período seco	Período úmido
		Fácies	Fácies
C-140	Bambuú aflorante	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃
C-141	Bambuú aflorante	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃
C-151	Bambuú aflorante	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃
C-152	Bambuú aflorante	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃
C-143	Bambuú com cobertura	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃
C-144	Bambuú com cobertura	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃
C-145	Bambuú com cobertura	Ca-Na-HCO ₃	Ca-Na-HCO ₃
C-146	Bambuú com cobertura	Ca-Na-Cl-HCO ₃	Ca-Na-HCO ₃
C-148	Bambuú com cobertura	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃
C-149	Bambuú com cobertura	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃
C-153	Bambuú com cobertura	Ca-HCO ₃	Mg-Ca-HCO ₃
C-154	Bambuú com cobertura	Ca-HCO ₃ -Cl	Ca-Na-HCO ₃
C-147	Urucuia (poço)	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃
C-204	Urucuia (cacimba)	-	Ca-HCO ₃
C-150	Misto (Urucuia e Bambuú)	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃
CS-205	Nascente rio João Rodrigues	-	Ca-HCO ₃ -Cl
CS-210	Surgência poço do Surubim	-	Ca-HCO ₃ -Cl

7.3.4 Parâmetros Específicos

7.3.4.1 Metais Pesados

Foram analisados os metais pesados arsênio, boro, bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel e zinco, em pontos previamente selecionados no entorno de fontes potenciais de contaminação. Essa seleção foi realizada mediante a análise do mapa de uso de solo e cadastro de fontes de contaminação.

Na bacia do Rio São Desidério foram selecionados 3 pontos de coleta, cujos resultados analíticos são apresentados na Tabela 7.10. De acordo com os resultados, foram detectados apenas traços de boro, bário, cobre e zinco, todos os valores são abaixo da Portaria MS nº 2914 (2011).

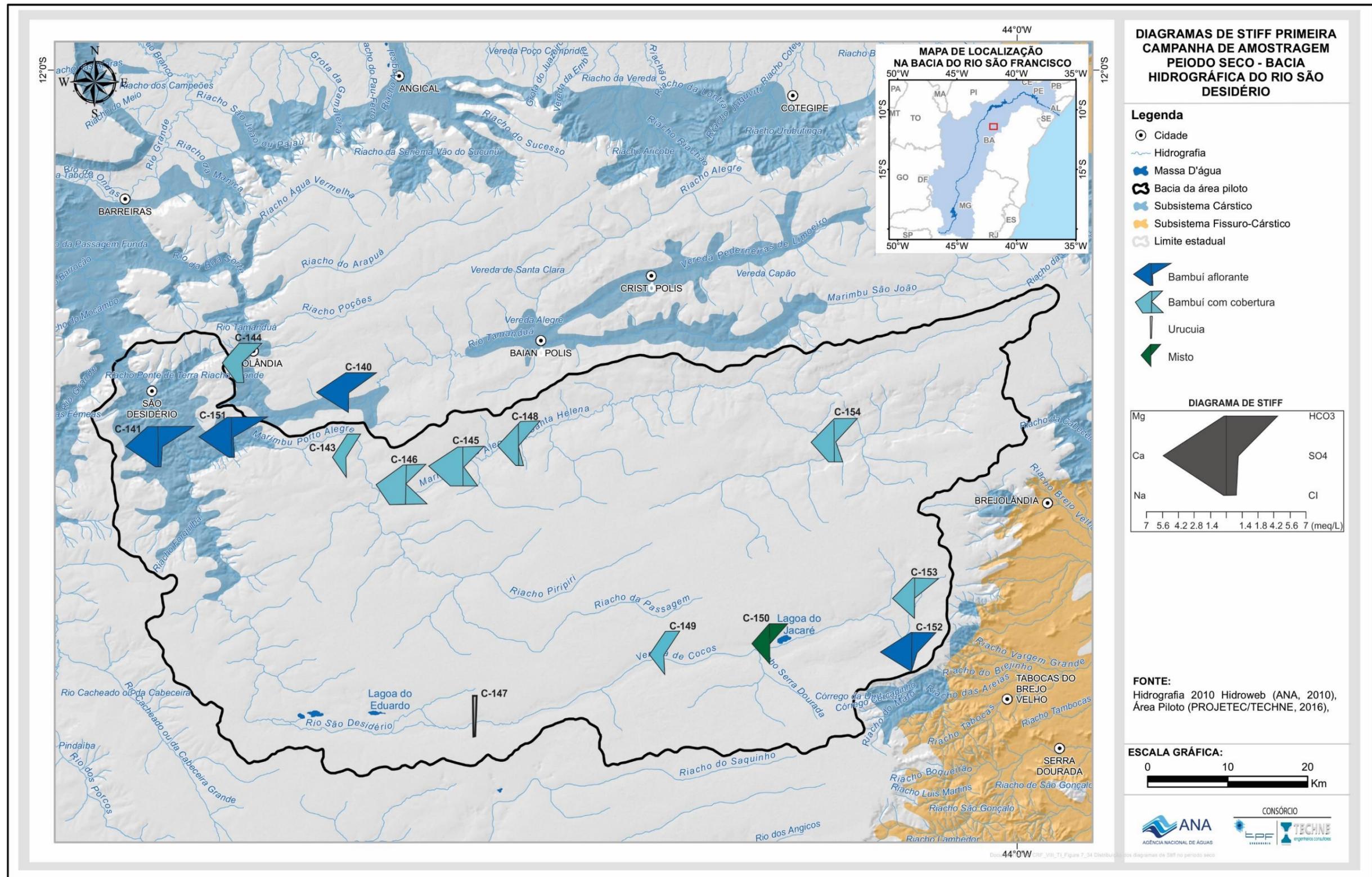


Figura 7.34: Distribuição dos diagramas de Stiff no período seco.

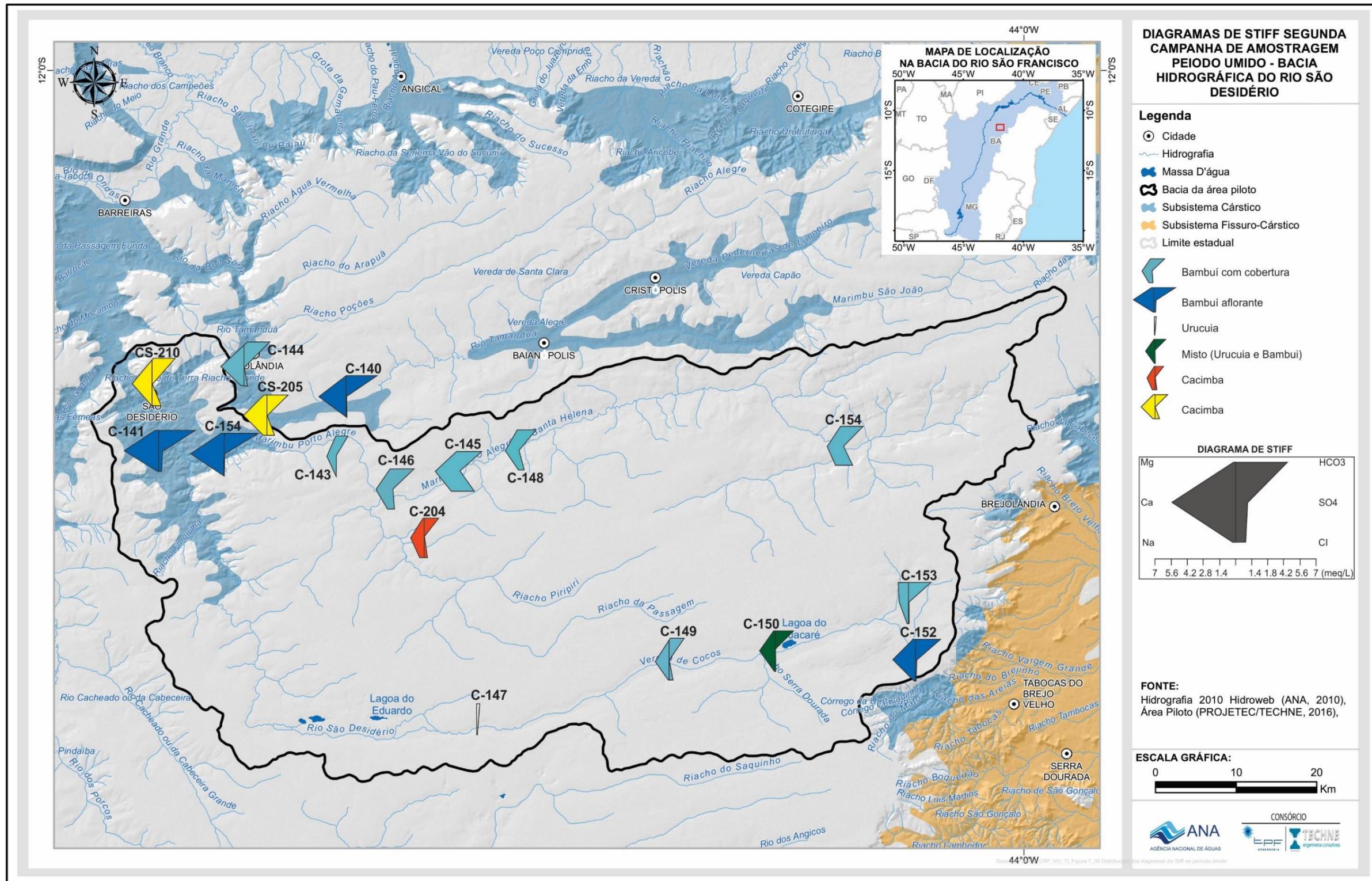


Figura 7.35: Distribuição dos diagramas de Stiff no período úmido.

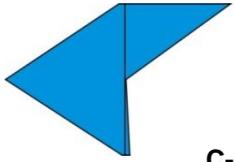
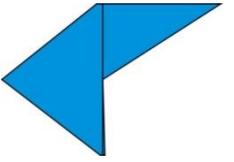
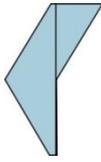
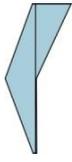
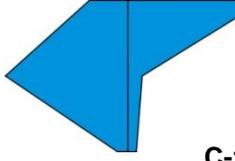
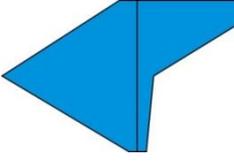
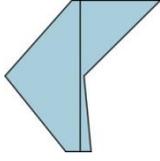
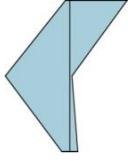
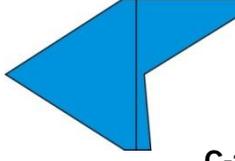
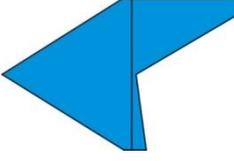
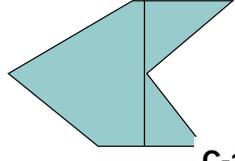
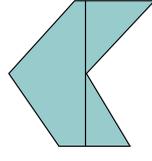
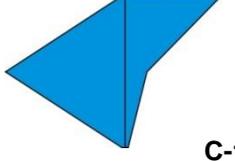
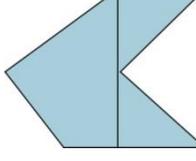
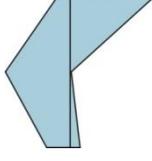
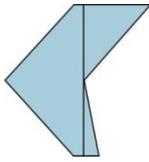
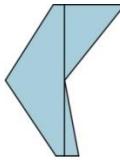
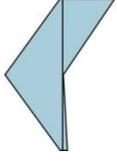
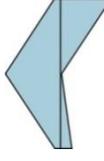
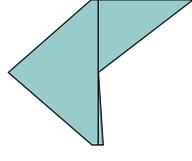
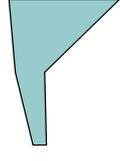
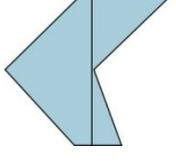
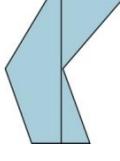
BAMBUÍ AFLORANTE		BAMBUÍ COM COBERTURA	
Seco	Umido	Seco	Umido
 C-140		 C-143	
 C-141		 C-144	
 C-151		 C-145	
 C-152		 C-146	
 MISTO C-150		 C-148	
 URUCUIA C-147		 C-149	
		 C-153	
		 C-154	

Figura 7.36: Diagrama de Stiff das amostras avaliadas.

Nota: A legenda dos diagramas encontra-se nas Figuras 7.30 e 7.31.

Tabela 7.10 – Resultados analíticos para metais pesados.

ID	C-145	C-146	C-149
Município	Baianópolis	Baianópolis	Baianópolis
Localidade	Novato (Várzea)	Cocal de Baixo	Lagoa Clara
Arsênio (mg/L)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Boro (mg/L)	0,00171	< 0,001	0,00337
Bário (mg/L)	0,106	0,149	0,086
Cádmio (mg/L)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Chumbo (mg/L)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cobre (mg/L)	< 0,001	< 0,001	0,0031
Cromo (mg/L)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Mercúrio (mg/L)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Níquel (mg/L)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Zinco (mg/L)	0,0205	0,00374	0,00499

7.3.4.2 Agroquímicos

Para avaliação dos agroquímicos foram analisadas 9 amostras (5 poços e 4 superficiais) bacia do Rio São Desidério, conforme Tabela 7.11. Os pontos destinados às análises de agroquímicos estão localizados em áreas agrícolas potencialmente sob influência do uso de fertilizantes e pesticidas.

Foram avaliados 43 agroquímicos, elencados no **item 7.1** do presente relatório. A seleção dos compostos analisados foi realizada mediante o cadastramento das principais culturas agrícolas existentes na área, e posterior levantamento em campo e em instituições, dos principais agroquímicos empregados.

Nenhum dos parâmetros analisados apresentou concentração superior ao limite de detecção. A não detecção desses compostos pode denotar a sua inexistência ou a presença em quantidades muito reduzidas. Convém ressaltar, que no aquífero Bambuí predomina a circulação rápida das águas subterrâneas através de fraturas e condutos de dissolução, o que pode explicar a não detecção desses compostos no momento da coleta. Não fica descartada a possível permanência desses agroquímicos nas camadas superficiais do solo, que dificultam ou impedem a sua lixiviação até a zona saturada.

Tabela 7.11 – Pontos de coleta para agroquímicos.

ID	Amostra	Município	Localidade
C-140	Subterrânea	Catolândia	Lagoa do Simão
C-141	Subterrânea	São Desidério	Ponte de Terra
C-145	Subterrânea	Baianópolis	Novato (Várzea)
C-151	Subterrânea	São Desidério	Vereda
C-154	Subterrânea	Tabocas do Brejo Velho	Pedra de Fogo
CS-205	Nascente do rio João Rodrigues	São Desidério	Sucupira
CS-206	Rio Grande	São Desidério	-
CS-208	Rio São Desidério	São Desidério	Campo Grande
CS-209	Rio Mutamba	São Desidério	Mutamba

7.3.4.3 Derivados de Petróleo

Na avaliação desses compostos foram selecionados poços para a investigação de eventuais ocorrências de contaminantes em áreas no entorno de postos de combustíveis e oficinas mecânicas.

Foram avaliados os parâmetros benzeno, etilbenzeno, tolueno, m,p-xilenos, o-xileno, xilenos e índice de fenóis. Para avaliação desses compostos foram analisadas 3 amostras (Tabela 7.12) na bacia do Rio São Desidério e nenhum dos parâmetros analisados apresentou concentração superior ao limite de detecção.

Tabela 7.12 – Pontos de coleta para derivados de petróleo

ID	Município	Localidade
C-145	Baianópolis	Novato (Várzea)
C-146	Baianópolis	Cocal de Baixo
C-149	Baianópolis	Lagoa Clara

7.3.5 Qualidade das águas para o consumo humano

Uma água pode ser considerada potável quando é passível de consumo humano sem perigo nenhum para sua saúde. A definição dos padrões de potabilidade é função dos órgãos sanitários de cada país, no entanto percebe-se uma tendência mundial de normalização das regulamentações existentes.

Os guias atuais para determinar a potabilidade das águas baseiam-se em dois critérios distintos:

- Risco a saúde: diz respeito aos efeitos tóxicos, carcinogênicos e mutagênicos da água. Representam uma série de constituintes químicos (que são fixados por concentrações máximas permitidas) e bacteriológicos;

- Aspectos organolépticos (ou estéticos): conjunto de parâmetros caracterizados por provocar estímulos sensoriais que afetam a aceitação para consumo humano, mas que não necessariamente implicam risco à saúde.

No Brasil, a Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde (Brasil, 2011) dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Os parâmetros considerados na referida Portaria e analisados no âmbito do estudo constam na Tabela 7.13 (substâncias químicas que representam risco à saúde) e Tabela 7.14 (substâncias organolépticas).

Tabela 7.13 - Valores máximos aceitos para consumo humano de acordo com a Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde (Brasil, 2011) para as substâncias químicas que representam risco à saúde, avaliadas no presente estudo.

Parâmetro	Unidade	Valor Máximo Permitido (VMP)
Substâncias Inorgânicas		
Arsênio	mg/L	0,01
Bário	mg/L	0,7
Cádmio	mg/L	0,005
Chumbo	mg/L	0,01
Cobre	mg/L	2
Cromo	mg/L	0,05
Fluoreto	mg/L F	1,5
Mercúrio	mg/L	0,001
Níquel	mg/L	0,07
Nitrato	mg/L N	10,0
Nitrito	mg/L N	1,0
Substâncias Orgânicas		
Benzeno	µg/L	5
Agrotóxicos		
Carbenzadim + Benomil	µg/L	120
Clorpirifós + Clorpirifós-Oxon	µg/L	30
Diurom	µg/L	90
Glifosato + Ampa	µg/L	500
Tebuconazol	µg/L	180

Tabela 7.14 - Valores máximos aceitos para consumo humano de acordo com a Portaria n° 2914/2011 do Ministério da Saúde (Brasil, 2011) para as substâncias de padrão organoléptico de potabilidade, avaliadas no presente estudo.

Parâmetro	Unidade	Valor Máximo Permitido (VMP)
Amônia	mg/L NH ₃	1,5
Cloreto	mg/L	250
Cor aparente	uH	15
Dureza total	mg/L como CaCO ₃	500
Etilbenzeno	mg/L	0,2
Ferro	mg/L	0,3
Manganês	mg/L	0,1
Sódio	mg/L	200
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	1000
Sulfato	mg/L	250
Tolueno	mg/L	0,17
Turbidez	uT	5
Zinco	mg/L	5
Xilenos	mg/L	0,3

A avaliação dos resultados das análises químicas de todas as amostras (subterrâneas e superficiais) coletadas no âmbito do estudo em ambos os períodos amostrais, indicaram que apenas os parâmetros ferro e manganês apresentaram resultados analíticos superiores aos VMP para águas de consumo humano. Os referidos teores são apresentados nas Figura 7.37 e Figura 7.38.

A presença desses elementos nas águas do aquífero Bambuí pode estar relacionada a questões construtivas. Todos os poços que apresentaram teores acima do VMP são revestidos em sua porção superior por uma tubulação em ferro galvanizado que se prolonga até o topo das rochas carbonáticas, isto é, promove o isolamento das camadas de solo e/ou coberturas areníticas. Não fica descartada a origem litológica desses elementos, já que alguns minerais carbonáticos tem ferro na sua composição. O ferro no aquífero Urucuia não se deve a aspectos construtivos, já que o poço conta com revestimento em PVC geomecânico (tubo e filtros). Nesse caso, a origem do ferro nessas águas pode estar relacionada a presença de óxidos de ferro na matriz desses arenitos (Iglesias & Uhlein, 2009).

A presença de íons ferro e manganês na água de abastecimento destinada ao uso doméstico é desagradável, pois pode provocar o tingimento de roupas e louças, mas não representa riscos à saúde, uma vez que não há comprovação de efeitos tóxicos quando ingeridos em grandes quantidades.

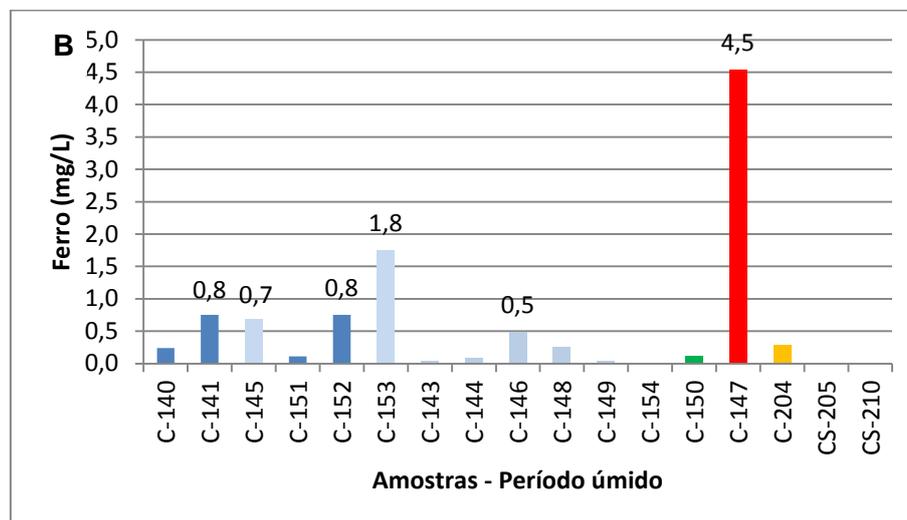
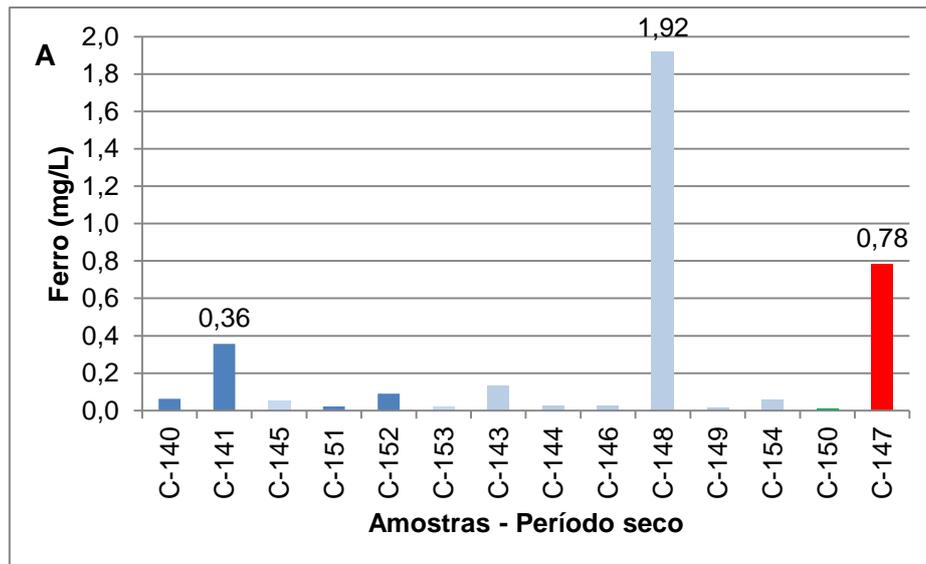


Figura 7.37: Teor de ferro (mg/L) nas águas avaliadas nos períodos seco (A) e úmido (B). Os rótulos apresentados indicam os pontos com teor de ferro superior ao VMP.

*Legenda - Barra azul escura: Bambuí aflorante. Barra azul clara: Bambuí com cobertura. Barra verde: Misto (Urucuia e Bambuí). Barra vermelha: Urucuia. Barra laranja: cacimba.

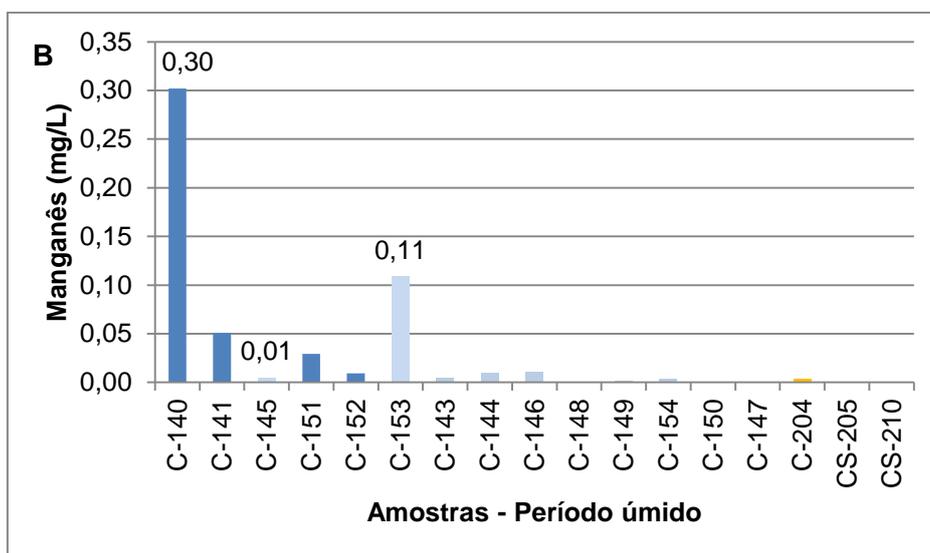
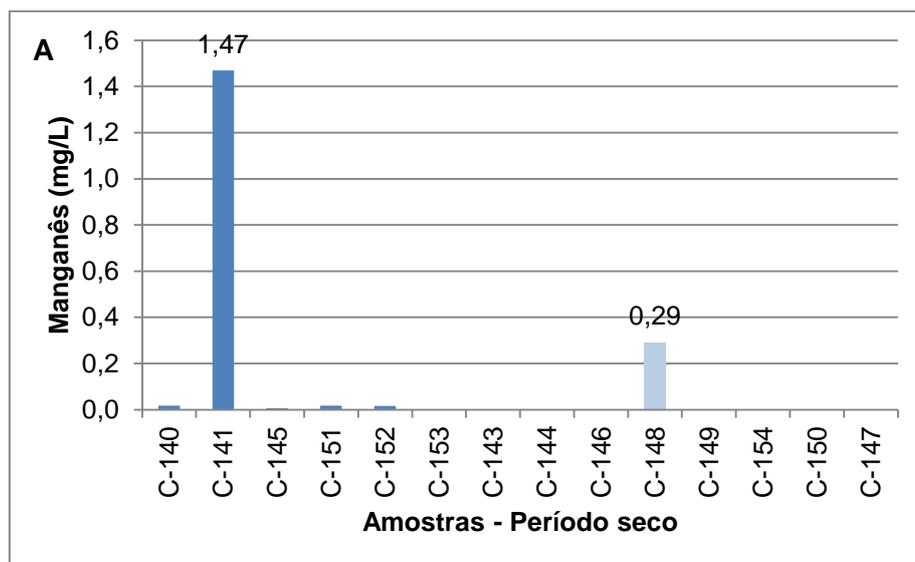


Figura 7.38: Teor de manganês (mg/L) nas águas avaliadas nos períodos seco (A) e úmido (B). Os rótulos apresentados indicam os pontos com teor de manganês superior ao VMP.

*Legenda - Barra azul escura: Bambuí aflorante. Barra azul clara: Bambuí com cobertura. Barra verde: Misto (Urucuia e Bambuí). Barra vermelha: Urucuia. Barra laranja: cacimba.

7.4 Avaliações Isotópicas

As avaliações isotópicas foram realizadas por meio da caracterização dos isótopos ambientais de oxigênio e hidrogênio e radiogênico de estrôncio, em amostras de águas coletadas na rede de monitoramento qualitativo definida no presente estudo. Foram coletadas 7 amostras de água (Figura 7.39), na segunda campanha (período úmido), cujos resultados são apresentados na Tabela 7.15.

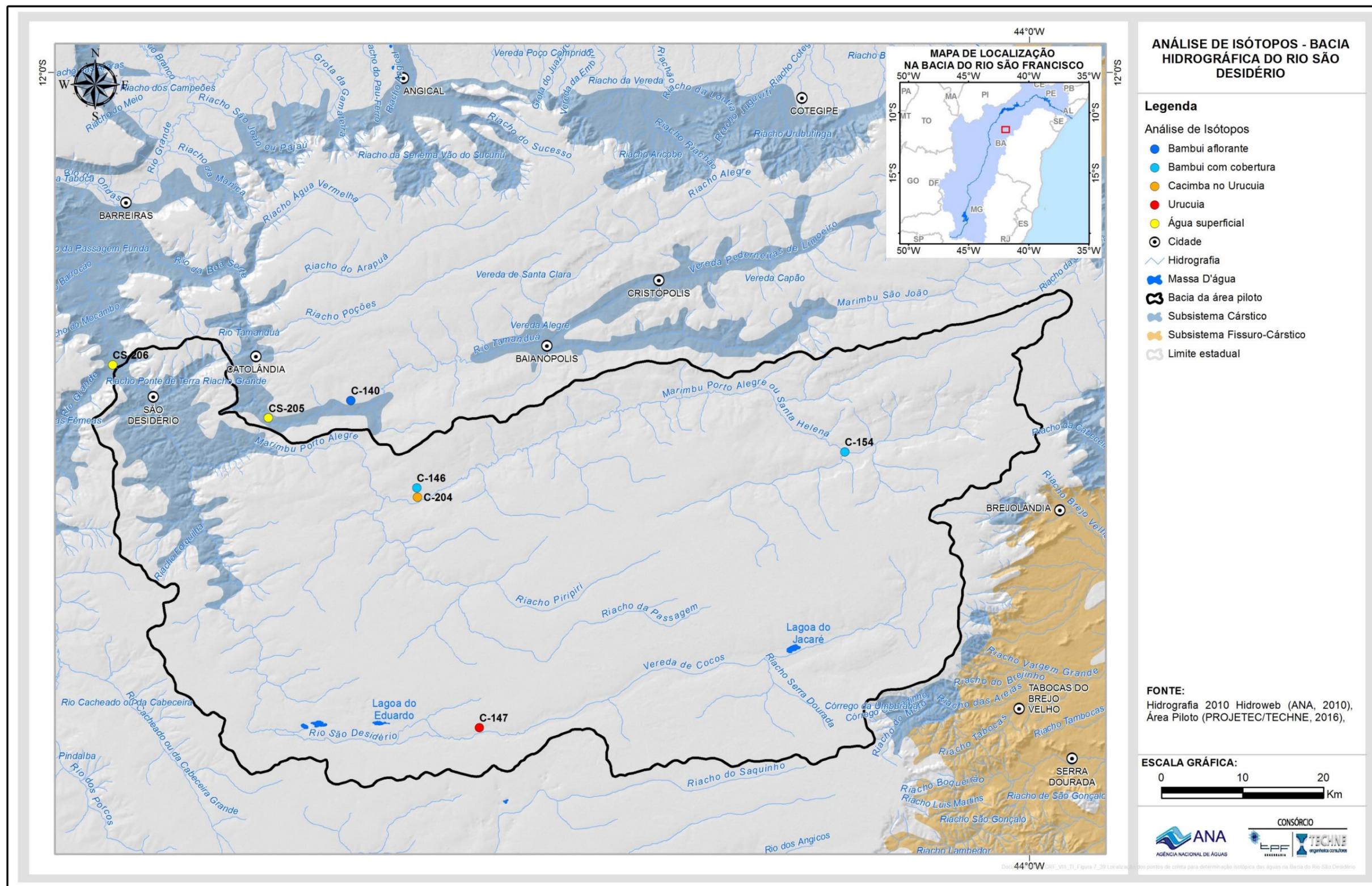


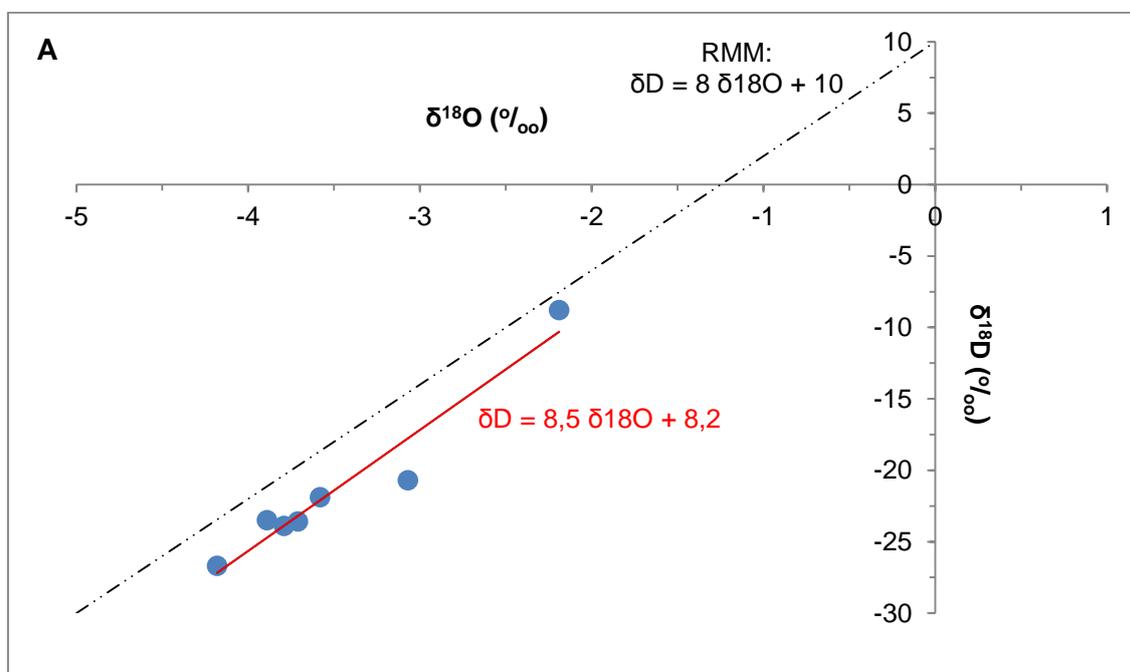
Figura 7.39: Localização dos pontos de coleta para determinação isotópica das águas na Bacia do Rio São Desidério.

Tabela 7.15 – Resultados das análises de isótopos em água na bacia do Rio São Desidério.

ID	Amostra	Município	Localidade	$\delta^{18}\text{O}$ (VSMOW) ‰	$\delta^2\text{H}$ (VSMOW) ‰	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
C-140	Bambuú aflorante	Catolândia	Lagoa do Simão	-3,58	-21,9	0,70783
C-146	Bambuú com cobertura	Baianópolis	Cocal de Baixo	-3,79	-23,9	0,70816
C-154	Bambuú com cobertura	Tabocas do Brejo Velho	Pedra de Fogo	-3,89	-23,5	0,70798
C-147	Urucuia	Baianópolis	Canindé	-4,18	-26,7	0,70886
C-204	Cacimba no Urucuia	Baianópolis	Cocal de Baixo	-2,19	-8,8	0,70849
CS-205	Nascente do rio João Rodrigues	São Desidério	Sucupira	-3,07	-20,7	0,70807
CS-206	Rio Grande	São Desidério	-	-3,71	-23,6	0,71288

7.4.1 Isótopos estáveis de Oxigênio ($\delta^{18}\text{O}$) e Deutério ($\delta^2\text{H}$)

Para o $\delta^{18}\text{O}$ as razões isotópicas das análises variam entre de -4.18‰ a -2,19‰ e para $\delta^2\text{H}$ oscilam de -26,7‰ a -8,8‰ (**Tabela 7.15**). Esses resultados foram plotados em gráficos $\delta^2\text{H}/\delta^{18}\text{O}$ juntamente com a reta meteórica mundial (GMWL ou RMM) a fim de se verificar a proveniência das águas amostradas (Figura 7.40).



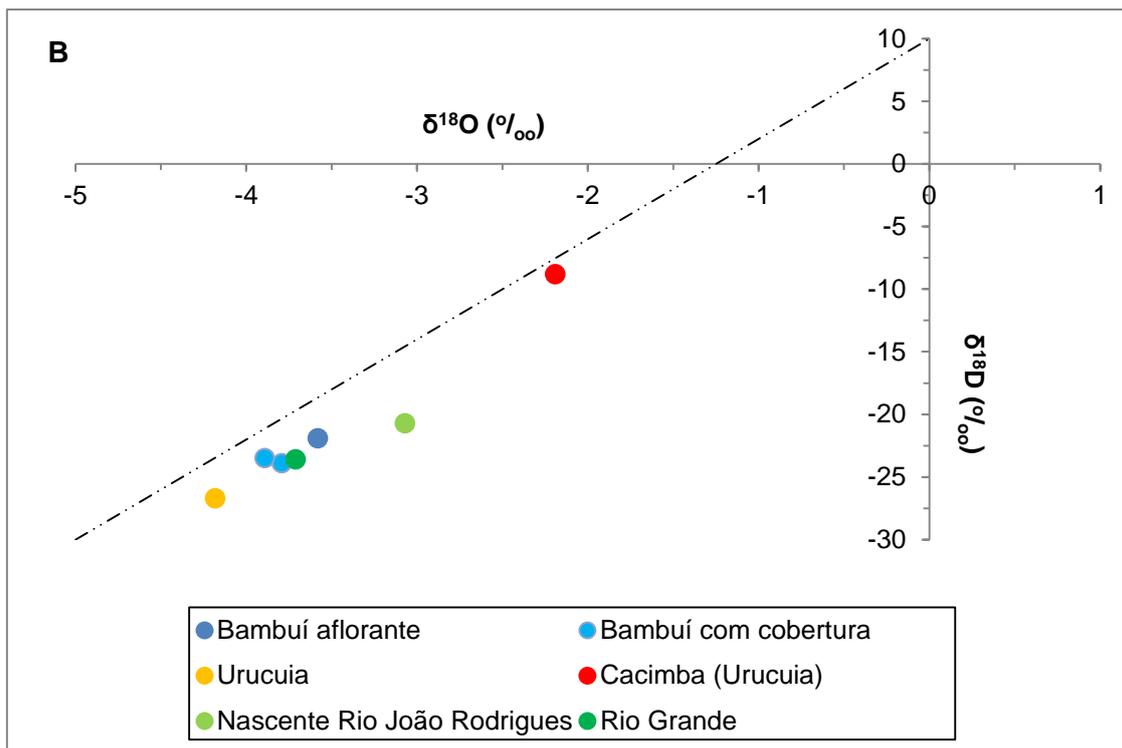


Figura 7.40 - Relação de $\delta^{18}\text{O}$ e δD para o conjunto total de dados (A) e por compartimento hidrogeológico (B). RMM=Reta Meteórica Global.

Todos os valores negativos indicam que as águas analisadas são empobrecidas em relação aos padrões VSMOW e sugere o “efeito da continentalidade” e o “efeito da quantidade”, citados por Gat (1971), que marcam as águas meteóricas, cuja composição isotópica depende de uma série de fatores.

O efeito da continentalidade descreve o decréscimo dos valores de δ na chuva quando a distância para o mar cresce. O processo tem início com a evaporação do Oceano Atlântico, cujos vapores são carregados pelos ventos predominantes de leste para oeste, e incorporados às massas úmidas que durante seu caminho perdem água e empobrecem em isótopos pesados.

Pelo efeito da quantidade, as chuvas intensas, como as ocorridas na área durante a amostragem, apresentam valores menores de $\delta^{18}\text{O}$ e δD , ou seja, ocorre um efeito inverso em relação ao volume de água precipitado. Durante a condensação, o vapor remanescente fica progressivamente empobrecido em isótopos pesados e, com ele, a água produzida com a condensação desse vapor.

Na Figura 7.40A observa-se que a maioria das amostras tem composição isotópica próxima à da linha meteórica mundial (RMM), confirmando sua origem meteórica. A reta representativa dessas amostras tem praticamente o mesmo coeficiente angular, indicando que as águas não sofreram evaporação significativa. Como o ^{18}O e o deutério são nuclídeos estáveis, isso indica que esses valores são representativos das águas de chuvas da época da recarga.

A amostra coletada na cacimba apresenta-se mais enriquecida em isótopos pesados ($-2,19\text{‰}$ para $\delta^{18}\text{O}$ e $-8,8\text{‰}$ para δD) quando comparada às demais

amostras (Tabela 7.15 e Figura 7.40B). Embora o processo de evaporação não predomine na área, é provável que ocorra nessa amostra, dada a condição de exposição das águas e seu nível estático bastante raso na época da amostragem.

As demais águas estão relativamente agrupadas entre os intervalos -4,18 e -3,07 para o $\delta^{18}\text{O}$ e entre -26,7 e -20,7 para δD (Tabela 7.15), portanto, são águas menos enriquecidas quando comparadas às águas da cacimba.

A amostra do aquífero Urucuia apresenta as menores concentrações de ^{18}O e deutério do conjunto avaliado (Tabela 7.15 e Figura 7.40B), com -4,18‰ para $\delta_{18}\text{O}$ e -26,7‰ para δD . Essas baixas concentrações podem ser decorrentes da infiltração direta e rápida das precipitações.

As amostras dos poços no Bambuí (afiorante e com cobertura) e a amostra superficial do Rio Grande plotam bastante próximas no gráfico da Figura 7.36B, e com razões isotópicas médias de -3,89‰ para o $\delta^{18}\text{O}$ e -23,22‰ para o δD . Esse agrupamento provavelmente reflete a contribuição das águas do aquífero Bambuí nas águas superficiais do Rio Grande.

A amostra pertencente à nascente do Rio João Rodrigues tem razão isotópica -3,07‰ para o $\delta^{18}\text{O}$ e -20,7‰ para o δD .

7.4.2 Isótopos radiogênicos de Estrôncio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)

Os estudos utilizando isótopos de estrôncio evidenciam a importância desses isótopos como indicadores da interação rocha água (Alemyehu et al., 2011). No Brasil, o uso dessa ferramenta em pesquisas hidrogeológicas ainda é escassa, podendo-se citar os trabalhos de Martins (2008), que utilizou isótopos de estrôncio como traçadores da recarga e contaminação de aquíferos na região metropolitana de São Paulo, e Maldaner (2010), que usou os isótopos de estrôncio como traçadores da origem das águas subterrâneas na cidade de Urânia/SP.

A composição isotópica de estrôncio na água subterrânea é adquirida, inicialmente, na área de recarga, e posteriormente ao longo do caminho de fluxo por dissolução dos minerais e reações de troca iônica (Frost & Toner, 2004). A água adquire progressivamente a razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ das rochas com as quais interage. Diferenças nas razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ refletem diferenças na quantidade relativa de estrôncio derivada de diferentes minerais (Kendal & McDonnell, 1988).

Nas águas superficiais, a composição isotópica de estrôncio é primeiramente controlada pelas rochas que elas percorrem, por sua composição química e idade (Banner, 2004). Já nas águas subterrâneas, a variação isotópica de estrôncio é semelhante das águas superficiais, refletindo idade e o tipo de rocha do aquífero, mas pode ser mais efetiva, já que a temperatura, pressão e forças iônicas são maiores em profundidade, além do que o tempo e a área de contato com a rocha, também, são maiores (Banner, 2004), promovendo uma maior interação água-rocha. A água subterrânea adquire estrôncio durante a recarga e ao longo do fluxo hidráulico, conforme ela interage com os minerais presentes no aquífero (Gosselin et al., 2004).

Dessa forma, McNutt (2000) apontam que como calcitas, aragonitas e dolomitas são mais solúveis que a maioria dos silicatos e apresentam altas concentrações de estrôncio, as águas subterrâneas fluindo através de aquíferos carbonáticos tendem a apresentar, mais rapidamente, altas concentrações de estrôncio e baixas razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, enquanto que em águas subterrâneas fluindo através de aquíferos silicáticos tendem a apresentar altas razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e baixas concentrações de estrôncio

Na área de estudos foram realizadas análises de isótopos de estrôncio na segunda campanha de amostragem (período úmido), nos pontos indicados na Tabela 7.15 e visualizados na Figura 7.39.

A razão de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ das águas do Bambuí aflorante foi de 0,7083, enquanto no mesmo aquífero, com cobertura as razões variaram de 0,70798 a 0,70816. Nas amostras do Urucuia as razões foram de 0,70886 para o poço e 0,70849 para a cacimba. Nota-se, portanto, uma afinidade entre águas, com um leve crescimento das razões de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ para as águas do Urucuia, conforme já esperado, devido suas características mineralógicas essencialmente silicáticas.

Para as águas superficiais observa-se que a água da nascente do rio João Rodrigues tem razão isotópica de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de 0,70807 similar aos dos poços

do aquífero Bambuí, principalmente. As águas do Rio Grande têm uma razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ distinta das demais águas, sendo mais radiogênicas, revelando, possivelmente, uma outra procedência do estrôncio.

7.5 Considerações Finais

O aquífero Bambuí na bacia do Rio São Desidério apresenta águas pouco mineralizadas, com sólidos totais dissolvidos inferiores a 800 mg/L, portanto, classificadas como Doces e toleráveis para o consumo humano. Os resultados de pH apresentam valores oscilando bem próximos da neutralidade, com média e mediana em torno de 7,0. A dureza dessas águas varia de pouco a muito dura. Do ponto de vista qualitativo não se observa a interferência antropogênica nessas águas.

O efeito da sazonalidade climática não se reflete de maneira significativa na hidroquímica do aquífero Bambuí. Para alguns parâmetros observa-se um leve crescimento dos teores no período seco, que provavelmente está relacionado à baixa pluviometria que favorece a concentração dos íons que estavam em solução.

As águas dos poços do aquífero Bambuí localizados nos setores em que as rochas carbonáticas encontram-se aflorantes ou sobrepostas a pequenas espessuras de solo têm características hidroquímicas distintas das águas dos poços no aquífero Bambuí recoberto pelas rochas do Grupo Urucuia. Essa individualização do ponto de vista geológico/hidrogeológico foi possível mediante a análise dos perfis litológicos e construtivos dos poços. Esses aspectos, associados com as considerações levantadas no capítulo de hidrogeologia desse relatório culminam na evolução hidroquímica dessas águas.

As águas do aquífero Bambuí são bicarbonatadas cálcicas, refletindo certamente, o arcabouço mineralógico do aquífero, bem como, o tempo de interação entre a água e a rocha e a influência do CO_2 . Entretanto observa-se uma maior concentração iônica nas águas dos poços no Bambuí aflorante, quando comparado às águas do Bambuí com cobertura.

É provável que o conteúdo iônico inferior das águas dos poços no Bambuí com cobertura esteja relacionado à influência do aquífero Urucuia na química dessas águas. Conforme discutido no capítulo de hidrogeologia do presente relatório, as cargas hidráulicas do aquífero Urucuia aparentam ser mais elevadas que as do Bambuí sotoposto. Pode-se admitir, portanto, que o Urucuia deve prover uma recarga ao Bambuí, quer por drenagem vertical descendente, quer pelas águas restituídas aos vales onde afloram os calcários. Não fica descartada a influência da componente estrutural nesses ambientes hidrogeológicos, propiciando a conexão hidráulica das águas que circulam nos dois aquíferos.

8. Avaliação da vulnerabilidade

A metodologia do EPIK adaptado²¹ aplicada para a análise da vulnerabilidade no domínio IV, foi repetida para a área piloto da Bacia Hidrográfica do Rio São Desidério.

Sendo assim, foi criada uma base de dados que auxiliou a análise de todas as possíveis classificações atribuídas para os parâmetros E, P, I e K. Os dados utilizados serão descritos a seguir, juntamente com a descrição da classificação para cada parâmetro e o cruzamento das informações para geração do mapa de vulnerabilidade.

8.1 Classificação a partir do parâmetro: Epicarste (E)

Para a classificação da área piloto a partir do parâmetro E foi utilizada a base geológica da CPRM. As informações contidas na tabela de atributos dessa base foram suficientes para a realização da classificação da área, analisando em qual classe (E1, E2, E3) se enquadraria cada unidade geológica.

Assim, toda a área piloto foi classificada de acordo com as condições estabelecidas na metodologia adaptada.

Como pode ser observado na Figura 8.1, a classe epicarste ausente foi classificada na maior parte da área, totalizando 95%, enquanto apenas 5% da área é epicarste franco. A figura mostra ainda o mapa com o resultado da classificação para este parâmetro. Pode-se observar a exposição dos calcários da Formação São Desidério como consequência da erosão ocasionada pelo rio de mesmo nome, que acompanha os padrões estruturais que está restrito ao extremo NW nos limites da Bacia do Rio São Desidério.

²¹ A metodologia EPIK, original e adaptado, foi descrita no Volume II - Hidrogeologia.

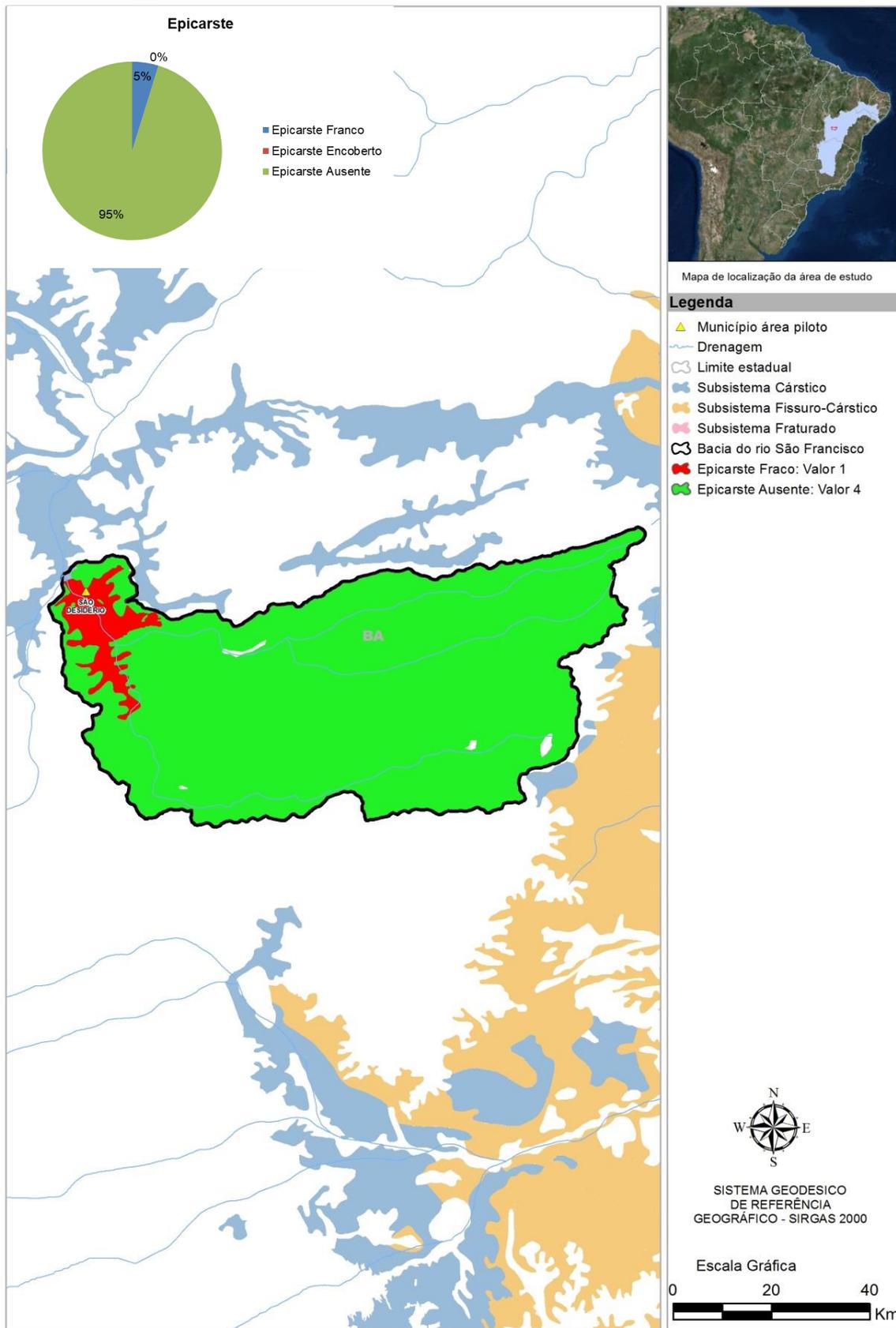


Figura 8.1: Parâmetro E – Epicarste.

8.2 Classificação a partir do parâmetro: Cobertura de proteção (P)

Para a classificação da área piloto a partir do parâmetro P foram utilizados inicialmente os perfis de 203 poços perfurados na região do carste, sendo quinze na área piloto da Bacia do Rio São Desidério. Estes perfis apresentaram informações sobre a litologia em variadas profundidades, sendo suficiente para a classificação necessária.

Entretanto, o resultado foram 203 pontos classificados quanto a sua cobertura de proteção, o que tornou necessária a realização de uma interpolação espacial para a geração de valores para toda a área do carste (a fim de aproveitar o máximo de pontos possíveis).

Assim, utilizando o interpolador *Inverse Distance Weighting* (IDW), que gerou uma grade regular onde cada elemento da matriz *raster* está associado a um valor numérico interpolado a partir dos valores atribuídos para os poços. Essa grade foi recortada apenas para a área piloto e reclassificada nas três classes definidas: valores 1, 2 e 3. Como pode ser observada na Figura 8.2, a classe P2 foi classificada em 75% da área total, P1 em 23% e P3 em apenas 2%.

A Figura 8.2, que mostra o mapa com o resultado da classificação para este parâmetro.

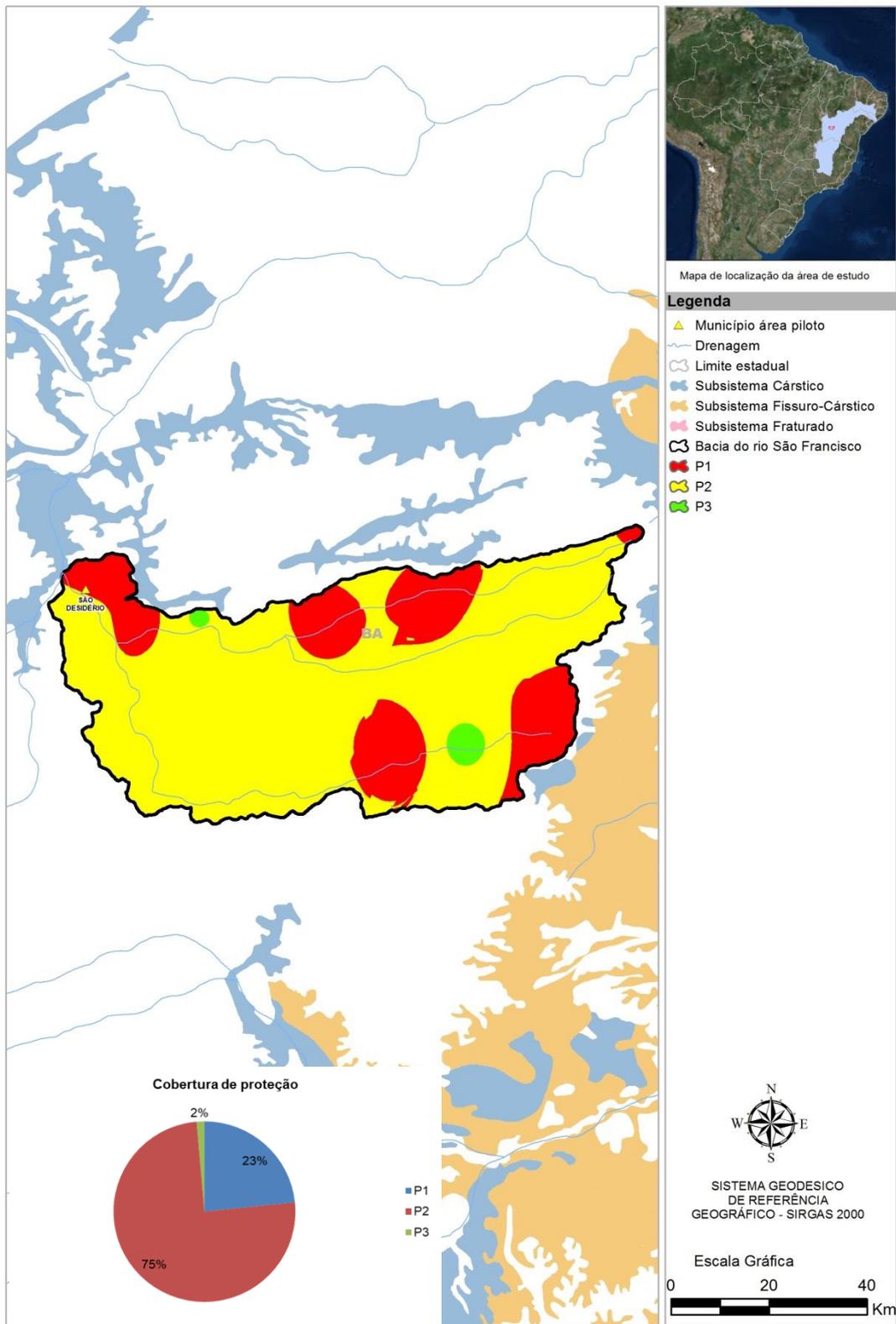


Figura 8.2: Parâmetro P - cobertura de proteção.

8.3 Classificação a partir do parâmetro: Condições de infiltração (I)

Para a classificação da área piloto a partir do parâmetro I foi utilizada a base geológica da CPRM. As informações contidas na tabela de atributos dessa base foram suficientes para a realização da classificação da área, analisando em qual classe (I1, I2, I3) se enquadraria cada unidade geológica.

Como pode ser observada na Figura 8.3, a classe I1 foi classificada em 96% da área total, a classe I2 em 4% e a classe I4 em menos de 1%. A Figura 8.3 mostra o mapa com o resultado da classificação para este parâmetro.

Pode-se observar as altas condições de infiltração apresentadas pelas rochas do Grupo Urucua somadas as estruturas de dissolução presentes nos calcários da Formação São Desidério (dolinas, sumidouros e cavernas).

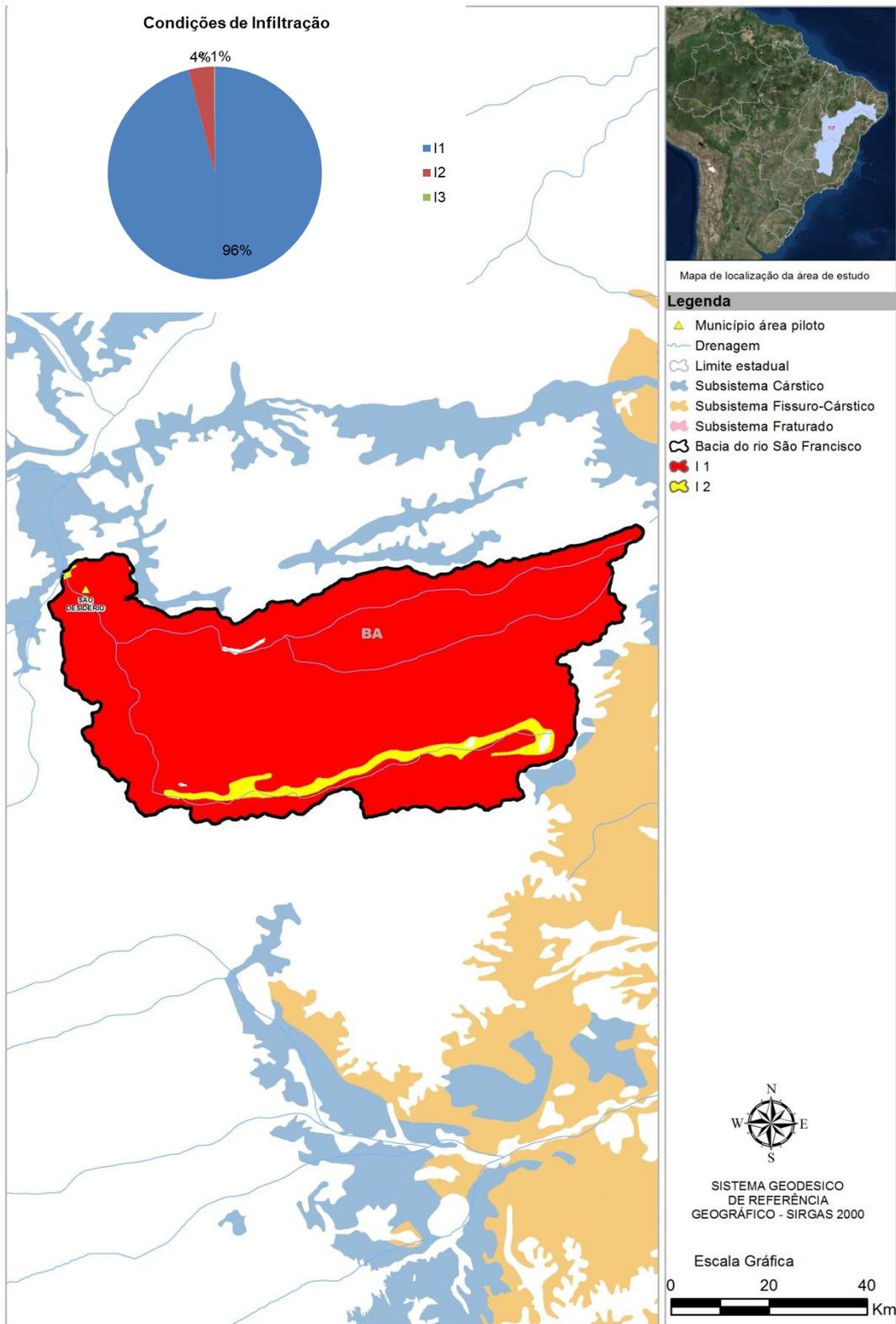


Figura 8.3: Parâmetro I - condições de infiltração.

8.4 Classificação a partir do parâmetro: Grau de desenvolvimento da rede cárstica (K)

Para a classificação da área piloto a partir do parâmetro K foi utilizada a base geológica. As informações contidas na tabela de atributos dessa base foram suficientes para a realização da classificação da área, analisando em qual classe (K1, K2, K3) se enquadraria cada unidade geológica.

Como pode ser observada na Figura 8.4, a classe K3 foi classificada em 95% da área total e a classe K1 em 5%. Mostra ainda o mapa com o resultado da classificação para este parâmetro.

Este mapa mostra que a área apresenta baixo desenvolvimento da rede cárstica devido ao recobrimento dos calcários do Grupo Bambuí pelas rochas de idade cretácea correspondentes ao Grupo Urucuia.

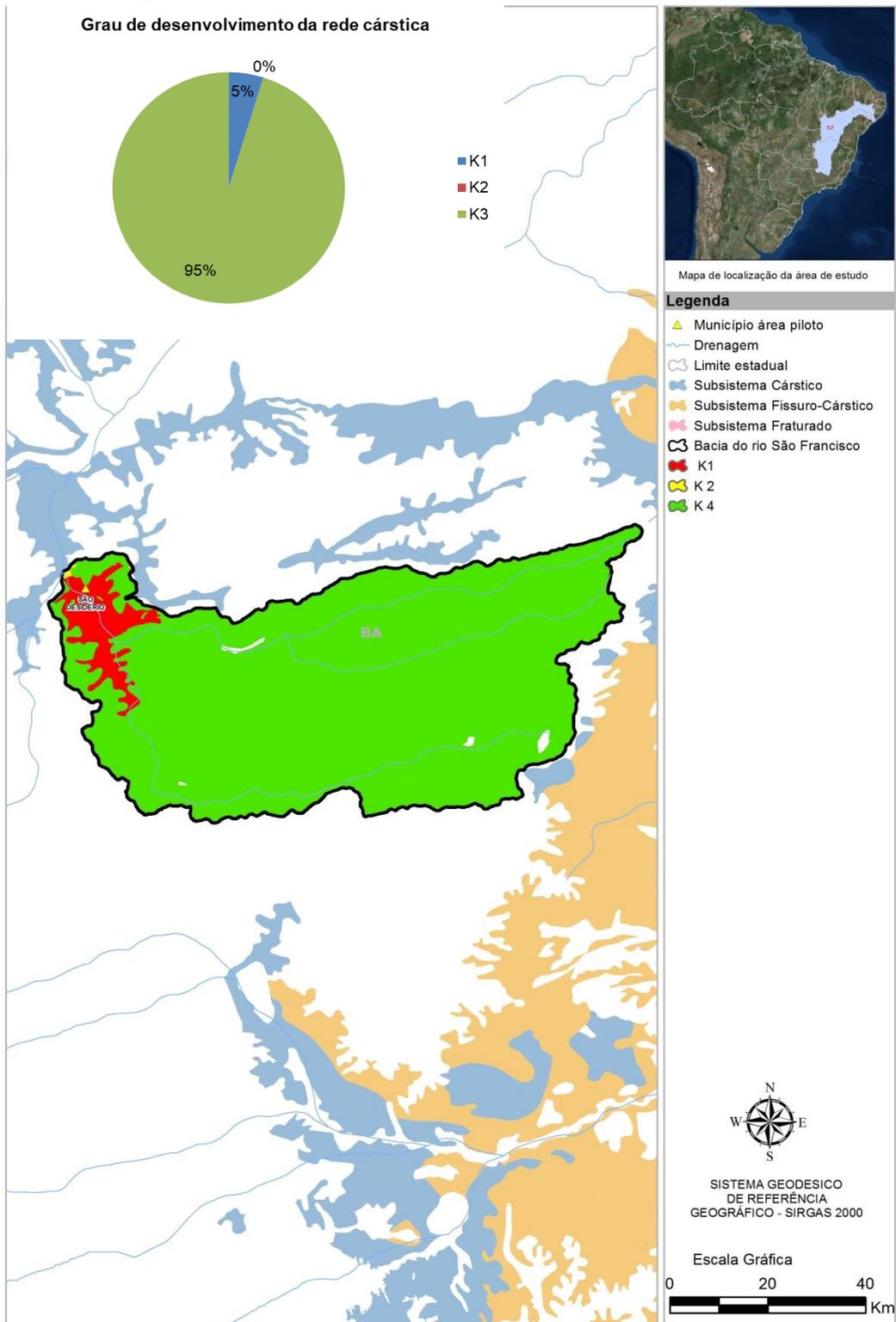


Figura 8.4: Parâmetro K - grau de desenvolvimento da rede cárstica.

8.5 Álgebra de mapas e cruzamento das classificações

Com a área piloto devidamente classificada para cada um dos parâmetros, foi possível realizar o cruzamento dessas informações a fim de gerar o mapa de vulnerabilidade da área adotada.

Respeitando a fórmula da metodologia, que aponta pesos diferentes para cada parâmetro (3 para o E, 1 para o P, 3 para o I e 2 para o K), foi realizada a soma através da técnica álgebra de mapas.

Após a geração do mapa, foi realizada uma reclassificação do mesmo com a finalidade de agrupar os valores obtidos para cada área específica dentro das classes estabelecidas na metodologia aplicada.

Como pode ser observada na Figura 8.5, a classe média foi classificada em 91% da área total, a alta foi classificada em 5% e a classe baixa em 4%.

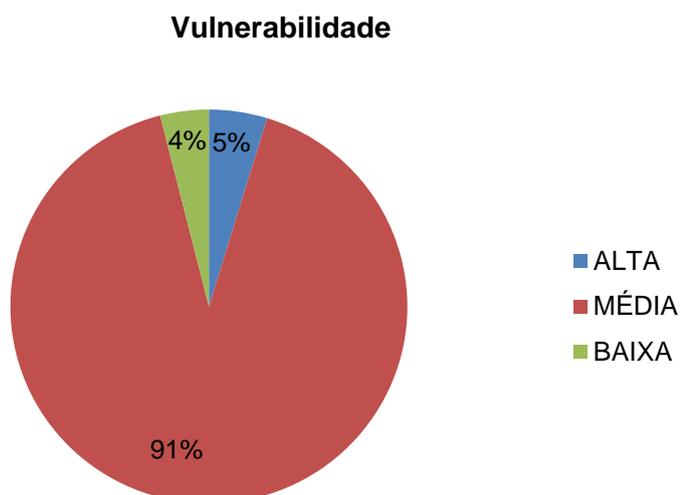


Figura 8.5: Classificação da vulnerabilidade.

Segue a Figura 8.6, que mostra então o mapa com o resultado da vulnerabilidade para a área piloto de São Desidério.

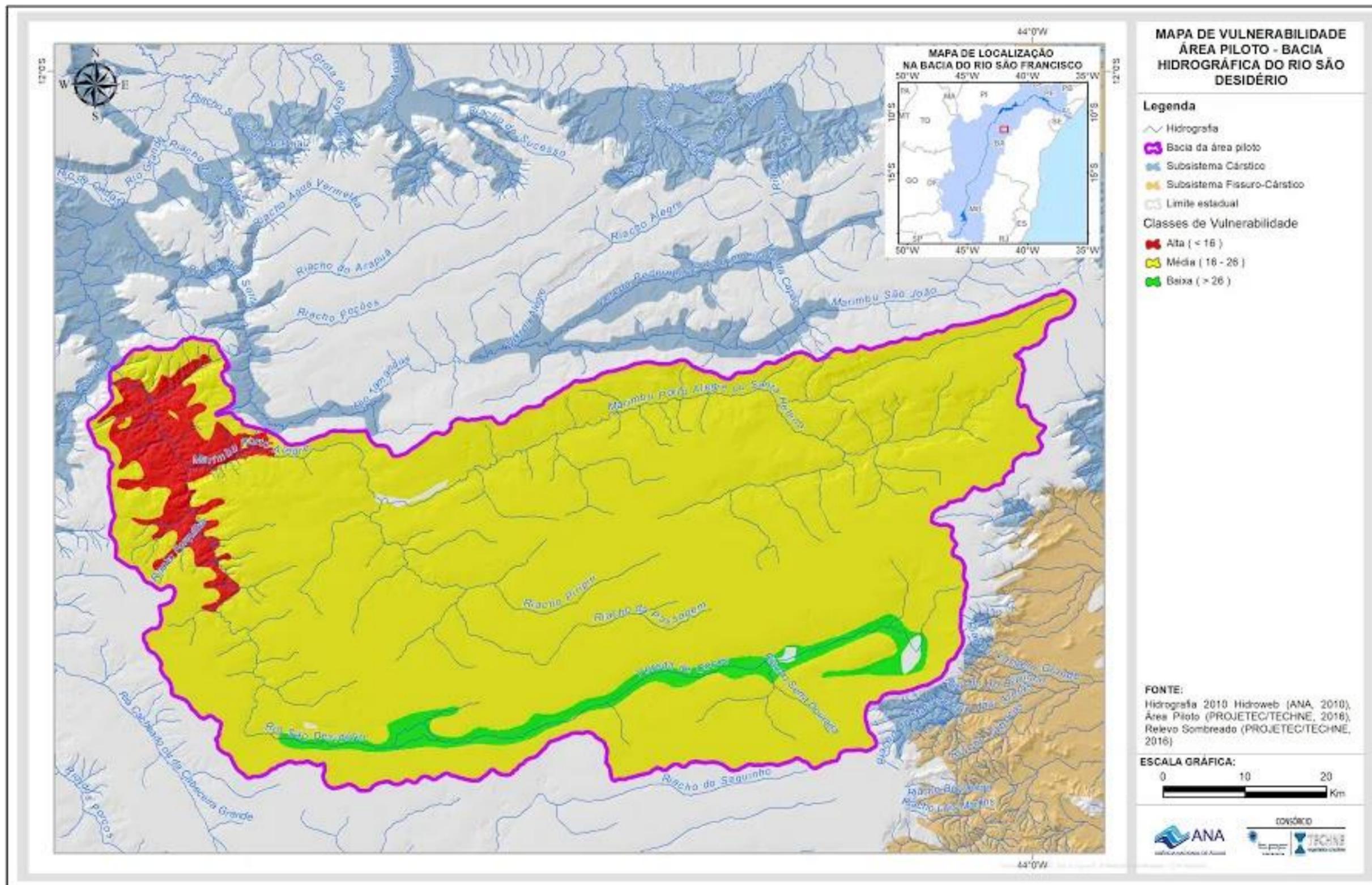


Figura 8.6: Mapa de Vulnerabilidade – EPIK Adaptado.

O sistema cárstico João Rodrigues apresenta um curso quase que em sua totalidade subterrâneo, mas em superfície é caracterizado pela ocorrência de dolinas, sumidouros e nascentes obedecendo ao padrão estrutural principal. Estas feições de dissolução servem de conexão direta com aquífero o que representa um risco bastante alto quanto à vulnerabilidade na área de exposição dos calcários da Formação São Desidério.

Devido à extensa área recoberta pelos arenitos do Grupo Urucuia ficando os calcários da Formação São Desidério restrito a 216 km², restrita a região do extremo NW correspondente à Bacia do Rio São Desidério, de um total de 4625 km², o que influenciou para que a vulnerabilidade tenha sido considerada média.

Os depósitos recentes apresentam espessuras baixas e recobrimo as rochas do Grupo Urucuia. Utilizando perfis litológico/construtivo disponibilizados pelo banco de dados da CPRM/SIAGAS, de cinco poços utilizados nas campanhas de coleta de água ao longo da Vereda de Cocos, as espessuras destes sedimentos recentes variam entre 2 a 10 metros sobre as rochas do Grupo Urucuia e no extremo SE, os sedimentos recentes estão assentados diretamente nos calcários do Grupo Bambuí. Assim, localmente foi atestada uma vulnerabilidade maior.

9. Perigo de contaminação

O perigo de contaminação de um aquífero foi definido, para o presente trabalho, como a interação entre:

- A carga contaminante a ser aplicada ao subsolo como resultado de atividades humanas;
- A vulnerabilidade do aquífero à contaminação, o que depende das características naturais dos estratos que o separam da superfície do solo.

Além disso, o risco de contaminação pode ser examinado quando se sobrepõem os resultados do cadastro de carga contaminante de subsolo (Figura 9.1) ao mapa de vulnerabilidade (Figura 8.6), ou seja, essa interação entre os dois mapas já citados resulta na Figura 9.2 – Mapa de vulnerabilidade EPIK adaptado e fontes potenciais de contaminação.

Como observado no capítulo anterior, a região considerada de alta vulnerabilidade é aquela próxima ao município de São Desidério, na parte noroeste da área piloto. Sendo assim, toda e qualquer ocorrência de fontes contaminantes de elevada intensidade é considerada de alto perigo de contaminação: Atividades capazes de gerar elevada carga contaminante se desenvolvem ou estão planejadas para se desenvolverem numa área de alta ou extrema vulnerabilidade do aquífero causam grande risco ao aquífero da região.

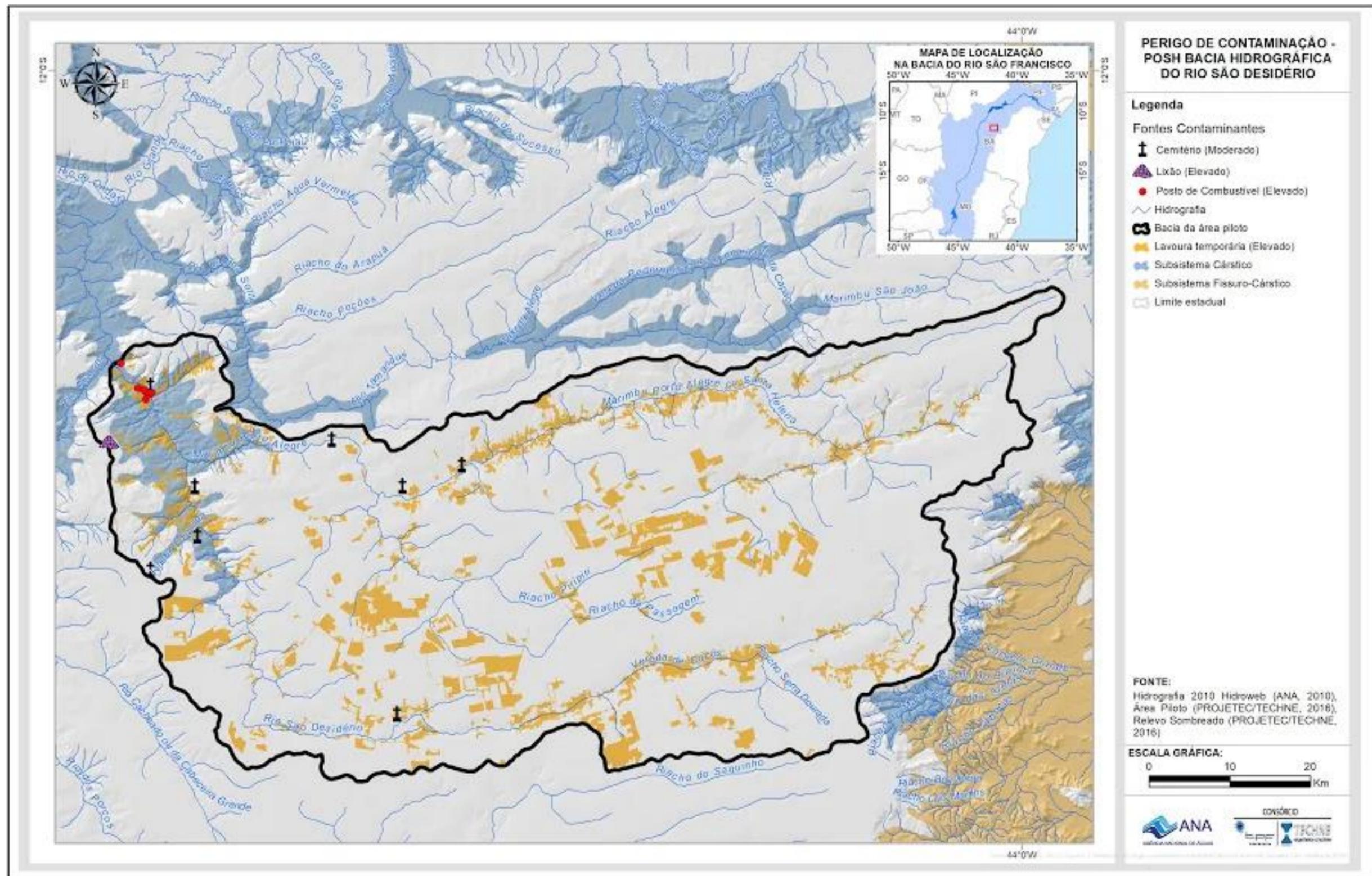


Figura 9.1: Distribuição das cargas contaminantes na área piloto da Bacia do Rio São Desidério com classificação POSH.

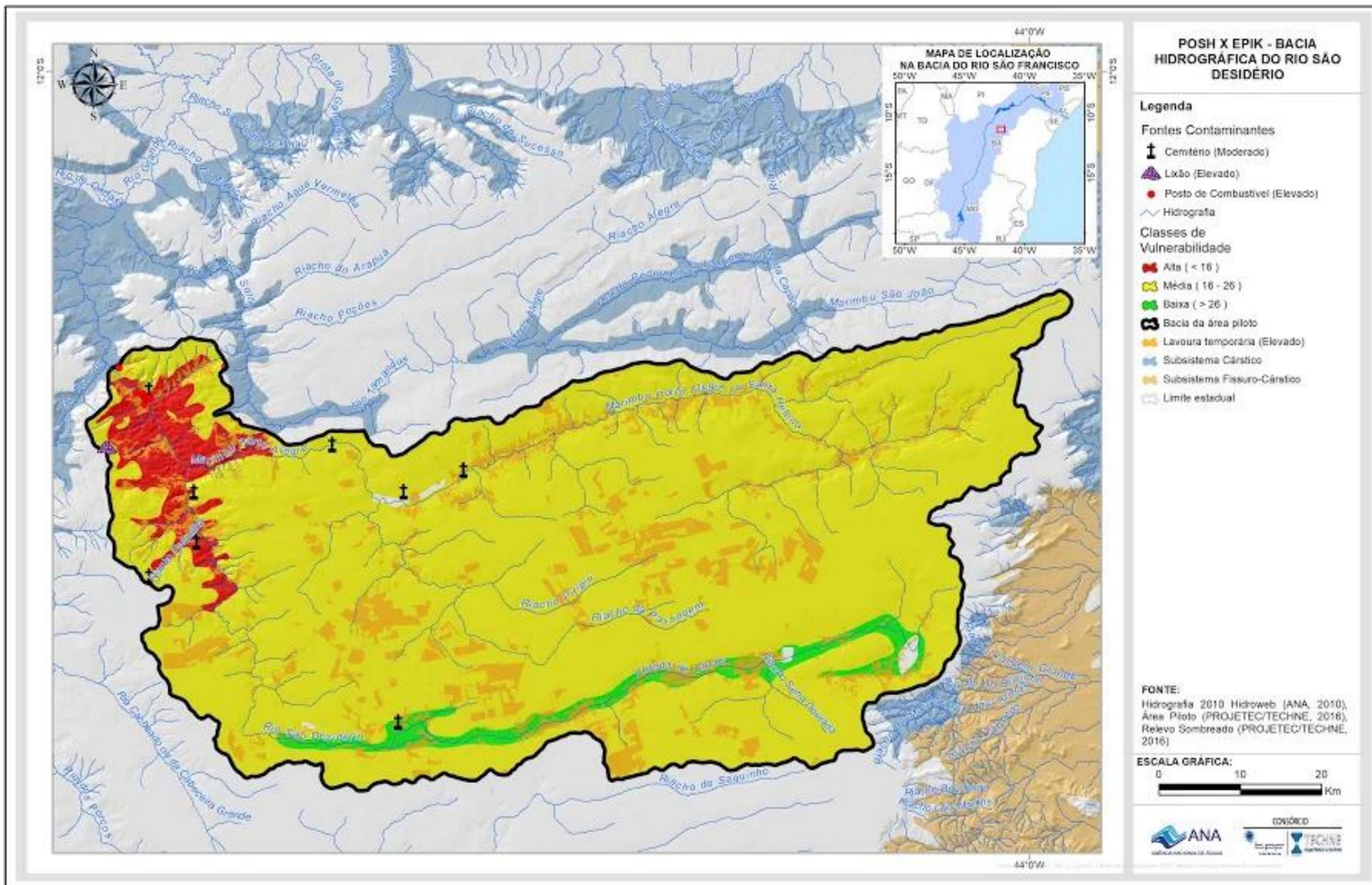


Figura 9.2: Mapa de vulnerabilidade EPIK adaptado e fontes potenciais de contaminação.

Tabela 9. 1 - Classificação do perigo à contaminação.

PERIGO À CONTAMINAÇÃO		EPIK adaptado		
		Baixa	Média	Alta
POSH	Reduzido	Muito baixo	Baixo	Baixo
	Moderado	Baixo	Moderado	Alto
	Elevado	Moderado	Alto	Extremo

Na Figura 9.1 pode-se observar a existência de fontes contaminantes distribuídas por toda a porção oeste do território em estudo. Ocorrendo aglomerações nas proximidades da cidade de São Desidério, onde encontramos um bom número de postos de gasolina, extensas lavouras temporárias e um lixão, todos de elevado potencial de contaminação e locados em pontos de alta vulnerabilidade (Figura 9.2).

Como dito anteriormente, essa é uma região de alto perigo de contaminação devido à ocorrência de dolinas, sumidouros e nascentes em vários lugares próximos a cidade São Desidério. Estas feições de dissolução servem de conexão direta com aquífero e quando expostas a fontes contaminantes de alta intensidade, como as já mencionadas, representam um risco bastante alto na área de exposição dos calcários da Formação São Desidério.

10 PROPOSTAS DE GESTÃO

A região de São Desidério, no extremo oeste da Bahia tem características peculiares devidas à ocorrência extensiva de sedimentos cretácicos do Grupo Urucuia capeando as rochas carbonatadas do Grupo Bambuí.

São propostas as seguintes ações de gestão:

- Uma análise das prováveis relações entre os aquíferos Urucuia e Bambuí leva a admitir que o segundo deve receber, a partir do primeiro, ínfimas recargas por filtração vertical direta. É admissível apenas que o substrato do Urucuia possa experimentar pequenas oscilações sazonais na parcela sob pressão do seu armazenamento. É mais plausível considerar que todo ou quase todo o volume sazonal dos recursos renováveis do Urucuia flua sub-horizontalmente para os exutórios naturais representados pelos inúmeros rios perenes que drenam os arenitos. Uma avaliação mais apurada dessa questão passa necessariamente pela **perfuração de, pelo menos, um poço multinível de pesquisa, a ser perfurado na Chapada de Baianópolis na localidade de Portão de Pedras**, nas proximidades do ponto de coordenadas UTM 564275 E e 8612089 N. Deve ser atravessada toda a extensão dos arenitos Urucuia. O poço deve penetrar no mínimo 30 metros nos calcários do Grupo Bambuí. Devem ser monitoradas separadamente as cargas hidráulicas dos aquíferos Urucuia e Bambuí.

- Propõe-se ainda a **perfuração de um poço na periferia norte da cidade de São Desidério, para monitoramento da evolução dos compostos nitrogenados** (nitrato, nitrito e amônia) e cloreto, por se tratar de um espaço urbano, e que certamente está susceptível aos processos decorrentes da falta de saneamento.
- Os resultados físico-químicos das duas campanhas de amostragem realizadas em poços da região mostraram que, em algumas amostras, os parâmetros ferro e manganês estavam acima dos padrões de qualidade para as águas de consumo humano. Diante disso, sugere-se a **construção, ou a seleção de poços existentes para acompanhar a variação semestral de ferro e manganês, principalmente**. A Tabela 10.1 e Figura 10.1 apresentam a localização desses poços que deverão ser utilizados para monitoramento da qualidade química na Bacia do Rio São Desidério.

Tabela 10.1 – Coordenadas dos poços de monitoramento da rede da Bacia do Rio São Desidério.

Poços de Monitoramento	Coordenadas X	Coordenadas Y
PM01	-44,9319	-12,3142
PM02	-44,6155	-12,6281
PM03	-44,5347	-12,3676
PM04	-44,3224	-12,5338
PM05	-44,1932	-12,6167

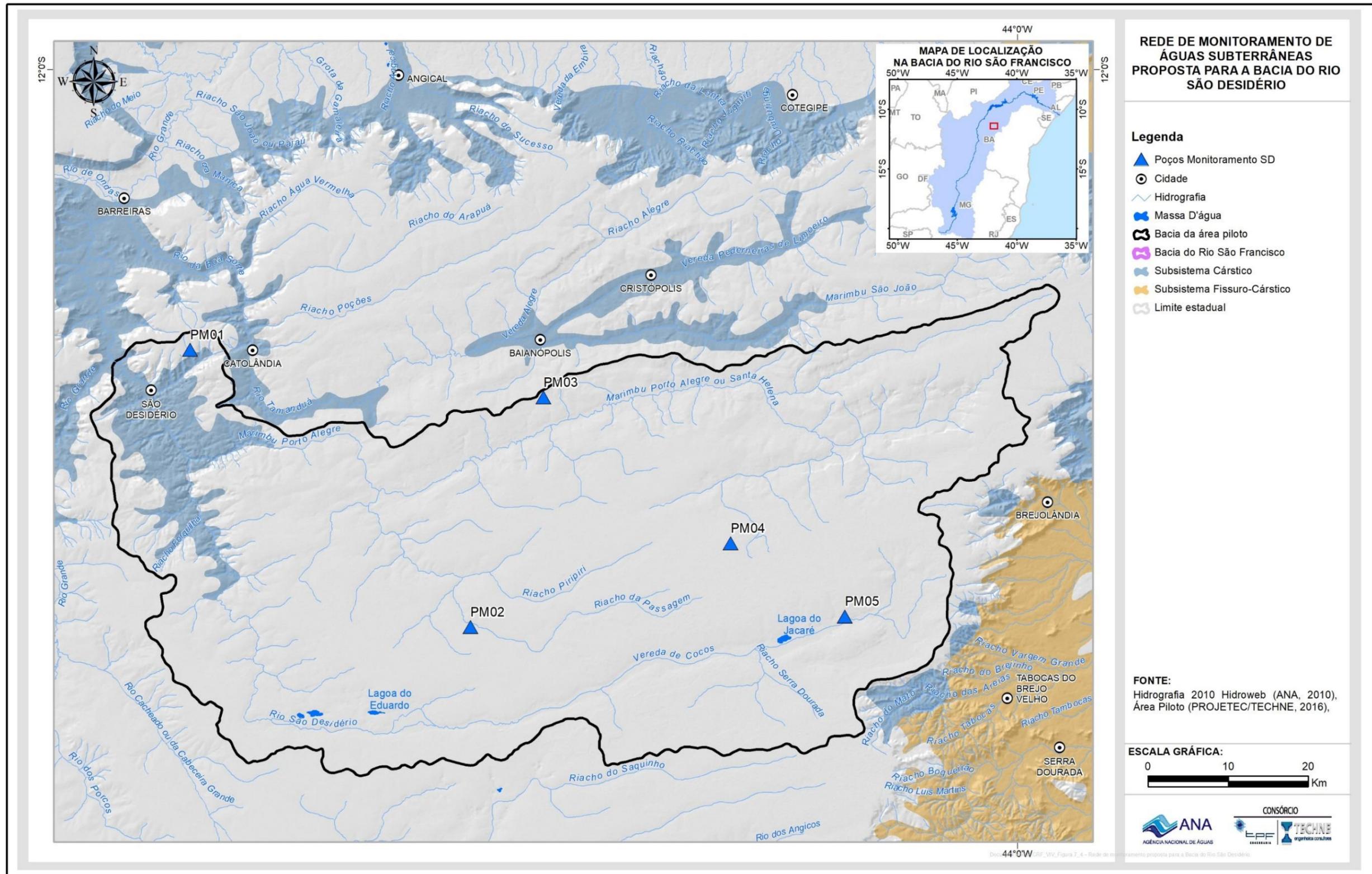


Figura 10.1 – Rede de monitoramento proposta para a Bacia do Rio São Desidério.

- Componentes do sistema cárstico, as cavernas se caracterizam por serem um ecossistema frágil e sensível, no qual qualquer alteração pode ameaçar sua estrutura. Destaca-se, na área piloto do rio São Desidério, a APA Estadual de São Desidério/BA, que inclui o Sistema Cárstico do Rio João Rodrigues, formado por uma sequência de cavidades com dimensões quilométricas (ex.: Buraco do Inferno da Lagoa do Cemitério com 4,8 km e a Garganta do Bacupari com 4,4 km). Face à sua importância científica e ambiental, o sistema pode ser considerado ameaçado devido a sua proximidade à zona urbana de São Desidério e a linhas de tráfego rodoviário. Recomenda-se ao órgão gestor da Bahia que se componha com o Instituto Chico Mendes no sentido de prover uma efetiva gestão ambiental do patrimônio espeleológico de São Desidério.

11. Conclusões

A área piloto da bacia do rio São Desidério localiza-se no médio curso do Rio São Francisco, no oeste da Bahia, na região geomorfológica designada de Chapadões Ocidentais e, nesta, na unidade geomorfológica chamada de Chapada de Baianópolis (Brasil/MMA, 2011) que corresponde a uma apófise da Chapada do Urucuia.

O município de São Desidério é reconhecido como o maior produtor de algodão do Brasil e de grãos do Norte e Nordeste, com destaque para culturas de soja, milho, algodão, café e arroz.

A área piloto da bacia do rio São Desidério corresponde à bacia hidrográfica desse rio, medindo aproximadamente 4.626 km². Destes, a quase totalidade, 4.215 km² (99%), é ocupada por arenitos do Grupo Urucuia. Os calcários do Grupo Bambuí, representados pela Formação São Desidério, afloram francamente apenas no baixo vale do rio São Desidério, já nas proximidades da cidade de São Desidério, ocupando uma área de 216 km² (1%).

Foram realizados estudos geofísicos na área piloto através da aplicação do método gravimétrico e do método de eletrorresistividade. O primeiro constou da realização de 45 estações gravimétricas. O segundo comportou a execução de 28 SEVs com linha AB de 4000 metros e um caminhamento elétrico de 40,2 km. Foi adotada, neste último, uma linha AB de 200 metros e um passo de 300 metros. A expectativa desse perfil, sobre sedimentos Urucuia, foi de detectar vestígios de movimentação tectônica recente, abrindo, assim, a perspectiva de se mapear indiretamente falhamentos do embasamento, a grandes profundidades. As SEVs sugerem espessuras do Grupo Bambuí superiores a 500 metros. O perfil realizado permitiu mapear falhamentos do substrato calcário, caracterizando uma estruturação em blocos alçados e rebaixados. A gravimetria, por sua vez, confirma a configuração do topo do Bambuí sob os arenitos Urucuia e sugere que o substrato dos calcários são rochas cristalinas do Arqueano cujo topo se situa a cerca de 1500 metros de profundidade.

Além da gravimetria e eletrorresistividade, foram feitas perfilagens óticas e geofísicas em 7 poços selecionados. Essas perfilagens sugerem que o Aquífero Bambuí tem um comportamento relativamente homogêneo, com uma

alta densidade de fraturas abertas, paralelas à direção preferencial de acamamento.

A análise dos dados de vazão e profundidade dos poços existentes sugere claramente que abaixo dos 120 metros dificilmente se encontram estruturas cársticas saturadas. Assim sendo, considera-se que o chamado Aquífero Bambuí tem 120 metros de espessura e que o mesmo se desenvolve na porção mais superior do Grupo Bambuí. As vazões, nesse aquífero, variam comumente entre 11,00 m³/h e 30,00 m³/h.

As recargas que ocorrem na área piloto são da ordem de 13,4% da pluviometria média. Essas recargas foram avaliadas a partir dos dados históricos de deflúvios (30 anos) registrados na estação fluviométrica de Barreiras.

As reservas e recursos hídricos subterrâneos avaliados são mostrados na Tabela 10.1 a seguir:

Tabela 10.1 – Síntese da avaliação dos recursos hídricos subterrâneos.

		Urucuia	Bambuí	Ambos
Reservas	Saturação (hm ³)	8.430,00	1.980,00	10.410,00
	Sob Pressão (hm ³)	--	--	--
Exploração	Instalada (hm ³ /ano)			34,000
Recarga (hm³/ano)				620,00
Reserva Explotável (hm³/ano)				124,00

Os números mostrados na tabela acima configuram uma situação cômoda que admite uma significativa intensificação da utilização das águas subterrâneas na área piloto do rio São Desidério.

Uma análise das prováveis relações entre os aquíferos Urucuia e Bambuí leva a admitir que o segundo deve receber, a partir do primeiro, ínfimas recargas por filtração vertical direta. É admissível apenas que o substrato do Urucuia possa experimentar pequenas oscilações sazonais na parcela sob pressão do seu armazenamento. É mais plausível, em última análise, considerar que todo ou quase todo o volume sazonal dos recursos renováveis do Urucuia flua sub-horizontalmente para os exutórios naturais representados pelos inúmeros rios perenes que drenam os arenitos. Uma avaliação mais apurada dessa questão passa necessariamente pela perfuração de, pelo menos, um poço multinível de pesquisa.

As águas dos aquíferos Urucuia e Bambuí são pouco mineralizadas, com sólidos totais dissolvidos inferiores a 800 mg/L e dureza baixa (Aquífero Urucuia) a alta (Aquífero Bambuí). São, no cômputo geral, classificadas como doces e aceitáveis para consumo humano e outros fins. Não foram constatadas contaminações de ordem antropogênica nessas águas. Como inconveniente para consumo humano citam-se apenas os teores de ferro e manganês que se apresentam superiores ao valor máximo permissível.

A vulnerabilidade dos calcários é média em quase toda a área piloto graças à cobertura provida pelo Urucuia. Apenas na região imediatamente a sul da cidade de São Desidério, onde os calcários afloram, a vulnerabilidade é alta.

De modo geral, o perigo de contaminação é baixo, ocorrendo apenas pontualmente onde existem lixões, cemitérios e postos de gasolina.

As demandas globais de água projetadas para o ano de 2030 são da ordem de 1350,0 hm³/ano. A produção de água subterrânea dos dois aquíferos, projetada para o mesmo ano de 2030, é de 60,0 hm³/ano. Esses resultados apontam para uma participação da água subterrânea de apenas 4,4%. Essa pequena participação pode ser explicada, em grande parte, por duas causas. Em primeiro lugar, a área piloto em foco é bem servida de águas superficiais, com o rio Grande, por exemplo, passando 6,0 km a NW de São Desidério. Em segundo lugar, não existe agricultura irrigada significativa, como ocorre, por exemplo, na área de Irecê.

12. Referências bibliográficas

- ALEMAYEHU, T.; LEIS, A.; EISENHAUER, A.; DIETZEL, M. 2011. Multi-Proxy Approach ($^2\text{H}/\text{H}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ and $^7\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) for the evolution of carbonate-rich groundwater in basalt dominated aquifer of Axum area, northern Ethiopia, *Chemie der Erde-Geochemistry*, in Press.
- ALLKMIN, F.F E MARTINS-NETO, M.A. 2001. A bacia intracratônica do São Francisco: arcabouço estrutural e cenários evolutivos. *In: PINTO, C.P. e MARTINS-NETO (Org.). Bacia do São Francisco: geologia e recursos minérios*. Belo Horizonte: SBG/MG, 2001. p. 09-30.
- ALVARENGA, C.J.S; BOTELHO, N.F; DARDENE, M.A.; LIMA, O.N.B.; MACHADO, M.A. 2006b. Folha Monte Alegre (SD. 23-V-C-III). Escala 1:100000. Convênio CPRM-UnB.
- ALVARENGA, C.J.S; BOTELHO, N.F; DARDENE, M.A.; LIMA, O.N.B.; MACHADO, M.A. 2006a. Folha Monte Alegre (SD. 23-V-C-III). Escala 1:100000. Convênio CPRM-UnB.
- AMORIM JUNIOR, V. 2003. Avaliação Hidrogeológica do aquífero Urucuia na bacia do rio das Fêmeas usando IP-Resistividade. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, Salvador, 82 p
- ANA – Agência Nacional das Águas. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: regiões hidrográficas brasileiras – Edição Especial. Brasília. 163 p. 2015.
- ANA – Agência Nacional de Águas, 2013. Termo de Referência da Avaliação Hidrogeológica dos Sistemas Aquíferos Cársticos e Físsuro-cársticos na Região Hidrográfica do São Francisco, com vistas à Gestão Integrada e Compartilhada de Recursos Hídricos. TDR 01.
- ANA – Agência Nacional de Águas. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. 2013.
- ANA, 2014. Estudos Hidrogeológicos e de Vulnerabilidade do Sistema Aquífero Urucuia e Proposição de Modelo de Gestão Integrada e Compartilhada - Nota Técnica: Investigação Geofísica na Região dos Sistemas Aquíferos Urucuia (SAU) e Areado (SAA). Consultora: Consórcio ENGECORPS/WALM.
- ANA, Agência Nacional de Águas. Hidrografia Hidroweb, 2010. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/baixar/mapa/Bacia4.zip>>. Acessado em: 09 de junho de 2014.
- ANA, 2017. Estudos Hidrogeológicos e de Vulnerabilidade do Sistema Aquífero Urucuia e Proposição de Modelo de Gestão Integrada e Compartilhada. Consultora: Consórcio ENGECORPS/WALM.
- ANDRADE, J.B.M. & CASCAES, O.S.F., 1990. Panorama Hidrogeológico do Grupo Bambuí no Oeste da Bahia. *In: (Ver Notas) Porto Alegre, ABAS*, p. 50-57.

- BANNER, J. L. Radiogenic isotopes: systematic and applications to earth surface processes and chemical stratigraphy. *Earth Science Reviews*. v. 65, p. 141. 2004.
- BANNER, J.L.; WASSERBURG, G.J.; DOBSON, P.F.; CARPENTER, A.B.; MOORE, C.H. 1989. Isotopic and trace element constraints on the origin and evolution of saline groundwaters from central Missouri, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Volume 53, Issue 2, February, Pages 383-398.
- BATISTELLA FILHO, F.; VITTI MORO, F.; CARVALHO, N. M. Relationships between physical, morphological, and physiological characteristics of seeds developed at different positions of the ear of two maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Seed Science and Technology*, Zurich, v. 30, p. 97-106, 2002.
- BONFIM, L.F.C. e GOMES, R.A.A.D. 2004. Aquífero Urucuaia – Geometria e Espessura: Ideias para discussão. Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 13, Cuiabá (MT).
- BOULTON, N.S. Analysis of data from non-equilibrium pumping tests allowing for delayed yield from storage. *Proceedings of Institute Civil Engineering*, v. 26, p. 469-482, 1963
- BOULTON, N.S. and STRELTSOVA, T.D. 1977. Unsteady flow to a pumped well in a fissured water-bearing formation. *J Hydrol*. 35, 257-269.
- BRASIL, 1973e, p.364, perfil RS-78.
- BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. Projeto RADAMBRASIL. Folha SC.19 Rio Branco: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1976. 464p. (Levantamento de recursos naturais, v.12).
- BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. Projeto RADAMBRASIL. Folha SC.19 Rio Branco: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1976. 464p. (Levantamento de recursos naturais, v.12).
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. Levantamento de reconhecimento dos solos do sul do Estado de Mato Grosso. Rio de Janeiro, 1971a. 839p. (DNPEA. Boletim Técnico, 18).
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul. Recife, 1973e. 431p. (DNPEA. Boletim Técnico, 30).
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Ceará. Recife, 1973h. 2v. (DNPEA. Boletim Técnico, 28; SUDENE. Série Pedologia, 16).
- BRASIL/MMA. Quarto Relatório Nacional para a Convenção Sobre Diversidade Biológica BRASIL. Brasília 2011.
- BRAUN O.P.G. 1970. Contribuição à geomorfologia do Brasil Central. *Revista Brasileira de Geografia*, 32:3-39. Citado em: Sgarbi G.N.C., Sgarbi P.B. de

- A., Campos J.E.G., Dardenne M.A., Penha U.C. 2001. Bacia Sanfranciscana: o registro fanerozoico da bacia do São Francisco. In: Pinto C.P. e Martins-Neto M.A. (eds) Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais. Belo Horizonte, SBG/MG, p. 93-138.
- CAMPOS J.E.G & DARDENNE M.A. 1997a. Origem e Evolução Tectônica da Bacia Sanfranciscana. Rev. Bras. Geoc., 27(3):283-294.
- CAMPOS J.E.G & DARDENNE M.A. 1997b. Estratigrafia e Sedimentação da Bacia Sanfranciscana: Uma Revisão. Rev. Bras. Geoc., 27(3):269-282.
- CASTRO P.T.A.; DARDENNE M.A. 2000. O conglomerado Samburá (Grupo Bambuí, neoproterozoico) e rochas sedimentares associadas no flanco leste da serra da Pimenta, SW de Minas Gerais: um sistema de Fan-delta. Geonomos, 3 (2): 35-41.
- CASTRO P.T.A.; DARDENNE M.A. 2000. The sedimentology, stratigraphy and tectonic context of the São Francisco Supergroup at the southern boundary of the São Francisco cráton, Brazil. Revista Brasileira de Geociências 30, 345-437.
- CAXITO F.A. 2010. Evolução tectônica da Faixa Rio Preto, Noroeste da Bahia / Sul do Piauí. Dissertação de Mestrado, IGC-UFMG, Belo Horizonte, 151 p.
- CBHSF 2004. Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco.
- CHAPMAN, T. G. 1991. Comment on evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses, by RJ Nathan and TA McMahon. Water Resources Research, v. 27, n. 7, p. 1783-1784.
- CHIAVEGATTO J. R. S.; GOMES, N. S.; DARDENNE, M. A.; DELGADO, C. E. R. 2003. Estratigrafia do Grupo Bambuí nas regiões do Norte de Minas Gerais: uma nova unidade estratigráfica em um contexto de inversão de bacia. In: SBG, Simpósio de Geologia de Minas Gerais, 12, Ouro Preto. Anais. Ouro Preto: SBG, 2003. p. 24.
- CHILDS, C. W. Field tests for ferrous iron and ferric-organic complexes (on exchange sites or in water soluble forms) in soils. Australian Journal of Soil Research, Melbourne, v. 19, p. 175-180, 1981.
- COELHO, D. C. Relatório referente ao meio biótico resultado do diagnóstico de cavernas com potencial turístico na região da bacia do rio São Francisco, como alternativa econômica à exploração minerária. Brasília: CECAV, 2006. (Produto 07, contrato nº2006/000348). Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco – CBHSF - Contrato de Gestão nº 014/2010 - Ato Convocatório nº 015/2014.
- COLLISCHONN, W.; TASSI, R. Introduzindo Hidrologia. Rio Grande do Sul. UFRGS, 2008.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. RESOLUÇÃO Nº 28, DE 7 DE DEZEMBRO DE 1994. Art. 1º.
- CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL e CBPM – COMPANHIA BAIANA DE PESQUISA MINERAL. Mapa geológico do estado da Bahia. 2003. Escala 1:1.000.000. Carta geológica do Brasil ao Milionésimo.

- CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Universidade Federal da Bahia – UFBA, 2007. Hidrogeologia da Bacia Sedimentar do Urucuia: Bacias Hidrográficas dos Rios Arrojado e Formoso. Rede Cooperativa de Pesquisa sobre o COMPORTAMENTO DAS BACIAS SEDIMENTARES DA REGIÃO SEMIÁRIDA DO NORDESTE BRASILEIRO, META C.
- CPRM/COMIG, 2003. Mapa geológico do estado de Minas gerais, 1:1.000.000.
- DNPM – MME – 1971. Mapa Geológico do Brasil – Escala 1:5.000.000.
- DOMENICO, P. A., SCHWARTZ, F. W. 1998. Physical and Chemical Hydrogeology (2nd ed.): John Wiley and Sons, Inc, New York, 506 p.
- ECKHARDT K. 2005. How to construct recursive digital filters for base flow separation. *Hydrological Process*, 19: 507-515.
- EGYDIO-SILVA M. 1987. O sistema de dobramentos Rio Preto e suas relações com o Cráton São Francisco. Tese de doutorado, IGC-USP, São Paulo, 95 p.
- EGYDIO-SILVA M., KARMANN I. & TROMPETTE R.R. 1989. Litoestratigrafia do Supergrupo Espinhaço e Grupo Bambuí no noroeste do estado da Bahia. *Revista Brasileira de Geociências*, 19(2): 101-112.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. Ed. Brasília, DF: Embrapa Produção de informação, 2006.
- EMBRAPA. Centro de Pesquisas Pedológicas. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado de Alagoas. Recife, 1975a. 532 p. (EMBRAPA-CPP. Boletim Técnico, 35; SUDENE-DRN. Série Recursos de Solos, 5).
- EMBRAPA. Centro de Pesquisas Pedológicas. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado de Sergipe. Recife, 1975b. 506 p. (EMBRAPA-CPP. Boletim Técnico, 36; SUDENE-DRN. Série Recursos de Solos, 6).
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Levantamento semidetalhado e aptidão agrícola dos solos do município do Rio de Janeiro, RJ. Rio de Janeiro, 1980h. 389p. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim Técnico, 66).
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos da margem direita do rio São Francisco, Estado da Bahia. Recife, 1977/1979. 2 v. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim Técnico, 52; SUDENE-DRN. Série Recursos de Solos, 10).
- EMBRAPA-SNLCS, 1979^a. Reunião de Classificação e Interpretação de Aptidão Agrícola dos Solos. Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 276p.
- FERNANDES, P.E.C.A. (1982). Geologia. Em: Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. Folha SD. 23 Brasília. Rio de Janeiro.

- FETTER, C. W. 1994. Applied Hydrogeology. 3ª ed. Oshokosh: University of Winsconsin. 389p.
- FREEZE, R. A., CHERRY, J. A., 1979. Groundwater: Upper Saddle River, NJ, PrenticeHall, Inc., 604 p.
- FROST, C.D.; TONER, T.N. 2004. Strontium isotopic identification of water-rock interaction and ground water mixing. Ground Water, 42 (3): 418-432.
- GALVÃO, A.L.O.; FERREIRA, C.F.; ROSSATO, R.M.; REINO, J.C.R.; JANSEN, D.C.; VILELA, C.V. 2012. Breve descrição do patrimônio espeleológico do município de São Desidério – BA. Revista Brasileira de Espeleologia. RBEsp. Volume 2(1).
- GASPAR, M.T.P., 2006. Sistema Aquífero Urucuia: Caracterização regional e propostas de gestão. Tese de doutorado. Universidade de Brasília. Instituto de Geociências. Brasília. 158 p.
- GASPAR, M.T.P. & CAMPOS, J.E.G., 2007. O Sistema Aquífero Urucuia. Revista Brasileira de Geociências, 37(4 - suplemento): 216-226, dezembro de 2007
- GASPAR, M.T.P.; CAMPOS, J.E.G.; MORAES, R.A.V. Determinação das espessuras do Sistema Aquífero Urucuia a partir de estudo geofísico. Revista Brasileira de Geociências, 42 (Supl 1): 154-166. 2012.
- GAT. J. R. 1971. Comments on stable isotope method in regional groundwater investigation. Water Resource Research, (7): 980-993.
- GODINHO, L.P.S.; PEREIRA, R.G.F.A. 2013. Caracterização geomorfológica preliminar do sistema cárstico do Rio João Rodrigues, São Desidério – BA. In: RASTEIRO, M.A.; MORATO, L. (orgs.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 32, 2013. Barreiras. Anais... Campinas: SBE, 2013. p. 341-351. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais32cbe/32cbe_341-351.pdf>. Acesso em: data do acesso.
- GOSSELIN, D.C.; HARVEY, F.E; FROST, C.; STOTLER, R; MACFARLANE, P.A. 2004. Strontium isotope geochemistry of groundwater in the central part of Dakota (Great Plains) aquifer, USA. Applied Geochemistry, 19:359-377.
- HIDROVIA - HIDROGEOLOGIA E MEIO AMBIENTE. 2009. Estudos espeleológicos-ambientais. Licenciamento da BR-135/BA. (Sub-trecho São Desidério - Correntina). Relatório Técnico Final.
- HIDROVIA Hidrogeologia e Meio Ambiente Ltda. 2012. Recursos Hídricos Subterrâneos - Subsídios para Delimitação das Zonas de Contribuição Hídrica para o Sistema Cárstico do Rio João Rodrigues – SCRJR. São Desidério/BA. Elaborado para o Instituto EKOS.
- HORTON, R.E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. Geological Society of America Bulletin, v. 56. Boulder.

- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Manual Técnico da vegetação brasileira. Rio de Janeiro 1992.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malha Municipal Digital 2007. Brasil, 2007. Escala: 1:2.500.000. Disponível em: <ftp://geofpt.ibge.gov.br/malhas_digitais/municipio_2007/escala_2500mil/proj_geografica_sirgas2000/brasil/55mu2500gsr.zip>. Acesso em: 19 ago. 2014.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapa Temático - Mapa de Vegetação do Brasil. Brasil, 2004. Escala: 1:5.000.000. Disponível em: <ftp://geofpt.ibge.gov.br/mapas_tematicos/mapas_murais/shapes/vegetacao/>. Acesso em: 19 ago. 2014.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Relevo do Brasil. Rio de Janeiro, 2006. Escala: 1:5.000.000. Disponível em: <ftp://geofpt.ibge.gov.br/mapas_tematicos/mapas_murais/shapes/relevo/>. Acesso em: 19 ago. 2014.
- Iglesias M., 2007. Estratigrafia e tectônica do Grupo Bambuí no norte do Estado de Minas Gerais. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, UFMG, Belo Horizonte, 121p.
- IGLESIAS, M; UHLEIN, A., 2009. Estratigrafia do Grupo Bambuí e coberturas fanerozoicas no vale do Rio São Francisco, norte de Minas Gerais. Revista Brasileira de Geociências. V.39. nº2. São Paulo.
- INCRA, Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Área de reserva Quilombola, 2014. Disponível em: <<http://acervofundiario.incra.gov.br/i3geo/interface/incra.html?cml8sd47om4r1e2c3i6a52rgb4>>. Acessado em: 18 de Ago. de 2014.
- INCRA, Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Assentamentos Rurais do INCRA, 2014. Disponível em: <<http://acervofundiario.incra.gov.br/i3geo/interface/incra.html?cml8sd47om4r1e2c3i6a52rgb4>>. Acessado em: 09 jun. de 2014.
- KENDALL, C.; MCDONNELL, J.J (Eds.). 1998. Isotope Trace in Catchment Hydrology, Elsevier Science, Amsterdam, 839p.
- KING, Lester Charles. A Geomorfologia do Brasil Oriental. Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro. v. 18, n. 2, p. 147-266. 1956.
- KUCHENBECKER, M.; ATMAN, D.; COSTA, R.D. 2013A. Mapa geológico 1:100.000 da Folha Barreiro do Jaíba. CODEMIG. Disponível em: www.portaldageologia.com.br/mapa.html
- LIMA, E.A. & LEITE, J.F., 1978. Projeto estudo global dos recursos minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba. Integração geológica/metalogenética. Relatório Interno DNPM/CPRM, Recife, 437 pp.
- LIMA, O.A.L., 2007. Levantamentos Geofísicos no Aquífero Urucuia: Sub-bacias dos Rios Arrojado e Formoso, Bahia. Rede Cooperativa: Comportamento de Bacias Sedimentares na Região Semiárida do Nordeste Brasileiro. UFBA, Salvador, Agosto/2007.

- Lima, O.N.B., 2011. Estratigrafia Isotópica e Evolução Sedimentar do Grupo Bambuí na Borda Ocidental do Cráton do São Francisco: Implicação Tectônica e Paleoambiental. Tese de doutoramento apresentada à Universidade Federal de Brasília.
- LOBO, H.A.S.; PEREIRA, R.G.F.A.; GODINHO, L.P.S.; BICHUETTE, M.E.; AMARO, G.H.P.; KARMANN, I., 2013. Carste da Região de São Desidério (Bahia, Brasil): Proteção Ambiental e Gestão Territorial. In: Anais do 32º Congresso Brasileiro de Espeleologia. Sociedade Brasileira de Espeleologia, Barreiras-BA.
- LUZ, J.A.G.; COSTA, A.T.; CAMPOS, J.C.V., 2009. Avaliação sobre as Condições Atuais de Exploração dos Poços e Dinâmica de Fluxo do Aquífero Urucuia. ICADS-UFBA / Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (IICA).
- LYNE, V.; HOLLICK, M. Stochastic time-variable rainfall-runoff modelling. Institute of engineers Australia National Conference, pag. 89-93, 1979.
- MALDANER, C.H. 2010. Recarga de aquífero em área urbana: estudo de caso de Urânia (SP). Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- MARTINS, V. 2008. Aplicação de Isótopos de Pb, Sr, H e O como traçadores de recarga e da contaminação de aquíferos metropolitanos: um exemplo da Bacia do Alto Tietê. São Paulo, 220p. Tese doutorado - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- MCNUTT, R.H. 2000. Strontium isotopes. In: Cook, P.G., Herczeg, A.L. (Eds.). Environmental traces in Subsurface Hydrology. Kluwer Academic Publishers, p. 234-260.
- MMA - Ministério do Meio Ambiente. Regiões Hidrográficas. Brasil, 2003. Escala: 1:100.000. Disponível em: <http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/en/resources.get?id=92&fname=GEOFT_REGIAO_HIDROGRAFICA_SIRGAS.zip&access=private>. Acesso em: 20 ago. 2014.
- MMA, Ministério do Meio Ambiente. Unidades de Conservação (UC) do Brasil, 2014. Disponível em: http://mapas.mma.gov.br/ms_tmp/ucstodas.dbf . Acesso em: j20 de Ago. de 2014.
- PEREIRA, G. V. Relatório técnico de vistoria do Patrimônio Espeleológico na área de influência da Mineração São Jorge Ltda. São Desidério – BA. Brasília: CECAV, 2006. 6p. (b).
- PIPER, A.M. 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. Transactions American Geophysical Union 25: 914 – 923.
- RAMOS, A.M. e SILVA, F.F. 2002. Contribuição dos mananciais Superficiais do Estado da Bahia para o Rio São Francisco. In: ABRH, Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 6, Maceió, CD-ROM.
- RUBBIOLI, E. L. A garganta do Bacupari e o Sistema do João Rodrigues; São Desidério – Bahia. O Carste. v.16, n.1, p.13-17, 2004. (a).

- RUBBIOLI, E. L. O Buraco da Sopradeira. O Carste. v.16, n.1, p.27-29, 2004.
(b)
- RUBBIOLI, E. L. São Desidério a fronteira final. O Carste. v.9, n.3, p.46-56, 1997.
- SANTOS, L.L.; LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; BERNINI, T.A.; ANJOS, L.H.C.; MORAES, A.G.L. & WADT, P.G.S. Distribuição das substâncias húmicas de horizontes superficiais em topossequências sob floresta no Acre. In: FERTBIO, Londrina, 2008. Anais. Londrina, 2008. CD-ROM
- SGARBI G.N.C., SGARBI P.B. DE A., CAMPOS J.E.G., DARDENNE M.A., PENHA U.C. 2001. Bacia Sanfranciscana: o registro fanerozoico da bacia do São Francisco. In: Pinto C.P. e Martins-Neto M.A. (Eds) Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais. Belo Horizonte, SBG/MG, p. 93-138.
- Silva, A.M.; Silva, M.L.N.; Curi, N.; Avanzi, J.C.; Ferreira, M.M., 2009. Erosividade da Chuva e Erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na Região de Lavras, Sul De Minas Gerais. Seção VI - Manejo e Conservação do Solo e da Água. R. Bras. Ci. Solo, 33:1811-1820.
- Silva, M.C., Costa, C.D.O., Cappi, N., Gentil, R.H.P. Morfometria da microbacia do Córrego Fundo no Município de Aquidauana, MS. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 2, 2009. Anais... Corumbá-MS, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2009, p. 290-295. CD-ROOM. On-line. Disponível em: Acesso em: 11 out. 2014
- SILVERMAN, B.W. 1986. Density Estimation for Statistics and Data Analysis. New York: Chapman and Hall.
- STIFF, H.A. Jr. 1951. The interpretation of chemical water analysis by means of patterns. Journal of Petroleum Technology 3 (10):15 - 17.
- UHLEIN, A., BAPTISTA, M.C., SEER, H.J., CAXITO, F.A., UHLEIN, G.J., DARDENNE, M.A. 2011. A Formação Lagoa Formosa, Grupo Bambuí (MG): Sistema Depositional de Leque Submarino em Bacia de Ante-País. Geonomos 19(2), 163-172.
- UHLEIN, A.; CAXITO, F.A.; SANGLARD, J.C.D.; UHLEIN, G.J.; SUCKAU, G.L. 2011. Estratigrafia das faixas neoproterozoicas da porção norte do Cráton do São Francisco. Geonomos, 19(2), 8:31.
- USGS – United States Geological Survey. Imagens de Satélite Landsat 8: Landsat 8 Operational Land Imager (OLI). United States, 2014. Resolução espacial: 30 metros. Escala aproximada: 1:100.000. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 22 jul. 2014.



**MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE**

**GOVERNO
FEDERAL**

