



AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

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



## **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 I - DIAGNÓSTICO DOS MEIOS FÍSICO E SOCIOECONÔMICO***

© 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. Jesuíno	

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 São Francisco para a Gestão de Recursos Hídricos. Relatório Final – VOLUME I - DIAGNÓSTICO DOS MEIOS FÍSICO E SOCIOECONÔMICO / Agência Nacional de Águas; Elaboração e Execução: Consórcio TPF - Techne. - Brasília: ANA, 2018.  
264p.

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 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 km<sup>2</sup>. 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

Tomo 1 – Área Piloto do rio São Desidério/BA

Tomo 2 - Área Piloto do rio do Vieira/MG

Tomo 3 - Área Piloto do riacho do Juá/BA

- Volume IV – Gestão Integrada de Recursos Hídricos

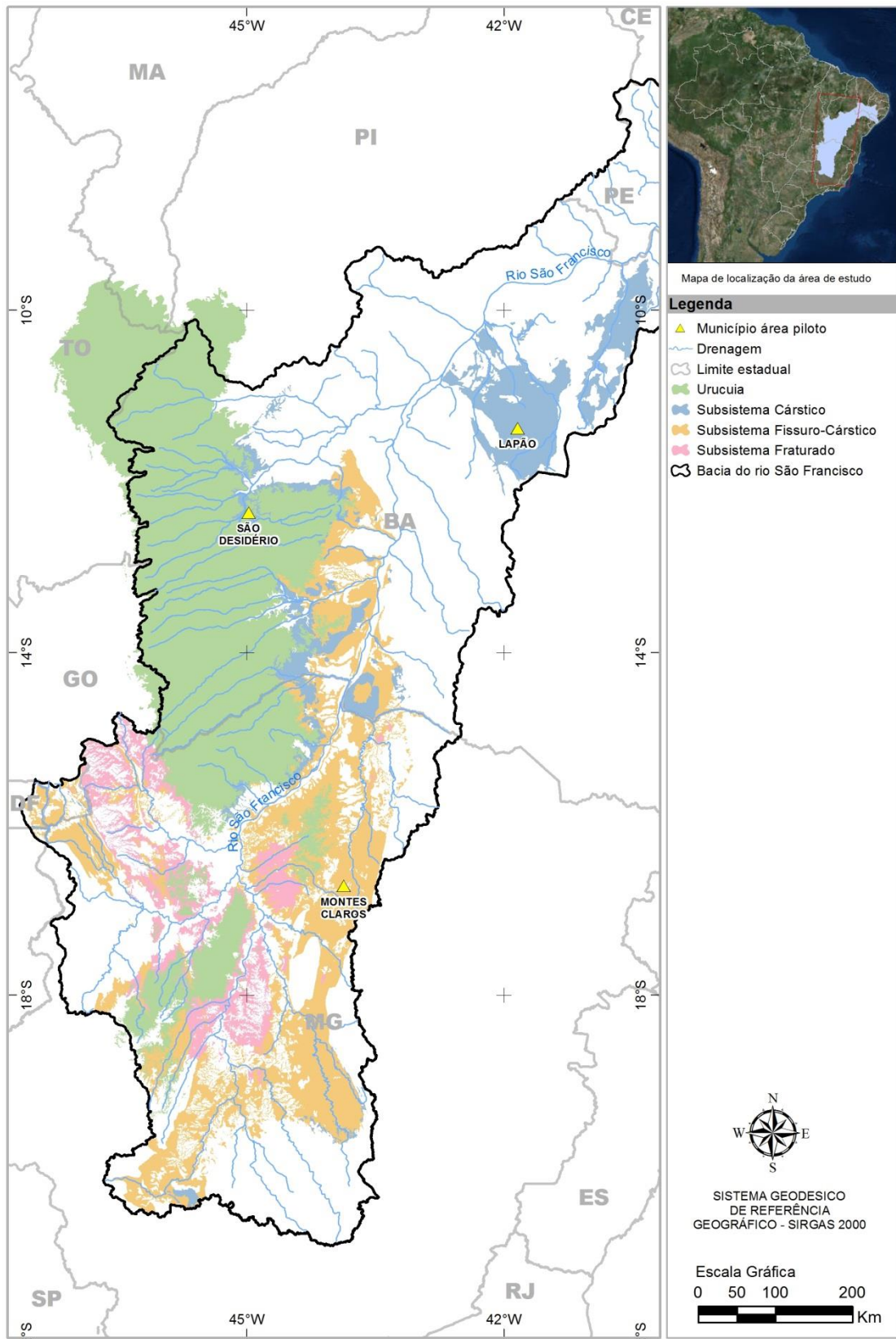
Tomo 1 – Balanço Hídrico

Tomo 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 .....	18
2. Localização e Bases Cartográficas .....	19
2.1 Mapas Índices dos Mapeamentos Geológicos .....	21
2.2 Mapas Hidrogeológicos .....	22
2.3 Mapa de Uso e Ocupação do Solo .....	22
2.4 Modelo digital do Terreno - MDT .....	24
2.5 Recorte das Cartas na Escala 1:250.000 .....	28
2.6 Recorte das Cartas na Escala 1:50.000 .....	30
2.7 Recorte das Cartas na Escala 1:100.000 .....	32
MEIO FÍSICO .....	33
3 Rede de Drenagem.....	33
3.1 Densidade de drenagem.....	39
4 Estudos Climatológicos.....	43
4.1 Postos utilizados .....	43
4.2 Parâmetros climatológicos .....	43
4.2.1 Temperatura .....	49
4.2.2 Pressão atmosférica.....	53
4.2.3 Insolação .....	55
4.2.4 Nebulosidade.....	58
4.2.5 Umidade relativa do ar .....	60
4.2.6 Precipitação.....	62
4.2.7 Intensidade do Vento.....	66
4.2.8 Evaporação .....	68
4.3 Dados hidrológicos .....	70
4.4 Dados fluviométricos.....	71
4.5 Dados pluviométricos.....	80
4.6 Integração de dados hidrológicos .....	80
4.7 Balanço Hídrico .....	88
4.7.1 Resultados do balanço hídrico .....	90
5 Geologia .....	102

5.1 Geologia Regional.....	102
5.1.1 Cráton do São Francisco .....	102
5.1.2 O Supergrupo Espinhaço .....	106
5.1.2.1 Estratigrafia do Supergrupo Espinhaço .....	109
5.1.2.1.1 Domínio da Chapada Diamantina.....	109
5.1.2.1.2 Domínio do Espinhaço Setentrional.....	116
5.1.2.1.3 Domínio do Espinhaço Meridional – Setor Sul .....	119
5.1.2.1.4 Domínio do Espinhaço Meridional – Setor Norte.....	122
5.1.3 O Supergrupo São Francisco .....	125
5.1.3.1 Estratigrafia do Supergrupo São Francisco.....	125
5.1.3.1.1 Faixa de dobramentos Araçuaí e Corredor de Paramirim .....	125
5.1.3.1.2 Chapada Diamantina Oriental.....	131
5.1.3.1.3 Região Oeste da Bahia e Oeste de Minas Gerais .....	142
5.2 Geologia Regional: Mapeamento.....	164
5.2.1 Mapeamento geológico .....	164
5.2.2 Mapa de estruturas de carstificação .....	164
5.2.3 Feições cársticas negativas (dolinas e uvalas).....	168
5.2.4 Domínios cársticos residuais (feições positivas) .....	168
5.2.5 Mapa de lineamentos estruturais.....	170
6 Geomorfologia regional.....	172
6.1 Aspectos Gerais.....	172
6.2 Comportamento geomorfológico por Região Hidrográfica .....	172
6.3 Caracterização das Unidades Geomorfológicas .....	174
6.3.1 Depósitos sedimentares Quaternários .....	175
6.3.2 Bacias e coberturas sedimentares Fanerozoicas .....	177
6.3.3 Cinturões móveis Neoproterozoicos .....	180
6.3.4 Cratons Neoproterozoicos .....	182
7 Unidades de solos .....	191
8 Vegetação.....	207
9 Uso e ocupação do solo .....	213
MEIO SOCIOECONÔMICO .....	223
10. Socioeconomia.....	223



10.1	Análise dos dados socioeconômicos .....	223
10.1.1	Características gerais dos municípios .....	224
10.1.2	Atividades econômicas dos municípios .....	225
10.2	Aspectos sanitários dos municípios .....	227
10.2.1	Abastecimento.....	227
10.2.2	Esgotamento sanitário.....	229
10.3.3	Destino do lixo .....	231
10.4.4	Energia Elétrica .....	232
10.5.5	Doenças de veiculação hídrica.....	233
10.3	Potenciais conflitos de uso da água ou ambientais .....	236
10.4	Demandas Hídricas da Região em Estudo .....	236
10.4.1	Cálculo das projeções – Definição das Taxas de Crescimento.....	237
10.4.2	Coeficiente de demanda por atividade usuária .....	240
10.4.3	Coeficiente Demanda Hídrica da Agricultura.....	242
10.4.4	Demandas atuais (2010), .....	243
10.4.4.1	População urbana e rural .....	243
10.4.4.2	Dessedentação animal .....	244
10.4.4.3	Irrigação .....	244
10.4.4.4	Indústria.....	245
10.5.5	Demandas futuras (2020, 2025, 2030) .....	246
10.5.5.1	População urbana e rural .....	246
10.5.5.2	Dessedentação animal .....	247
10.5.5.3	Irrigação .....	248
10.5.5.4	Indústria.....	249
10.5.6	Síntese das Demandas Hídricas .....	249
11	Referências bibliográficas .....	251

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Área de estudo, destacando os sistemas cársticos e fissuro cársticos, e as Áreas Piloto .....	6
Figura 2.1 - Área de estudo, destacando os subsistemas cársticos e fissuro cársticos.....	20
Figura 2.2 – Articulação das cartas geológicas CPRM 1:1.000.000.....	21
Figura 2.3 – Articulação das imagens Landsat 8 e Landsat 5.....	23
Figura 2.4 – Articulação das folhas SRTM na escala de 1:250.000.....	25
Figura 2.5 – Articulação das folhas TOPODATA na escala de 1:250.000. ....	27
Figura 2.6 – Articulação das folhas 1:250.000. ....	29
Figura 2.7 – Área piloto bacia do Juá - Articulação das folhas 1:50.000.....	30
Figura 2.8 – Área piloto riacho do Vieira - Articulação das folhas 1:50.000. ....	31
Figura 2.9 – Área piloto rio São Desidério - Articulação das folhas 1:100.000.....	33
Figura 3.1 - Mapa de drenagem e de corpos de água superficial da área em estudo. ....	35
Figura 3.2 - Vazões mensais e anuais (média, mínima e máxima) na foz do São Francisco, entre 1931 e 2001. Fonte: CBHSF (2004) .....	36
Figura 3.3 - Distribuição da vazão com permanência de 95% nas regiões fisiográficas. ....	36
Figura 3.4 - Contribuição dos principais afluentes da vazão natural média e a vazão natural com permanência de 95%. ....	38
Figura 3.5 - Vazões específicas na Bacia do São Francisco. Fonte: CBHSF (2004).....	39
Figura 3.6 - Mapa de densidade de drenagem da área regional.....	42
Figura 4.1 - Localização das estações meteorológicas consideradas no estudo. ....	46
Figura 4.3 - Temperaturas máximas, mínimas e médias mensais compensadas. ....	49
Figura 4.4 - Isolinhas de temperatura máxima anual na área regional.....	50
Figura 4.5 - Isolinhas de temperatura média anual na área regional. ....	51
Figura 4.6 - Isolinhas de temperatura mínima anual na área regional. ....	52
Figura 4.7 - Pressão atmosférica máxima, mínima e média mensal. ....	53
Figura 4.8 - Isolinhas de pressão atmosférica anual na área regional. ....	54
Figura 4.9 - Insolação máxima, mínima e média mensal. ....	55
Figura 4.10 - Isolinhas de insolação anual na área regional. ....	57

Figura 4.11 - Nebulosidade máxima, mínima e média mensal.....	58
Figura 4.12 - Isolinhas de nebulosidade anual na área regional. ....	59
Figura 4.13 - Umidade relativa do ar máxima, mínima e média mensal.....	60
Figura 4.14 - Isolinhas de umidade relativa do ar anual na área regional. ....	61
Figura 4.15 - Precipitação acumulada máxima, mínima e média mensal. ....	62
Figura 4.16 - Isolinhas de precipitação acumulada anual na área regional.....	65
Figura 4.17 - Intensidade máxima, mínima e média mensal do vento. ....	66
Figura 4.18 - Isolinhas de intensidade de vento anual na área regional. ....	67
Figura 4.19 - Evaporação máxima, mínima e média mensal.....	68
Figura 4.20 - Isolinhas de evaporação anual na área regional.....	69
Figura 4.21 - Postos pluviométricos selecionados e descartados na área de estudo. ....	72
Figura 4.22 - Postos fluviométricos selecionados e descartados na área de estudo. ....	73
Figura 4.23 - Análise dos postos fluviométricos. ....	74
Figura 4.24 - Localização dos postos fluviométricos. ....	75
Figura 4.25 - Melhores postos fluviométricos. ....	77
Figura 4.26 - Postos fluviométricos com série homogênea.....	79
Figura 4.27 - Localização dos postos pluviométricos selecionados por número de anos de dados.....	81
Figura 4.28 - Localização dos postos pluviométricos utilizados nos estudos hidrológicos do Carste e do Urucuia. ....	82
Figura 4.29 - Localização dos postos fluviométricos utilizados nos estudos hidrológicos do Carste e do Urucuia. ....	83
Figura 4.30 - Domínios Isoietais na bacia do Rio São Francisco. ....	93
Figura 4.31 - Escoamento superficial, subterrâneo e evapotranspiração para o Domínio Isoietal I.....	94
Figura 4.32 - Escoamento superficial, subterrâneo e evapotranspiração para o Domínio Isoietal II.....	96
Figura 4.33 - Balanço Hídrico completo no Domínio Isoietal III.....	98
Considerações Finais.....	99
Figura 4.34 - Vazão total, escoamento superficial e subterrâneo nos Domínios Isoietais I, II e III. ....	99

Figura 4.35 - Vazão total específica e escoamento subterrâneo específico nos Domínios Isoietais I, II e III. ....	100
Figura 4.36 - Parcelas do Balanço Hídrico nos Domínios isoietais I, II e III, percentual comparado aos valores médios históricos de chuva .....	101
Figura 5.1 - Grandes unidades geológicas na área de estudo (compilado de Cruz et al, 2007). ....	103
Figura 5.2 - Cronoestratigrafia do Pré-cambriano (adaptado de Gradstein et al., 2005). ....	104
Figura 5.3 - O Aulacógeno de Paramirim (Compilado de Alkmim et al., 2007). ..	104
Figura 5.4 - O Corredor de Paramirim. Adaptado de Cruz & Alkmim (2007).....	106
Figura 5.5 - Área de ocorrência do Supergrupo Espinhaço. Modificado de Chaves & Brandão (2004). ....	107
Figura 5.6 - A Serra do Espinhaço e o Rio São Francisco .....	108
Figura 5.7 - Áreas de ocorrência do Supergrupo Espinhaço na região da Chapada Diamantina. Adaptado de Pedreira da Silva (1994). ....	110
Figura 5.8 - Seção tipo da Formação Tombador ao longo da BR-242. Compilado de Pedreira da Silva (1994).....	113
Figura 5.9 - Formações Tombador e Caboclo na Chapada Diamantina Centro Oriental. Adaptado de CPRM/CBPM (2003). ....	114
Figura 5.10 - Visão panorâmica da geologia do norte da Bahia. Compilado de Uhlein et al. (2011). ....	117
Figura 5.11 - Geologia do Supergrupo Espinhaço no Domínio Espinhaço Setentrional. Compilado de Caxito et al. (2008). ....	118
Figura 5.12 - O Grupo Santo Onofre no Graben de Santo Onofre, domínio do Espinhaço Setentrional. Compilado de Uhlein et al. (2007). ....	131
Figura 5.13 - Área de ocorrência dos grupos Una e Bambuí. Adaptado de Barbosa et al. (2003). ....	132
Figura 5.14 - A “Bacia” de Irecê. Adaptado de Kuchenbecker et al. (2011). ....	136
Figura 5.15 - Fácies da Formação Salitre. Adaptado de Pedreira et al. (1993). .	137
Figura 5.16 - Fácies da Formação Salitre – Corte esquemático. Adaptado de Pedreira et al. (1993).....	138
Figura 5.17: Principais Unidades Litoestratigráficas que compõem a Formação Salitre, presentes na Bacia de Irecê.....	138
Figura 5.18 - A Formação Salitre na Bacia de Una-Utinga. Compilado de Lima & Rocha (2011).....	140

Figura 5.19 - A Formação Salitre na Bacia do Salitre. Adaptado de Silva (2006). .....	141
Figura 5.20 - Fósseis encontrados na região Norte da Bacia de Irecê.....	143
Figura 5.21 - Coluna estratigráfica genérica do Grupo Bambuí. Compilado de GDF/SEDUMA (2010). .....	144
Figura 5.22 - Áreas estudadas no Grupo Bambuí. Adaptado de Barbosa et al. (2003). .....	145
Figura 5.23 - Compartimentação estrutural do Grupo Bambuí no extremo sul da Bacia do São Francisco. Compilado de Vieira (2007). .....	146
Figura 5.24 - Geologia da região do Morro da Garça. Compilado de Chaves et al. (2007). .....	147
Figura 5.25 - Estratigrafia da Serra do Jaíba. Compilado de Iglesias & Uhlein (2008). .....	149
Figura 5.26 - Área estudada por Iglesias & Uhlein. Compilado de Iglesias & Uhlein (2009). .....	149
Figura 5.27 - Mapa geológico do vale do Rio São Francisco no norte de Minas Gerais. Compilado de Iglesias (2007). .....	151
Figura 5.28 - Seção geológica esquemática NW-SE da área de estudo, entre a região de Bonito e a Serra do Jaíba. Compilado de Iglesias (2007). .....	152
Figura 5.29 - Mapa Geológico da Região de Montes Claros. Compilado de Chaves et al. (2011). .....	153
Figura 5.30 - Corte geológico na região de Montes Claros. Topografia obtida do Google Earth. .....	154
Figura 5.31 - Serra da Saudade e Morro da Garça. Adaptado de CPRM/CBPM (2003). .....	155
Figura 5.32 - Mapa geológico apresentado por Lima et al. (2007). Compilado de Lima et al. (2007). .....	156
Figura 5.33 - Cortes geológicos indicados no mapa da Figura 4.30. Compilado de Lima et al. (2007). .....	157
Figura 5.34 - Mapa geológico apresentado por Fragoso et al. (2011). Compilado de Fragoso et al. (2011). .....	158
Figura 5.35 - Área estudada por Fragoso et al. (2011) no contexto geológico mais regional. Adaptado de CPRM/CBPM (2003). .....	159
Figura 5.36 - Área estudada por Martínez (2007). Compilado de Martínez (2007). .....	161



Figura 5.37 - Cartas topográficas na escala 1:250.000 que abrangem unidades dos sistemas aquíferos cársticos e físsuro-cársticos na região hidrográfica do São Francisco.....	165
Figura 5.38 - Mapa geológico da área regional. ....	167
Figura 5.39 - Mapa de estruturas de carstificação da área regional.....	169
Figura 5.40 - Mapa de lineamentos estruturais da área regional. ....	171
Figura 6.1 - Unidades hidrográficas de referência e divisão fisiográfica da Bacia. Fonte: ANA (2004). ....	174
Figura 6.2 - Mapa das Unidades Geomorfológicas que compoem a Bacia Hidrográfica do São Francisco. ....	176
Figura 6.3 - Corte regional W-E passando em Irecê/BA. ....	178
Figura 6.4 - Corte regional NW-SE passando em Carinhanha/BA. ....	179
Figura 6.5 - Morfologia da Chapada de Irecê. ....	184
Figura 7.1 - Mapa das unidades de solo da área regional. ....	204
Figura 8.1 - Mapa das classes de vegetação da área regional. ....	209
Figura 9.1 - Densidade demográfica na Bacia do São Francisco.....	214
Figura 9.2 - Mosaico da área de interesse. ....	219
Figura 9.3 - Mapa de uso e ocupação do solo da área regional.....	222

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Folhas 1:100.000 cobrindo a Bacia do Rio São Desidério. ....	32
Tabela 3.1 - Disponibilidade hídrica na Bacia do São Francisco.....	37
Tabela 4.2 - Principais características hidroclimáticas do Rio São Francisco. ....	44
Tabela 4.1 - Relação das estações climatológicas consideradas no estudo.....	45
Tabela 4.3 - Sazonalidade das precipitações dos postos estudados. ....	63
Tabela 4.4 - Análise de dados por sub-bacia. ....	76
Tabela 4.5 - Postos que apresentam as melhores séries de dados.....	76
Tabela 4.6 - Análise dos postos fluviométricos que apresentam o mesmo período de dados por sub-bacia. ....	78
Tabela 4.7 - Postos pluviométricos utilizados nos estudos hidrológicos do Carste e do Uruçuia. ....	84
Tabela 4.7 - Postos pluviométricos utilizados nos estudos hidrológicos do Carste e do Uruçuia – Continuação.....	85
Tabela 4.7 - Postos pluviométricos utilizados nos estudos hidrológicos do Carste e do Uruçuia – Continuação.....	86
Tabela 4.8 - Postos fluviométricos utilizados nos estudos hidrológicos do Carste e do Uruçuia. ....	86
Tabela 4.8 - Postos fluviométricos utilizados nos estudos hidrológicos do Carste e do Uruçuia – Continuação.....	87
Tabela 4.8 - Postos fluviométricos utilizados nos estudos hidrológicos do Carste e do Uruçuia – Continuação.....	88
Tabela 5.1 - Estratigrafia do Supergrupo Espinhaço na Chapada Diamantina Oriental. Compilado de Pedreira da Silva (1994). ....	110
Tabela 5.2 - Evolução no tempo da concepção do Grupo Bambuí. ....	162
Tabela 7.1 - Área, porcentagem e tipos das unidades de solo do subsistema cárstico na área regional. ....	205
Tabela 7.2 - Área, porcentagem e tipos das unidades de solo do subsistema fissuro-cárstico na área regional. ....	206
Tabela 7.3 - Área, porcentagem e tipos das unidades de solo do subsistema fraturado na área regional. ....	207
Tabela 8.1 - Percentual de área das classes de vegetação no subsistema cárstico. ....	208
Tabela 8.2 - Percentual de área das classes de vegetação no subsistema fissuro-cárstico.....	208

Tabela 8.3 - Percentual de área das classes de vegetação no subsistema fraturado.....	210
Tabela 10.1 - Dados de rendimento, alfabetização e IDHM (2010).....	224
Tabela 10.2 - PIB e população da área de estudo em 2012. ....	227
Tabela 10.3 - Forma de abastecimento de água no ano de 2010. ....	229
Tabela 10.4 - Número de domicílios onde há existência de banheiro ou sanitário e esgotamento sanitário dos subdomínios no ano de 2010. ....	230
Tabela 10.5 - Número de domicílios de acordo com destino de lixo nos subdomínios (2010).....	232
Tabela 10.6 - Porcentagem da existência de energia elétrica no ano de 2010. ..	233
Tabela 10.7 - Incidência de doenças associadas ao saneamento básico no ano de 2012. ....	235
Tabela 10.8 – Demandas consuntivas e não consuntivas. ....	237
Tabela 10.9 – Coeficientes de retirada urbana per capita relacionada ao abastecimento humano. ....	241
Tabela 4.10 – Consumo per capita .....	241
Tabela 10.11 - Índice de consumo específico .....	242
Tabela 10.12 - População urbana e rural total dos estados estudados.....	243
Tabela 10.13 - Números de cabeça, valor do BEDA e o consumo hídrico referentes ao ano de 2010. ....	244
Tabela 10.14 - População urbana e rural total dos estados estudados.....	245
Tabela 10.15 - Valores de produção e consumo da indústria no ano de 2012. ..	245
Tabela 10.16 - Projeção de população urbana abastecida. ....	246
Tabela 10.17 - Projeção de população Urbana Não Abastecida.....	246
Tabela 10.18 - Projeção de população Rural.....	247
Tabela 10.19 - Projeção do número de cabeças de gado.....	247
Tabela 10.20 - Projeção da taxa BEDA.....	247
Tabela 10.21 - Projeção da demanda hídrica para a dessedentação. ....	247
Tabela 10.22 - Projeção da área Irrigada.....	248
Tabela 10.23 - Projeção da demanda hídrica por área irrigada. ....	248
Tabela 10.24 - Projeção da demanda hídrica industrial. ....	249
Tabela 10.25 - Síntese da Demanda Hídrica por estado. ....	249

## 1. Introdução

O presente relatório intitulado Volume I - Diagnóstico dos Meios Físico e Socioeconômico, da “*Hidrogeologia dos Ambientes Cársticos da Bacia do Rio São Francisco para a Gestão de Recursos Hídricos*” trata da descrição geral das informações referentes aos meios físicos e socioeconômico da região. Com relação ao meio físico a ênfase é dada a geologia, atualizando os conhecimentos pretéritos e descrevendo em detalhes as feições características das áreas cársticas, alvo dos trabalhos. O meio socioeconômico traz uma análise geral dos dados socioeconômicos municipais, inicialmente descreve as atividades econômicas, para daí então, baseados nos dados dos últimos Censos do IBGE, calcular as demandas de água e projetá-las para os horizontes futuros.

Nesse contexto estão reservados do capítulo 3 ao 9 para a descrição do meio físico, e o capítulo 10 para o meio socioeconômico.

O Capítulo 2 apresenta a localização da área em estudo destacando as áreas carsticas e fissuro cársticas na bacia do Rio São Francisco.

Na sequência vem a parte destinada ao meio físico, onde no capítulo 3 discutem-se aspectos referentes à drenagem da bacia do Rio São Francisco, incluindo a disponibilidade hídrica e a análise da densidade de drenagem.

Os dados climatológicos são apresentados no Capítulo 4: Temperatura, Pressão atmosférica, Insolação, Nebulosidade, Umidade relativa do ar, Precipitação, Intensidade do Vento e Evaporação. Os Dados fluviométricos e pluviométricos também são analisados nesse capítulo, como também a integração destes com os dados consolidados no estudos do aquífero Uruçua

A geologia é apresentada no Capítulo 5, inicialmente mostrando o estado da arte da geologia regional da Bacia do São Francisco, e na sequência o mapeamento geológico regional, o mapeamento das estruturas de carstificação e o mapeamento de lineamentos.

O Capítulo 6 é reservado à geomorfologia regional, sendo descritas as várias unidades geomorfológicas individualizadas na Bacia do São Francisco.

As informações sobre os solos da bacia são apresentadas no Capítulo 7, no capítulo 8 são discutidas as classes de vegetação existentes na bacia do São Francisco.

O uso e ocupação do solo é apresentado no Capítulo 9, relatando o processo de ocupação da Bacia desde a época da mineração, culminando com as atividades agropecuárias de grande escala praticadas atualmente na bacia como um todo. As informações são apresentadas em um mapa atualizado de classes de uso e ocupação do solo.

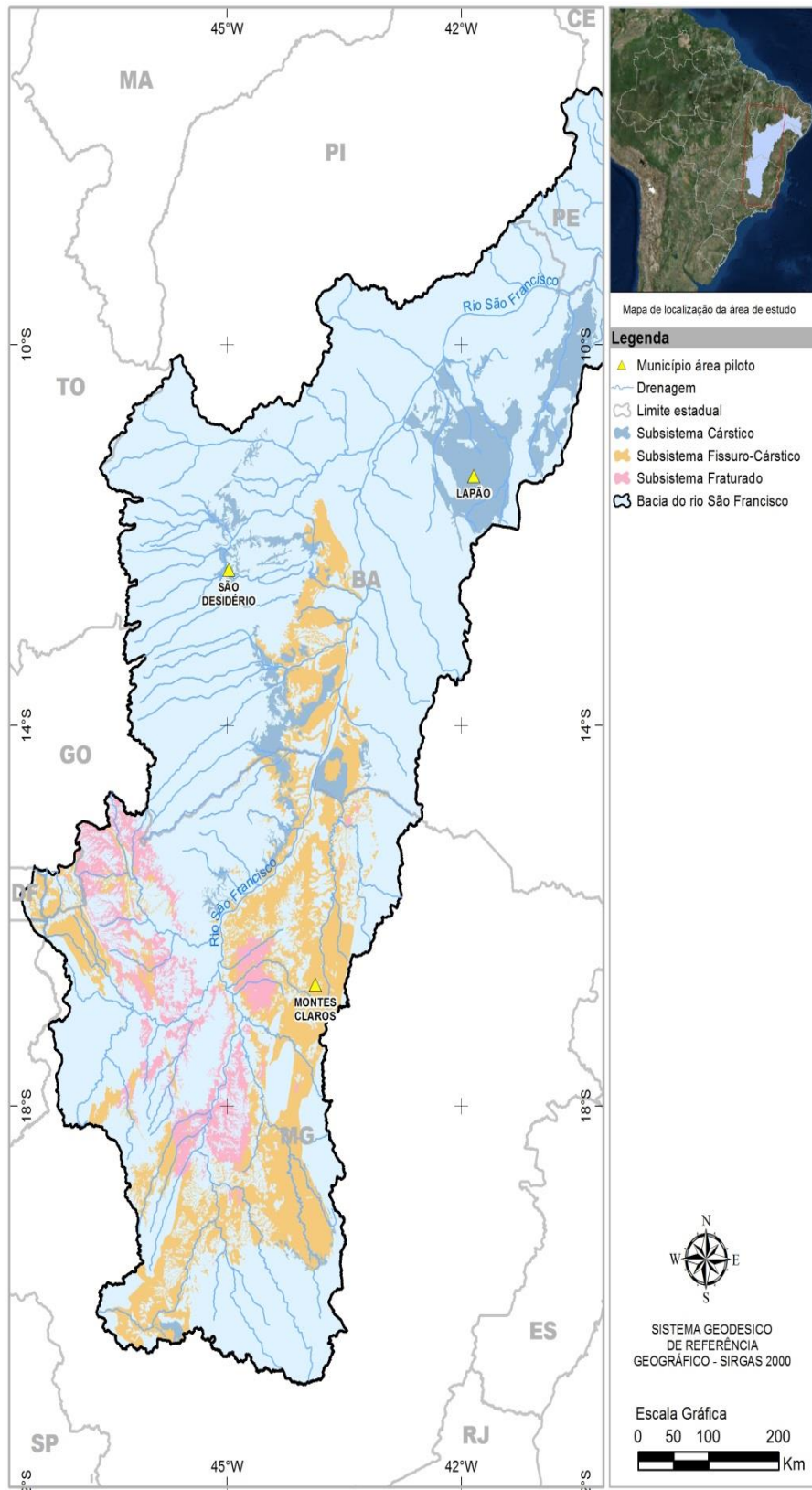
Na sequência vem o Capítulo 10 com a segunda parte do volume destacando as atividades socioeconômicas, apresenta uma análise dos aspectos

socioeconômicos e sanitários dos municípios inseridos na área em estudo, evidencia os conflitos pelo uso da água e por fim quantifica as demandas hídricas para abastecimento urbano e rural, dessedentação animal, irrigação e indústria.

## **2. Localização e Bases Cartográficas**

Com uma localização estratégica, o Rio São Francisco, por este motivo denominado rio da integração nacional, faz a ligação entre o Sudeste e o Nordeste do país. A área de estudo do presente trabalho compreende os Sistemas Cárstico e Físsuro-Cársticos que ocorrem na Bacia Hidrográfica do São Francisco. Esses sistemas ocupam uma área total de 110.951,4 km<sup>2</sup> que representa 17% da área da bacia, de aproximadamente 636.110,00 km<sup>2</sup> (Figura 2.1).





**Figura 2.1 - Área de estudo, destacando os subsistemas cársticos e fissuro cársticos.**

O levantamento da documentação cartográfica existente para a área de estudo será a referência para a formação da base de dados geográficos, espaciais ou georreferenciados, constituída por uma base planimétrica e uma base temática.

As informações coletadas nos órgãos públicos ligados à área, e as produzidas ao longo do desenvolvimento dos trabalhos foram organizadas em um Sistema de Informações Geográficas (SIG), separados em dados vetoriais e matriciais (raster). Todos os dados coletados, ao serem tratados no ambiente SIG, serão projetados para o Datum SIRGAS2000.

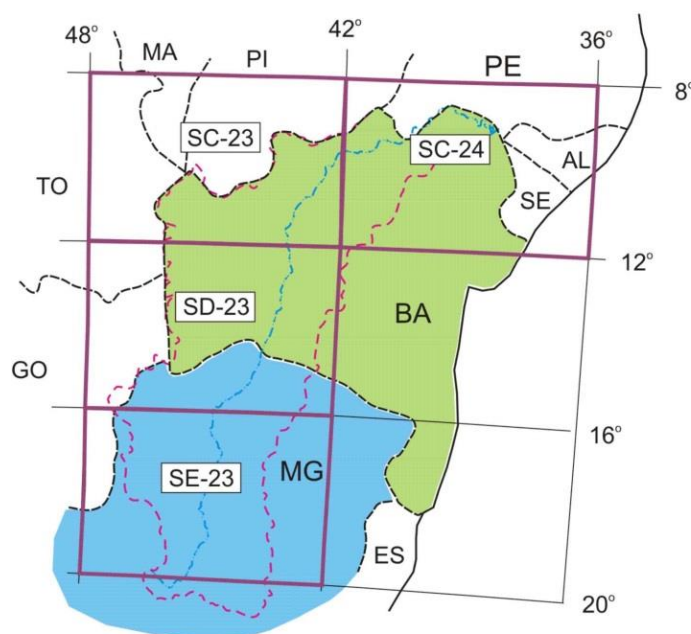
Os mapas do projeto em questão serão elaborados tanto para a região hidrográfica do São Francisco, na escala regional de 1: 250.000, quanto para as áreas piloto da Bacia Hidrográfica do Rio do Vieira (MG), Bacia Hidrográfica do Riacho do Juá (BA) e Bacia Hidrográfica do Rio São Desidério (BA), nas escalas 1:50.000, 1:50.000 e 1:100.000, respectivamente.

O levantamento da documentação cartográfica para as temáticas geológica e hidrogeológica existente na área em estudo podem ser observados nos mapas índices e planilhas discutidas a seguir.

## 2.1 Mapas Índices dos Mapeamentos Geológicos

Na Figura 2.2 é mostrada a articulação das folhas do mapa geológico na escala de 1:1.000.000, com indicação daquelas que deverão ser utilizadas no estudo.

ARTICULAÇÃO DAS CARTAS GEOLÓGICAS CPRM 1:1.000.000



Fonte: CPRM, 2004

**Figura 2.2 – Articulação das cartas geológicas CPRM 1:1.000.000.**

## **2.2 Mapas Hidrogeológicos**

Os únicos mapeamentos hidrogeológicos disponíveis, de âmbito regional, são folhas do Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste, na escala de 1:500.000, elaborados pela Sudene na década de 1970.

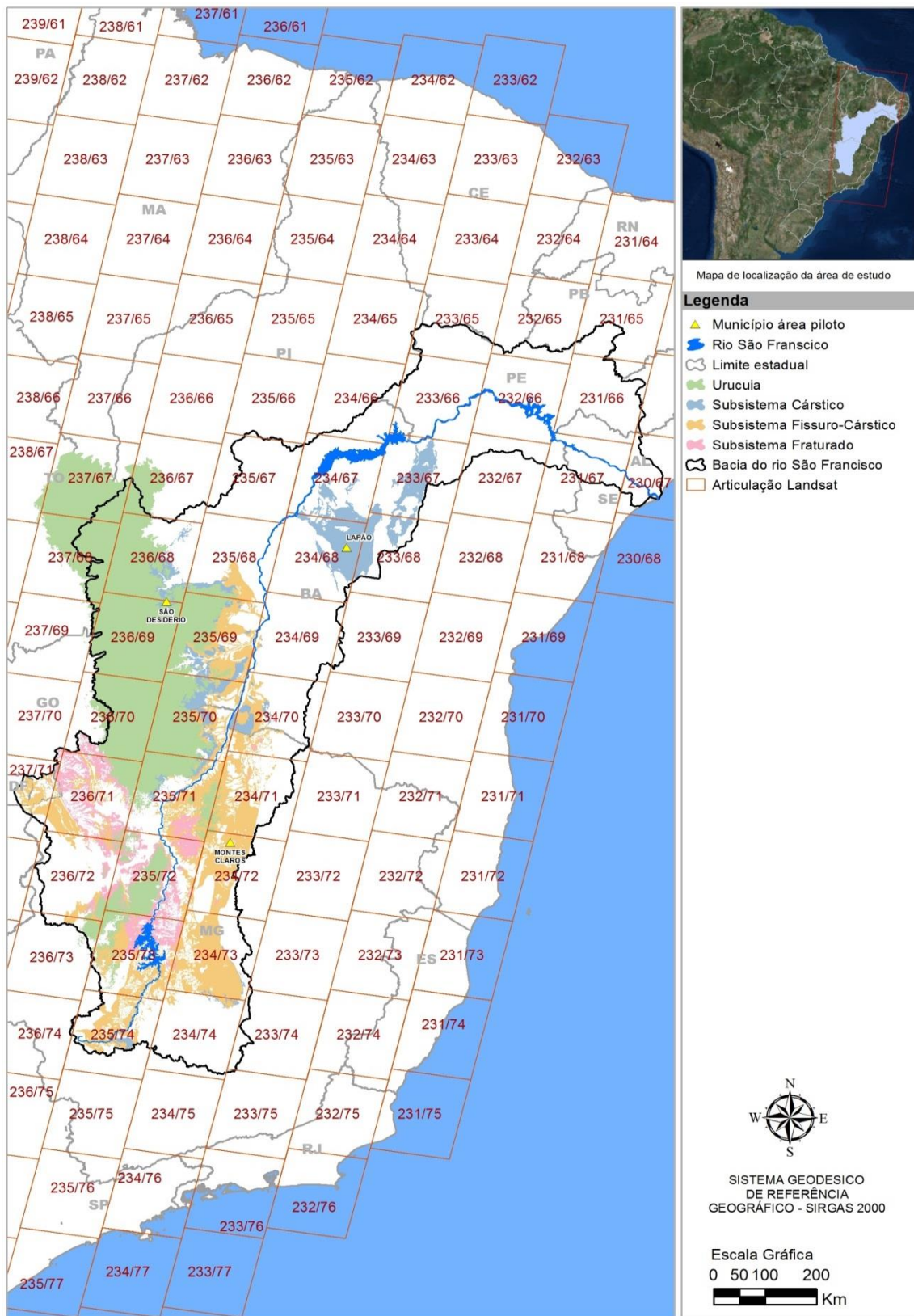
## **2.3 Mapa de Uso e Ocupação do Solo**

A elaboração do mapeamento do uso e ocupação do solo foi realizado tomando como base a interpretação e classificação de imagens de satélite, integrada a informações referentes à vulnerabilidade natural dos sistemas aquíferos e fontes de contaminação, com controle e complementações de campo. Além disto, com base em dados vetoriais disponibilizados por órgãos como Ministério do Meio Ambiente e IBGE, o mapeamento priorizou a identificação espacial das áreas urbanas e centros industriais de porte, áreas indígenas, unidades de conservação e áreas para fins de agropecuária e mineração.

Foram adquiridas imagens georreferenciadas do satélite Landsat 8, que apresentam resolução espacial de 30 m nas bandas multiespectrais, 15 m na banda pancromática e 100 m nas bandas térmicas, de mesma data de passagem. Por se tratar de um satélite de operação recente (acervo com imagens a partir do 2º semestre de 2013), foram também consultadas imagens do acervo do Landsat 5, com resolução espacial de 30 m, cuja atividade se estendeu do período de 1973 a 2012. A disponibilização de ambos é gratuita. Foram consideradas a data de passagem mais recente e pouca cobertura de nuvens. A articulação da órbita do satélite Landsat pode ser observada na Figura 2.3.

Foram realizados procedimentos de ortoretificação, além de correções de histograma, radiométrica e demais homogeneizações como, por exemplo, passagem para o Sistema de Referência Geodésico SIRGAS 2000 e respectivos fusos. As classes receberam terminologias baseadas no Manual Técnico de Uso da Terra, publicado pelo IBGE (2006), salvo a nomenclatura para Vegetação, que seguirá o Manual Técnico da Vegetação Brasileira (2012).

Os mapas de uso e ocupação do solo foram elaborados tanto para a região hidrográfica do rio São Francisco, na escala 1:250.000, quanto para as áreas pilotos, nas escalas 1:50.000 e 1:100.000.



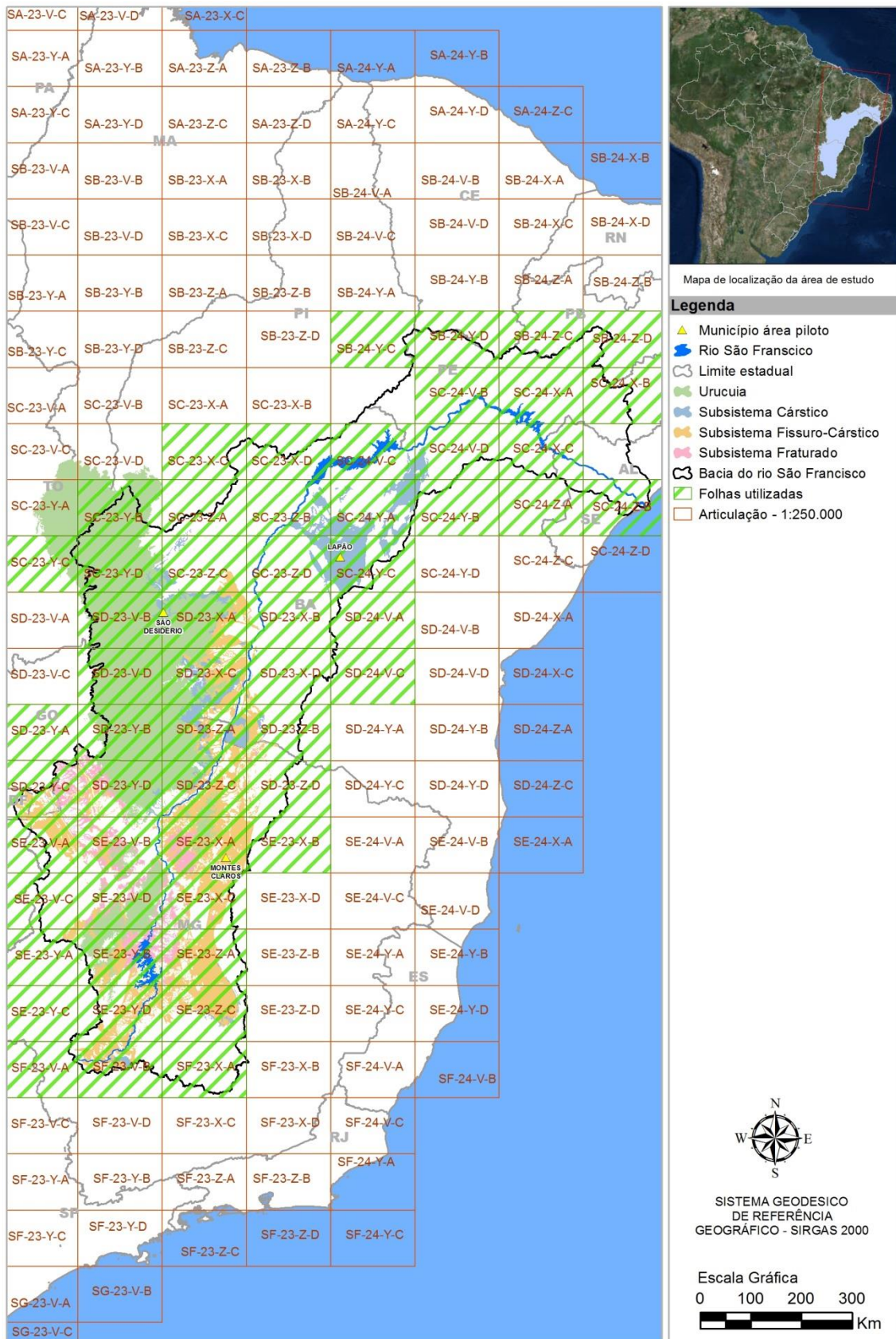
**Figura 2.3 – Articulação das imagens Landsat 8 e Landsat 5.**



## 2.4 Modelo digital do Terreno - MDT

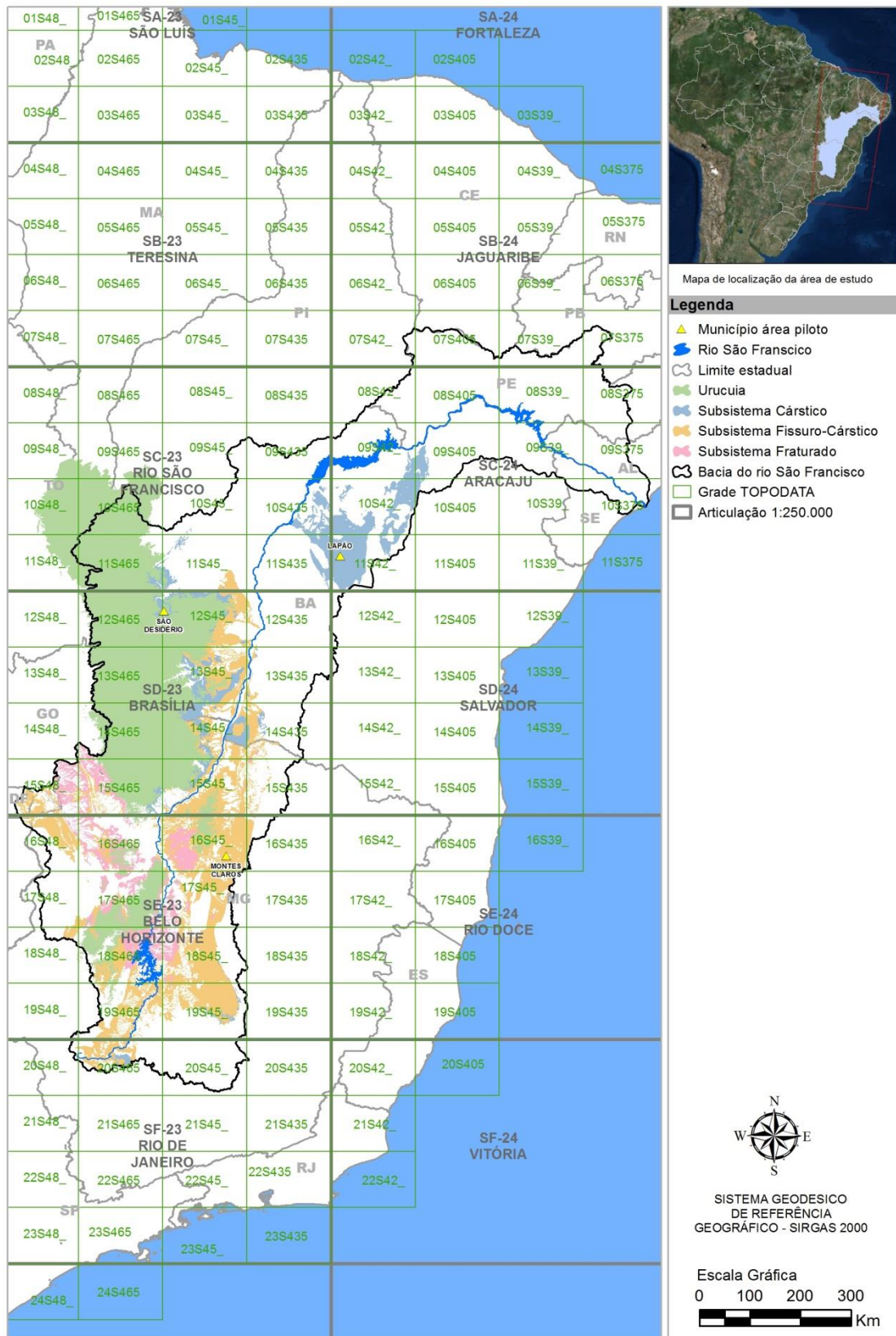
Para a elaboração do Modelo Digital do Terreno - MDT da área de estudo (1:250.000), foram utilizados os dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), que possuem uma resolução de 90 m no Equador. Essas imagens são disponibilizadas gratuitamente através do portal da Embrapa – Relevo. Os dados SRTM 90 m foram produzidos a partir de um conjunto de dados contínuos e posteriormente divididos em articulação compatível ao mapeamento sistemático 1:250.000, conforme mostrado na Figura 2.4, permitindo desta forma uma montagem fácil do mosaico. Estas informações estão disponíveis no formato GeoTiff.





**Figura 2.4 – Articulação das folhas SRTM na escala de 1:250.000.**

Sobre a elaboração de MDT para as áreas pilotos, cujas escalas variam entre 1:50.000 e 1:100.000, foram utilizadas imagens do projeto TOPODATA. Com resolução de 30 m. Os dados são estruturados, em quadriculas compatíveis com a articulação do mapeamento sistemático 1:250.000, conforme mostrado na Figura 2.5 e fornecidos no formato *GeoTiff*.



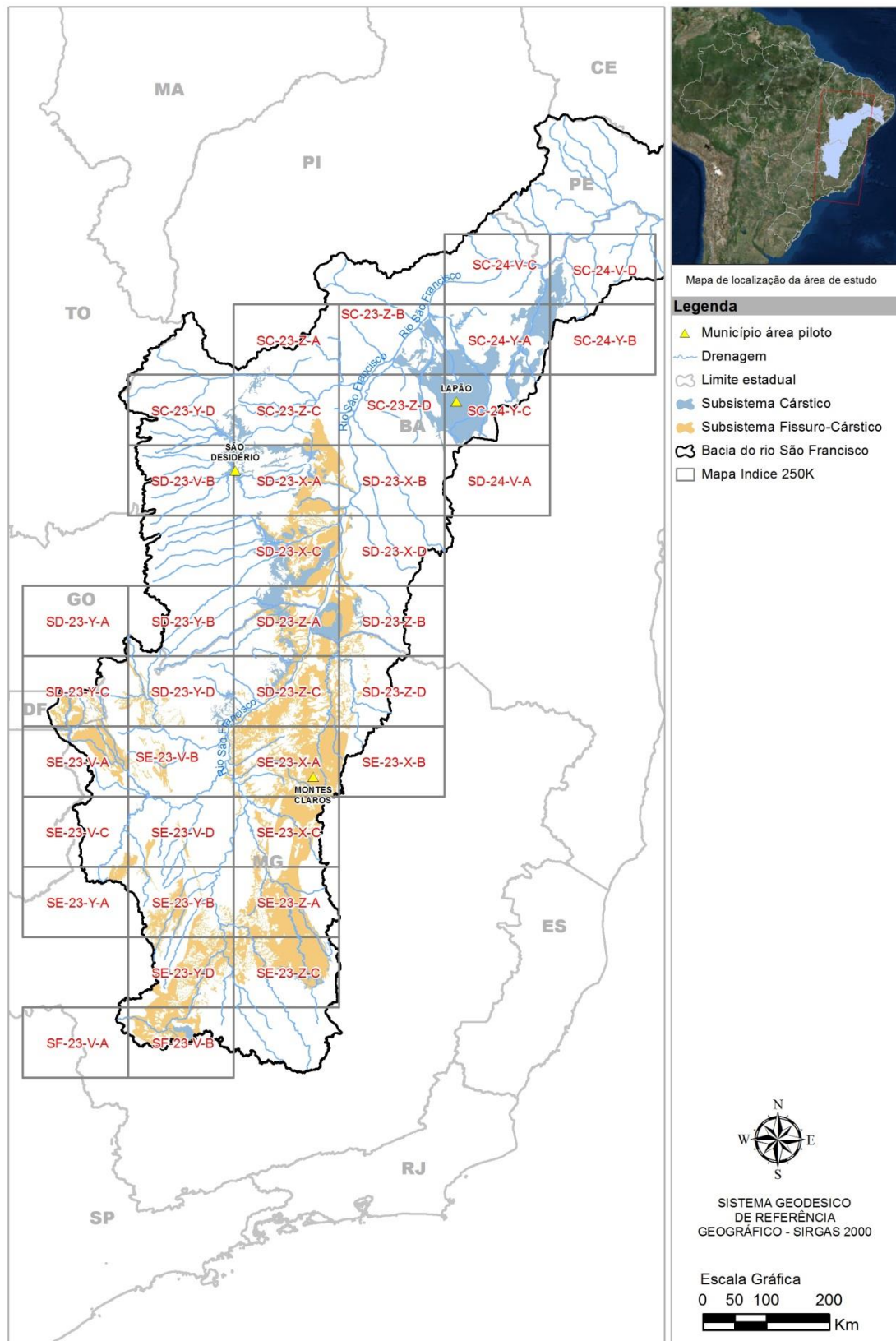
**Figura 2.5 – Articulação das folhas TOPODATA na escala de 1:250.000.**

## **2.5 Recorte das Cartas na Escala 1:250.000**

O recorte sugerido para as cartas na escala 1:250.000 atende ao padrão da Carta Internacional do Mundo ao Milionésimo - CIM, obedecendo à articulação do mapeamento sistemático, que consiste no desdobramento da carta ao milionésimo em cartas com escalas maiores.

De acordo com a articulação existente, a cobertura da área de estudo, na escala de 1:250.000, consiste de 38 cartas, conforme mostrado na figura 2.6.





**Figura 2.6 – Articulação das folhas 1:250.000.**

## 2.6 Recorte das Cartas na Escala 1:50.000

As áreas-piloto da Bacia Hidrográfica do Rio do Vieira (MG) e da Bacia Hidrográfica do Riacho do Juá (BA) estudadas utilizando a escala 1:50.000, foram elaboradas articulações que recobrem toda a área de interesse.

Nas figuras 2.7 e 2.8 são apresentadas as áreas-piloto com sugestão de layout tamanho A1 para as cartas.

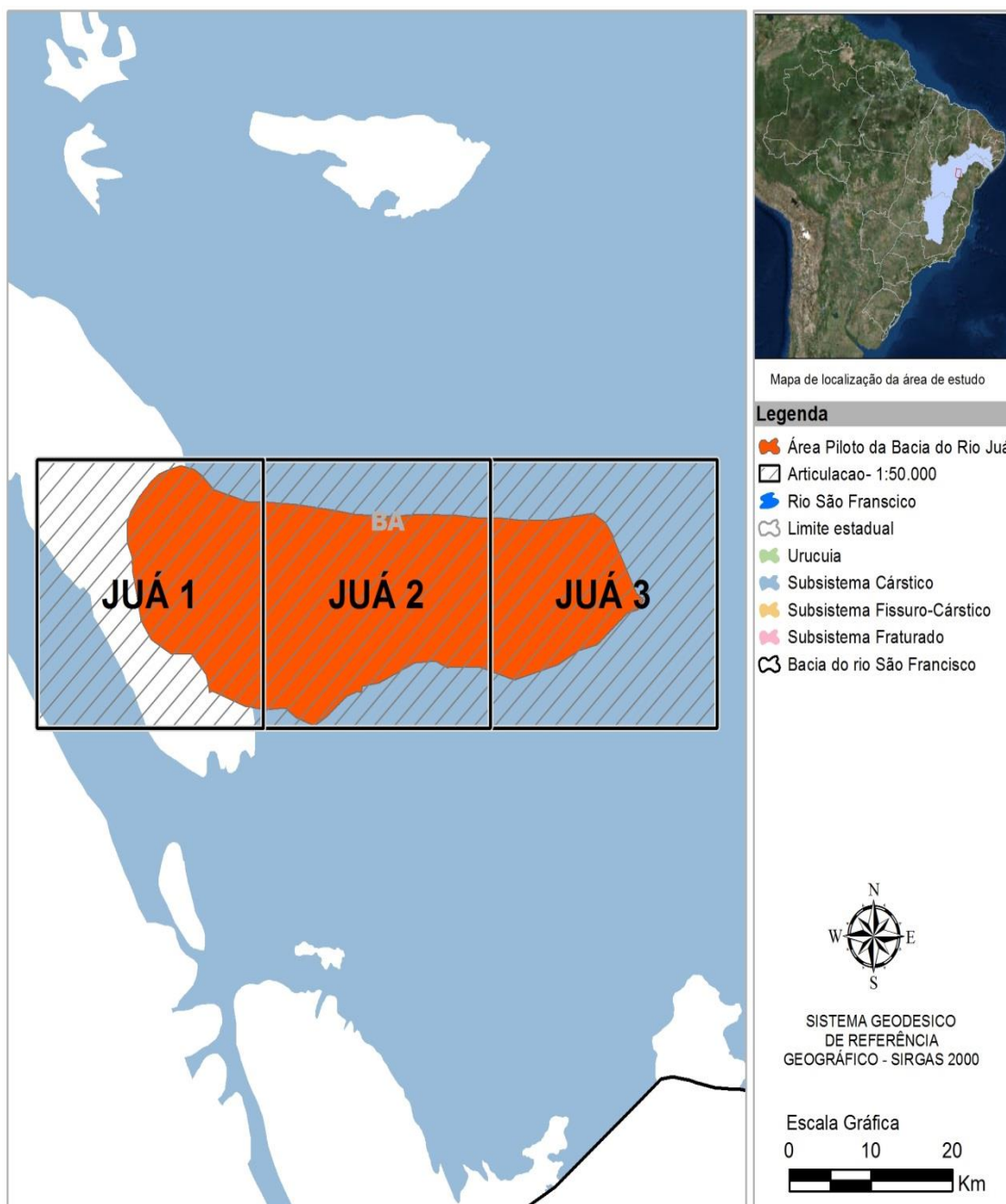
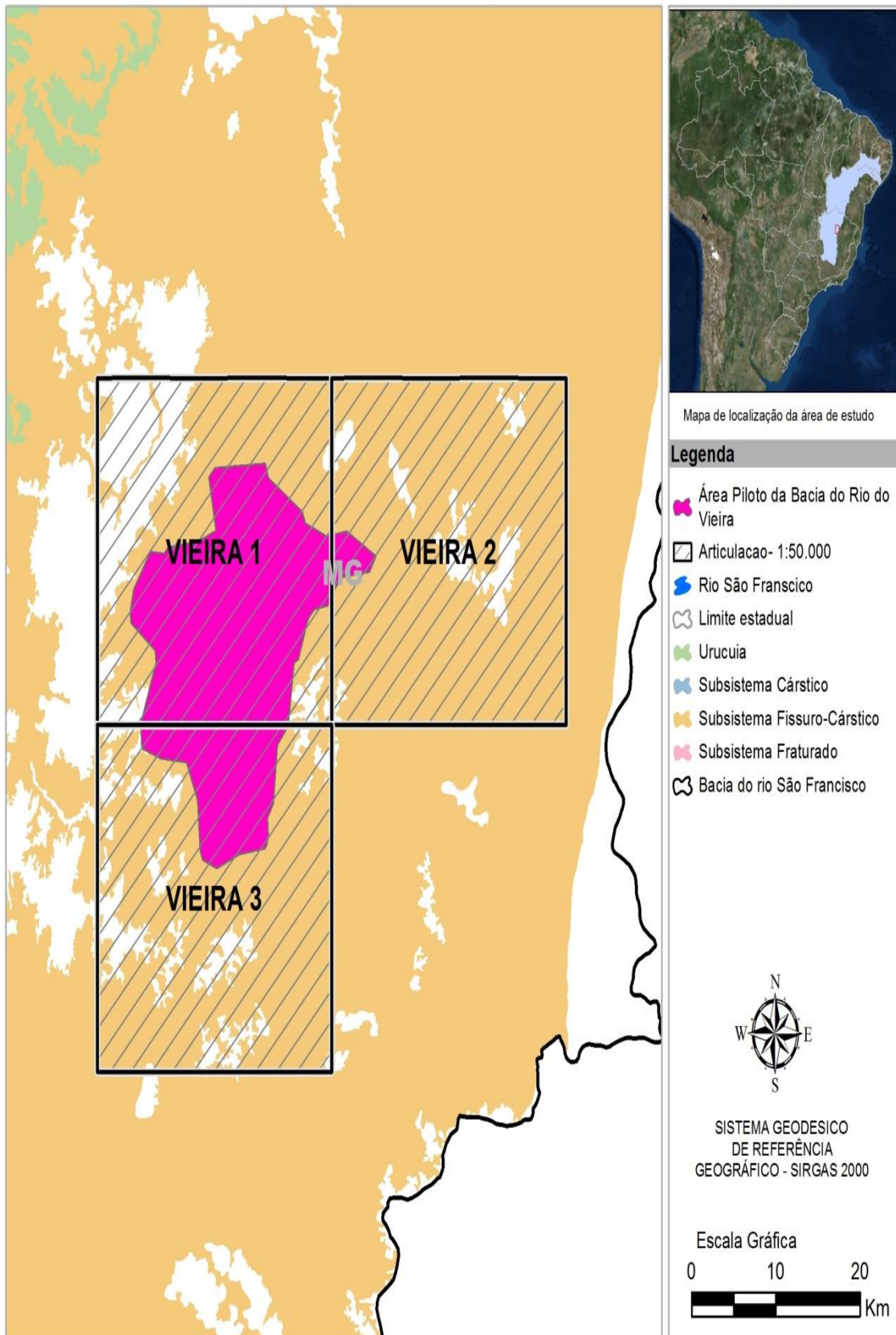


Figura 2.7 – Área piloto bacia do Juá - Articulação das folhas 1:50.000.



**Figura 2.8 – Área piloto riacho do Vieira - Articulação das folhas 1:50.000.**



## 2.7 Recorte das Cartas na Escala 1:100.000

A área piloto da Bacia Hidrográfica do Rio São Desidério (BA), bem maior que as demais áreas-piloto, deverá ser analisada utilizando-se a escala 1:100.000. Desta forma, considerando a articulação existente para o mapeamento sistemático na escala 1:100.000, foram adotadas as folhas que recobrem a área de estudo, conforme mostrado na tabela 2.1.

**Tabela 2.1 – Folhas 1:100.000 cobrindo a Bacia do Rio São Desidério.**

Área piloto	Folhas utilizadas
Bacia Hidrográfica do Rio São Desidério (BA)	SD.23-V-B-III
	SD.23-X-A-I
	SD.23-X-A-II
	SD.23-X-A-III
	SD.23-X-A-IV
	SD.23-X-A-V

A Figura 2.9 mostra a articulação das cartas 1:100.000 com sugestão de layout de impressão no formato A0.

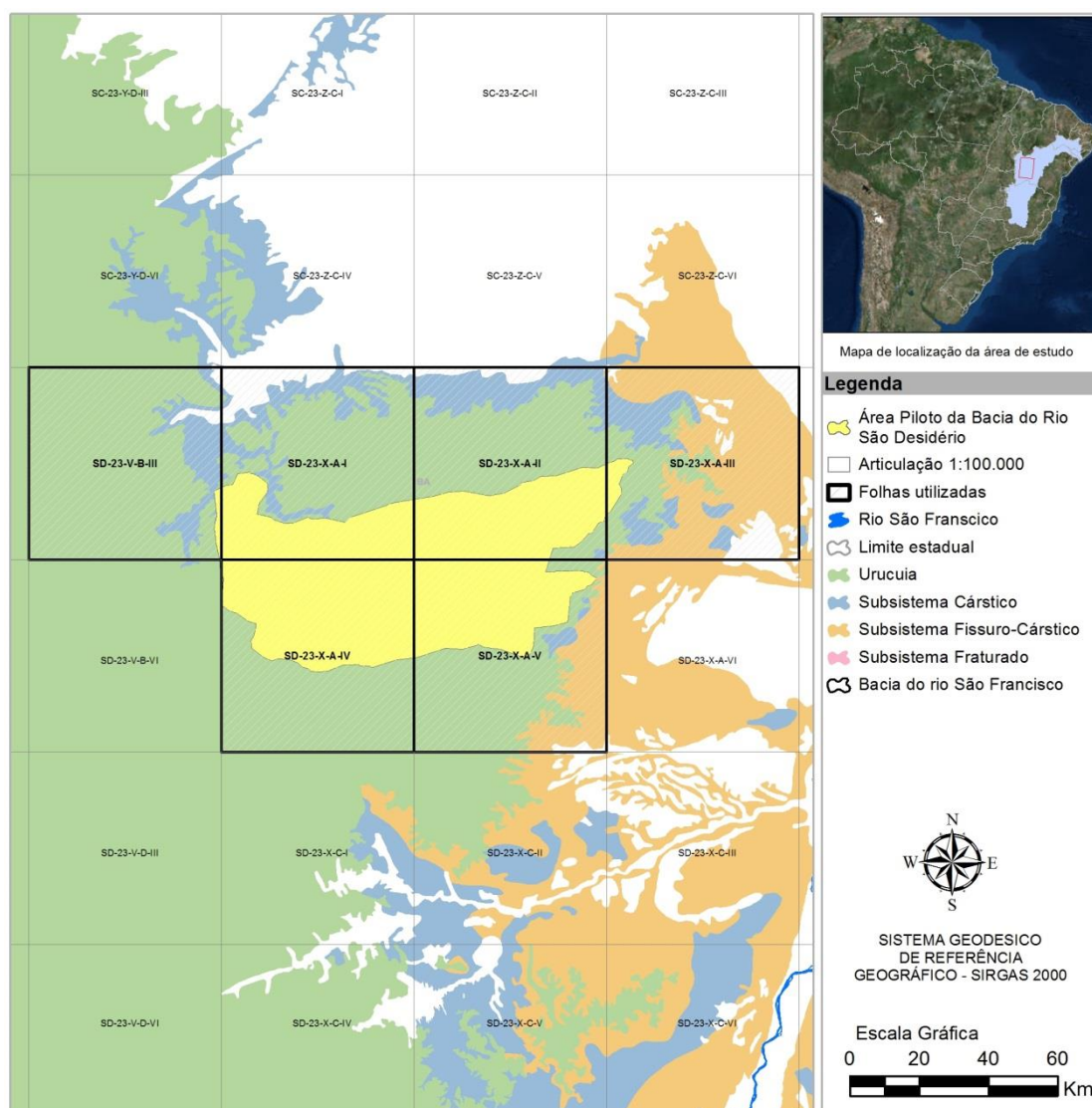


Figura 2.9 – Área piloto rio São Desidério - Articulação das folhas 1:100.000.

## MEIO FÍSICO

### 3 Rede de Drenagem

A rede de drenagem de uma bacia hidrográfica tem importância fundamental quando se pretende caracterizar o seu potencial hídrico e de transporte de sedimentos. Na Figura 3.1 tem-se o mapa de drenagem e de corpos d'água superficiais da área em estudo.

Segundo ANA (2015) a Bacia Hidrográfica do São Francisco possui uma área de drenagem de aproximadamente 638.466 km<sup>2</sup>, correspondente a 7,5% do território nacional, e ocupa porções de sete Unidades da Federação. De acordo com o Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, CBHSF (2016), a vazão média para o período 1931 – 2013 é de 2.769 m<sup>3</sup>/s. Para este mesmo período a Q<sub>95</sub> é 800 m<sup>3</sup>/s e a Q<sub>7,10</sub> 670 m<sup>3</sup>/s. Esses valores,

quando comparados ao Plano Decenal 2004-2013 CBSH (2004), não apresentam grandes diferenças (vazão média igual a 2.844 m<sup>3</sup>/s e Q<sub>95</sub> igual a 854 m<sup>3</sup>/s). Porém, apresenta grandes diferenças quando comparados por subbacias, como pode ser observado na Tabela 3.1, nesta tabela estão destacados em vermelho todas as subbacias que apresentaram redução de vazão. A parte verde destaca as subbacias do Alto São Francisco, a cinza as do Médio São Francisco, as laranja correspondem as subbacias do Sub médio, enquanto que as destacadas em azul correspondem ao Baixo São Francisco. Em todas as regiões aconteceram redução de vazões em subbacias.

Como citado anteriormente, o Rio São Francisco possui uma vazão média anual de 2.769 m<sup>3</sup>/s. Ao longo do ano essa variação apresenta um comportamento conforme o apresentado na Figura 3.2, os menores valores entre os meses de setembro e outubro, já as maiores ocorrendo em março.

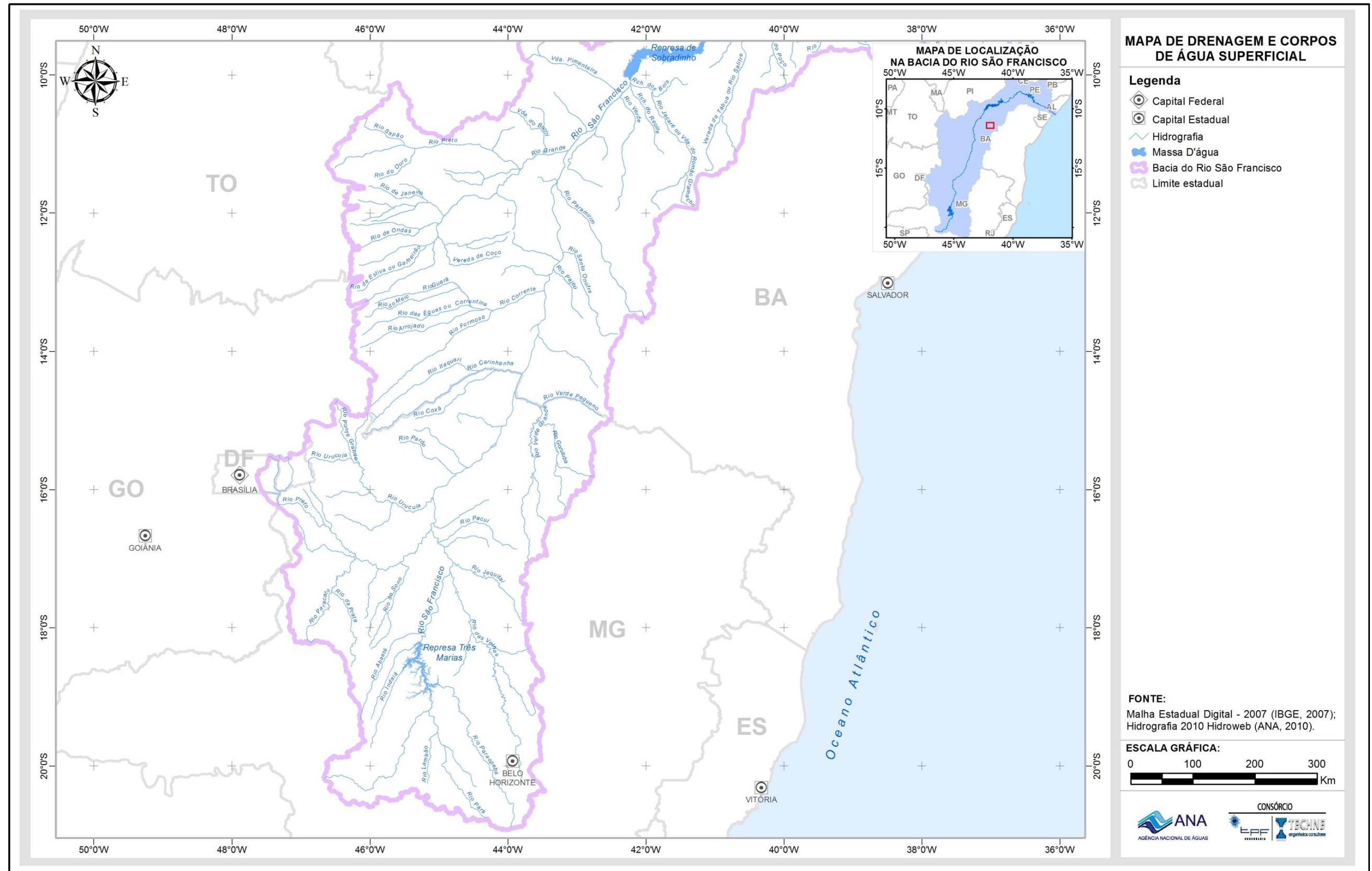
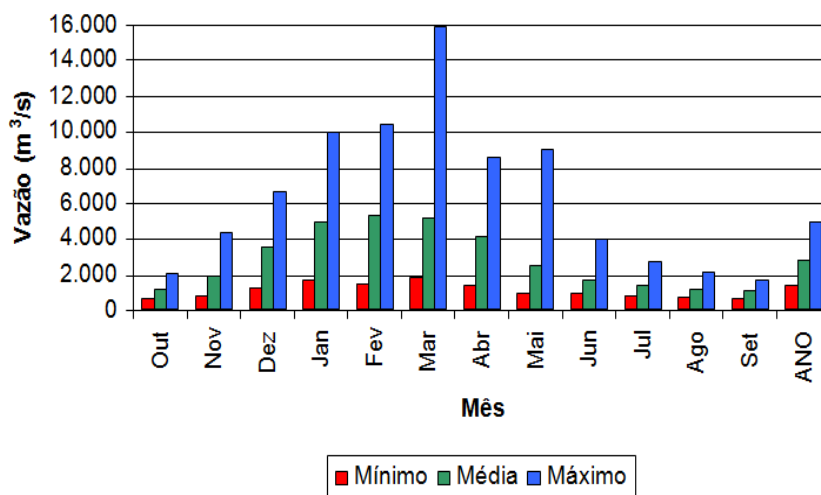


Figura 3.1 - Mapa de drenagem e de corpos de água superficial da área em estudo.

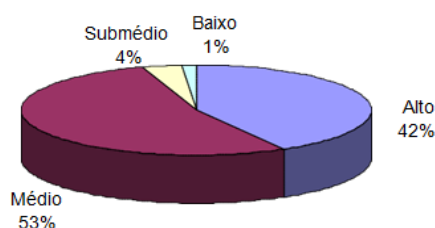


**Figura 3.2 - Vazões mensais e anuais (média, mínima e máxima) na foz do São Francisco, entre 1931 e 2001. Fonte: CBHSF (2004)**

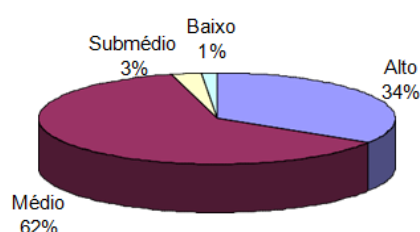
De acordo com CBHSF (2004), no período de 1931 a 2001, a menor descarga anual na bacia ocorreu no ano de 2001, quando a vazão natural média anual em Xingó foi de apenas 1.400 m<sup>3</sup>/s. Já a maior cheia ocorreu no ano de 1979, onde a vazão natural média anual em Xingó alcançou 5.089 m<sup>3</sup>/s. Sobre a vazão natural mensal em Xingó, para o mesmo período, a menor foi de 629 m<sup>3</sup>/s, em outubro de 1999 e a maior foi de 16.080 m<sup>3</sup>/s em março de 1979.

Ainda segundo CBHSF (2004), verifica-se que o Alto São Francisco recebe 42% da vazão natural da bacia, o Médio São Francisco recebe 53% do total, o Submédio recebe 4% do total e o Baixo São Francisco apenas 1% do total. As contribuições mais significativas são: Rio das Velhas e os afluentes mineiros do Alto São Francisco; e Rios Paracatu, Grande e Urucuia no Médio São Francisco. Com relação à vazão com permanência de 95%, pode-se observar na Figura 3.3 a expressiva contribuição do Alto São Francisco e do Médio São Francisco.

vazão natural média (2.850,6 m<sup>3</sup>/s)



vazão com permanência de 95% (853,7 m<sup>3</sup>/s)



Fonte: CBHSF (2004).

**Figura 3.3 - Distribuição da vazão com permanência de 95% nas regiões fisiográficas.**

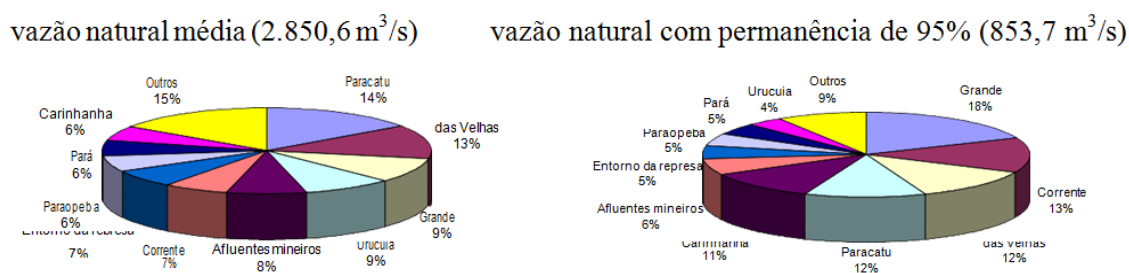


**Tabela 3.1 - Disponibilidade hídrica na Bacia do São Francisco**

Unidades Hidrográficas	Vazão. (m <sup>3</sup> /s) (1931 – 2001)	Vazão (m <sup>3</sup> /s) (1931 – 2013)	Q <sub>95</sub>	Q <sub>95</sub>
			(m <sup>3</sup> /s) (1931 – 2001)	(m <sup>3</sup> /s) (1931 – 2013)
Afluentes mineiros do Alto SF	222,0	228,2	51,1	53,5
Rio Pará	168,0	154,7	38,8	43,0
Rio Paraopeba	171,0	166,2	39,5	51,9
Entorno da represa de Três Marias	187,0	138,0	43,2	31,1
Rio das Velhas	365,0	321,9	103,7	61,8
Rio de Janeiro e Rio Formoso	30,2	44,5	5,1	3,0
Rio Jequitaiá	43,0	62,9	7,3	4,4
Alto Rio Preto	39,0	50,8	11,8	14,6
Rio Paracatu	394,0	430,6	90,7	66,5
Rio Pacuí	52,0	47,7	8,8	9,7
Rio Urucuia	247,0	260,9	30,4	37,7
Rio Verde Grande	39,0	33,7	1,6	0,6
Rios Pandeiros, Pardo e Manga	122,0	39,0	18,4	10,6
Rio Carinhanha	160,0	146,5	96,1	85,4
Rio Corrente	189,0	221,8	113,5	136,1
Alto Rio Grande	115,0	143,4	69,3	93,0
Médio e Baixo Rio Grande	149,0	137,1	89,6	85,2
Rios Paramirim, Santo Onofre e Carnaíba de Dentro	0,4	34,5	0,0	0,0
Rios Verde e Jacaré	2,3	7,0	0,1	0,2
Margem esquerda do Lago de Sobradinho	6,7	6,4	0,3	0,2
Rio Salitre	3,1	7,9	0,7	1,0
Rio Pontal	2,2	4,1	0,5	0,3
Rio Garças	3,8	4,0	0,8	0,5
Rio Curaçá	2,8	6,4	0,6	0,8
Rio Brígida	14,0	10,6	3,1	1,4
Rio Terra Nova	7,8	4,6	1,7	0,6
Rio Macururé	3,1	6,6	0,7	0,9
Rio Pajeú	44,0	14,2	9,7	1,9
Rio Moxotó	11,0	7,7	2,5	1,0
Rio Curituba	10,6	1,8	2,3	0,2
Talhada / Riacho Seco	1,4	1,1	0,3	0,1
Alto Rio Ipanema	10,3	5,6	3,1	0,7
Baixo Ipanema e Baixo SF	17,9	11,4	5,4	1,5
Baixo São Francisco em Sergipe	10,2	6,0	3,0	0,8
<b>Total</b>	<b>2.943,8</b>	<b>2.768,7</b>	<b>853,7</b>	<b>800,4</b>

Fonte: Adaptado de CBHSF (2017).

A contribuição dos afluentes em relação à vazão natural média do Rio São Francisco e à vazão de permanência de 95% está discriminada na Figura 3.4. Os principais contribuintes da vazão natural média do São Francisco (2.850,6 m<sup>3</sup>/s) são os rios: Paracatu - com 14%; das Velhas - com 13%; Grande - com 9% e Urucuia – com 9%. Já com relação à vazão com permanência de 95% (853,7 m<sup>3</sup>/s), os principais contribuintes são: Rio Grande – com 18%; Rio Corrente – com 13%; Rio das Velhas – com 12%; Rio Paracatu – com 12% e Rio Carinhanha – com 11%. Dessa forma, podemos ver a influência das águas subterrâneas e, em particular, do sistema aquífero Urucuia.



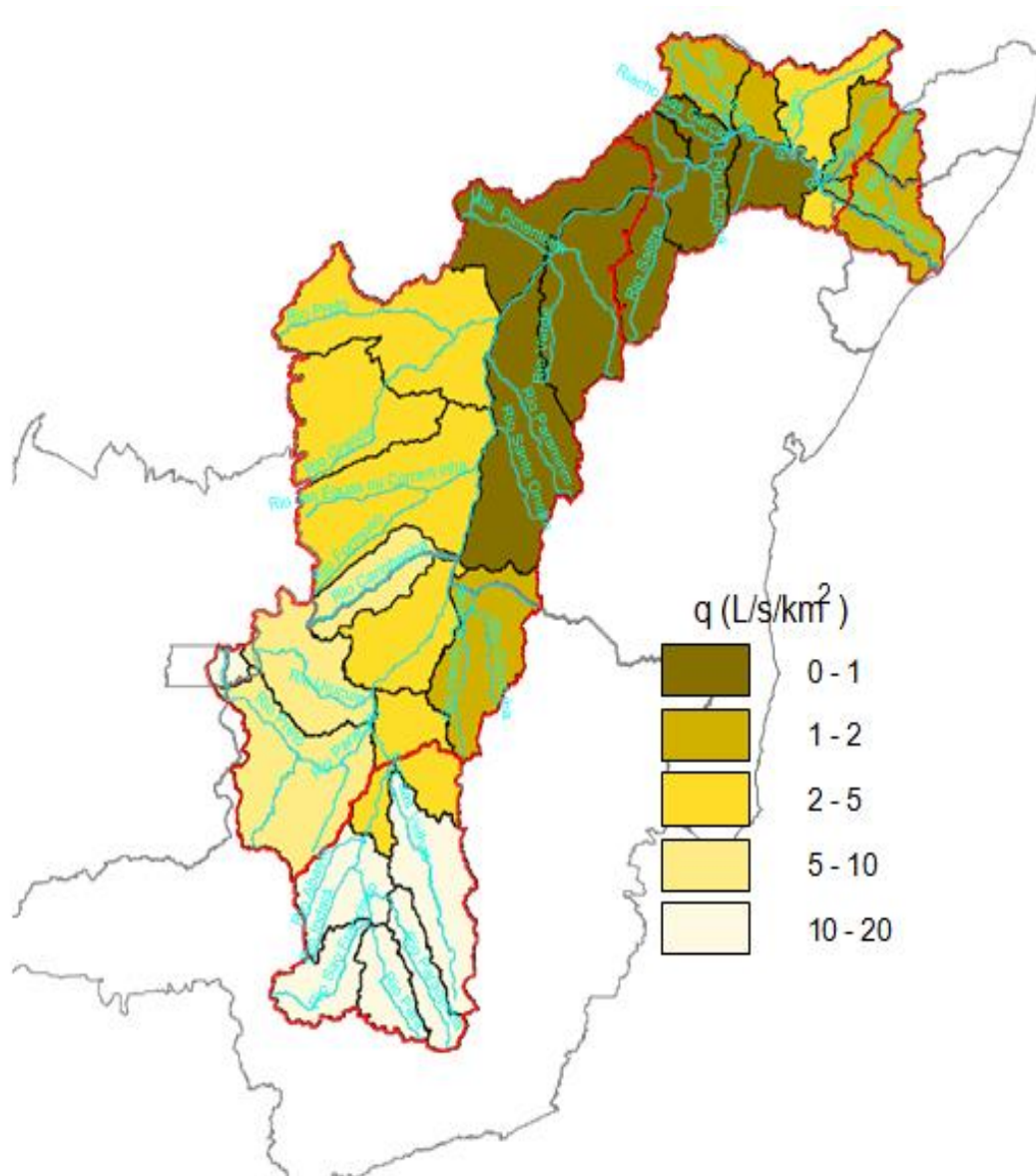
**Figura 3.4 - Contribuição dos principais afluentes da vazão natural média e a vazão natural com permanência de 95%.**

Fonte: CBHSF (2004).

Os valores apresentados na Figura 3.4, quando comparados aos resultados do Plano Diretor da Bacia CBHSF (2017), com relação a vazão média (2.768,7 m<sup>3</sup>/s) apresentam poucas diferenças, confirmando a tendência: Rio Paracatu - com 15,55%; das Velhas - com 11,63%; Grande - com 10,13% e Urucuia – com 9,42%. Com relação à vazão com permanência de 95% (800,4 m<sup>3</sup>/s), manteve –se o Rio Grande – com 22%; como o principal contribuinte e na sequência: Rio Corrente – com 17%; Rio Carinhanha com 10,67%, Rio das Velhas – com 7,72%; Rio Paracatu – com 8,31%, mostrando as variações nas posições com relação a contribuição das águas subterrâneas, porém mantendo-se as mesmas subbacias com as principais influências na vazão de base.

A Figura 3.5 a seguir mostra as vazões específicas nas unidades hidrográficas do São Francisco. Pode-se observar que variam desde menos de 1 L/s/km<sup>2</sup> em trechos do Submédio, até mais de 10 L/s/km<sup>2</sup> no Alto São Francisco.





**Figura 3.5 - Vazões específicas na Bacia do São Francisco. Fonte: CBHSF (2004).**

### 3.1 Densidade de drenagem

A densidade de drenagem representa o quadro erosivo de uma área. Ela é considerada como a resposta ao estímulo fornecido pelas condições ambientais; é a razão entre a quantidade de canais de drenagem por unidade de área.

Para Summerfield (2000), a relação entre a densidade de drenagem e a permeabilidade é inversamente proporcional e influencia na porosidade. A porosidade, por sua vez, depende do grau de cristalização e da granulometria dos minerais e da existência de fissuras nos litotipos, que podem ser reconhecidas pelas lineações, que afetam as propriedades do terreno tais como:

- permeabilidade;

- resistência ao esforço;
- taxas de infiltração;
- intemperismo;
- erosão.

A compreensão da distribuição espacial, por meio da análise geográfica do comportamento dos padrões de dados oriundos dos fenômenos ocorridos no espaço geográfico, elucida questões centrais em diversas áreas do conhecimento (CÂMARA *et al.*, 2001). Propicia uma visão da intensidade do fenômeno em todas as regiões de um mapa. As relações espaciais das lineações podem ser utilizadas para identificar áreas mais propícias a processos erosivos e que podem ser definidas pela densidade da rede de drenagem.

A análise de densidade considera a quantidade de algum fenômeno e a sua distribuição por toda a paisagem, baseando-se na relação da quantidade medida em locais específicos e suas relações espaciais. O resultado de uma análise de densidade geralmente é apresentado como uma superfície contínua, a qual é estimada a partir de um conjunto de amostras, que podem estar regularmente ou irregularmente distribuídas no espaço, e pode ser representada por uma imagem ou matriz *raster*, que por sua vez, é a apresentação gráfica de uma grade regular. A grade regular é uma matriz onde cada elemento (ou célula) está associado a um valor numérico, e neste caso, a matriz está associada a uma região da superfície terrestre.

As superfícies contínuas de densidade, ou apenas superfícies de densidade, elucidam onde os pontos ou linhas de determinados recursos estão concentrados. Para o cálculo da superfície de densidade neste estudo foi utilizado o método de densidade Kernel para feições do tipo linha. Nesse método, cada uma das observações é ponderada pela distância em relação a um valor central, o núcleo (SILVERMAN, 1986). No mapa é plotado, por métodos de interpolação, a intensidade pontual ou linear de determinado fenômeno em toda a região de estudo.

As feições de linha, utilizadas como dado de entrada para a densidade de Kernel, foram os trechos de drenagem extraídos do produto do IBGE, Base Cartográfica Contínua do Brasil na escala 1:250.000 (IBGE, 2013), que também foi utilizada para toda a Bacia do Rio São Francisco.

O mapa de densidade de drenagem apresentado neste projeto mostra uma variação da densidade da rede de drenagem que varia de baixa à alta. Para representar esta variação, procurou-se obedecer aos critérios da comunicação visual e da semiologia gráfica que buscam associar às cores “quentes” e seus matizes (vermelho, laranja e amarelo) a áreas com alta densidade de drenagem e às cores “frias” (azul e verde) a áreas com baixa densidade de drenagem.

Na Figura 3.6 tem-se o mapa de densidade de drenagem da área regional. Nele, pode-se notar uma maior densidade da rede de drenagem na região do Alto São Francisco, e menor densidade da rede na região do Médio e Submédio São Francisco.

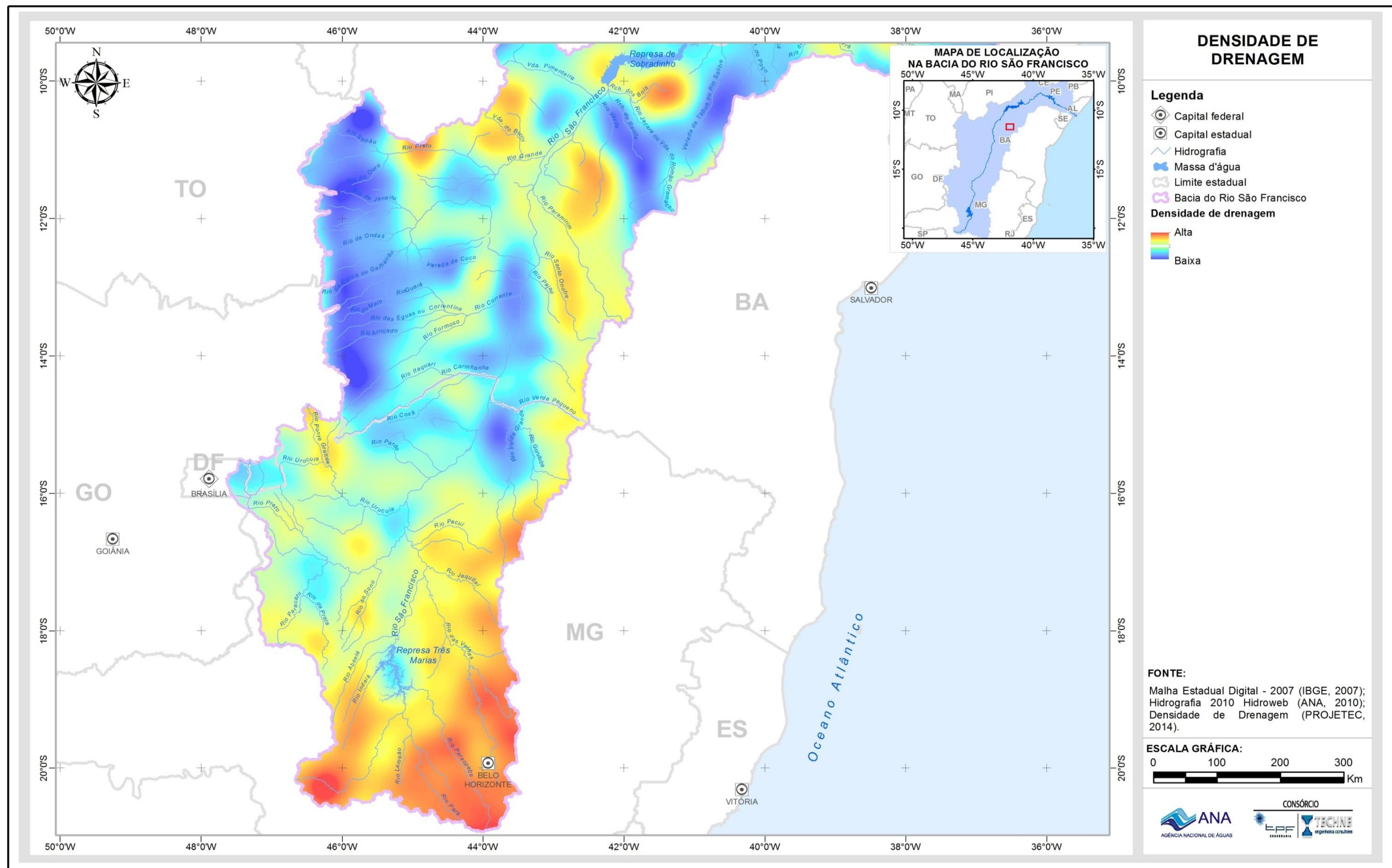


Figura 3.6 - Mapa de densidade de drenagem da área regional.



## 4 Estudos Climatológicos

Os parâmetros meteorológicos, e suas diversas formas de atuação no clima, têm a sua distribuição e intensidade dependentes de cada região e de fenômenos meteorológicos de larga escala. A regularidade diferencial desses parâmetros para distintos locais condiciona a existência de climas diversos em várias regiões da terra. Estes parâmetros são: precipitação pluvial, temperatura do ar, umidade relativa do ar, nebulosidade, pressão atmosférica, evaporação, vento e outros.

Diante disso, o presente item apresentará a caracterização climatológica das áreas cársticas e fissuro-cársticas da Bacia do Rio São Francisco, a partir dos dados obtidos de estações meteorológicas existentes na área. Esta caracterização foi feita considerando os parâmetros que controlam e determinam os processos climatológicos ocorrentes na região.

Assim, foi elaborada uma base cartográfica com as informações existentes, incluindo a série de dados de precipitação, temperatura (máxima, mínima e média), pressão atmosférica, umidade relativa do ar, nebulosidade, insolação, evaporação e intensidade dos ventos.

Para a montagem dessa base foram utilizadas as Normais Climatológicas do Brasil (1961-1990), tendo sido obtidos os dados médios anuais de 22 estações climatológicas inseridas nas regiões cárstica e fissuro-cársticas do submédio, médio e alto curso do Rio São Francisco, para a representação das isolinhas de cada parâmetro climatológico considerado.

### 4.1 Postos utilizados

A Tabela 4.1 apresenta a relação das 22 estações climatológicas acima citadas, com indicação do código de registro do posto, das coordenadas de localização e das variáveis climatológicas medidas em cada posto. A Figura 4.1 espacializa essas estações. Observa-se, na Tabela 4.1, que nem todas as estações apresentam informações de todos os parâmetros.

Esses dados referem-se aos valores normais de cada variável meteorológica, ou seja, média de 30 anos de observação, em cada estação meteorológica. Na elaboração dos gráficos de caracterização, apresentados a seguir, foram considerados os valores normais extremos (mínimo e máximo) de cada variável e o valor médio, obtido por média aritmética, para todos os postos analisados.

### 4.2 Parâmetros climatológicos

A área regional considerada para este estudo abrange as regiões hidrográficas do Alto, Médio e Submédio São Francisco. Estas regiões possuem uma variabilidade climática significativa ao longo de todo o vale do São Francisco. O Alto São Francisco possui caracterização climática classificada como tropical úmida, sendo em algumas partes considerada subtropical. Já no seu trecho

Médio e Submédio, o clima é tipicamente semiárido, conforme observado na Tabela 4.2. O clima da região do Submédio é muito seco e possui uma distribuição sazonal das chuvas diferente, isso pode ser explicado pelo fato de que essas regiões estão submetidas a diferentes climas e sistemas de produção de chuvas.

**Tabela 4.2 - Principais características hidroclimáticas do Rio São Francisco.**

Característica	Regiões Fisiográficas			
	Alto	Médio	Submédio	Baixo
Clima predominante	Tropical úmido e temperado de altitude	Tropical semi-árido e sub-úmido seco	Semi-árido e árido	Sub-úmido
Precipitação média anual (mm)	2.000 a 1.100 (1.372)	1.400 a 600 (1.052)	800 a 350 (693)	350 a 1.500 (957)
Temperatura média (°C)	23	24	27	25
Insolação média anual (h)	2.400	2.600 a 3.300	2.800	2.800
Evapotranspiração média anual (mm)	1.000	1.300	1.550	1.500

Fonte: ANA/SPR e Programa de Ações Estratégicas – PAE (ANA/GEF/PNUMA/OEA)

Ainda relacionada ao clima, cabe destacar uma área relevante, a qual extrapola o âmbito da Bacia, que é o semiárido. Esse é um território vulnerável e sujeito a períodos críticos de prolongadas estiagens, que apresenta várias zonas geográficas e diferentes índices de aridez.

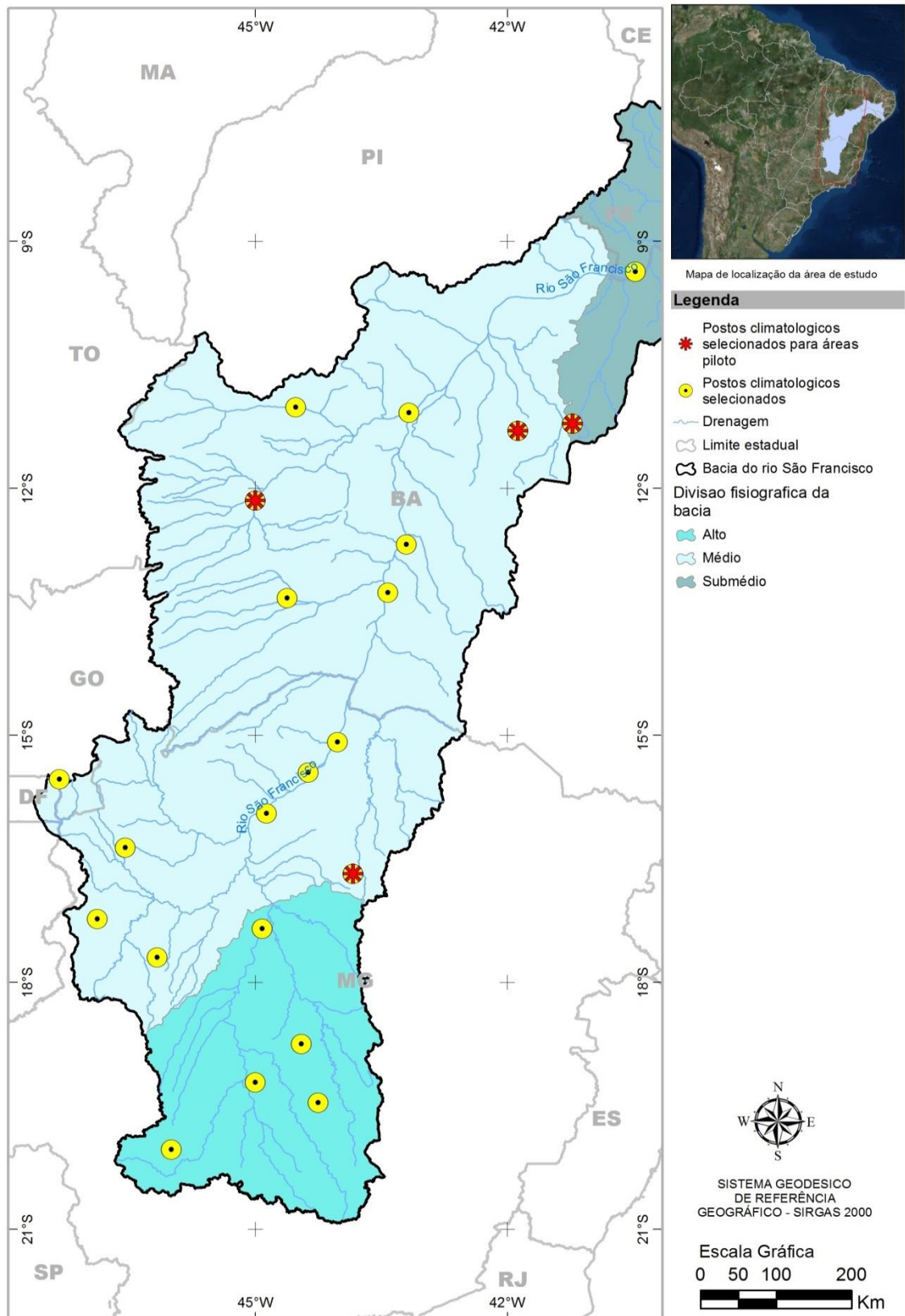
A região semiárida ocupa cerca de 57% da área da bacia, abrange 218 municípios da região e, apesar de situar-se majoritariamente na região Nordeste do país, alcança um trecho importante do norte de Minas Gerais (CBHSF, 2004).

**Tabela 4.1 - Relação das estações climatológicas consideradas no estudo.**

Código	Nome	UF	Latitude	Longitude	Altitude	Temperatura (°C)			Pressão Atmosférica (hPa)	Insolação (h/mês)	Evaporação (mm)	Nebulosidade (décimos)	Umidade Relativa (%)	Prec. Acum. (mm)	Int. Vento (m/s)
						Média	Máxima	Mínima							
82983	Petrolina	PE	-9.36	-40.46	370.5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
83179	Barra	BA	-11.08	-43.16	401.6					X					
83236	Barreiras	BA	-12.15	-45.00	439.29	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
83288	Bom Jesus da Lapa	BA	-13.27	-43.42	439.96	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
83286	Correntina	BA	-13.33	-44.62	549.47					X					
83182	Irecê	BA	-11.30	-41.87	747.16				X	X				X	X
83184	Morro do Chapéu	BA	-11.22	-41.22	1003.27	X	X	X	X		X	X	X	X	X
83238	Paratinga	BA	-12.68	-43.20	422.00					X					
83076	Santa Rita de Cássia (Ibipetuba)	BA	-11.02	-44.52	450.30	X	X	X	X		X	X	X	X	X
83379	Formosa	GO	-15.53	-47.33	935.20	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
83582	Bambuí	MG	-20.03	-46.00	661.27	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
83536	Curvelo	MG	-18.75	-44.45	672.00	X	X	X		X	X	X	X	X	X
83386	Januária	MG	-15.45	-44.37	473.71	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
83481	João Pinheiro	MG	-17.70	-46.17	760.36	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
83389	Mocimbinho	MG	-15.08	-44.02	452.00			X		X	X			X	
83437	Montes Claros	MG	-16.68	-43.83	646.29	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
83479	Paracatu	MG	-17.23	-46.88	712.00				X	X	X	X	X	X	X
83483	Pirapora	MG	-17.35	-44.91	505.20	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
83570	Pompeu	MG	-19.22	-45.00	690.91	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
83385	São Francisco	MG	-15.95	-44.87	446.49	X	X	X	X		X	X	X	X	X
83586	Sete Lagoas	MG	-19.47	-44.25	732.00	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
83428	Unai	MG	-16.37	-46.55	460.00			X		X	X			X	X

Fonte: Normais Climatológicas do Brasil (1961-1990).



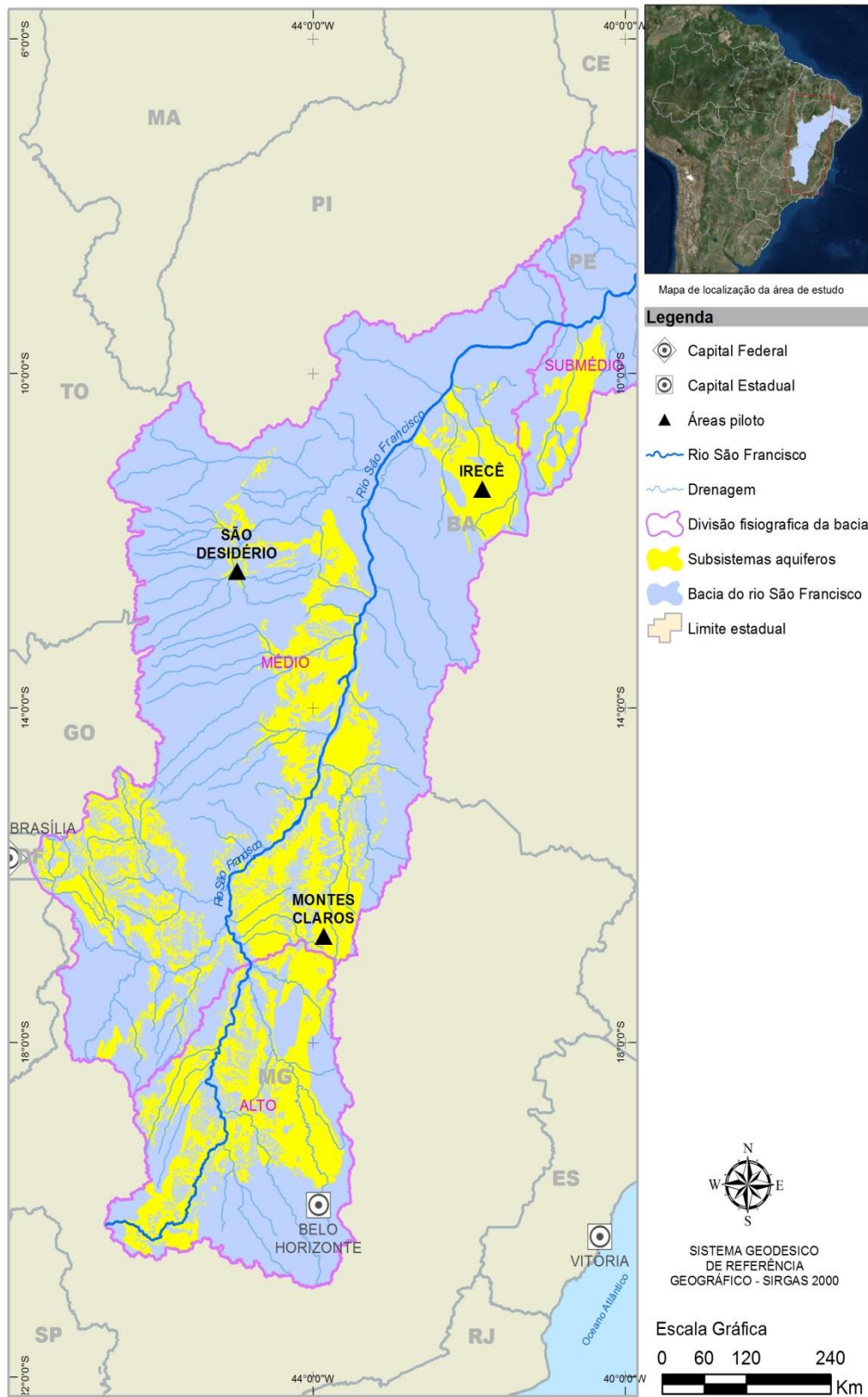


**Figura 4.1 - Localização das estações meteorológicas consideradas no estudo.**

A Figura 4.2 mostra a localização da área regional do presente estudo em relação aos trechos do Alto, Médio e Submédio curso do Rio São Francisco, além de indicar a posição das áreas piloto.

Uma vez caracterizada a área regional dos estudos e definidos os postos climatológicos a serem utilizados (ver Tabela 4.1), foram obtidas as séries de dados para os parâmetros de cada posto. A partir das séries, foram representados graficamente os valores máximos, médios e mínimos para cada parâmetro considerado. Os seguintes critérios foram adotados:

- máxima – maior valor normal de cada parâmetro observado mês a mês entre os postos analisados;
- mínima – menor valor normal de cada parâmetro observado mês a mês entre os postos analisados;
- média – média dos valores normais de cada parâmetro observados mês a mês nos postos analisados.

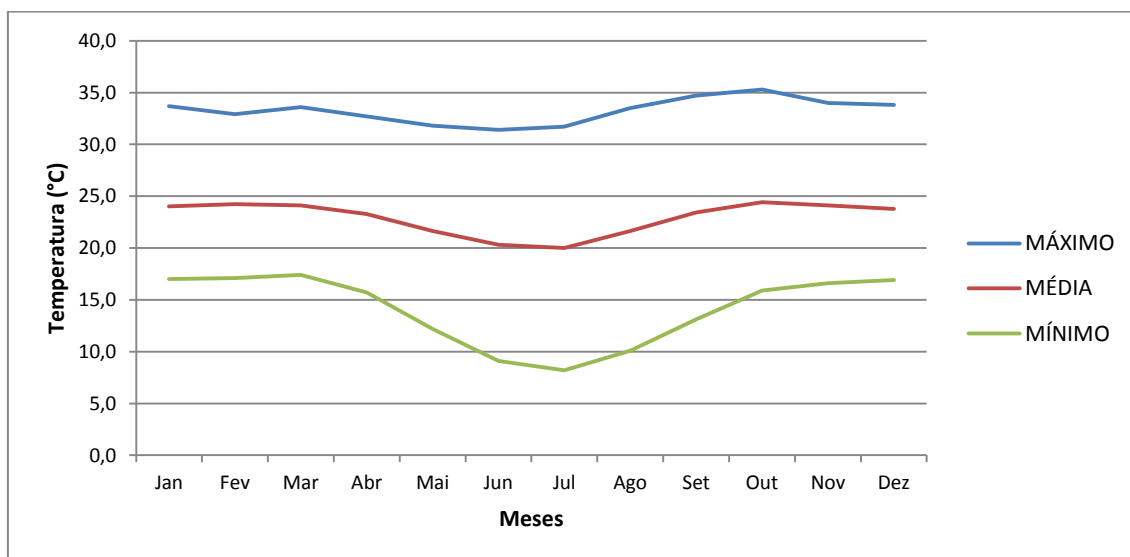


**Figura 4.2 - Localização da área regional e indicação das áreas pilotos do estudo.**

A análise dos gráficos obtidos é mostrada a seguir:

#### 4.2.1 Temperatura

Os valores de temperatura média correspondem à temperatura média compensada, ou seja, é a média ponderada entre as temperaturas máxima e mínima, observadas em horários específicos. A Figura 4.3 apresenta as normais de temperatura média para o período de 1961 a 1990 na área regional.

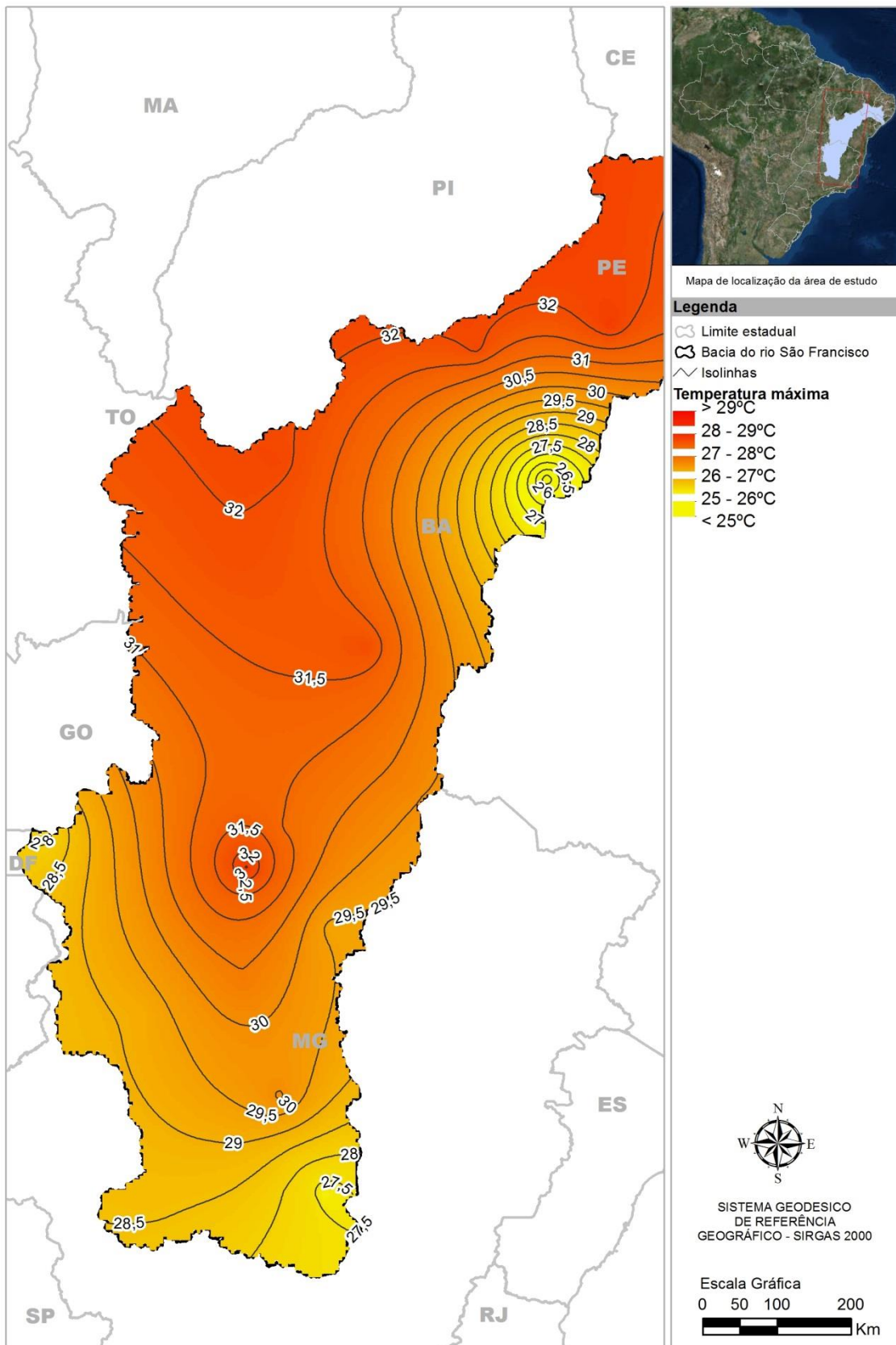


**Figura 4.3 - Temperaturas máximas, mínimas e médias mensais compensadas.**

De acordo com a sobredita figura, a temperatura média compensada na área regional varia entre 24,4°C e 20,0°C. O valor máximo de 35,5°C ocorre em Santa Rita de Cássia (Ibipetuba/BA) – (Cód. 83076), no mês de outubro e o valor mínimo de 8,2°C em Bambuí/MG – (Cód. 83582), no mês de julho.

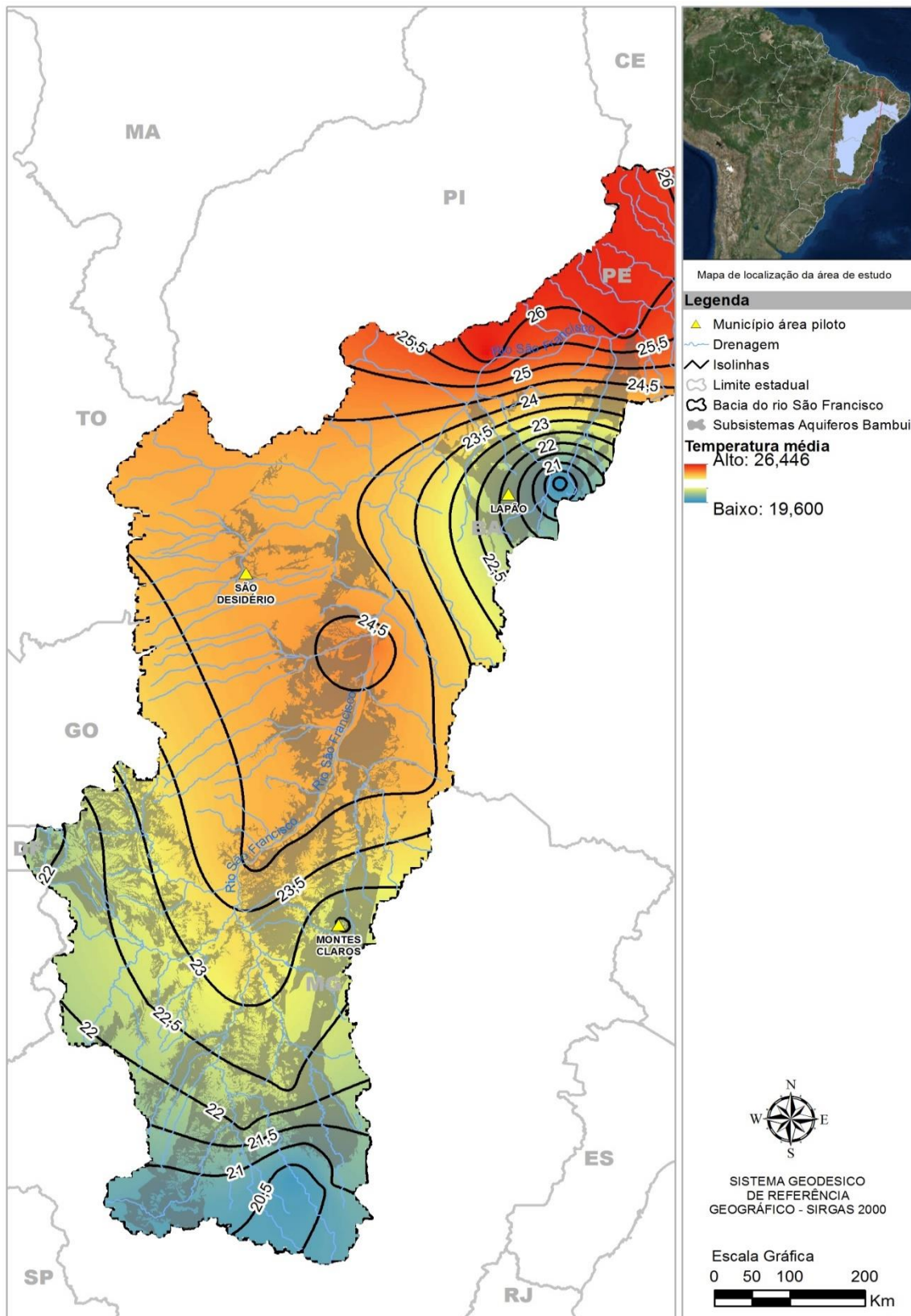
Na região de Barreiras/BA – (Cód. 83236), a temperatura média compensada varia entre o máximo de 26,4°C e o mínimo de 21,9°C. Já na região de João Pinheiro/MG – (Cód. 93481), o valor máximo é de 23,7°C e o mínimo de 19,9°C.

As Figuras 4.4, 4.5 e 4.6 apresentam, respectivamente, as isolinhas de temperaturas anuais máximas, mínimas e médias para a área regional.



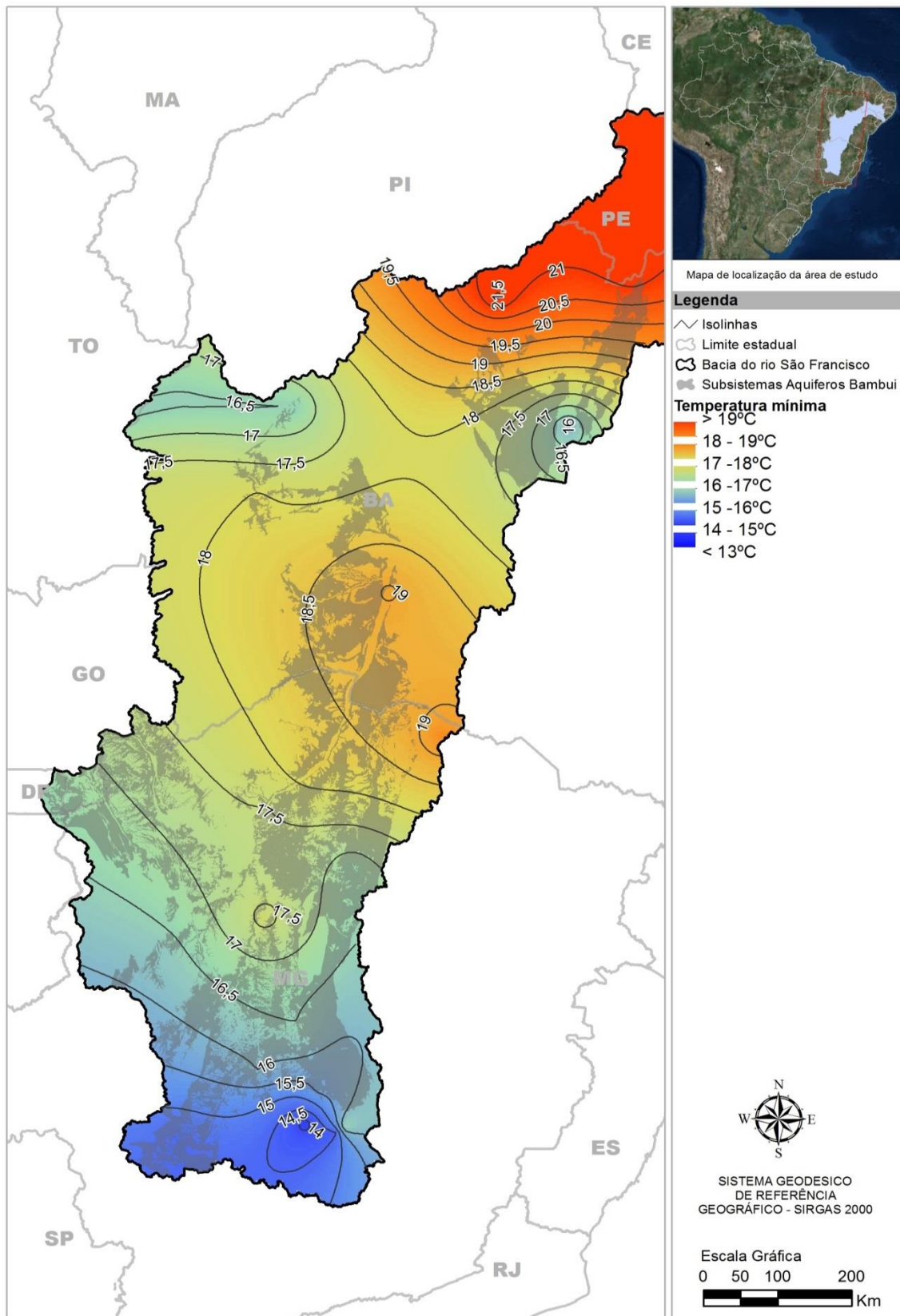
**Figura 4.4 - Isolinhas de temperatura máxima anual na área regional.**





**Figura 4.5 - Isolinhas de temperatura média anual na área regional.**

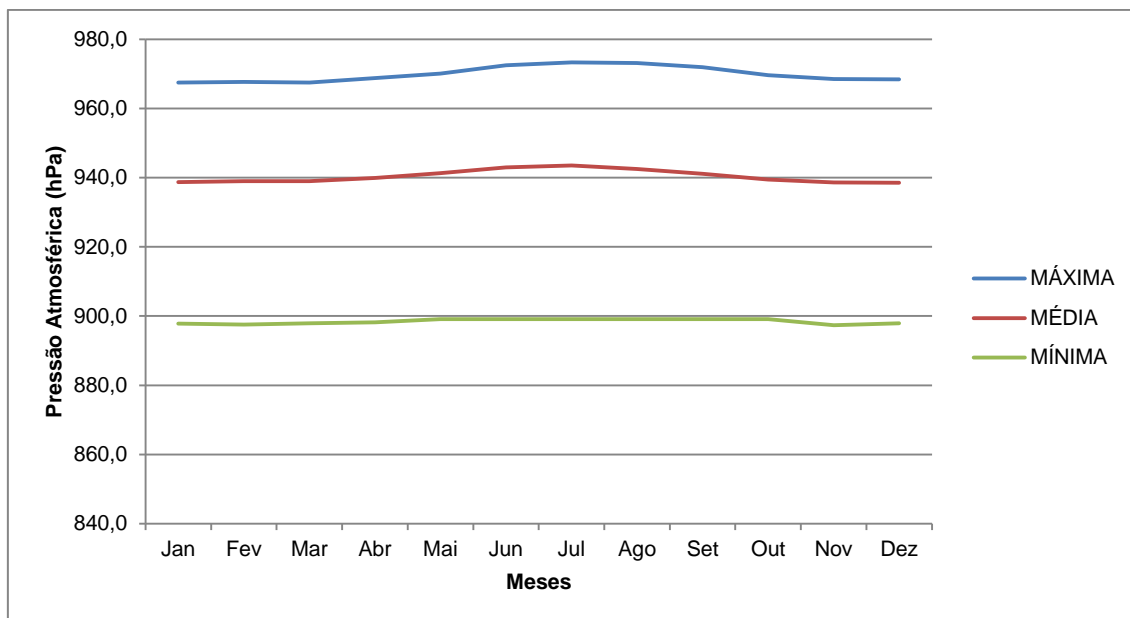




**Figura 4.6 - Isolinhas de temperatura mínima anual na área regional.**

## 4.2.2 Pressão atmosférica

Os valores normais de pressão atmosférica correspondem à média aritmética simples dos valores registrados diariamente, nos três horários diários de observação. A Figura 4.7 apresenta os valores normais de pressão atmosférica para o período de 1961 a 1990 na área regional.



**Figura 4.7 - Pressão atmosférica máxima, mínima e média mensal.**

Conforme pode ser observado na Figura 4.7, a área regional apresenta uma amplitude anual de aproximadamente 72 hPa, com máximo de cerca de 973,3 hPa em julho e mínimo de aproximadamente 897,4 hPa em novembro.

Observa-se também, que as mínimas observadas são praticamente constantes, com amplitude de 5,8 hPa. Os valores máximos apresentam variação pouco maior, com amplitude de 1,7 hPa. O valor máximo (973,3 hPa) foi observado no posto de Petrolina/PE – (Cód. 82983) e o valor mínimo (897,7 hPa) no posto de Morro do Chapéu/BA - (Cód. 83184).

Na região de Barreiras/BA – (Cód. 83236), a pressão atmosférica varia entre o máximo de 964,1 hPa e o mínimo de 959,2 hPa. Já na região de João Pinheiro/MG – (Cód. 93481), o valor máximo é de 932,9 hPa e o mínimo de 927,1 hPa.

A Figura 4.8 apresenta as isolinhas de pressão atmosférica anual para a área regional.

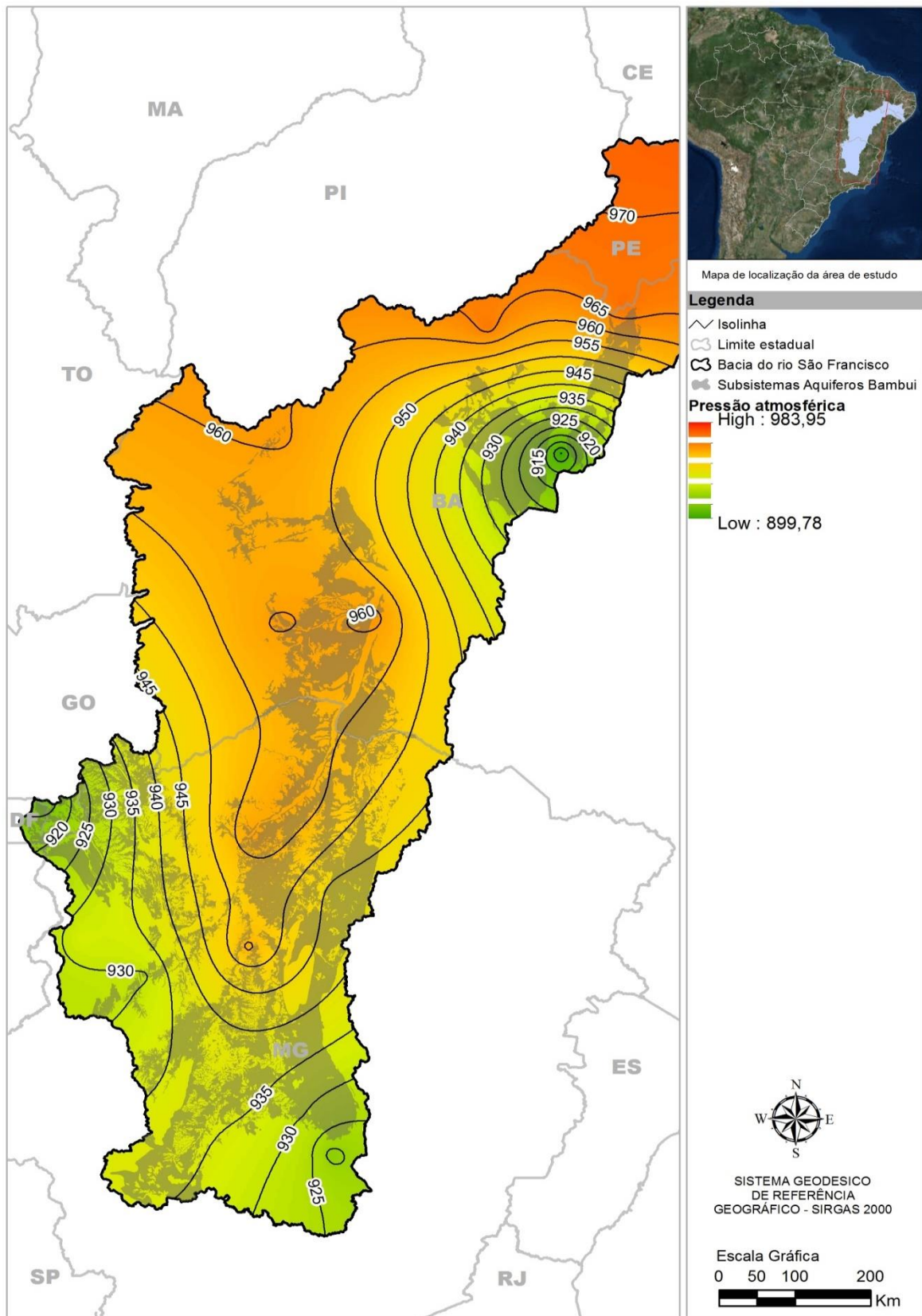


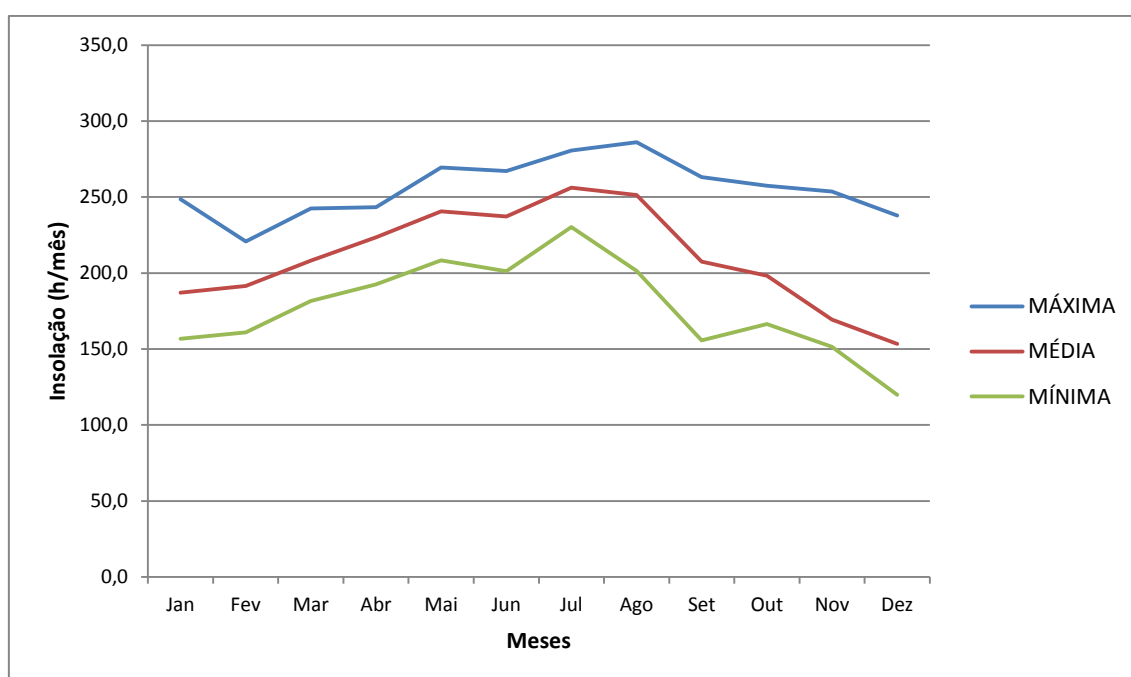
Figura 4.8 - Isolinhas de pressão atmosférica anual na área regional.

### 4.2.3 Insolação

O número de horas de brilho solar (insolação) em cada mês do ano é função não somente da nebulosidade existente, como também da duração dos dias (mais longos no verão e mais curtos no inverno).

A insolação é definida como o número de horas e décimos de horas de brilho solar incidente sobre um anteparo disposto horizontalmente à superfície. Depende, porém, além dos fatores astronômicos, da nebulosidade e do livre horizonte na trajetória solar do poente ao acaso.

A Figura 4.9 representa graficamente os máximos, mínimos e médios valores de insolação observados nos postos inseridos na área regional.



**Figura 4.9 - Insolação máxima, mínima e média mensal.**

De acordo com a figura citada, verifica-se a grande amplitude de variação de horas de insolação na área estudada, variando entre 119,9 (mínima) e 286,2 (máxima) horas mensais. O maior número de horas de brilho solar ocorre no mês de agosto, no posto de Barreiras/BA – (Cód. 82684), e o menor valor ocorre em dezembro, no posto de Formosa/GO – (Cód. 83379).

Em termos médios, os valores máximos ocorrem no mês de agosto, apresentando, a partir desse mês, uma tendência de diminuição da insolação, com mínimos registrados em dezembro. Diante disso, o total anual médio de horas de insolação na região é de aproximadamente 2.598,8 horas.

Na região de Petrolina/PE – (Cód. 82983), a insolação varia entre o máximo de 263,5 h e o mínimo de 186,7 h. Já na região de João Pinheiro/MG – (Cód. 93481), o valor máximo é de 272,9 h e o mínimo de 167,7 h.

A Figura 4.10 apresenta as isolinhas de insolação anual para a área regional.



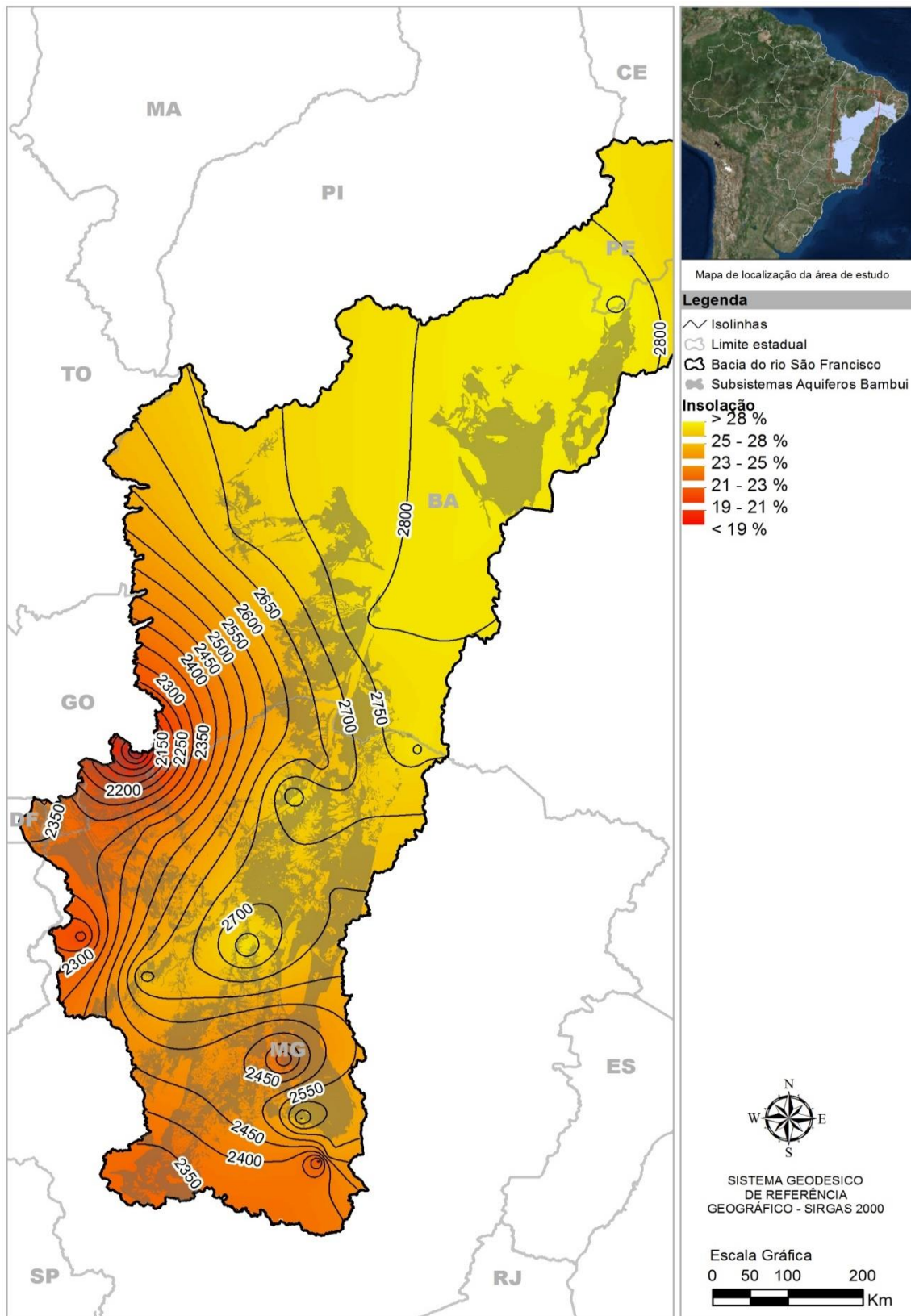


Figura 4.10 - Isolinhas de insolação anual na área regional.

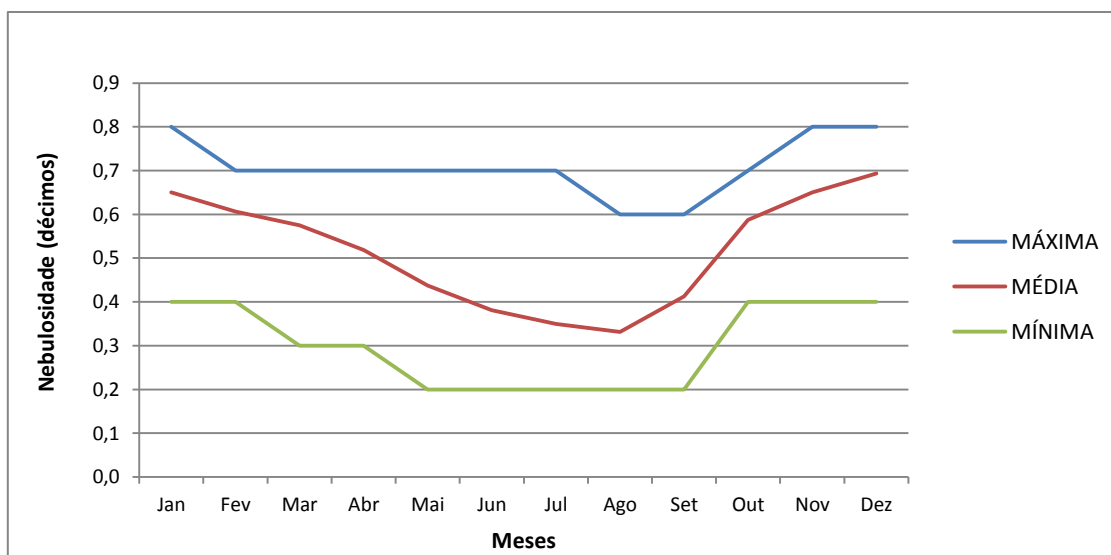
#### 4.2.4 Nebulosidade

Nebulosidade é um elemento meteorológico que traduz a fração do céu ocupada por nuvens. Segundo as normas meteorológicas atuais, a nebulosidade é geralmente indicada em décimos ou oitavos de céu coberto, podendo ser classificadas em:

- a) céu limpo ou ensolarado: nenhum vestígio de nuvens (nenhuma octa encoberta);
- b) céu quase limpo: pelo menos uma octa está encoberta;
- c) céu pouco nublado: pelo menos duas octas encobertas;
- d) céu parcialmente nublado: pelo menos quatro octas (aproximadamente metade do céu) encobertas pelas nuvens;
- e) céu quase nublado: no mínimo seis octas encobertas;
- f) céu nublado: as oito octas estão totalmente encobertas pelas nuvens.

A Figura 4.11 apresenta graficamente os dados mensais máximos, mínimos e médios de nebulosidade na área regional, usando uma escala que varia de 0 a 10.

O índice de nebulosidade é um número que representa a parcela do tempo entre as horas totais de luz solar e as horas efetivas de insolação e pode variar entre 0 (situação em que no período analisado não foram registradas horas com insolação) e 1 (onde inversamente durante todo o período ocorreu insolação). A Figura 4.11 apresenta graficamente os dados mensais máximos, mínimos e médios de nebulosidade na área regional.



**Figura 4.11 - Nebulosidade máxima, mínima e média mensal.**

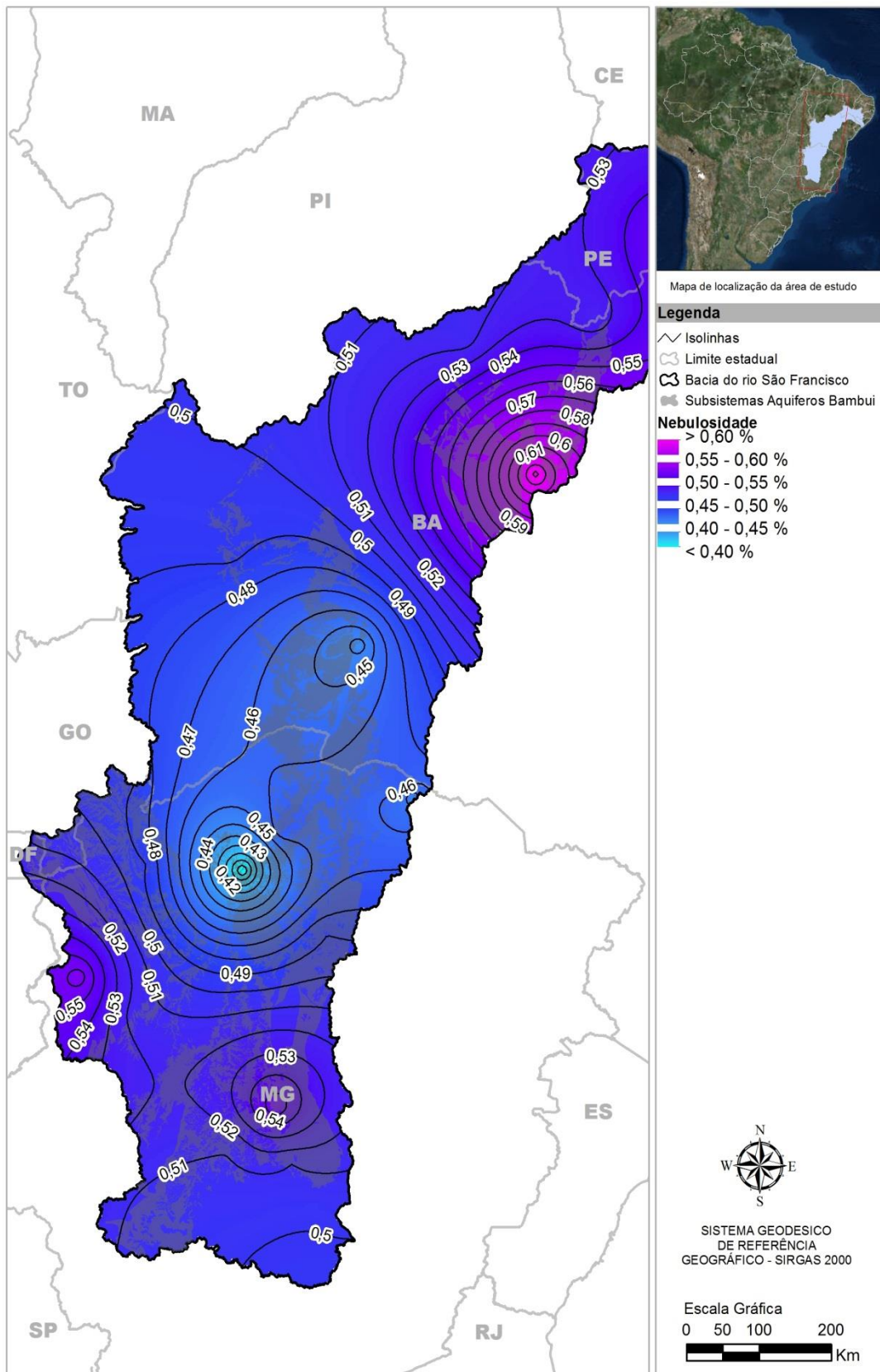


Figura 4.12 - Isolinhas de nebulosidade anual na área regional.

Conforme observado na Figura 4.11, o parâmetro nebulosidade apresenta grande amplitude de variação sazonal entre os seus valores médios mensais, com máximo de oito décimos no verão (de novembro a janeiro) e mínima cobertura de céu no inverno, com valores de dois décimos de maio a setembro.

Na região de Petrolina/PE – (Cód. 82983), a nebulosidade varia entre o máximo de seis décimos no verão e o mínimo de quatro décimos no inverno. Já na região de João Pinheiro/MG – (Cód. 93481), o valor máximo é de sete décimos e o mínimo de três décimos.

O fato de o céu ser mais limpo em meses frios, como maio a setembro, do que no verão explica-se por haver menos evaporação quando faz frio, com conseqüente menor formação de nuvens.

A Figura 4.12 apresenta as isolinhas de nebulosidade anual para a área regional.

#### 4.2.5 Umidade relativa do ar

Os valores normais de umidade relativa correspondem à média aritmética simples dos valores registrados diariamente, nos três horários diários de observação.

Na Figura 4.13 pode ser observado que a área regional apresenta uma nítida sazonalidade no tocante à umidade relativa, com valores máximos durante o inverno e mínimos durante o verão. Para a região em estudo, a umidade relativa média apresenta valores crescentes nos meses de outubro a janeiro, que se situam na faixa de 64% a 76%. Nos demais meses, a umidade relativa decresce. A amplitude anual da umidade relativa do ar na região é de aproximadamente 43%.

O valor máximo observado de 88,7% ocorre em janeiro em Paracatu/MG – (Cód. 83479) enquanto o mínimo de 41,3% ocorre em Bom Jesus da Lapa/BA – (Cód. 83288).

Na região de Petrolina/PE – (Cód. 82983), a umidade relativa do ar varia entre o máximo de 70% e o mínimo de 48%. Já na região de João Pinheiro/ MG – (Cód. 93481), o valor máximo é de 78,9% e o mínimo de 58,4%.

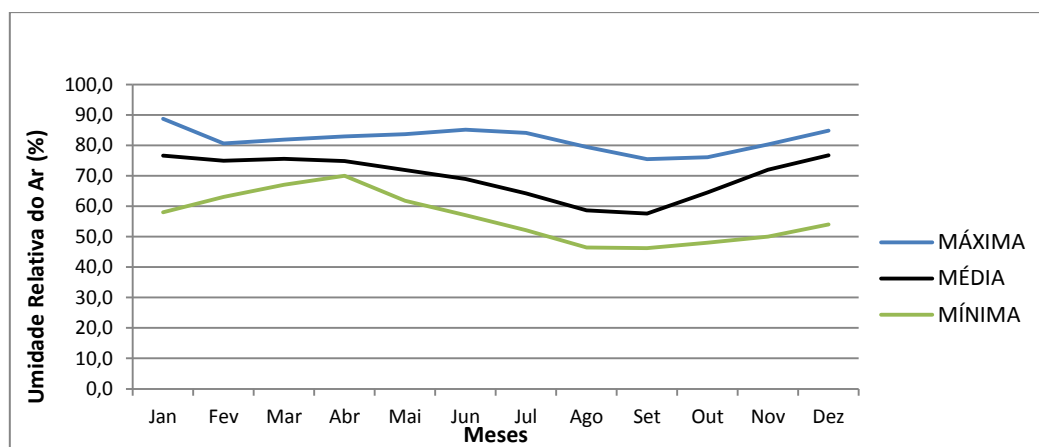


Figura 4.13 - Umidade relativa do ar máxima, mínima e média mensal.



A Figura 4.14 apresenta as isolinhas de umidade relativa do ar anual para a área regional

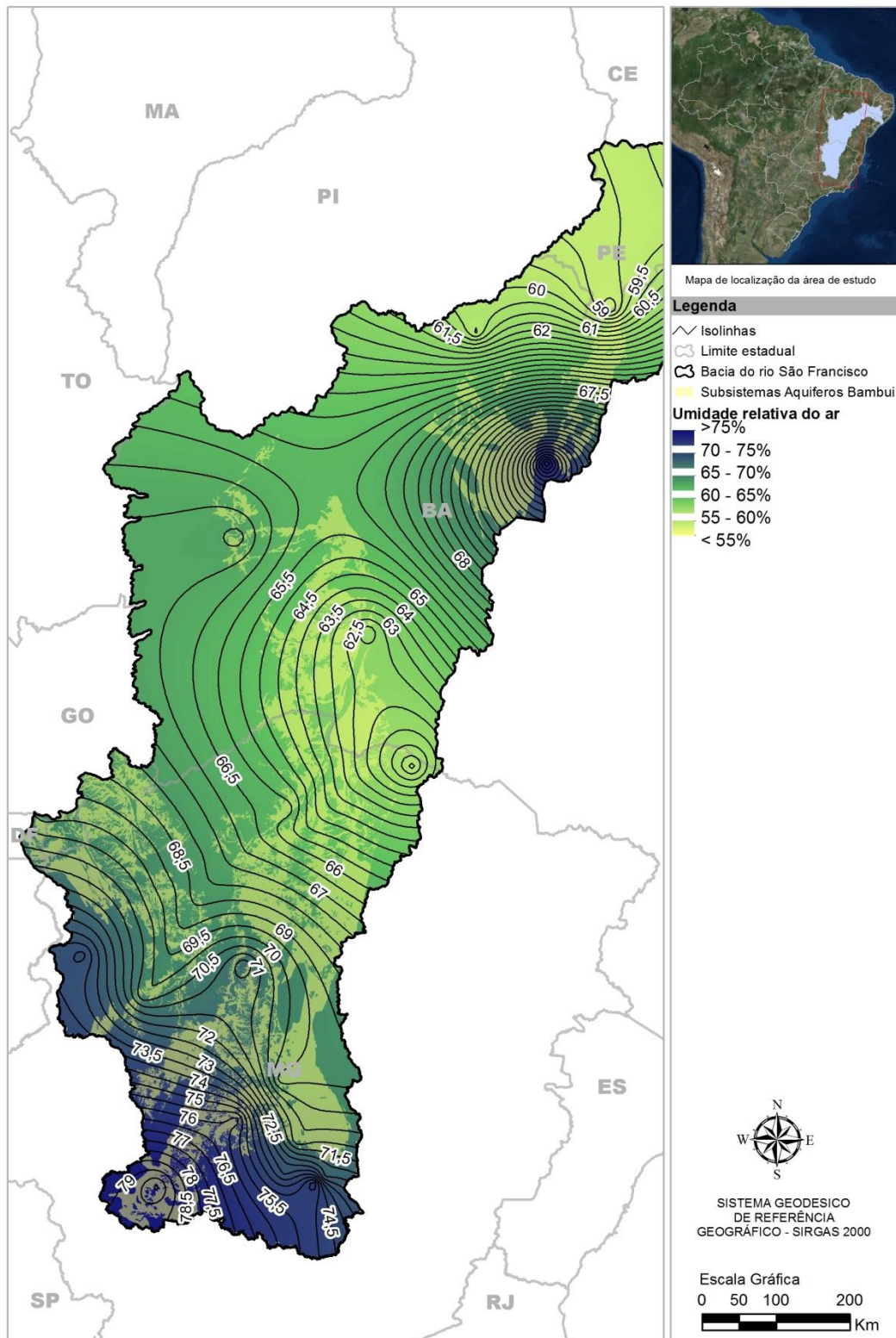
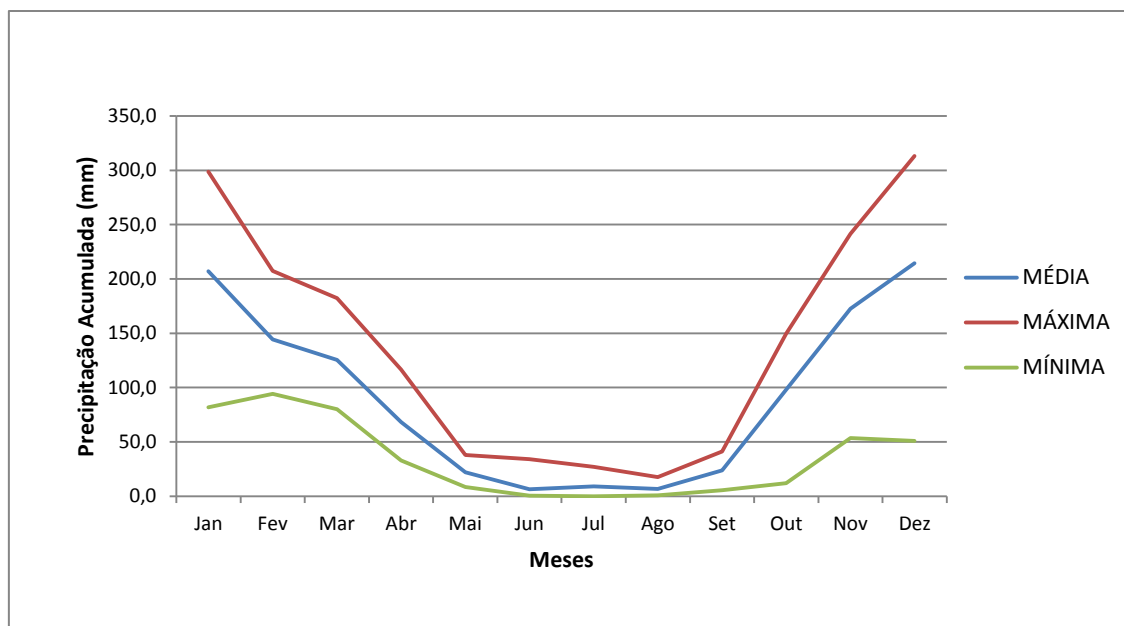


Figura 4.14 - Isolinhas de umidade relativa do ar anual na área regional.



## 4.2.6 Precipitação

A Figura 4.15 apresenta os valores normais de precipitação acumulada mensal para o período de 1961 a 1990 na área regional.



**Figura 4.15 - Precipitação acumulada máxima, mínima e média mensal.**

De acordo com os resultados observados na Figura 4.15, o valor máximo de precipitação mensal acumulada (313,1 mm) foi registrado no mês de dezembro em Unai/MG – (Cód. 83428). Diversas estações registram meses com precipitação quase nula, de junho a agosto. Isso mostra claramente o ciclo sazonal da precipitação ao longo do ano, na área em estudo, com ocorrência de chuvas entre os meses de setembro a maio, sendo mais expressivas nos meses de novembro a janeiro, caracterizando o período úmido. Isso representa em termos percentuais, aproximadamente 54% das chuvas que se concentram neste período enquanto que, durante o período seco, no trimestre de junho a agosto, precipitam-se apenas 2% das chuvas.

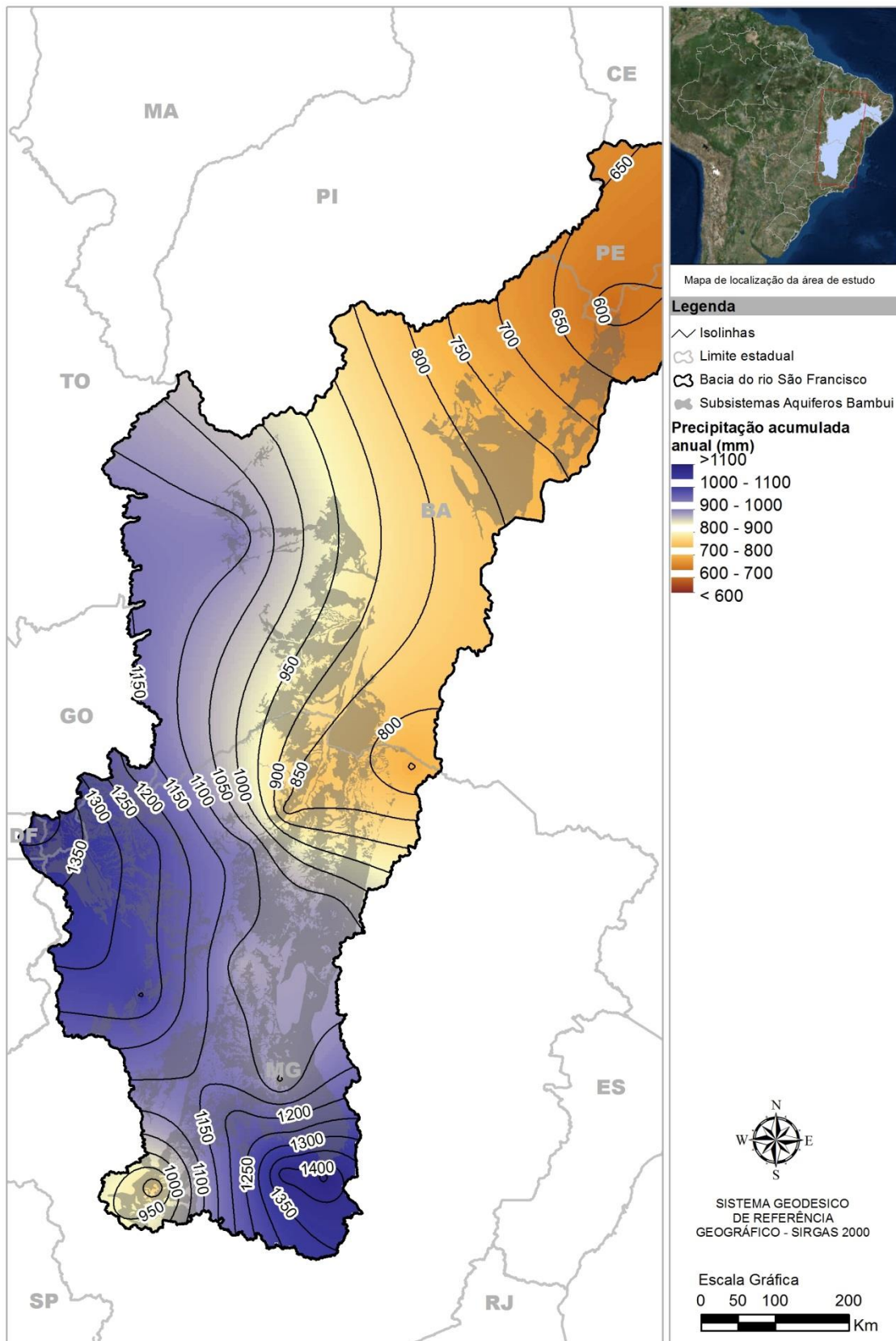
Trazendo a análise por posto pluviométrico, é possível observar a sazonalidade das precipitações, evidenciando os trimestres seco e úmido (Tabela 4.3).

**Tabela 4.3 - Sazonalidade das precipitações dos postos estudados.**

Posto	Trimestre Chuvoso	% Anual	Trimestre Seco	% Anual
Petrolina	Fevereiro - Abril	58	Junho - Agosto	3
Morro do Chapéu	Dezembro - Fevereiro	45	Julho - Setembro	8
Irecê	Dezembro - Fevereiro	50	Junho - Agosto	1
Santa Rita de Cássia (Ibipetuba)	Novembro - Janeiro	52	Junho - Agosto	0
Barreiras	Novembro - Janeiro	51	Junho - Agosto	0
Bom Jesus da Lapa	Novembro - Janeiro	56	Junho - Agosto	1
Januária	Novembro - Janeiro	55	Junho - Agosto	1
São Francisco	Novembro - Janeiro	59	Junho - Agosto	1
Montes Claros	Novembro - Janeiro	60	Junho - Agosto	1
Unaí	Novembro - Janeiro	57	Junho - Agosto	2
Paracatu	Novembro - Janeiro	52	Junho - Agosto	2
João Pinheiro	Dezembro - Fevereiro	55	Junho - Agosto	2
Bambuí	Dezembro - Fevereiro	52	Junho - Agosto	1
Pompeu	Novembro - Janeiro	57	Junho - Agosto	4
Curvelo	Novembro - Janeiro	55	Junho - Agosto	3
Sete Lagoas	Novembro - Janeiro	58	Junho - Agosto	3
Formosa	Novembro - Janeiro	56	Junho - Agosto	3
Pirapora	Novembro - Janeiro	59	Junho - Agosto	2

Quando a análise envolve comparações entre as regiões do Alto, Médio e Submédio São Francisco, verifica-se que o comportamento hidrológico apresenta acentuadas variações espaciais pluviométricas, com precipitações anuais médias que variam entre 577,4 mm e 1.463,7 mm, com média de 1.098,5 mm, conforme pode ser observado nas isolinhas de precipitação anual da Figura 4.16.

Na região de Petrolina/PE – (Cód. 82983), a precipitação acumulada varia entre o máximo de 136,3 mm (março) e o mínimo de 2,4 mm (agosto). Já na região de João Pinheiro/MG – (Cód. 93481), o valor máximo é de 266,3 mm e o mínimo de 1,6 mm.

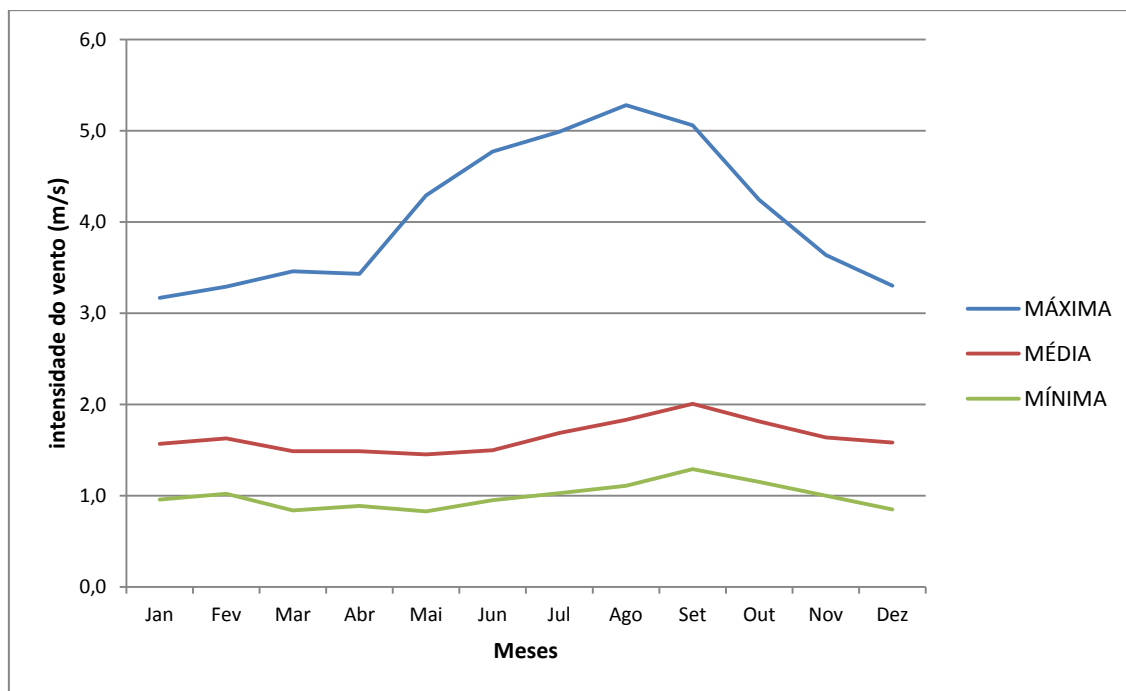


**Figura 4.16 - Isolinhas de precipitação acumulada anual na área regional.**

#### 4.2.7 Intensidade do Vento

Os valores normais de intensidade do vento são obtidos a partir da média diária de três observações de velocidade do vento.

A Figura 4.17 apresenta os valores normais de velocidade média do vento mensal para o período de 1961 a 1990 na área regional.



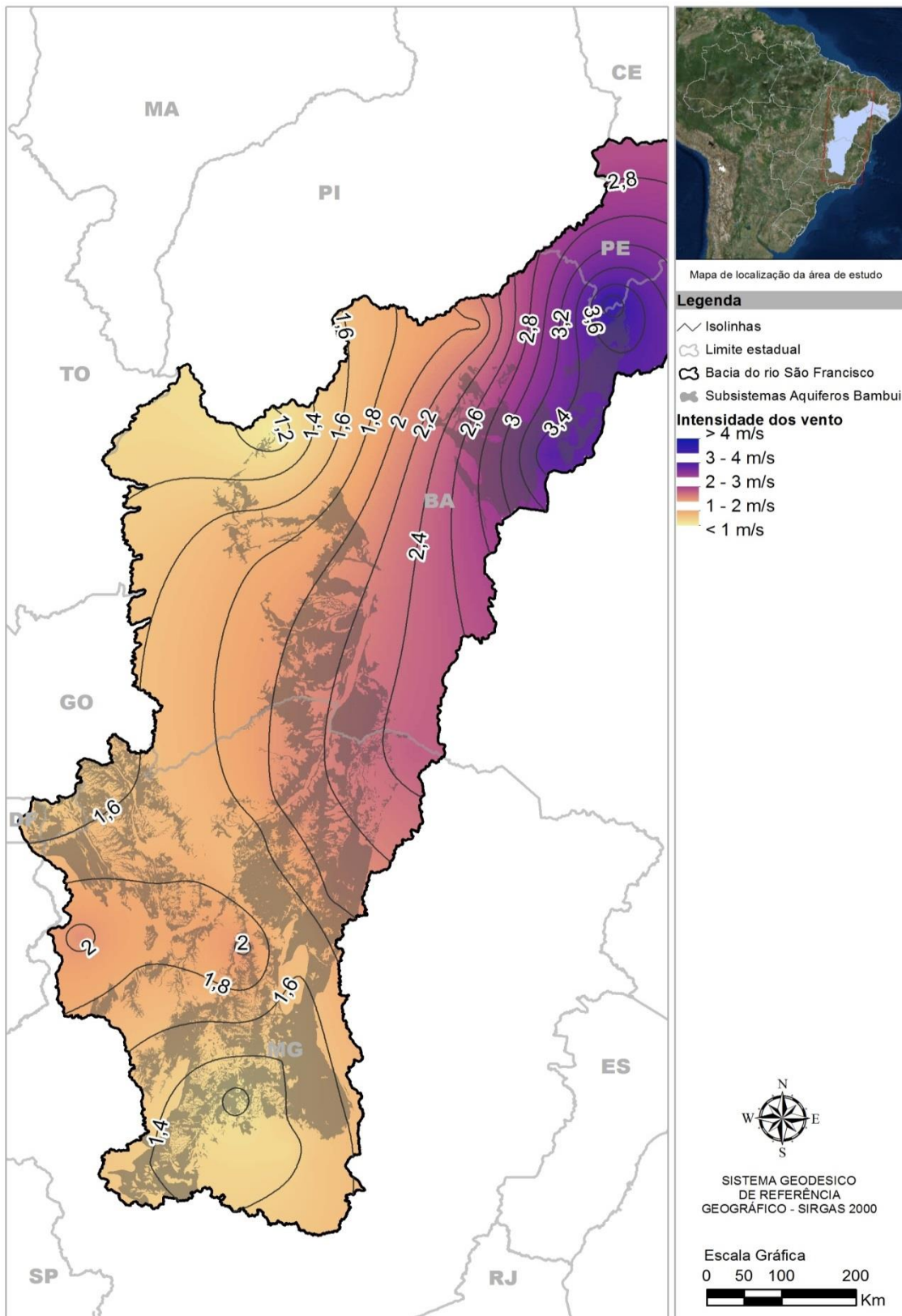
**Figura 4.17 - Intensidade máxima, mínima e média mensal do vento.**

Conforme pode ser observada na Figura 4.17, na área em estudo a velocidade do vento varia entre um mínimo de 0,90 m/s, de dezembro a fevereiro, a um máximo de 5,3 m/s em agosto. Constata-se também uma tendência significativa de aumento da velocidade do vento no período de abril a agosto e de decréscimo a partir deste mês.

O valor máximo observado (5,3 m/s) ocorre no posto de Petrolina/PE – (Cód. 82983) e o valor mínimo (0,9 m/s) no posto de Santa Rita de Cássia em Ibipetuba/BA – (Cód. 83076).

Na região de Barreiras/BA – (Cód. 83236), a intensidade do vento varia entre o máximo de 2,6 m/s e o mínimo de 1,45 m/s. Já na região de João Pinheiro/MG – (Cód. 93481), o valor máximo é de 2,1 m/s e o mínimo de 1,49 m/s. A Figura 4.18 apresenta as isolinhas de intensidade de vento anual para a área regional.

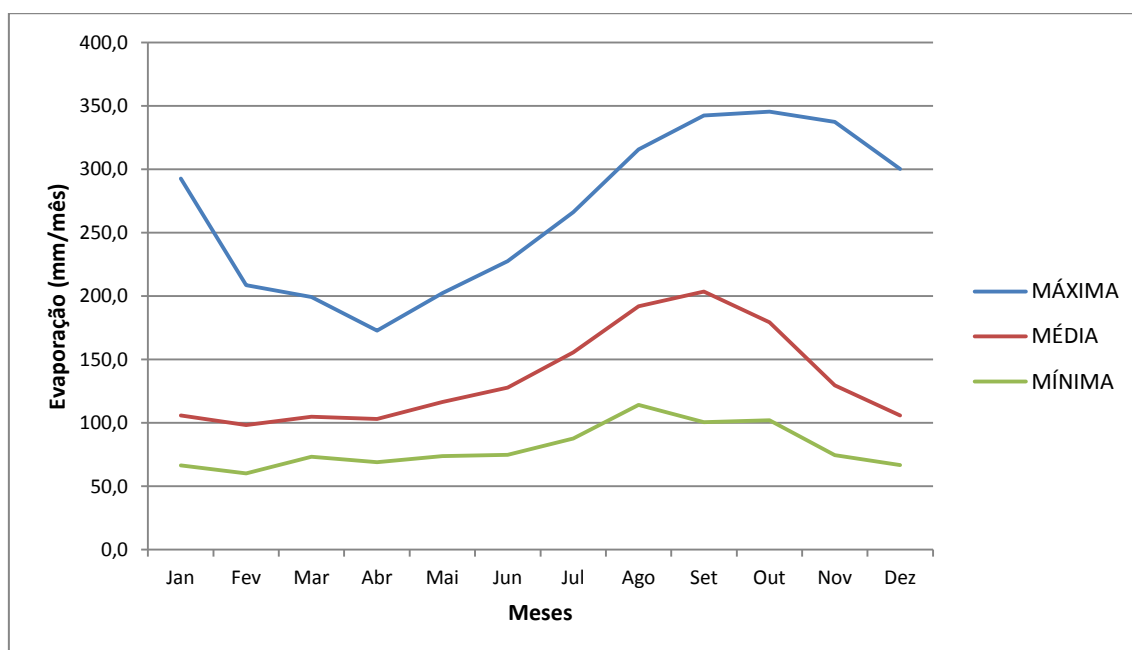




**Figura 4.18 - Isolinhas de intensidade de vento anual na área regional.**

## 4.2.8 Evaporação

A Figura 4.19 apresenta os valores normais do total mensal de evaporação para o período de 1961 a 1990 na área regional.



**Figura 4.19 - Evaporação máxima, mínima e média mensal.**

Conforme pode ser observado na Figura 4.19, a área regional apresenta grande variação na evaporação mensal acumulada. Para a área estudada observa-se o valor máximo de 345,3 mm em outubro e mínimo de 60,2 mm em fevereiro, o que resulta em amplitude de 285,1 mm.

É possível observar, para evaporação média, que nos meses de dezembro a abril a variação dos valores normais é muito pequena, mudando de comportamento no período de maio a setembro quando ocorre uma elevação gradual até voltar a diminuir entre os meses de outubro e dezembro. Os valores mínimos de evaporação apresentam pequena variação, com mínimo de 60,2 mm no mês de fevereiro em São Francisco/MG – (Cód. 83385) e máximo de 114,3 mm em Curvelo/MG – (Cód. 83536), enquanto para os valores máximos a variação é bastante significativa, com valores entre 345,3 mm em outubro e 172,7 em abril, para o mesmo posto, Petrolina/PE – (Cód. 82983).

Na região de Barreiras/BA – (Cód. 83236), a evaporação varia entre o máximo de 240,8 mm e o mínimo de 69,4 mm. Já na região de João Pinheiro/MG – (Cód. 93481), o valor máximo é de 188,2 mm e o mínimo de 92,2 mm.

A Figura 4.20 apresenta as isolinhas de evaporação anual para a área regional.

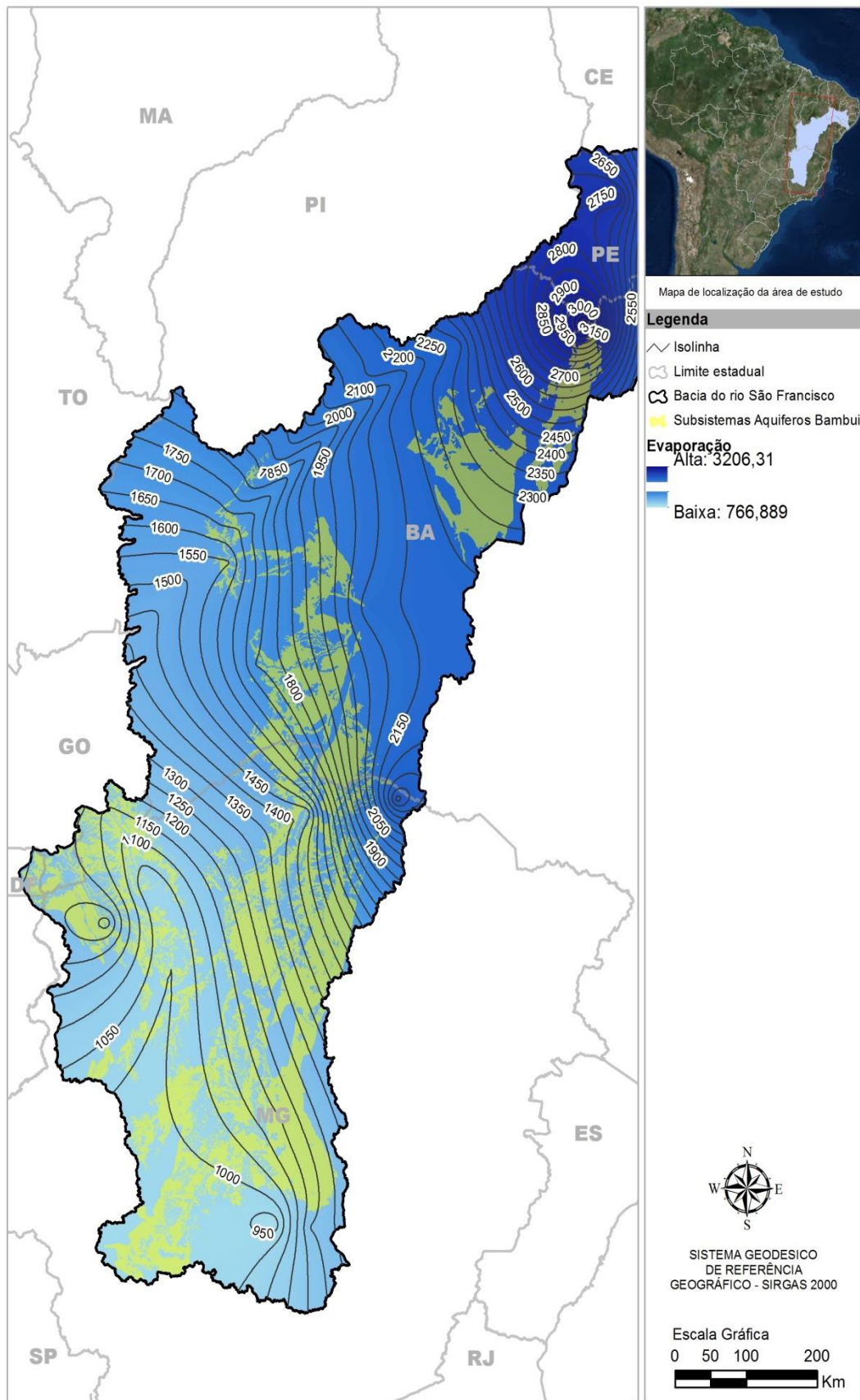


Figura 4.20 - Isolinhas de evaporação anual na área regional.

### 4.3 Dados hidrológicos

O entendimento da dinâmica hídrica entre a Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco e os aportes subterrâneos provenientes dos aquíferos cársticos é fundamental para a estimativa dos quantitativos disponibilizados para a manutenção do fluxo de base dos rios presentes na área de estudo.

Nas bacias hidrográficas, em geral, as águas infiltradas podem eventualmente voltar à superfície numa bacia vizinha, uma vez que não ficam forçosamente circunscritas aos divisores topográficos. Esse comportamento é particularmente frequente nos aquíferos cársticos, dada a intensa e extensa heterogeneidade do meio.

Após a coleta dos dados hidrológicos, os estudos desenvolvidos no âmbito deste trabalho buscam avaliar a contribuição dos aquíferos cársticos na manutenção do fluxo de base do Rio São Francisco. Os dados hidrogeológicos, por sua vez, dão suporte a várias etapas do trabalho, desde etapas de campo até os estudos de zoneamento de vazões.

Os seguintes passos foram desenvolvidos:

- identificação dos postos pluviométricos e fluviométricos na região de desenvolvimento dos estudos;
- seleção dos postos a serem trabalhados;
- obtenção de dados pluviométricos e fluviométricos no Hidroweb;
- realização de análises de consistência dos dados pluviométricos e fluviométricos;
- obtenção de dados hidrogeológicos dos órgãos governamentais envolvidos com o controle de águas subterrâneas em cada estado ou no Brasil;
- avaliação, verificação e, quando necessário, compatibilização dos bancos de dados disponibilizados pelos órgãos;
- análise desses dados;
- preenchimento de falhas para a obtenção das séries a serem trabalhadas;
- unificação em um único banco de dados das informações sobre a hidrogeologia da área de estudo.

O levantamento dos postos pluviométricos e fluviométricos foi realizado a partir do cruzamento de informações entre os limites estabelecidos para os aquíferos em estudo e toda a rede disponível de postos. Assim, tomou-se como referência, tendo em vista a área de abrangência regional do presente estudo, toda a região do Alto, Médio e Submédio curso do Rio São Francisco, que inclui as sub-bacias 40 a 47 do referido rio.

Na área em questão, foram identificados 186 postos pluviométricos (ANEXO 3) e 141 postos fluviométricos (ANEXO 4), com registro no banco de dados do *Hidroweb* (ANA). Em seguida, foram obtidos dados diários das séries históricas de cada um desses postos.

Numa primeira análise dos dados foram descartados os postos pluviométricos e fluviométricos com ausência de série histórica. Em seguida, foram

selecionados os postos com o maior número de dados pluviométricos e pluviométricos disponíveis.

Após essas análises foram selecionados 135 postos pluviométricos (ANEXO 3) e 105 postos pluviométricos (ANEXO 4). Para estes postos, foi realizada uma análise do período de disponibilidade de informações (acima de 30 anos de dados), que indicou a existência de registros mensais entre os anos de 1941 a 2011, para os postos pluviométricos, e registros mensais entre os anos de 1925 a 2014 para os postos pluviométricos.

As Figuras 4.21 e 4.22 espacializa os postos pluviométricos e pluviométricos selecionados e descartados para a área de estudo.

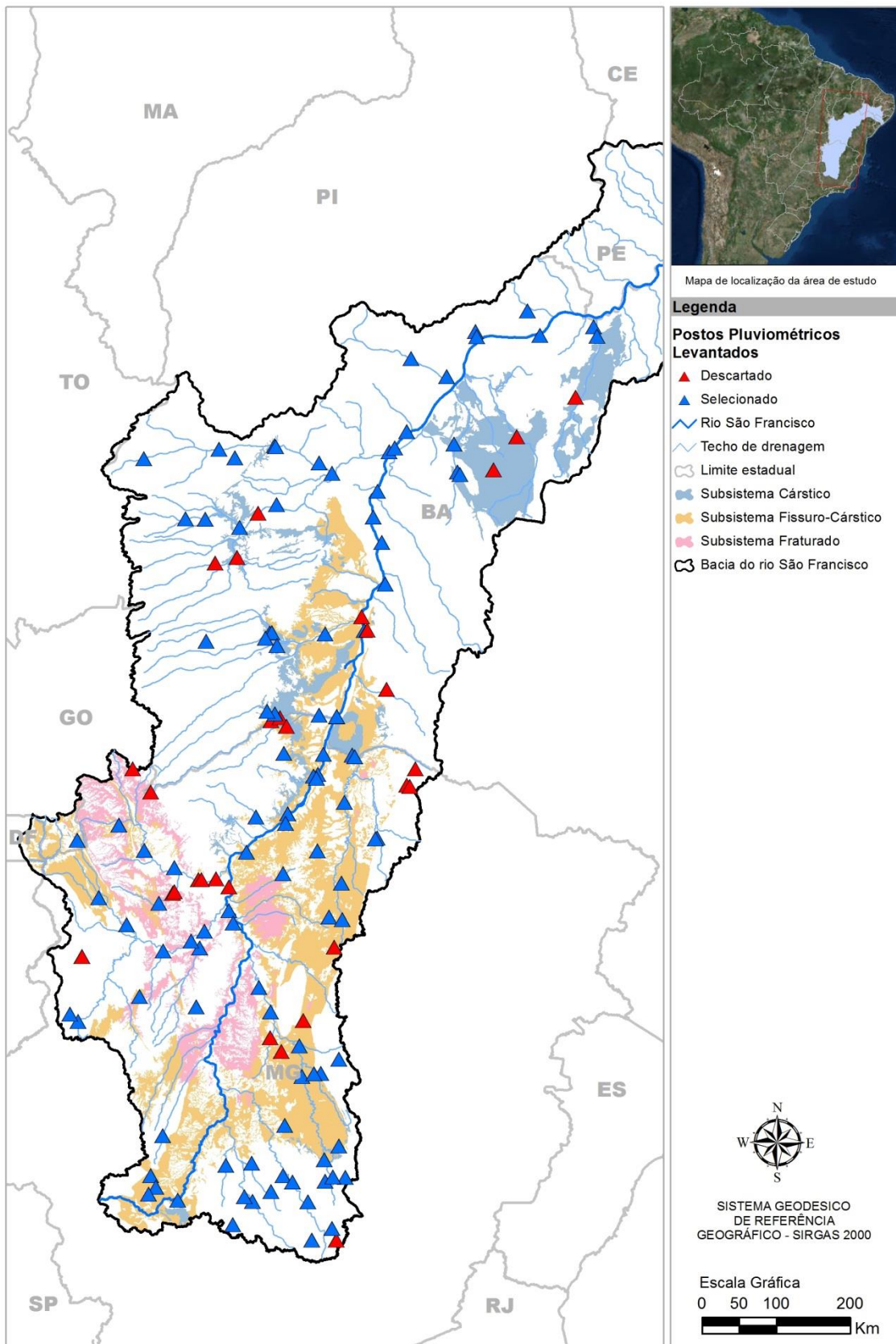
#### **4.4 Dados pluviométricos**

Os postos selecionados para o levantamento de dados pluviométricos estão localizados nas sub-bacias 40 a 47, localizadas no Alto, Médio e Submédio São Francisco, segundo a classificação da ANA. Os dados foram importados do portal Hidroweb (ANA).

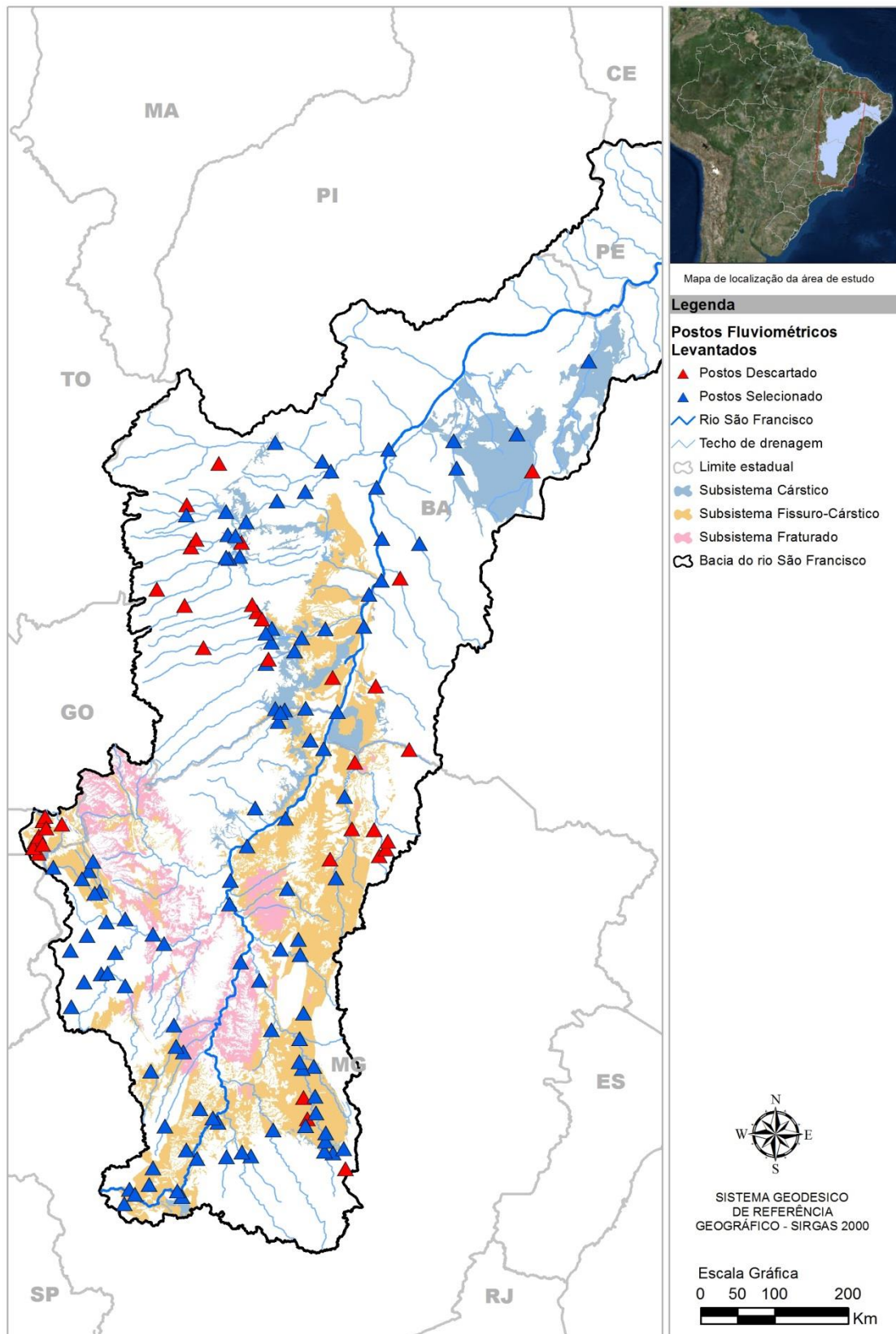
Numa primeira análise dos dados, foram descartados os postos pluviométricos com ausência de série histórica e, foram selecionados os postos com o maior número de dados pluviométricos disponíveis. Foi constatada a existência de registros mensais entre os anos de 1925 e 2014.

Como mencionado anteriormente, foram analisados 141 postos (Figura 4.22) que estão dentro dos limites de área estabelecidos para os aquíferos em estudo, onde foram obtidos dados diários das séries históricas de cada posto. Para todos eles foram realizados preenchimento de falhas. O ANEXO 1 sintetiza os dados disponíveis, informando: os códigos dos postos e seus respectivos nomes; a sub-bacia; o rio e o município onde está inserido; suas coordenadas; área drenada; e o número de anos com dados disponíveis.





**Figura 4.21 - Postos pluviométricos selecionados e descartados na área de estudo.**



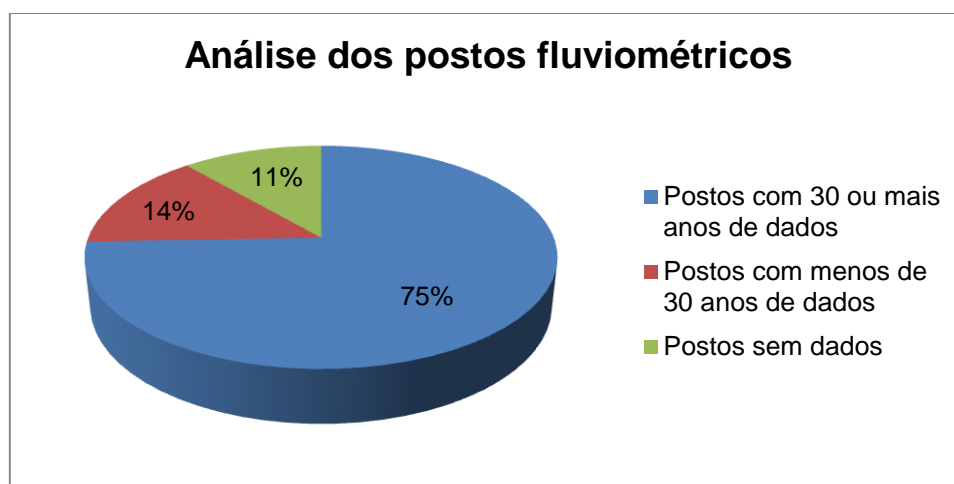
**Figura 4.22 - Postos fluviométricos selecionados e descartados na área de estudo.**

Para esse estudo, foi considerado como “ano de dados disponíveis” a existência de qualquer mês do ano com todos os dias contendo o dado requerido. Com essa consideração, a sub-bacia 42 é a que apresenta um maior número de postos, com 33. Por outro lado, a sub-bacia 43 é a que contém o menor número de postos com dados disponíveis, sendo somente um.

Do total de postos fluviométricos, 105 apresentam 30 ou mais anos de dados, tendo uma representatividade de 75% do total de postos, como visto na Figura 4.23.

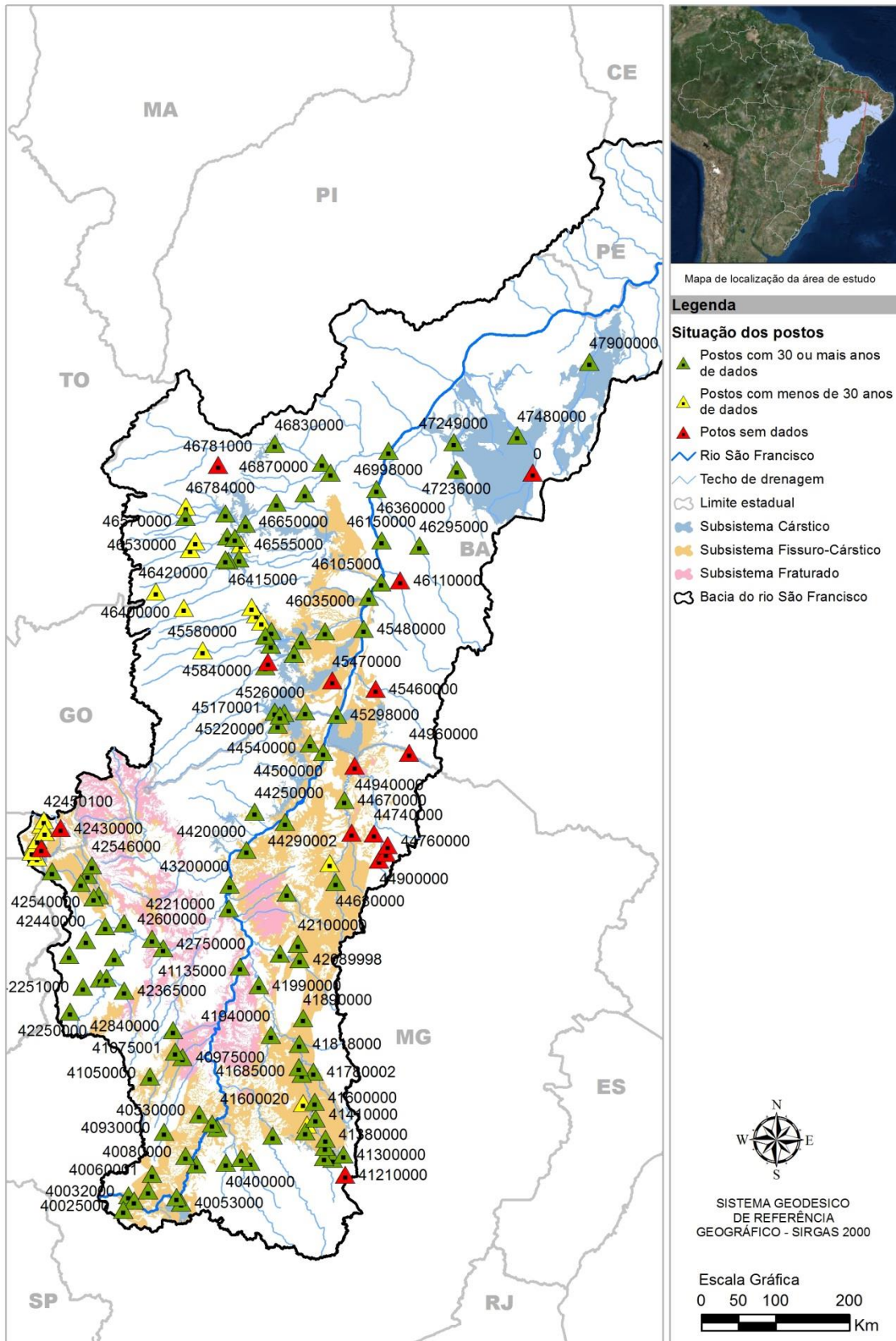
O percentual de postos sem qualquer dado fluviométrico chega a 11% e os postos com menos de 30 anos de dados correspondem a 14%. Logo, se tem uma considerada amostra de dados compatíveis com os requisitos prescritos anteriormente. A localização desses postos está na Figura 4.24.

A Tabela 4.4, resume o número total de postos por bacia e quantos destes têm uma série de dados com 30 anos ou mais. A lista dos determinados postos é mostrada no ANEXO 2.



**Figura 4.23 - Análise dos postos fluviométricos.**





**Figura 4.24 - Localização dos postos fluviométricos.**

**Tabela 4.4 - Análise de dados por sub-bacia.**

Sub-bacia	Nº de Postos	Nº de postos com Dados Úteis*	%
40	18	18	100%
41	21	18	86%
42	33	24	73%
43	1	1	100%
44	15	7	47%
45	21	14	67%
46	27	19	70%
47	5	4	80%

\*Postos com dados úteis se refere aos que contém no mínimo 30 anos de dados.

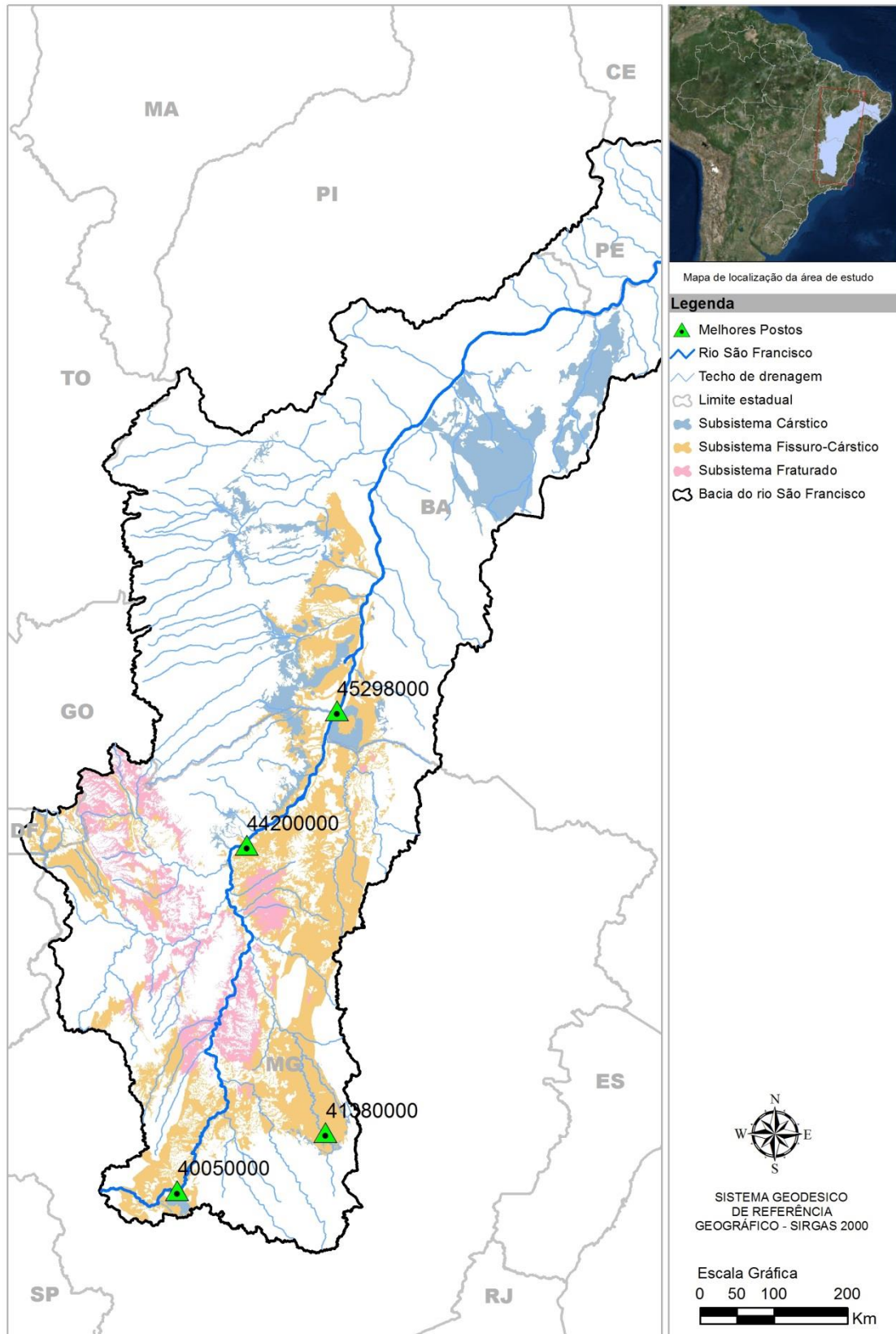
Ao analisar a Tabela 4.4, verifica-se que há uma boa distribuição dos postos com uma quantidade mínima de 30 anos de dados, onde somente a sub-bacia 44 tem menos de 65% dos postos com essa quantidade de dados.

Para a realização desse estudo, é de extrema importância a seleção de postos com uma grande quantidade de dados ao longo dos anos. E na área do projeto, destacam-se quatro postos que tem dados ao longo de 80 anos, sendo estes distribuídos igualmente nas sub-bacias 40, 41, 44 e 45, mais uma vez, garantindo uma boa distribuição dos dados. A Tabela 4.5 e a Figura 4.25 detalham os postos referidos.

**Tabela 4.5 - Postos que apresentam as melhores séries de dados.**

Sub-bacia	Código do posto	Nome	Rio	Dados		Anos com dados
				Início	Fim	
40	40050000	Iguatama	Rio São Francisco	01/01/1931	-	82
41	41380000	Preta	Rio Jabuticatubas	01/01/1943	-	81
44	44200000	São Francisco	Rio São Francisco	01/01/1934	-	80
45	45298000	Carinhanha	Rio São Francisco	01/09/1927	-	88



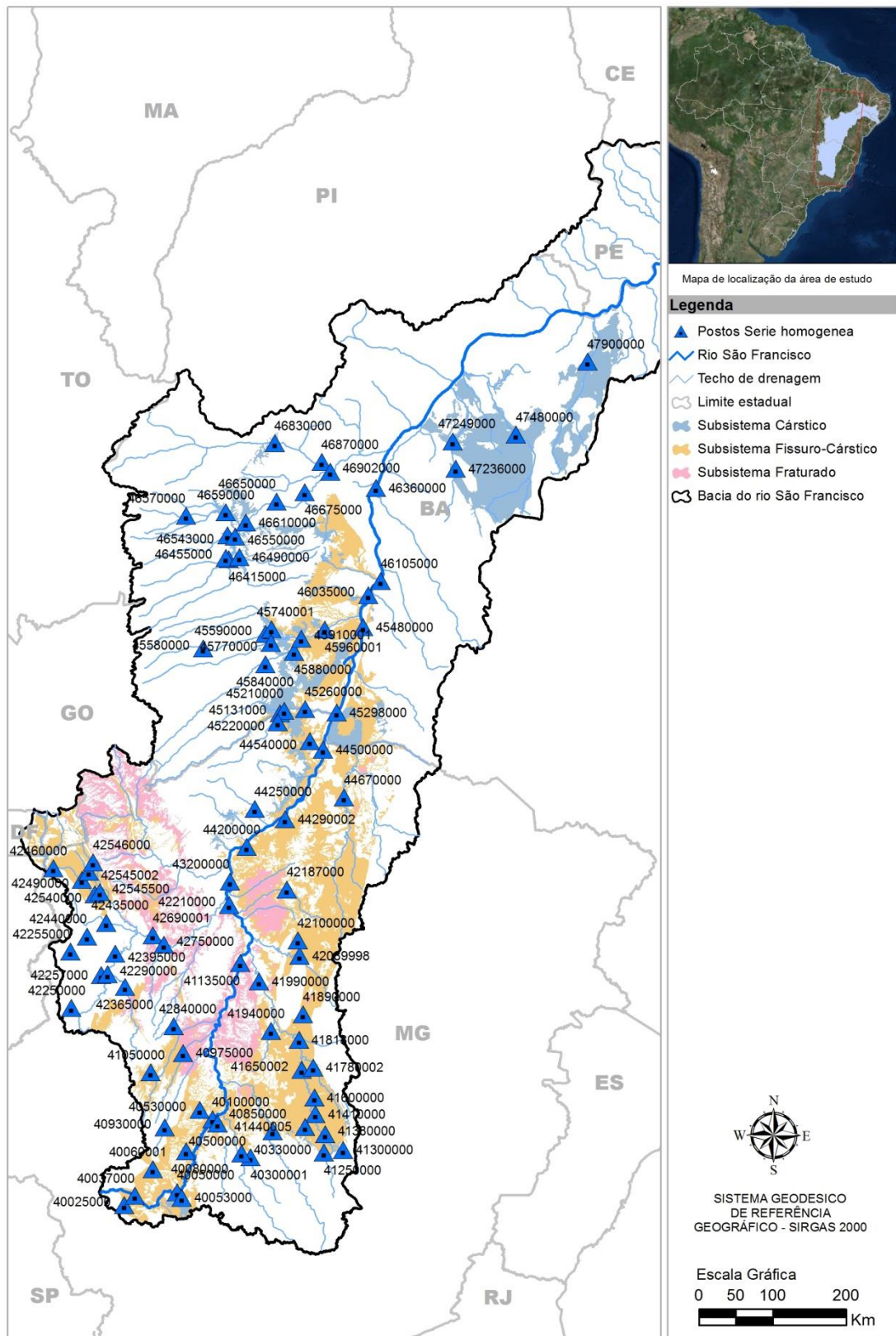


**Figura 4.25 - Melhores postos fluviométricos.**

Relacionando os postos por sub-bacia e verificando quais séries fluviométricas apresentava um período de dados comum, percebeu-se que apenas nas sub-bacias 42 e 47 não foi possível obter uma série de dados com no mínimo 30 anos. Por essa analogia foram descartados 16 postos, consequentemente restando 85 (Figura 4.26), tendo assim uma maior homogeneidade nos resultados finais. A Tabela 4.6 apresenta a conformidade mencionada. É preciso destacar também que agrupando todas as sub-bacias, a região em destaque tem uma série de dados contendo 25 anos em comum.

**Tabela 4.6 - Análise dos postos fluviométricos que apresentam o mesmo período de dados por subbacia.**

Sub-bacia	Nº de postos	Ano de início	Ano de fim	Total de anos
40	14	1976	2010	35
41	14	1979	2012	34
42	21	1982	2010	29
43	1	1952	2014	63
44	6	1974	2011	38
45	13	1977	2013	37
46	16	1979	2013	35
47	4	1984	2008	25



**Figura 4.26 - Postos fluviométricos com série homogênea.**

## 4.5 Dados pluviométricos

Após a identificação dos postos pluviométricos inseridos na área em estudo, e diante de uma primeira análise dos dados diários de cada posto, o ANEXO 3 mostra a relação deles indicando o número de anos com dados disponíveis, além de especificar a sub-bacia considerada, o código do posto, as coordenadas de localização, estado e município. Para esta análise foi considerado como um “ano de disponibilidade de informações” a existência de 12 meses com dados, consecutivos ou não.

Como já dito, os postos pluviométricos trabalhados no presente estudo, são os que possuem o maior número de dados disponíveis, adotando-se como critério séries históricas de dados acima de 30 anos. Vale ressaltar que os postos localizados nas proximidades dos limites do Carste São Francisco foram incluídos quando a densidade de postos era insuficiente na área considerada. No cômputo geral, considerando os critérios adotados, 73% dos poços levantados inicialmente foram selecionados para o estudo. Em outras palavras, de 186 postos foram selecionados 135.

A Figura 4.27 mostra os postos pluviométricos que foram trabalhados no presente estudo (na área regional), classificando-os em relação ao número de anos com dados. Observou-se que a maior concentração de postos ocorre na região do Alto São Francisco, mais especificamente no estado de Minas Gerais.

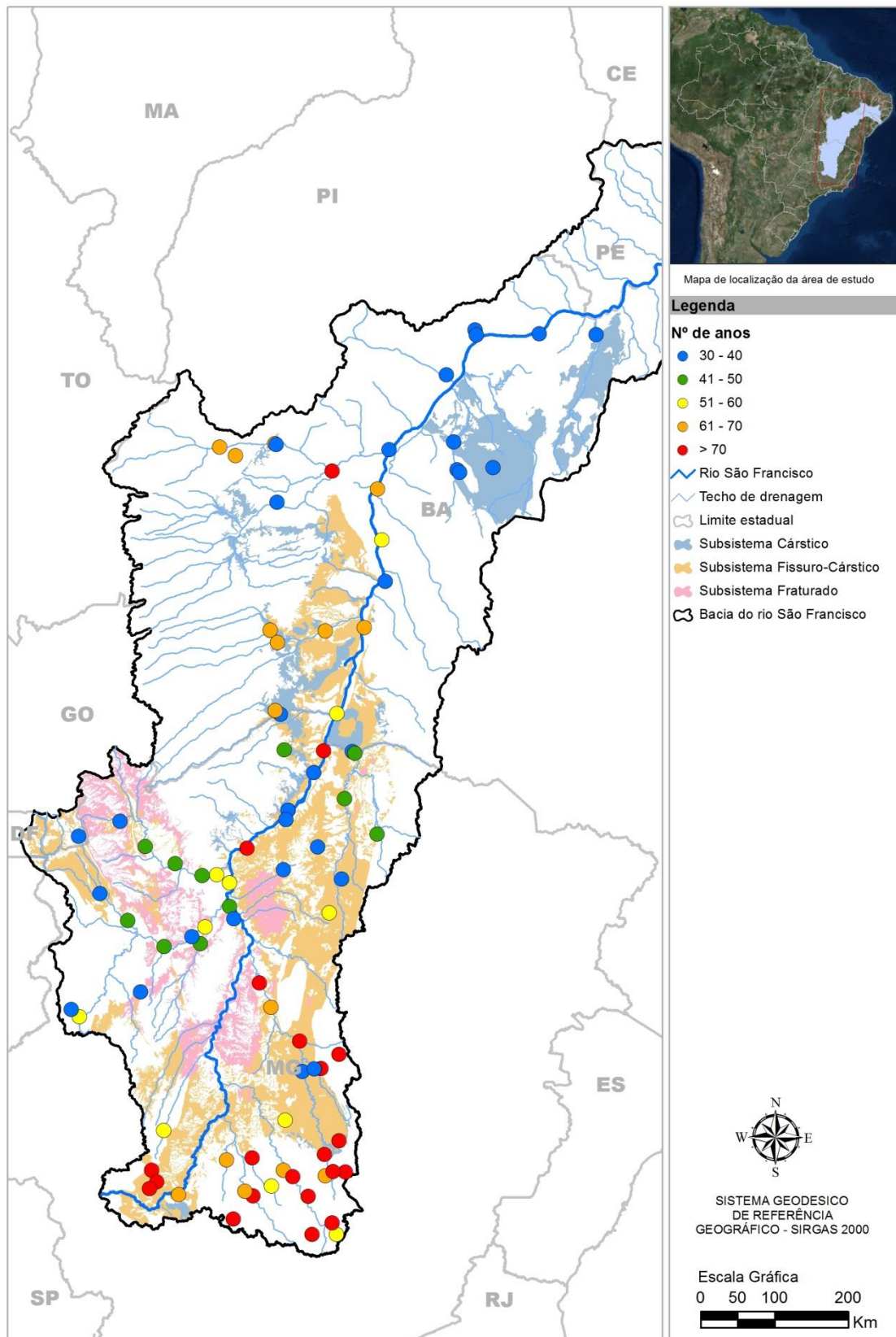
## 4.6 Integração de dados hidrológicos

Para a composição da base de dados, referente às informações hidrológicas da área em estudo, foi realizado um levantamento dos postos pluviométricos e fluviométricos, como acima exposto. A esta base de dados foi incorporado o banco de dados hidrológicos dos estudos do Sistema Aquífero Urucuia desenvolvidos em ANA (2017), visando subsidiar uma melhor compreensão das relações entre os dois principais sistemas aquíferos da região hidrográfica.

As estações hidrológicas de chuva e vazão trabalhados no estudo do Aquífero Urucuia e que foram integrados ao estudo do Carste São Francisco estão apresentados nos mapas das Figuras 4.28 e 4.29. Considerando a incorporação dos dados hidrológicos do Urucuia, o panorama geral de informações hidrológicas ficou como mostrado a seguir:

- Do total de 136 postos pluviométricos selecionados para o estudo do Carste do São Francisco, 67 foram utilizados também no estudo do Aquífero Urucuia;
- Do total de 143 postos fluviométricos selecionados para o estudo do Carste do São Francisco, 65 foram utilizados também no estudo do Aquífero Urucuia.





**Figura 4.27 - Localização dos postos pluviométricos selecionados por número de anos de dados.**



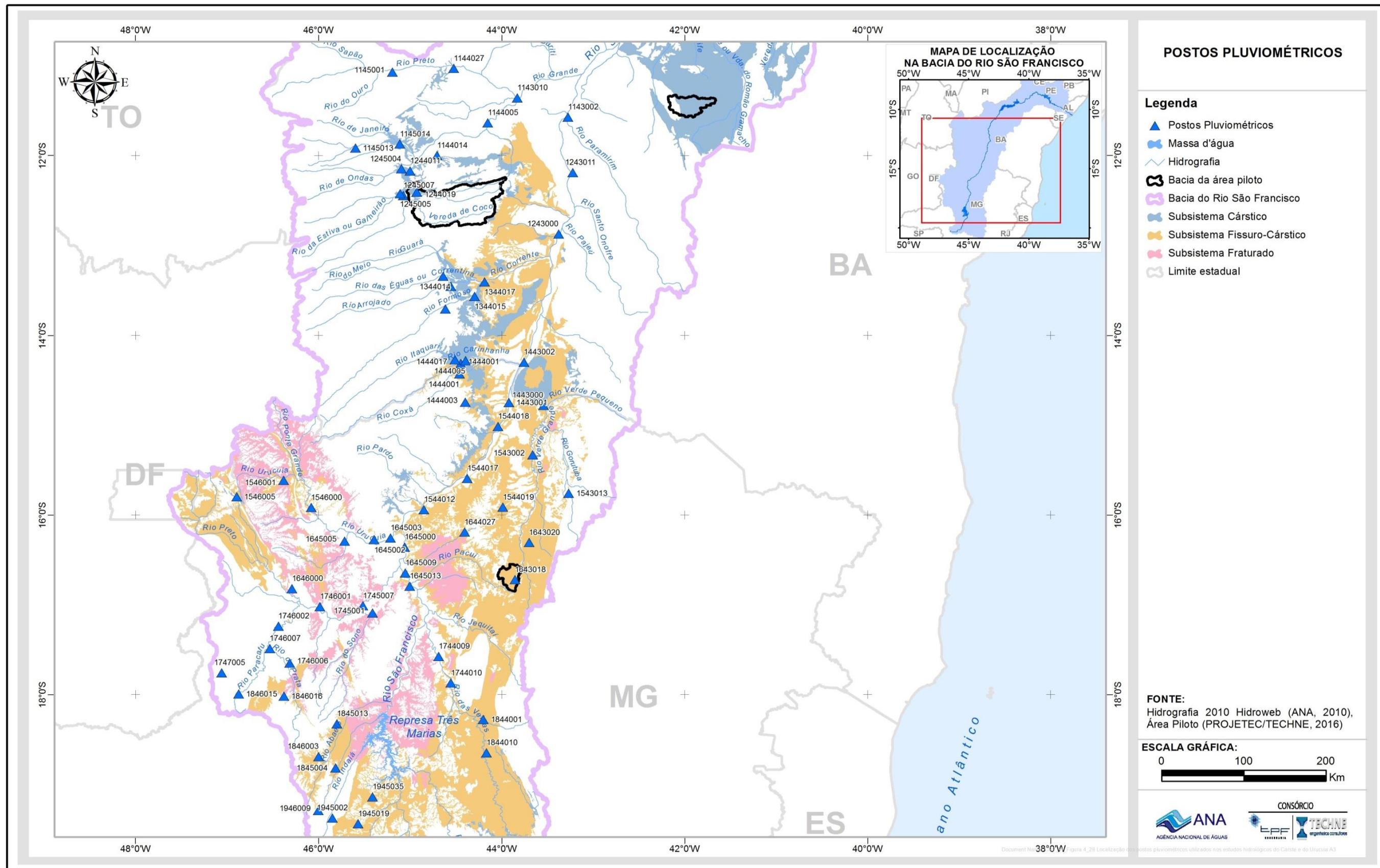


Figura 4.28 - Localização dos postos pluviométricos utilizados nos estudos hidrológicos do Carste e do Urucuia.



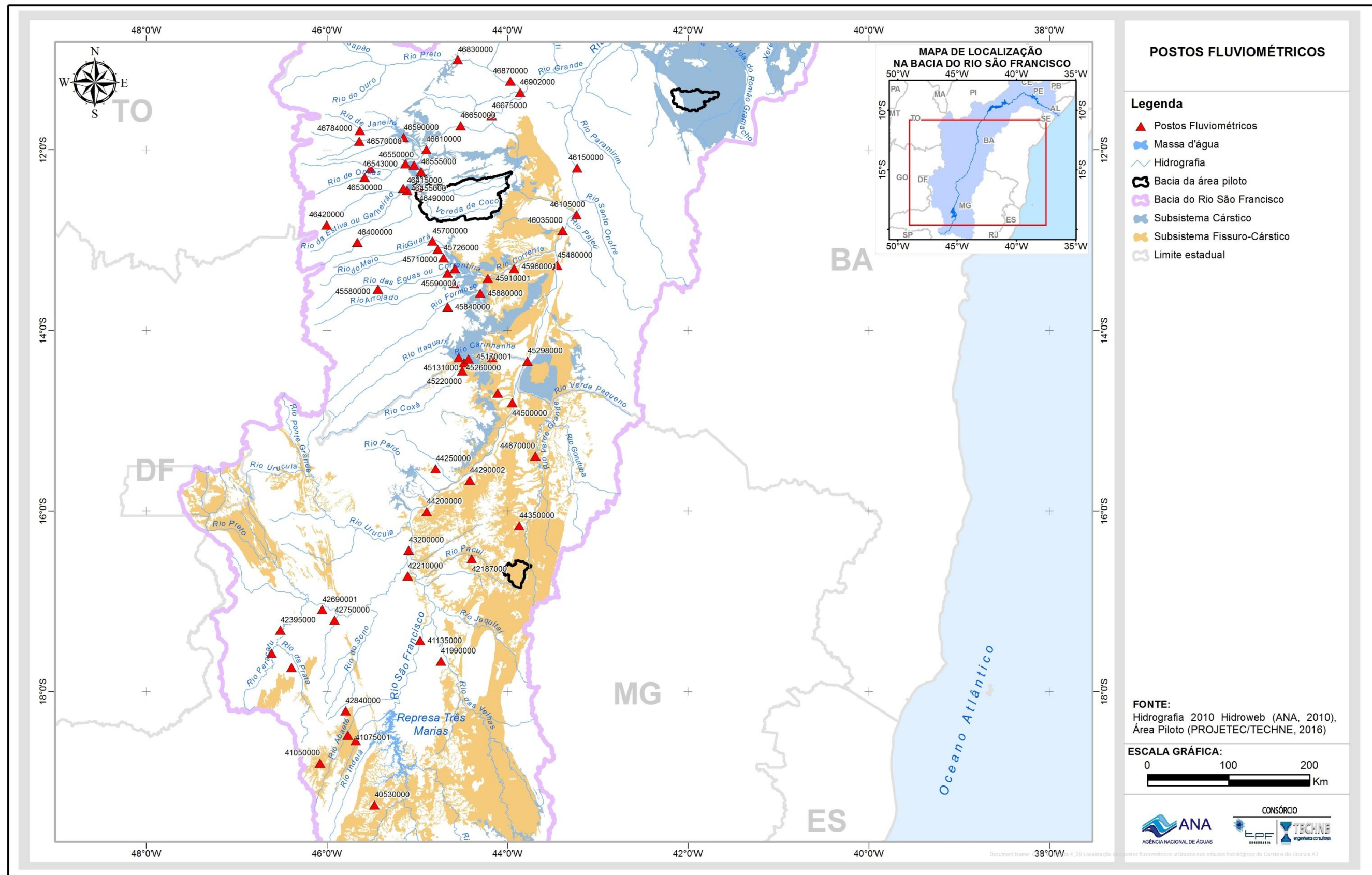


Figura 4.29 - Localização dos postos fluviométricos utilizados nos estudos hidrológicos do Carste e do Urucuaia.

Os postos pluviométricos e fluviométricos utilizados e descritos acima são relacionados nas tabelas 4.7 e 4.8 abaixo, fazendo referência ao código e suas coordenadas de localização. A relação abaixo (Tabela 8.4) apresenta os postos, com séries consistidas, disponibilizados pela ANA e utilizados nos estudos do Carste e do Urucuia.

**Tabela 4.7 - Postos pluviométricos utilizados nos estudos hidrológicos do Carste e do Urucuia.**

Código	Nome	Sub-bacia	Município	Coordenadas (GD)	
				LATIT.	LONGIT.
46400000	Casa real	46	São Desidério	-13,001	-45,631
46784000	Savana	46	Riachão das Neves	-11,771	-45,602
45710000	Sítio Januário	45	Correntina	-13,079	-44,748
46530000	Limoeiro	46	Barreiras	-12,287	-45,549
45580000	Veredão	45	Correntina	-13,519	-45,400
46420000	Roda Velha de Baixo	46	São Desidério	-12,805	-45,966
46555000	Brejo Novo	46	Barreiras	-12,230	-44,933
46520000	Rio de Pedras	46	Barreiras	-12,194	-45,490
44350000	Bom Jardim	44	São João da Ponte	-16,109	-43,852
44350000	Bom Jardim	44	São João da Ponte	-16,109	-43,852
45700000	Cera	45	São Desidério	-12,994	-44,805
45726000	Fazenda Porto Bonito	45	Correntina	-13,172	-44,683
46590000	Nova Vida-Montante	46	Barreiras	-11,856	-45,120
46870000	Fazenda Porto Limpo	46	Mansidão	-11,236	-43,949
42365000	Ponte da BR-040 - Prata	42	Lagoa Grande	-17,662	-46,355
41075001	Porto do Passarinho	41	São Gonçalo do Abaeté	-18,403	-45,734
45770000	Arrojado	45	Correntina	-13,453	-44,569
46415000	Sítio Grande	46	São Dedidério	-12,431	-45,086
46490000	Fazenda Coqueiro	46	São Desidério	-12,404	-44,953
45910001	Santa Maria da Vitória	45	Santa Maria da Vitória	-13,397	-44,199
46610000	São Sebastião	46	Angical	-11,979	-44,877
44540000	Fazenda Bom Retiro	44	Manga	-14,651	-44,093
45960001	Porto Novo	45	Santana	-13,291	-43,909
46455000	Derocal	46	São Desidério	-12,411	-45,122

**Tabela 4.7 - Postos pluviométricos utilizados nos estudos hidrológicos do Carste e do Urucuia – Continuação.**

Código	Nome	Sub-bacia	Município	Coordenadas (GD)	
				LATIT.	LONGIT
46543000	Fazenda Redenção	46	Barreiras	-12,136	-45,103
46570000	Ponte Serafim - Montante	46	Barreiras	-11,895	-45,608
45590000	Correntina	45	Correntina	-13,341	-44,638
45740001	Mocambo	45	Correntina	-13,285	-44,562
42187000	Ponte dos Ciganos	42	Coração de Jesus	-16,467	-44,376
44250000	Usina do Pandeiros - Montante	44	Januária	-15,483	-44,768
42840000	Veredas	42	João Pinheiro	-18,139	-45,759
44290002	Pedras de Maria da Cruz	44	Pedras de Maria da Cruz	-15,610	-44,395
45480000	Bom Jesus da Lapa	45	Serra do Ramalho	-13,257	-43,439
45880000	Colônia do Formosa	45	Coribe	-13,560	-44,286
46035000	Gameleira	46	Sítio do Mato	-12,869	-43,380
45210000	Lagoa das Pedras	45	Montalvânia	-14,283	-44,409
41135000	Pirapora - Barreiro	41	Pirapora	-17,369	-44,943
46105000	Paratinga	46	Paratinga	-12,697	-43,226
40975000	Fazenda São Félix	40	São Gonçalo do Abaeté	-18,467	-45,646
41050000	Major Porto	41	Patos de Minas	-18,706	-46,040
45220000	Capitânea	45	Montalvânia	-14,424	-44,483
40530000	Abaeté	40	Abaeté	-19,163	-45,442
46675000	Fazenda Macambira	46	Cotegipe	-11,611	-44,157
42290000	Ponte da BR-040 - Paracatu	42	Lagoa Grande	-17,503	-46,571
45170001	Fazenda Porto Alegre	45	Cocos	-14,264	-44,523
45260000	Juvenília	45	Juvenília	-14,260	-44,152
44670000	Colônia do Jaíba	44	Jaíba	-15,343	-43,676
42210000	Cachoeira da Manteiga	42	Buritizeiro	-16,657	-45,081
42750000	Caatinga	42	Brasilândia de Minas	-17,143	-45,880
42690001	Porto da Extrema	42	Brasilândia de Minas	-17,030	-46,014
42395000	Santa Rosa	42	Paracatu	-17,255	-46,473
46150000	Ibotirama	46	Ibotirama	-12,183	-43,223
43200000	São Romão	43	São Romão	-16,373	-45,070
45840000	Gatos	45	Jaborandi	-13,712	-44,638
45131000	São Gonçalo	45	Montalvânia	-14,314	-44,459
46650000	Tagua	46	Cotegipe	-11,721	-44,502

**Tabela 4.7 - Postos pluviométricos utilizados nos estudos hidrológicos do Carste e do Urucuia – Continuação.**

Código	Nome	Sub-bacia	Município	Coordenadas (GD)	
				LATIT.	LONGIT.
41990000	Várzea da Palma	41	Várzea da Palma	-17,595	-44,714
46830000	Ibipetuba	46	Santa Rita de Cássia	-11,006	-44,524
46550000	Barreiras	46	Barreiras	-12,153	-45,009
44500000	Manga	44	Manga	-14,757	-43,932
46902000	Boqueirão	46	Mansidão	-11,355	-43,846
44200000	São Francisco	44	São Francisco	-15,949	-44,868
45298000	Carinhanha	45	Carinhanha	-14,304	-43,763

**Tabela 4.8 - Postos fluviométricos utilizados nos estudos hidrológicos do Carste e do Urucuia.**

Código	Nome	SUB-BACIA	MUNICÍPIO	COORDENADAS(GD)	
				LATITUDE.	LONGITUDE.
1546001	Buritis - Jusante	43	Buritis	-15,616	-46,415
1344016	Arrojado	45	Correntina	-13,451	-44,566
1544019	São João da Ponte	44	São João da Ponte	-15,930	-44,004
1544018	Fazenda Canadá	44	Itacarambi	-15,023	-44,054
1946009	São Gotardo	40	São Gotardo	-19,315	-46,044
1845004	Lagoa do Gouvêia	40	Tiros	-18,841	-45,851
1644027	Brasília de Minas - Jusante	43	Brasília de Minas	-16,206	-44,425
1645013	Fazenda Água Branca	42	Buritizeiro	-16,807	-45,030
1945035	Abaeté	40	Abaeté	-19,163	-45,443
1745007	Porto do Cavalo	42	João Pinheiro	-17,027	-45,541
1747005	Guarda-Mor	42	Guarda-Mor	-17,773	-47,099
1546005	Cabeceiras	43	Cabeceiras	-15,801	-46,925
1145013	Ponte Serafim - Montante	46	Barreiras	-11,896	-45,612
1844010	Ponte do Licínio - Jusante	41	Presidente Juscelino	-18,671	-44,191
1643020	Capitão Enéas	44	Capitão Enéas	-16,322	-43,715
1544017	Pedras de Maria da Cruz	44	Januária	-15,599	-44,393
1746006	Ponte da BR-040 - Prata	42	João Pinheiro	-17,664	-46,355
1746007	Ponte da BR-040 - Paracatu	42	Paracatu	-17,503	-46,572
1144014	São Sebastião	46	Angical	-11,984	-44,711
1145014	Nova Vida - Montante	46	Barreiras	-11,853	-45,122



**Tabela 4.8 - Postos fluviométricos utilizados nos estudos hidrológicos do Carste e do Urucuia – Continuação.**

Código	Nome	SUB-BACIA	MUNICÍPIO	COORDENADAS(GD)	
				LATITUDE.	LONGITUDE.
1245004	Fazenda Redenção	46	Barreiras	-12,135	-45,104
1244019	Fazenda Coqueiro	46	São Desidério	-12,389	-44,932
1443000	Boca da Caatinga	44	Manga	-14,786	-43,551
1344014	Correntina	45	Correntina	-13,336	-44,652
1245005	Derocal	46	São Desidério	-12,411	-45,120
1543013	Janaúba	44	Janaúba	-15,776	-43,280
1444005	Lagoa das Pedras	45	Montalvânia	-14,281	-44,409
1645009	Cachoeira da Manteiga	42	Buritizeiro	-16,657	-45,081
1344015	Colônia do Formoso	45	Coribe	-13,567	-44,306
1243000	Gameleira	46	Sítio do Mato	-12,867	-43,381
1846003	Major Porto	41	Patos de Minas	-18,707	-46,037
1245007	Sítio Grande	46	São Desidério	-12,431	-45,086
1745001	Cachoeira do Paredão	42	Buritizeiro	-17,111	-45,438
1645005	Vila Urucuia	43	São Francisco	-16,300	-45,742
1444003	Miravania	44	Manga	-14,748	-44,411
1746002	Santa Rosa	42	Paracatu	-17,255	-46,474
1144005	Fazenda Macambira	46	Cotegipe	-11,614	-44,158
1746001	Porto da Extrema	42	João Pinheiro	-17,031	-46,014
1645002	Santo Inácio	43	São Romão	-16,282	-45,414
1546000	Arinos - Montante	43	Arinos	-15,924	-46,110
1543002	Colônia do Jaiba	44	Manga	-15,341	-43,675
1646000	Porto dos Poções	42	Bonfinópolis de Minas	-16,830	-46,322
1846016	Ponte Firme	42	Presidente Olegário	-18,034	-46,419
1344013	Gatos	45	Jaborandi	-13,711	-44,633
1846015	Vazante	42	Vazante	-18,005	-46,911
1945019	Dores do Indáia (CVSF)	40	Dores do Indáia	-19,469	-45,602
1845013	São Gonçalo do Abaeté	41	São Gonçalo do Abaeté	-18,344	-45,837
1643018	Montes Claros	44	Montes Claros	-16,733	-43,867
1243011	Ibotirama	46	Ibotirama	-12,181	-43,223
1645003	Barra do Escuro	43	São Romão	-16,269	-45,238
1443002	Carinhanha	45	Carinhanha	-14,304	-43,768
1645000	São Romão	43	São Romão	-16,372	-45,083
1444001	Capitânea	45	Montalvânia	-14,431	-44,482
1143002	Morpará	46	Morpará	-11,563	-43,275
1344017	Santa Maria da Vitória	45	Santa Maria da Vitória	-13,401	-44,198
1444017	Fazenda Porto Alegre	45	Cocos	-14,268	-44,522

**Tabela 4.8 - Postos fluviométricos utilizados nos estudos hidrológicos do Carste e do Urucuia – Continuação.**

Código	Nome	SUB-BACIA	MUNICÍPIO	COORDENADAS(GD)	
				LATITUDE.	LONGITUDE.
1744010	Lassance	41	Lassance	-17,890	-44,577
1444000	São Gonçalo	45	Montalvânia	-14,314	-44,460
1145001	Formosa do Rio Preto	46	Formosa do Rio Preto	-11,048	-45,202
1945002	Barra do Funchal	40	Serra da Saudade	-19,395	-45,884
1844001	Santo Hipólito	41	Santo Hipólito	-18,300	-44,223
1744009	Várzea da Palma	41	Várzea da Palma	-17,594	-44,716
1244011	Barreiras	46	Barreiras	-12,154	-45,009
1443001	Manga	44	Manga	-14,757	-43,932
1544012	São Francisco	44	São Francisco	-15,949	-44,868
1143010	Boqueirão	46	Mansidão	-11,341	-43,828
1144027	Ibipetuba	46	Santa Rita de Cássia	-11,006	-44,526

A maioria dessas estações (64) apresentou 30 ou mais anos de registros, tendo como limite final de monitoramento os anos de 2006 e 2007. Para as estações selecionadas foram delimitadas as suas respectivas bacias hidrográficas. Tais informações, juntamente com a precipitação (P), evapotranspiração real (ETR), deflúvio (R) e infiltração (I), foram utilizadas para o cálculo do balanço hídrico.

#### 4.7 Balanço Hídrico

O balanço hídrico representa a quantificação da água presente nas fases do ciclo hidrológico para um determinado tempo escolhido em um determinado espaço físico, ou sistema hidrológico.

Conforme apresentado por Manoel Filho (1997), a equação básica do balanço hídrico pode ser escrita considerando a precipitação (P), evapotranspiração real (ETR), deflúvio (R) e infiltração (I) como:

$$P - ETR - R - I = \Delta S$$

Onde  $\Delta S$  representa a variação do armazenamento (S) de água no sistema.

A precipitação consiste na água que chega à superfície terrestre, a evapotranspiração é a retirada de água da superfície para a atmosfera pela combinação de dois processos, a evaporação e a transpiração vegetal.

A parcela da evapotranspiração será calculada como extrato do balanço hídrico, uma vez conhecido o montante de água associado aos processos de escoamento superficial, infiltração e precipitação.

O deflúvio, escoamento superficial ou *run-off*, é o processo pelo qual a água da chuva precipitada na superfície da Terra, flui por ação da gravidade das partes

mais altas para as mais baixas, no leito dos rios e riachos. A magnitude desse escoamento depende da intensidade da chuva, das características morfológicas do terreno, da saturação dos solos, do tipo de cobertura vegetal, da área da bacia de drenagem, da geometria dos canais, da profundidade do nível das águas subterrâneas, entre outros fatores (Chow et. al., 1988; Manoel Filho, 1997).

As relações entre chuva e deflúvio são estabelecidas através do estudo da hidrógrafa. A hidrógrafa consiste na representação gráfica da variação da altura da superfície da água ou vazão (descarga) do rio em uma dada seção transversal do mesmo.

A infiltração relaciona-se ao montante da água que é incorporada ao ambiente subterrâneo, a partir da entrada de água nas camadas de solo ou rocha. A água infiltrada pode ser dividida em três partes: água retida na zona não saturada nos primeiros metros em subsuperfície, água que flui lateralmente na zona não saturada a pequenas profundidades (interfluxo) e as águas que infiltram e percolam até o nível freático, constituindo a recarga.

A parcela de água proveniente da infiltração que circula na zona saturada pode alcançar os leitos dos rios, sendo esse montante aquele que mantém os rios perenes durante a estação seca. Durante o período de estiagem, a medida da vazão dos rios perenes é denominada fluxo de base, e representa um importante valor para os estudos hidrológicos.

A dificuldade na resolução de problemas hidrológicos práticos decorre principalmente da incapacidade de se medir ou estimar com segurança os vários termos da equação do balanço hídrico (Manoel Filho, 1997), sobretudo em trabalhos regionais, onde coexistem diferentes ambientes climáticos, geológicos, e geomorfológicos. Além disso, a distribuição da água nas distintas parcelas do ciclo hidrológico pode variar bastante ao longo do tempo, sendo necessária uma escolha do período de observação adequada ao objetivo final do estudo.

Tendo em mente a obtenção de valores que pudessem representar os distintos setores hidrológicos vinculados a terrenos cársticos e fissuro-cársticos ao longo de toda a bacia do rio São Francisco a metodologia definida para o balanço hídrico nesse trabalho foi aquela baseada na análise de hidrógrafas criada com base nos dados de estações fluviométricas considerando períodos anuais de séries históricas consistidas. Juntamente com esses dados, foram utilizados valores de precipitação obtidos pela análise de séries históricas registradas em distintas estações climatológicas.

O cálculo do balanço hídrico na bacia do rio São Francisco foi pautado na integração das respostas hidrológicas obtidas a partir de hidrogramas anuais construídos com base em 67 estações fluviométricas. As estações fluviométricas foram escolhidas para representar áreas de interesse dentro dos distintos domínios cársticos e fissuro-cársticos reconhecidos dentro da bacia do rio São Francisco.

A análise dos hidrogramas nos postos fluviométricos selecionados permite separar em uma dada bacia, o aporte hídrico correspondente ao escoamento superficial e o aporte hídrico proveniente das águas infiltradas. Comparando esses valores com as médias de precipitação é possível ter uma estimativa da

evapotranspiração. O Balanço Hídrico está na íntegra apresentado no “Relatório Técnico – Balanço Hídrico”, parte integrante do Volume Final.

#### 4.7.1 Resultados do balanço hídrico

Os resultados obtidos para cada uma das parcelas do balanço hídrico são apresentados por bacia e foram discutidos de acordo com o contexto climático no qual as bacias estão inseridas. Com base no mapa de isoietas foram estabelecidas três grandes zonas climáticas que foram utilizadas para descrever conjuntos de bacias e ressaltar as tendências hidrológicas regionais.

As bacias selecionadas para o estudo ocorrem em contextos climáticos distintos, com médias de precipitação pluviométrica anuais que variam entre 460 mm/ano a 1660 mm/ano.

O menor valor medido foi na bacia da estação Abreus, na Bahia, e o maior valor na bacia da estação Fazenda Samburá, próximo a nascente do rio São Francisco. Dentre as bacias estudadas, 40 apresentam precipitação média anual entre 900 e 1300 mm/ano, 24 bacias com valores médios de precipitação iguais ou superiores a 1300 mm/ano e 3 bacias com valores inferiores a 900 mm/ano.

Tomando como referência os valores de precipitação média para cada bacia, o escoamento superficial calculado para todas as bacias estudadas apresentou valor máximo de 45,2% na bacia da estação da Fazenda São Felix e mínimo de 0,2 % da precipitação total anual na bacia da estação Abreus.

O montante equivalente ao escoamento subterrâneo calculado nas bacias não ultrapassa 27,3%, sendo os valores mínimos encontrados inferiores a 1 % das chuvas nas estações Abreus, Jaguaraci e Rio Verde II. Nessas bacias, a evapotranspiração corresponde a mais de 98% das chuvas. Bastante diferente desse contexto, na bacia da estação Fazenda São Felix o valor de evapotranspiração foi calculado em 32,4 % das chuvas, sendo nessa mesma bacia encontrado os maiores valores do escoamento superficial e subterrâneo.

Com base no valor e no padrão geométrico das curvas isoietais, os três grandes compartimentos identificados foram tomados como áreas de referência para a descrição das demais parcelas do ciclo hidrológico e associação com a distribuição das drenagens e contexto geológico-geomorfológico

Os compartimentos foram denominados Domínios Isoietais I, II e III, e foram assim definidos:

**DOMÍNIO ISOIETAL I** – Compreende a área onde os valores médios históricos de precipitação anuais são iguais ou maiores que 1.300 mm, num total de 84.036 km<sup>2</sup>, onde estão localizadas 24 bacias associadas as estações pluviométricas selecionadas (Figura 4.30). O valor médio máximo de precipitação observado corresponde a 1660 mm, e o valor médio de precipitação dentro da faixa corresponde 1.440,4 mm/ano. Nesse domínio, que engloba a nascente do rio São Francisco, estão as cabeceiras de grandes afluentes, como o rio Paraopeba, rio Pará, rio Abaeté e rio Paracatu. As zonas de cabeceira estão vinculadas a rochas mais antigas, que se salientam no relevo formando os grandes divisores topográficos com as bacias dos rios Paranaíba, Grande e Doce ao sul e a sudoeste da bacia do rio São Francisco.

Os caudais são dirigidos às drenagens que passam a percorrer as rochas do Grupo Bambuí, em condições estruturalmente movimentadas, sobretudo na porção sudoeste, marginais à faixa de dobramentos Brasília. Áreas de coberturas cenozoicas extensas também ocorrem ao longo de um modelado de relevo ondulado.

DOMÍNIO ISOIETAL II – Compreende a área onde os valores médios históricos de precipitação estão entre 900 mm e 1.300 mm, num total de 234.055 km<sup>2</sup>, incluindo neste domínio a presença de 40 bacias (Figura 4.30). O valor médio de precipitação no Domínio II corresponde a 1.110 mm/ano. Nesse domínio, além de grande parte das bacias dos rios Paraopeba, Paracatu e rio das Velhas, encontram-se ainda uma zona extensa das sub-bacias dos rios Urucuia, Pandeiros, Carinhanha, Corrente e rio Grande, e também a cabeceira do rio Verde Grande. Os acidentes geográficos mais importantes são marcados pela Serra do Espinhaço ao sul, no contexto geológico da faixa de dobramento Araçuaí e, na margem esquerda do rio São Francisco, pelas serras e chapadões onde afloram as unidades cretáceas, recobrimo parcialmente o Grupo Bambuí. Na porção norte destaca-se o Chapadão Urucuia, com as maiores ocorrências de aquíferos porosos na bacia do rio São Francisco, cujos divisores a oeste a separam da bacia do rio Tocantins-Araguaia. Os terrenos de cotas mais baixas localizam-se na planície do rio São Francisco, e dos vales dos grandes afluentes que atravessam a margem oeste do rio.

DOMÍNIO ISOIETAL III – Compreende uma área de 218.315 km<sup>2</sup>, onde os valores médios históricos de precipitação são menores que 900 mm. Abrange três bacias vinculadas a estações fluviométricas (Figura 4.30). O valor médio de precipitação correspondente a 529 mm/ano, e mínimo igual a 460 mm/ano. Esse domínio ocorre essencialmente na margem direita do rio São Francisco, e região da calha, e engloba também a foz dos grandes rios que nascem no Chapadão do Urucuia: rios Carinhanha, Corrente e Grande. As grandes unidades de relevo que ocorrem neste Domínio Isoietal III estão representadas pela Serra do Espinhaço Setentrional e a Chapada Diamantina, no contexto da faixa Araçuaí e do Aulacógeno Paramirim. As unidades carbonáticas vinculadas a esse domínio ocorrem principalmente em áreas rebaixadas da planície central do rio São Francisco e ao longo do planalto cárstico da Bacia de Irecê.

As parcelas do balanço hídrico serão descritas separadamente para cada uma dos Domínios Isoietais relacionados.

#### Balanço hídrico no Domínio Isoietal I

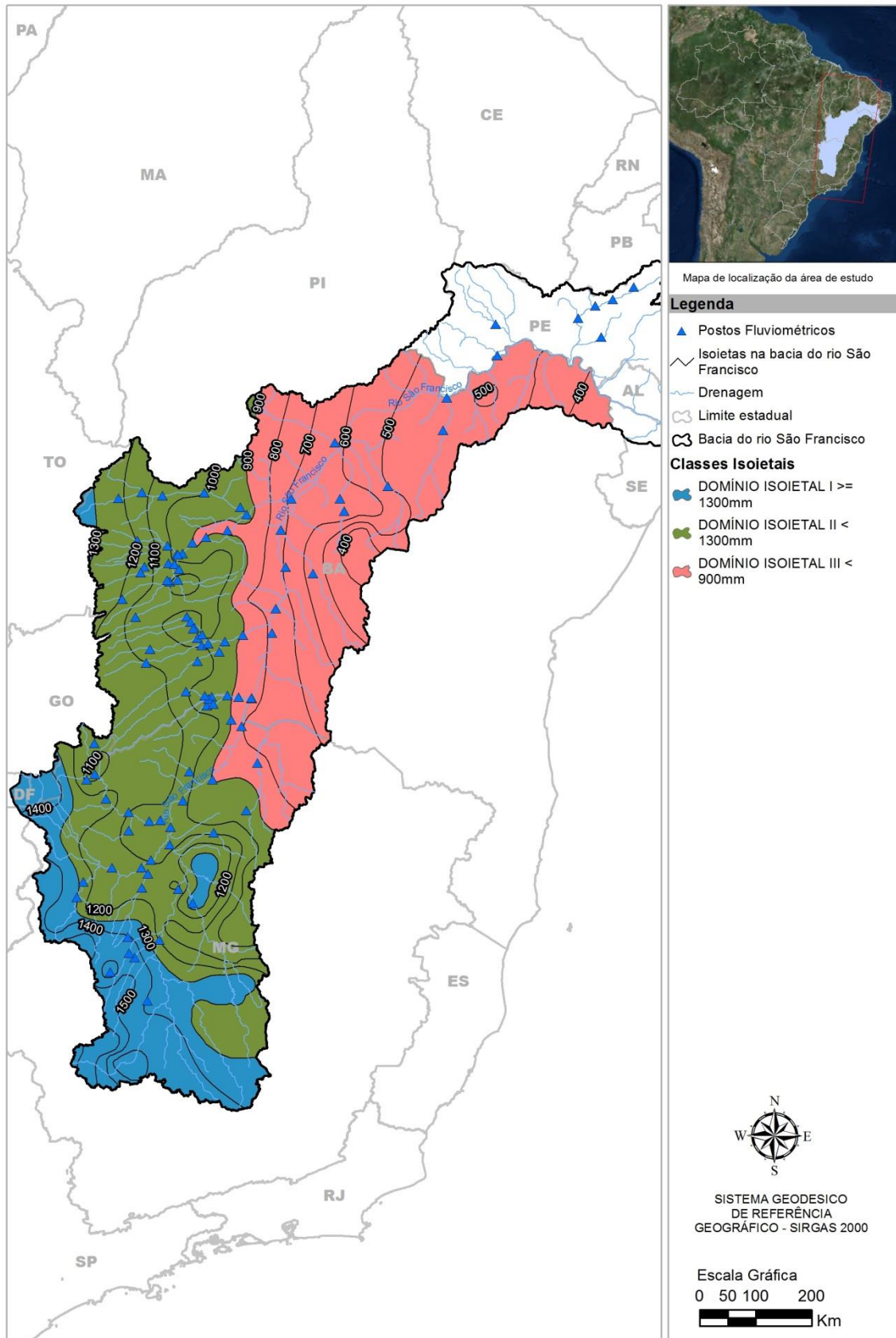
Com base nos valores de precipitação e dos valores de escoamento superficial e subterrâneo obtido por meio dos hidrogramas, foi calculado o valor médio de evapotranspiração. Os resultados são mostrados na Figura 4.31.

De forma geral, tendo como comparação a precipitação, as parcelas do balanço hídrico variam da seguinte maneira:

- O escoamento superficial calculado está entre 11,8 % e 45,2% dos valores de chuva;

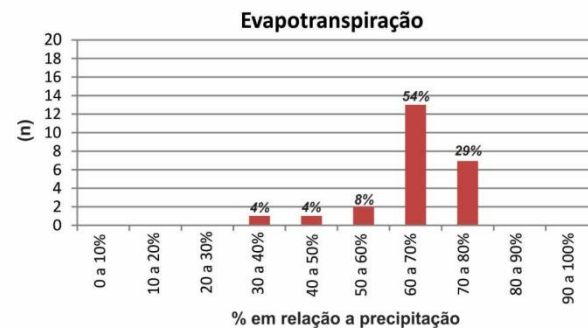
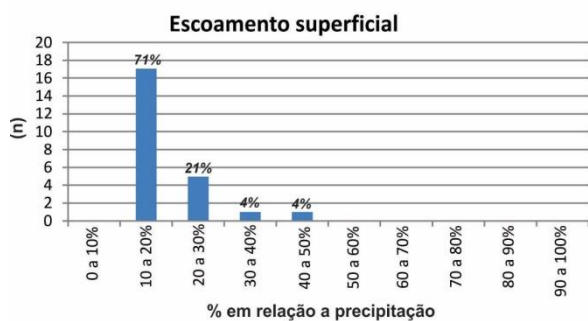
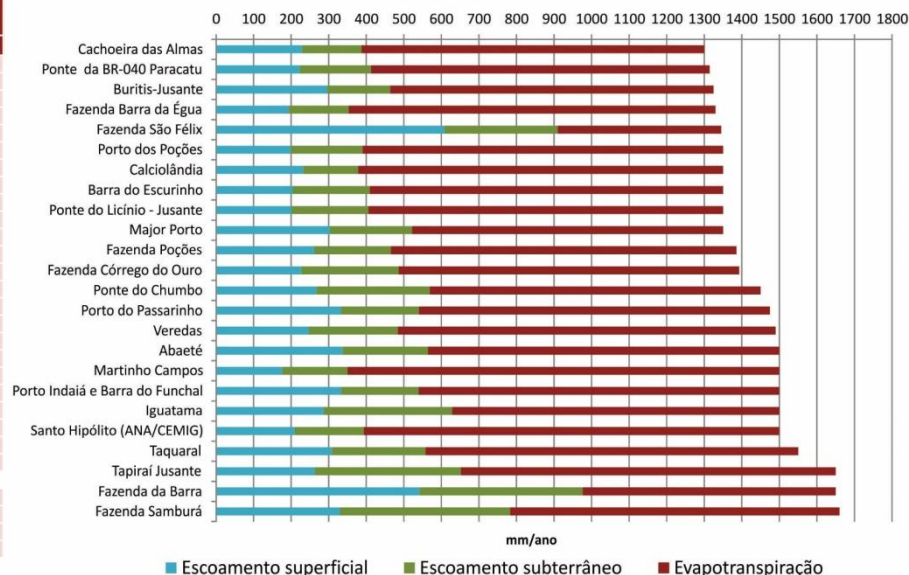


- O escoamento subterrâneo foi estimado entre 10,8% e 27,3% das chuvas;
- A evapotranspiração foi determinada entre 32,4% e 76,7% dos valores de chuva,



**Figura 4.30 - Domínios Isoietais na bacia do Rio São Francisco.**

Bacia	Área da bacia km <sup>2</sup>	Pluviosidade		Escoamento superficial		Escoamento subterrâneo		Evapotranspiração	
		mm	mm	%	mm	%	mm	%	
Cachoeira das Almas	4.211,8	1300,0	228,8	17,6	158,5	12,2	912,7	70,2	
Ponte da BR-040 Paracatu	7.672,4	1314,4	222,6	16,9	189,8	14,4	902,1	68,6	
Buritiz-Jusante	2.829,4	1325,0	295,6	22,3	168,1	12,7	861,3	65,0	
Fazenda Barra da Água	1.545,5	1330,0	193,3	14,5	159,3	12,0	977,4	73,5	
Fazenda São Félix	944,7	1345,2	608,2	45,2	301,3	22,4	435,6	32,4	
Porto dos Poções	9.289,1	1350,0	198,4	14,7	191,3	14,2	960,3	71,1	
Calciolândia	329,5	1350,0	232,1	17,2	145,9	10,8	972,0	72,0	
Barra do Escurinho	2.060,2	1350,0	202,9	15,0	206,6	15,3	940,5	69,7	
Ponte do Licínio - Jusante	10.569,2	1350,0	200,7	14,9	204,8	15,2	944,5	70,0	
Major Porto	1.192,6	1350,3	302,9	22,4	218,7	16,2	828,7	61,4	
Fazenda Poções	581,0	1386,0	260,6	18,8	204,6	14,8	920,8	66,4	
Fazenda Córrego do Ouro	1.849,4	1393,1	226,3	16,2	260,0	18,7	906,9	65,1	
Ponte do Chumbo	9.963,8	1450,0	266,6	18,4	302,5	20,9	880,9	60,8	
Porto do Passarinho	4.135,7	1475,0	332,5	22,5	207,8	14,1	934,7	63,4	
Veredas	219,4	1490,0	246,4	16,5	237,2	15,9	1006,5	67,5	
Abaeté	393,8	1500,0	336,3	22,4	228,1	15,2	935,5	62,4	
Martinho Campos	759,5	1500,0	176,5	11,8	173,4	11,6	1150,1	76,7	
Porto Indaiá e Barra do Funchal	2.206,7	1500,0	332,8	22,2	206,3	13,8	960,9	64,1	
Iguatama	5.382,1	1500,0	286,3	19,1	342,0	22,8	871,6	58,1	
Santo Hipólito (ANA/CEMIG)	16.634,3	1500,0	209,4	14,0	183,8	12,3	1106,9	73,8	
Taquaral	581,8	1550,0	308,0	19,9	249,4	16,1	992,7	64,0	
Tapiraí Jusante	593,9	1650,0	262,4	15,9	389,2	23,6	998,4	60,5	
Fazenda da Barra	763,6	1650,0	540,8	32,8	435,7	26,4	673,4	40,8	
Fazenda Samburá	760,4	1660,0	329,4	19,8	453,1	27,3	877,5	52,9	
<b>máximo</b>	16.634,3	1660,0	608,2	45,2	453,1	27,3	1150,1	76,7	
<b>mínimo</b>	219,4	1300,0	176,5	11,8	145,9	10,8	435,6	32,4	
<b>média</b>	3.561,2	1440,4	283,3	19,6	242,4	16,6	914,7	63,8	
<b>mediana</b>	1.697,4	1421,6	261,5	18,0	207,2	15,2	935,1	65,0	



**Figura 4.31 - Escoamento superficial, subterrâneo e evapotranspiração para o Domínio Isoietal I**

## Balanço hídrico no Domínio Isoietal II

Utilizando os valores de precipitação e os valores de escoamento superficial e subterrâneo obtidos por meio dos hidrogramas, foi calculado o valor médio de evapotranspiração. Os resultados são mostrados na Figura 4.32.

Tendo como comparação os valores de precipitação, as parcelas do balanço hídrico no Domínio Isoietal II variam da seguinte maneira:

- O escoamento superficial calculado está entre 1,1 % e 34,2% dos valores de chuva.
- O escoamento subterrâneo foi estimado entre 1,6% e 23,9% das chuvas.
- A evapotranspiração foi determinada entre 49,4% e 97,3% dos valores de chuva.

Interessante salientar que 20 das 40 estações analisadas apresentaram percentual de escoamento subterrâneo superior ao percentual de escoamento superficial.

Bacia	Área da bacia km <sup>2</sup>	Pluviosidade		Escoamento superficial		Escoamento subterrâneo		Evapotranspiração	
		mm	mm	mm	%	mm	%	mm	%
Estação de Curimatá	1.371,8	938,2	317,7	33,9	92,5	9,9	528,0	56,3	
Colônia do Jaíba	12.175,1	950,0	31,2	3,3	15,2	1,6	903,6	95,1	
Juvenília	15.971,8	950,0	78,1	8,2	209,1	22,0	662,7	69,8	
Porto Novo	31.409,6	950,0	54,2	5,7	164,2	17,3	731,6	77,0	
Ponte do Bicudo	2.033,2	956,5	183,1	19,1	104,4	10,9	669,0	69,9	
Fazenda Redenção	5.322,2	992,4	85,8	8,6	214,0	21,6	692,6	69,8	
Fazenda Bom Retiro	600,2	1000,0	45,5	4,5	51,4	5,1	903,1	90,3	
Capitão Eneás	3.541,3	1000,0	49,3	4,9	16,1	1,6	934,7	93,5	
Capitânea	2.488,9	1050,0	55,8	5,3	101,6	9,7	892,6	85,0	
Usina do Pandeiros - Montante	3.718,6	1050,0	70,8	6,7	127,7	12,2	851,4	81,1	
Mocambo	8.625	1070,0	45,1	4,2	107,1	10,0	917,9	85,8	
Boqueirão	46.884,7	1075,0	49,4	4,6	128,9	12,0	896,7	83,4	
Vila Uruçua	18.495,9	1084,9	199,4	18,4	151,0	13,9	734,5	67,7	
Barreiras	18.959,6	1094,3	46,5	4,2	134,0	12,2	913,8	83,5	
Arrojado	5.650,2	1100,0	65,5	6,0	263,0	23,9	771,5	70,1	
Fazenda Umbrana - Montante	6.817,0	1100,0	131,8	12,0	62,8	5,7	905,4	82,3	
Colônia do Formoso	10.200,7	1100,0	54,0	4,9	201,0	18,3	845,0	76,8	
Lagoa das Pedras	12.173,0	1100,0	90,4	8,2	249,6	22,7	760,1	69,1	
Fazenda Porto Limpo	22.459,0	1100,0	43,5	4,0	106,2	9,7	950,3	86,4	
Santo Inácio	23.759,0	1100,0	176,9	16,1	144,2	13,1	778,9	70,8	
Tagua	36.564,9	1100,0	24,6	2,2	68,5	6,2	1006,9	91,5	
Sítio Grande	5.012,8	1122,7	57,6	5,1	147,8	13,2	917,2	81,7	
Porto da Extrema	30.043,3	1125,4	189,8	16,9	170,9	15,2	764,7	68,0	
Ponte da BR-040 Prata	3.509,3	1129,6	301,1	26,7	167,9	14,9	660,5	58,5	
Claro dos Poções	447,1	1150,0	209,5	18,2	73,0	6,3	867,6	75,4	
Ponte dos Ciganos	1.372,4	1150,0	76,8	6,7	70,7	6,1	1002,5	87,2	
Derocal	6.430,7	1150,0	65,0	5,6	183,8	16,0	901,2	78,4	
São Sebastião	33.614,6	1150,0	48,2	4,2	131,5	11,4	970,3	84,4	
Fazenda Coqueiro	6.360,7	1172,0	13,4	1,1	18,5	1,6	1140,0	97,3	
Ponte Preta	576,0	1200,0	216,5	18,0	154,3	12,9	829,2	69,1	
Ponte do Picão	847,5	1200,0	77,0	6,4	44,9	3,7	1078,1	89,8	
Presidente Juscelino - Jusante	3.994,5	1200,0	410,8	34,2	195,8	16,3	593,4	49,4	
Nova Vida - Montante	7.743,6	1200,0	48,9	4,1	160,5	13,4	990,5	82,5	
Porto Alegre	41.158,7	1200,0	191,4	16,0	173,5	14,5	835,1	69,6	
Fazenda Carvalho	3.156,5	1220,0	244,4	20,0	211,5	17,3	764,1	62,6	
Várzea da Palma	26.517,4	1220,2	202,1	16,6	155,0	12,7	863,1	70,7	
Vespasiano	723,1	1221,9	182,2	14,9	171,6	14,0	868,0	71,0	
Ponte da Taquara	8.792,9	1238,8	218,3	17,6	229,0	18,5	791,6	63,9	
Arinos - Montante	11.757,0	1245,6	204,7	16,4	179,0	14,4	861,8	69,2	
Santa Rosa	12.951,9	1267,6	207,9	16,4	196,9	15,5	862,7	68,1	
<b>máximo</b>	46.884,7	1267,6	410,8	34,2	263,0	23,9	1140,0	97,3	
<b>mínimo</b>	447,1	938,2	13,4	1,1	15,2	1,6	528,0	49,4	
<b>média</b>	12.355,8	1110,6	126,6	11,3	138,7	12,4	845,3	76,3	
<b>mediana</b>	7.280,3	1100,0	77,6	7,5	149,4	13,0	862,9	76,1	

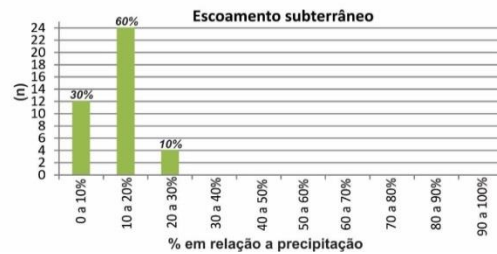
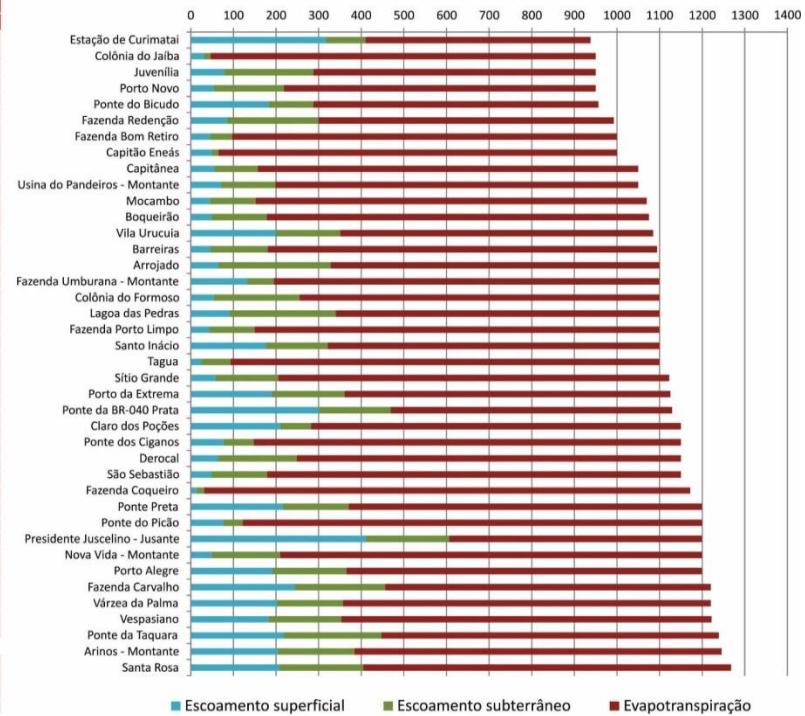


Figura 4.32 - Escoamento superficial, subterrâneo e evapotranspiração para o Domínio Isoietal II



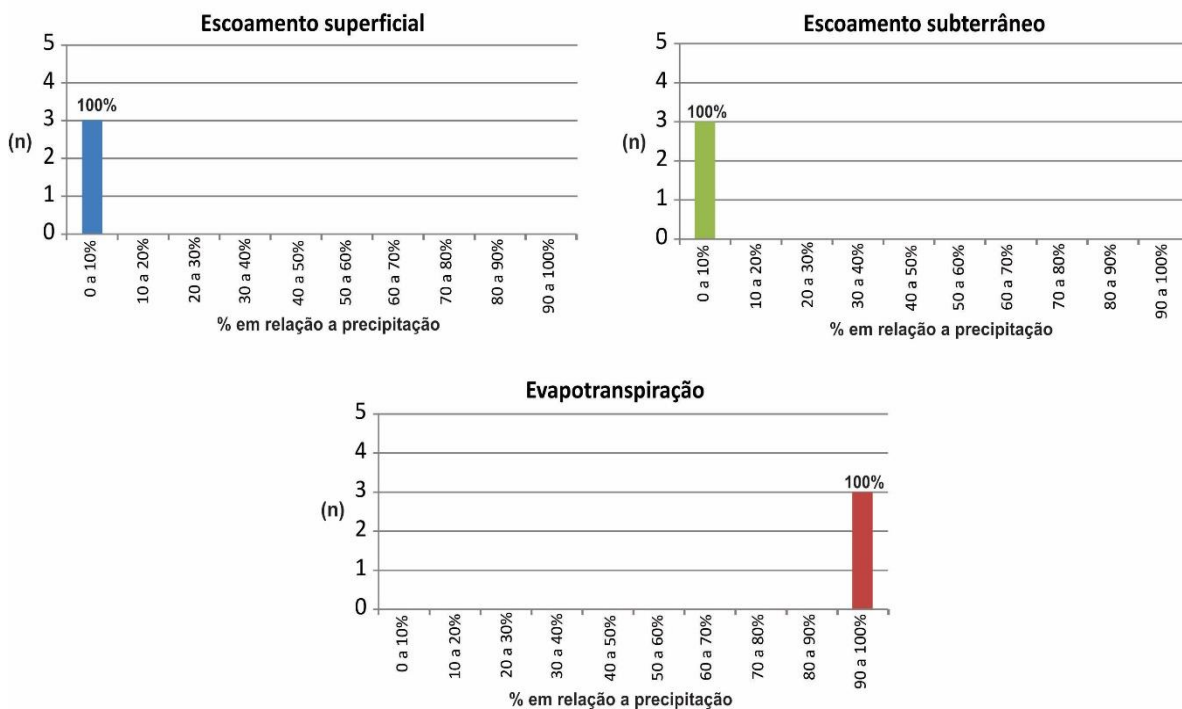
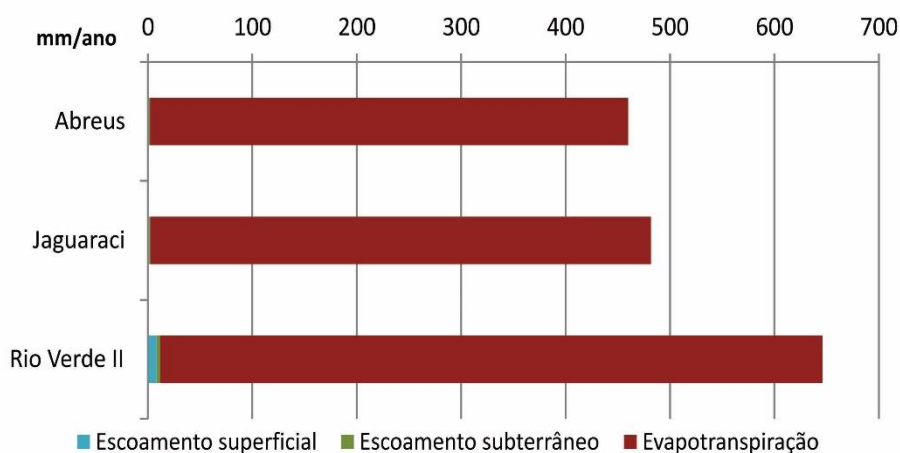
## Balanço hídrico no Domínio Isoietal III

Após o cálculo do valor de evapotranspiração, e tendo como comparação os valores de precipitação, as parcelas do balanço hídrico no Domínio Isoietal III variam da seguinte maneira:

- O escoamento superficial calculado está entre 0,2% e 1,3% dos valores de chuva.
- O escoamento subterrâneo foi estimado entre 0,2% e 0,5% das chuvas.
- A evapotranspiração foi determinada entre 98,2% e 99,6% dos valores de chuva

As estações Abreus apresentou valor de escoamento subterrâneo acima do valor de escoamento superficial (Figura 4.33).

Bacia	Area da bacia km <sup>2</sup>	Pluviosidade		Escoamento superficial		Escoamento subterrâneo		Evapotranspiração	
		mm		mm	%	mm	%	mm	%
Abreus	12.091,0	460,0		0,8	0,2	1,2	0,3	458,0	99,6
Jaguaraci	9.446,7	481,7		1,2	0,3	1,0	0,2	479,4	99,5
Rio Verde II	7.008,2	646,1		8,2	1,3	3,3	0,5	634,6	98,2
<b>máximo</b>	12.091,0	646,1		8,2	1,3	3,3	0,5	634,6	99,6
<b>mínimo</b>	7.008,2	460,0		0,8	0,2	1,0	0,2	458,0	98,2
<b>média</b>	9.515,3	529,3		3,4	0,6	1,8	0,3	524,0	99,1
<b>mediana</b>	9.446,7	481,7		1,2	0,3	1,2	0,3	479,4	99,5



**Figura 4.33 - Balanço Hídrico completo no Domínio Isoietal III.**

## Considerações Finais

Analisando a vazão total e os valores calculados para o escoamento superficial e subterrâneo ao longo dos três Domínios Isoietais avaliados, observa-se que os valores máximos absolutos dos três parâmetros são mais elevados no Domínio Isoietal II, bem como os valores da mediana das três variáveis analisadas (Figura 4.34). Esse resultado reflete não somente a extensão das bacias ali analisadas, mas também, seu posicionamento mais a jusante, aproximando-se seus prolongamentos a regiões lindeiras do nível de base representado pela calha do rio São Francisco.

Entretanto, cumpre ressaltar que a vazão total específica assim como a vazão subterrânea específica são maiores no Domínio Isoietal I, e diminuem na medida em que se diminui o aporte de chuvas e o gradiente topográfico da bacia do rio São Francisco (Figura 4.35). Esses valores mostram que as áreas posicionadas no Domínio Isoietal I tem mais capacidade de produção de água por unidade de área do que o Domínio Isoietal II, e este, por sua vez, tem maior capacidade de produção de água por unidade de área do que o Domínio Isoietal III. Entretanto o montante total somado nas áreas analisadas tende a ser maior no Domínio Isoietal II.

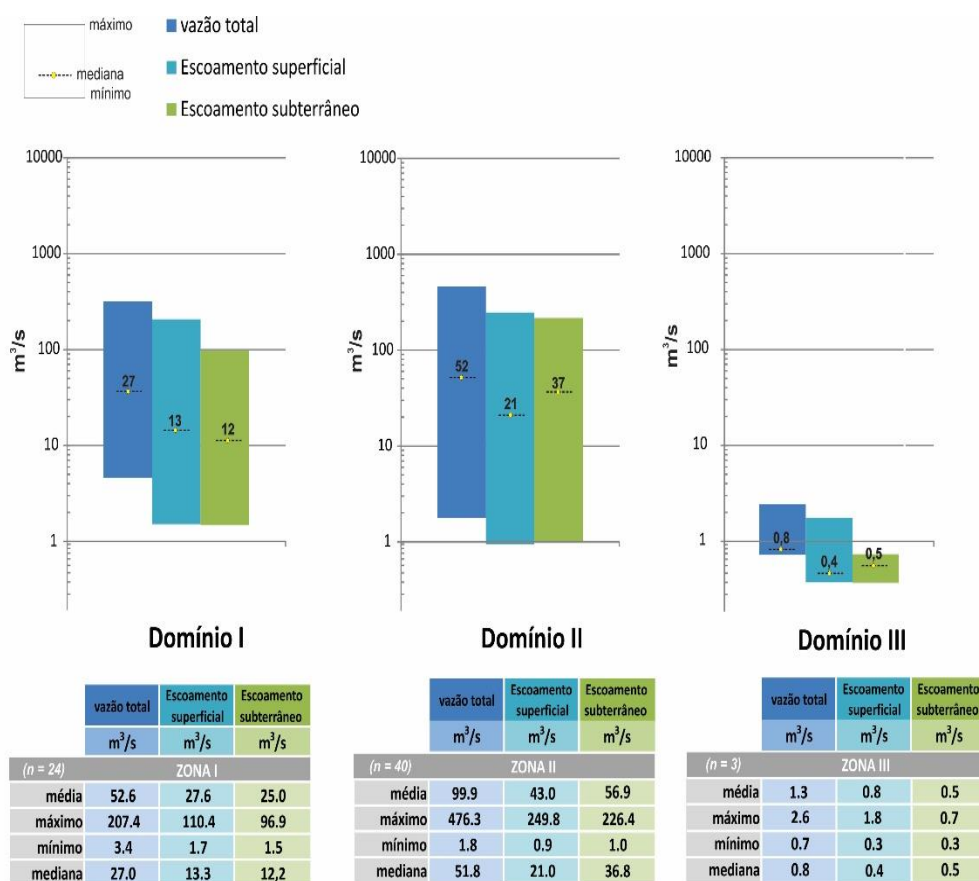
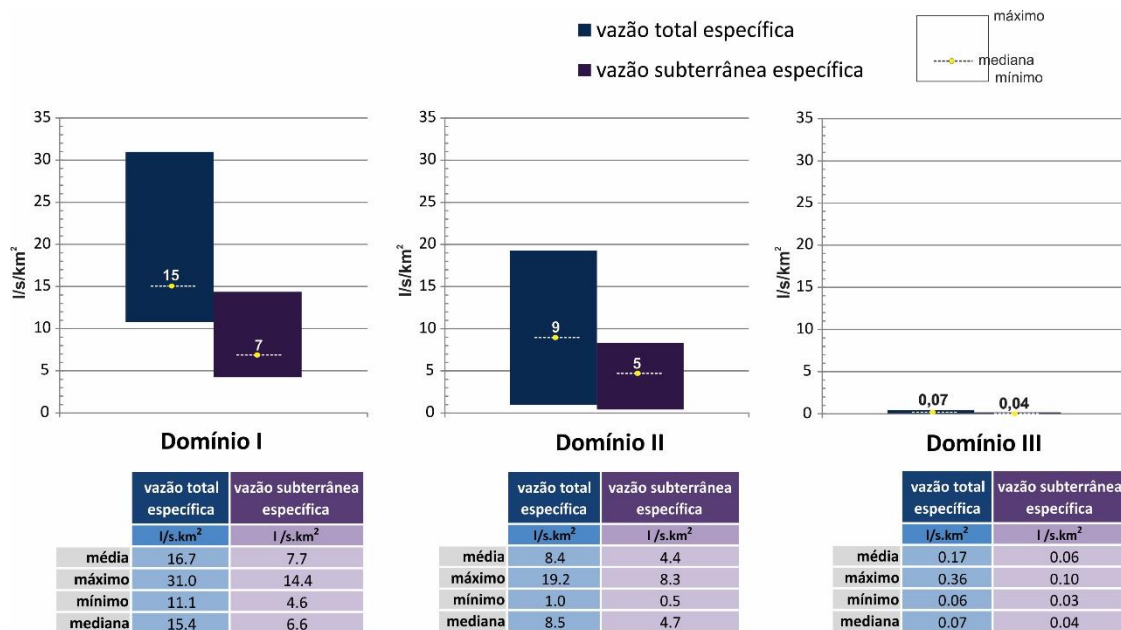


Figura 4.34 - Vazão total, escoamento superficial e subterrâneo nos Domínios Isoietais I, II e III.

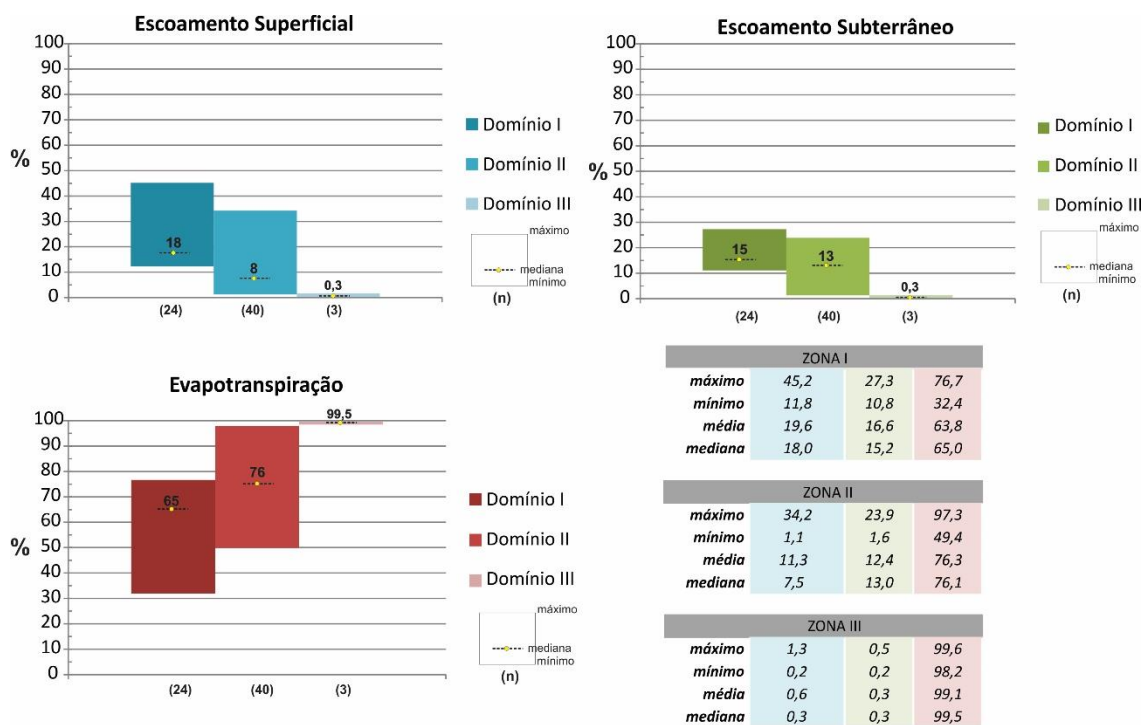


**Figura 4.35 - Vazão total específica e escoamento subterrâneo específico nos Domínios Isoietais I, II e III.**

Quando são analisadas as parcelas do balanço hídrico em termos percentuais em relação aos valores de precipitação (Figura 4.36). O As zonas de cabeceiras posicionadas sob a zona climática mais úmida do Domínio isoietal I têm um papel de grande importância para a produção de água na bacia enquanto o Domínio isoietal III destaca-se por apresentar áreas muito pobres em termos de capacidade de produção de água, pelo fato do balanço hídrico neste Domínio isoietal III ser praticamente deficitário ao longo dos anos hidrológicos, considerando-se que as retiradas de água pelas taxas de evapotranspiração são equivalentes a quantidade de precipitação média anual.

Esse fato é bem destacado percentual de escoamento superficial é maior no Domínio isoietal I, diminuindo no Domínio isoietal II e diminuindo ainda mais no Domínio isoietal III. Comportamento semelhante é observado para o conjunto de valores calculados para o escoamento subterrâneo, que é máximo no Domínio isoietal I e mínimo no Domínio isoietal III. O inverso se observa para a evapotranspiração, que é máxima no Domínio isoietal III e mínima no Domínio isoietal I.

Considerando-se a constituição e estruturação dos litotipos que compõem cada um dos domínios, e que influem na capacidade de recarga subterrânea e na distribuição de água superficial, pode-se afirmar que existe no Domínio isoietal I, de forma geral, uma produção de água subterrânea muito mais elevada. Por outro lado no Domínio isoietal III existem áreas onde o excedente hídrico ocorre de forma muito pontual, existindo bacias em condições de recarga extremamente baixas.



**Figura 4.36 - Parcelas do Balanço Hídrico nos Domínios isoietais I, II e III, percentual comparado aos valores médios históricos de chuva**

Importante destacar, de acordo com os dados levantados, que existe uma variação importante entre os resultados do balanço hídrico das bacias dentro de cada um dos domínios isoietais estabelecidos. Como o balanço hídrico naturalmente reflete um conjunto de variáveis climáticas, fisiográficas e geológicas, as variações observadas dentro de cada domínio isoietal não podem ser justificadas de forma categórica, uma vez que se torna necessário o detalhamento das variáveis em uma escala maior.

Desse modo, os valores obtidos no balanço hídrico devem ser tomados como valores orientadores ou de referência, voltados ao gerenciamento dos recursos hídricos, especificamente dos recursos associados ao domínio geológico do carste.



## 5 Geologia

O conhecimento da geologia de toda a área em estudo tem início apresentando o estado de conhecimento sobre o Cráton do São Francisco e na sequência descreve os subgrupos Espinhaço e São Francisco.

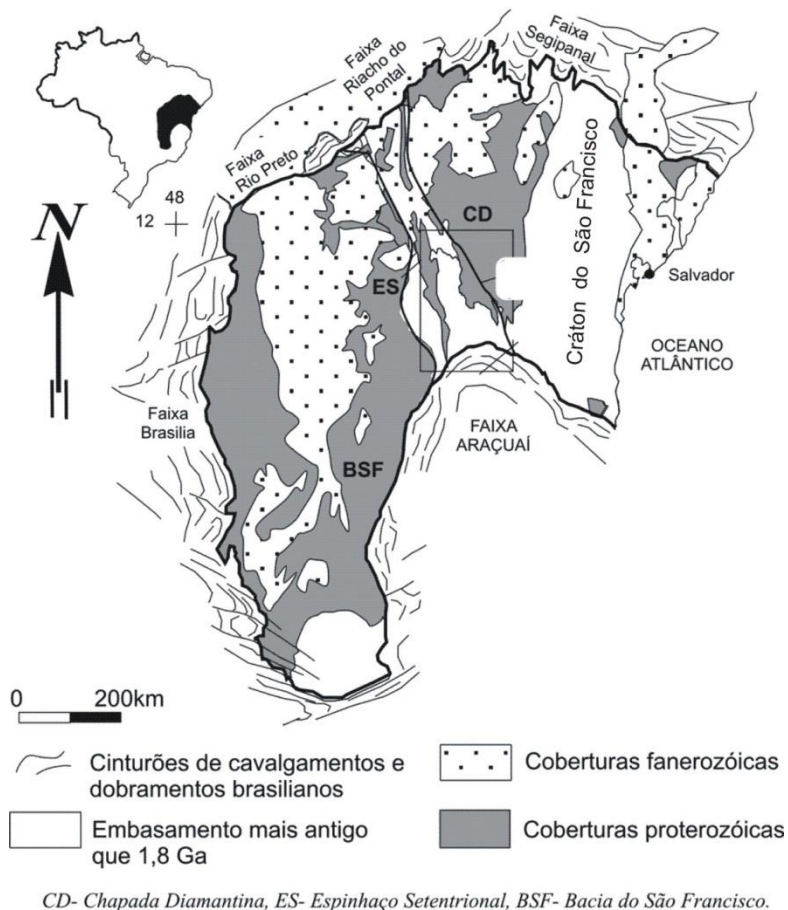
### 5.1 Geologia Regional

#### 5.1.1 Cráton do São Francisco

Os crátons são porções das placas continentais que, pelo menos há 100 milhões de anos, não sofrem ações diretas de tectonismo e de vulcanismo. São, assim, fragmentos remanescentes da crosta original da terra, estruturada durante a era Arqueana, há mais de dois bilhões de anos e caracterizados, em geral, pela sua estabilidade e composição antiga. São constituídos de rochas metamórficas (gnaiesses, micaxistos, mármore e quartzitos) e magmáticas (granitos e sienitos). Dizer que os crátons são estáveis não significa dizer que eles não passam por transformações. Estas são, porém, decorrentes predominantemente de agentes externos erosivos, tais como água, vento e agentes climáticos em geral. Por essas razões, o relevo das áreas cratônicas costuma se caracterizar por planaltos de baixas altitudes e algumas depressões relativas. Os crátons são divididos em dois tipos principais de estruturas: os escudos cristalinos e as plataformas. As plataformas são crátons recobertos por bacias sedimentares. São também chamadas de embasamentos cristalinos e geralmente são formadas por regiões de depressões relativas.

Os escudos cristalinos são também chamados de maciços antigos. São crátons aflorantes, ou seja, não apresentam coberturas de rochas mais recentes. Essa condição ocorre em cerca de 36% da superfície do Brasil, constituindo três grandes conjuntos, denominados de Escudo das Guianas, Escudo Brasil Central e Escudo Atlântico. A este último pertence o Escudo do São Francisco, mais comumente designado pelos autores de Cráton do São Francisco. Este cráton ocorre, aflorante, bordejando o limite leste da bacia hidrográfica do São Francisco, entre este limite e a Bacia do Tucano (Figura 5.1).

O Cráton do São Francisco abrange principalmente os estados da Bahia e de Minas Gerais e é a mais bem exposta e estudada unidade tectônica do embasamento da plataforma sul-americana. Este cráton teve comportamento estável durante toda a evolução do Ciclo Brasileiro, tendo servido, de início, como fornecedor de detritos para as bacias marginais que estavam em formação e cujo início da sedimentação é datado de 900-1100 Ma, isto é, entre o final do Mesoproterozoico e o início do Neoproterozoico (Figura 5.2). Essas bacias marginais, após o término do processo de sedimentação, sofreram intensos dobramentos entre 850 e 560 Ma, isto é, durante o Neoproterozoico (Schobbenhaus Filho *et al.*, 1984), sendo formadas as chamadas faixas de dobramentos. Assim, o Cráton do São Francisco é cingido pelas seguintes faixas, dobradas durante a orogênese Brasileira (Barbosa *et al.*, 2003), e que lhe servem de limites (Figura 5.2): (i) as faixas Rio Preto e Riacho do Pontal, a noroeste; (ii) a Faixa Sergipana, a norte e a nordeste; (iii) a Faixa Araçuaí, que é uma possível extensão norte do Cinturão Ribeira situado a sul; (iv) a Faixa Brasília, situada na margem oeste do cráton.



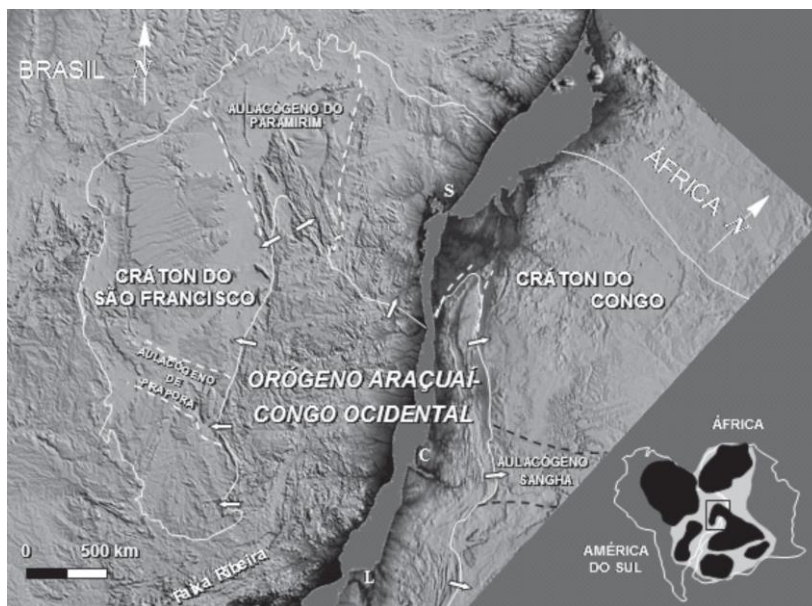
**Figura 5.1 - Grandes unidades geológicas na área de estudo (compilado de Cruz et al, 2007).**

O Cráton do São Francisco é truncado por um *rifte* abortado, orientado norte-sul, no qual se depositaram os protólitos dos Supergrupos Espinhaço (Mesoproterozoico) e São Francisco (Neoproterozoico), de acordo com Barbosa *et al.* (2003). Este *rifte*, conhecido na literatura como Aulacógeno<sup>1</sup> de Parnamirim, originou-se antes do quebramento do Continente Gondwana (Figura 5.3), de acordo com Alkmim *et al.* (2007), tendo experimentado uma longa história de desenvolvimento iniciada por volta de 1,7 Ga, ou seja, no final do Paleoproterozoico.

<sup>1</sup> **Aulacógeno**, ou *rifte abortado*, é a designação dada para o processo de abertura (rachadura ou quebra) ocasionando uma depressão linear que se forma no interior de uma placa tectônica sendo interrompido no estágio inicial, interrompendo o processo de abertura (abortado)

Eon	Era	Período	Idade (Ma)
Ph	Paleozóico	Cambriano	542
		Ediacarano	630
	Neo - Proterozóico	Criogeniano	850
		Toniano	1000
		Steniano	1200
	Meso - Proterozóico	Ectasiano	1400
		Calymminiano	1600
		Statheriano	1800
	Paleo - Proterozóico	Orosiriano	2050
		Rhyaciano	2300
		Sideriano	2500
		Neoarqueano	2800
	Arqueano	Meso - arqueano	3200
		Paleo - arqueano	3600
Eoarqueano		Limite inferior não definido	

**Figura 5.2 - Cronoestratigrafia do Pré-cambriano (adaptado de Gradstein et al., 2005).**



**Figura 5.3 - O Aulacógeno de Paramirim (Compilado de Alkmim et al., 2007).**

A sedimentação, no Aulacógeno de Paramirim, iniciou-se há 1,7 Ga, no final do Paleoproterozoico, com o depósito das rochas siliciclásticas do Supergrupo Espinhaço. O preenchimento do aulacógeno prosseguiu, no Neoproterozoico (Criogeniano – 700 Ma), com a deposição de diamictitos, pelitos, arenitos e carbonatos do Supergrupo São Francisco.

Após a deposição da segunda maior unidade de preenchimento, o Supergrupo São Francisco, o Aulacógeno de Paramirim experimentou uma vigorosa inversão positiva que resultou em um sistema de falhas e dobras com *trend* NNW-SSE, dominante no cenário estrutural regional (Cruz & Alkmim, 2007). A idade dessa inversão e seu mecanismo vêm persistindo ao longo dos anos como matéria de debate na literatura geológica brasileira. Na porção oeste do aulacógeno situam-se os setores de máxima e mínima inversão, os quais, juntos, definem uma faixa com largura que varia entre 65 km, a norte, e 170 km, a sul e orientação NNW-SSE. Trata-se do Corredor do Paramirim (Alkmim *et al.*, 1993) que abarca as regiões da serra do Espinhaço Setentrional, parte dos vales Paramirim, São Francisco e Gavião, como também a Chapada Diamantina Ocidental (Figura 5.4). Ao longo da porção meridional do Corredor do Paramirim a deformação cresce de norte para sul. Nessa porção do corredor, no Espinhaço Setentrional a deformação cresce de oeste para leste. Na Chapada Diamantina, as maiores magnitudes da deformação são encontradas na sua porção sudoeste, região em que o embasamento está envolvido na deformação da cobertura, e a deformação cresce de leste para oeste (Cruz *et al.*, 2007).



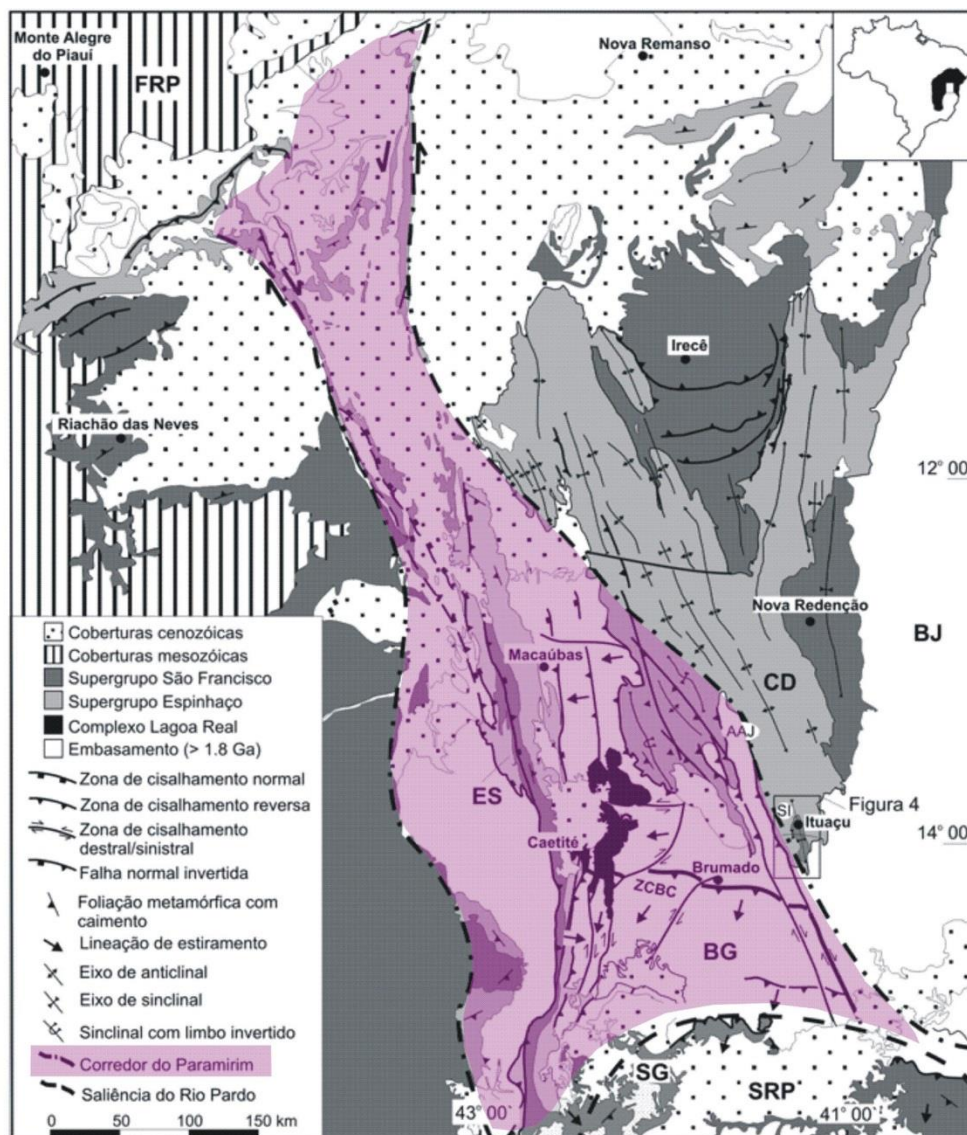


Figura 5.4 - O Corredor de Paramirim. Adaptado de Cruz & Alkmim (2007).

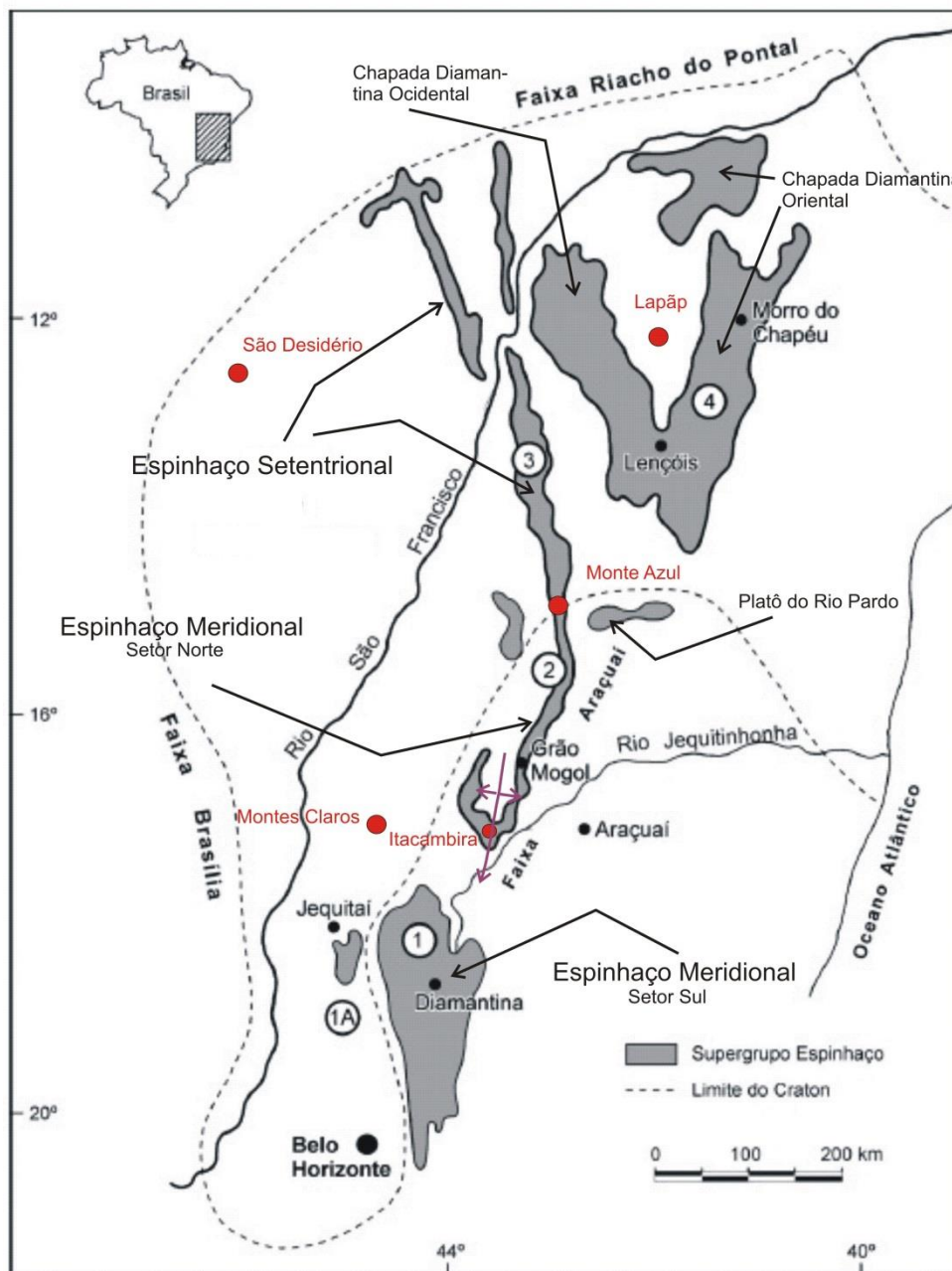
### 5.1.2 O Supergrupo Espinhaço

O Supergrupo Espinhaço aflora nos estados da Bahia e Minas Gerais, desde o paralelo 10° na margem direita do Rio São Francisco, na Bahia, até o paralelo 20°, a nordeste da cidade de Belo Horizonte, em Minas Gerais. A Figura 5.5 mostra a área de ocorrência desse supergrupo. Dentro desta área, o Supergrupo Espinhaço está dividido em quatro domínios denominados de norte para sul de Chapada Diamantina, Espinhaço Setentrional, Platô do Rio Pardo e Espinhaço Meridional (Pedreira da Silva, 1994). Suas rochas consistem essencialmente em conglomerados, arenitos e pelitos. Essas duas últimas litologias estão, localmente, metamorfizadas para quartzitos e xistos.

Nas áreas denominadas de Espinhaço Setentrional e Espinhaço Meridional o Supergrupo Espinhaço constitui uma faixa intensamente dobrada, estendendo-se por mais de 1.000 km, desde as fronteiras da Bahia com o Piauí e



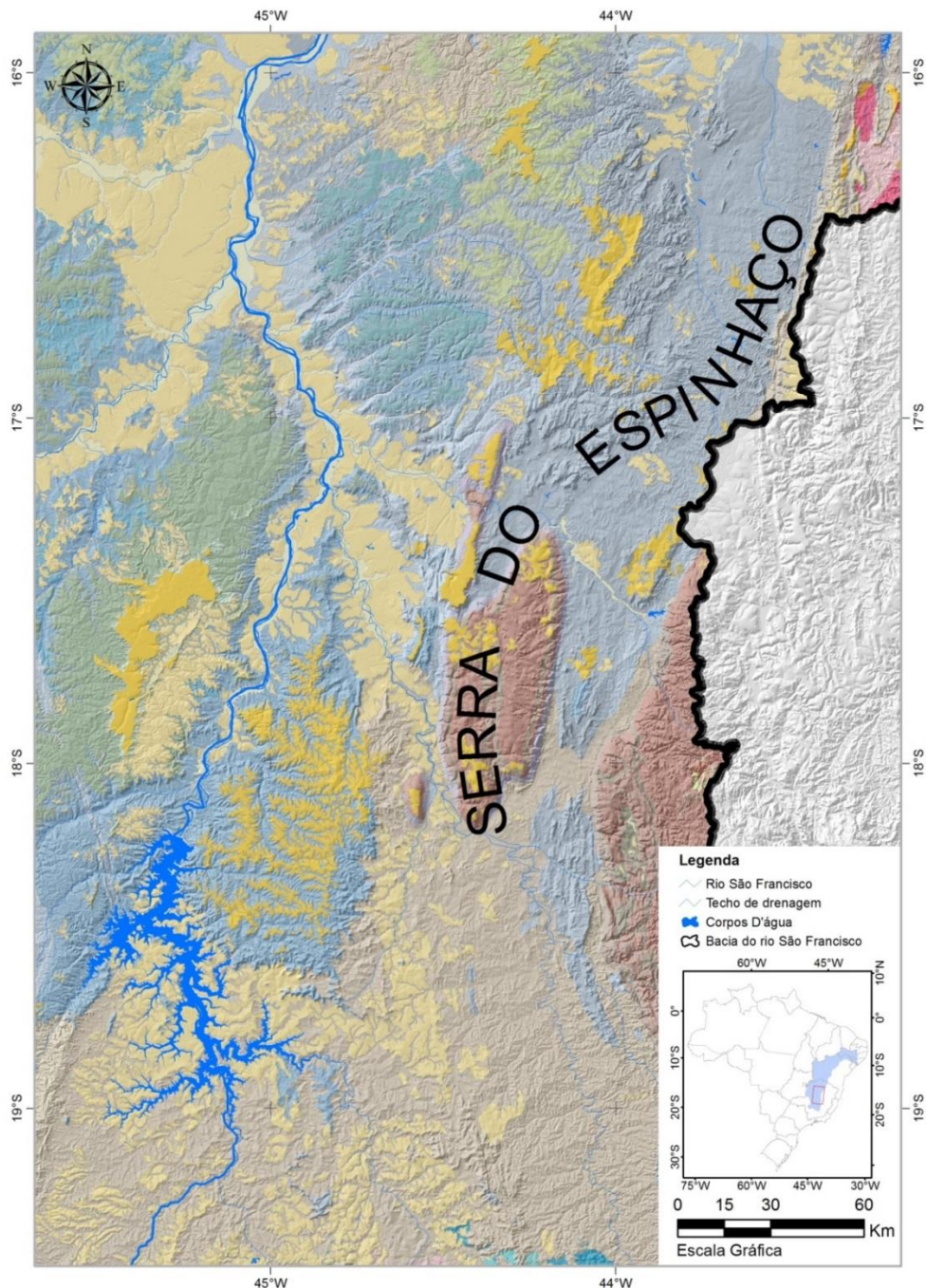
Pernambuco até o Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais, nos domínios do Orógeno Araçuai, já então estabilizado (Figura 5.5).



**Figura 5.5 - Área de ocorrência do Supergrupo Espinhaço. Modificado de Chaves & Brandão (2004).**

No trecho denominado de Espinhaço Meridional, o Supergrupo Espinhaço apresenta uma pronunciada expressão topográfica que se prolonga pelo domínio denominado de Chapada Diamantina, constituindo um notável alinhamento de cristas alternadas com vales intercalados. Essa feição topográfica do Supergrupo Espinhaço corresponde à conhecida Serra do Espinhaço, com suas designações locais, tais como, Serra do Cipó, Chapada Diamantina, Serra dos Cristais, Serra de Ouro Branco, Serra Geral, entre outras.

A Serra do Espinhaço constitui o divisor de águas entre a Bacia do Rio São Francisco e as redes de drenagem dos rios que correm diretamente para o Oceano Atlântico. Em toda a sua extensão, a largura da Serra do Espinhaço varia apenas entre 50 e 100 km. O arcabouço da serra é sustentado por sequências metassedimentares predominantemente psamo-pelíticas, com contribuições carbonáticas e vulcânicas - os supergrupos Espinhaço e São Francisco (Schobbenhaus, 1996). A Figura 5.6 mostra a Serra do Espinhaço como divisor de águas.



**Figura 5.6 - A Serra do Espinhaço e o Rio São Fancisco**

### 5.1.2.1 Estratigrafia do Supergrupo Espinhaço

Como se viu nos parágrafos acima, essa unidade ocorre numa vasta área e se caracteriza por uma grande variabilidade litológica, e, sobretudo, por uma grande complexidade estrutural. Os primeiros estudos do que hoje se chama Supergrupo Espinhaço se deram com a famosa viagem de Spix e Martius na segunda década do século XIX (Pedreira da Silva, 1994). Durante a segunda metade do século XX, e até nossos dias, um grande número de estudos foi produzido e publicado. Vamos apresentar, no presente documento, o estágio atual de conhecimentos dessa questão, com base nos estudos mais significativos.

Em linhas gerais é possível traçar um modelo evolutivo para o Supergrupo Espinhaço, desde o Estateriano (1,8 a 1,6 Ga) até o Esteniano (1,2 a 1,0 Ga), envolvendo períodos intercalados de deposição e não-deposição. São identificados, neste modelo, três megaciclos deposicionais, correspondentes às seguintes fases (Caxito *et al.*, 2008):

- Sin-rifte, iniciada a cerca de 1,75 Ga, isto é, no final do Mesoproterozoico (período Estateriano);
- Pós-rifte desértica, com sedimentação eólica;
- Fase de sedimentação marinha rasa, associada à reativação tectônica na parte norte da bacia, com representantes em todas as localidades aflorantes do Supergrupo Espinhaço.

A estratigrafia do Supergrupo Espinhaço será descrita separadamente nos domínios Chapada Diamantina, Espinhaço Setentrional e Espinhaço Meridional. O autor que será predominantemente utilizado é Pedreira da Silva (1994) que fez uma revisão e atualização abrangentes da geologia da região em sua tese de doutoramento.

#### 5.1.2.1.1 Domínio da Chapada Diamantina

A Chapada Diamantina ocupa a parte central do Cráton do São Francisco, compreendendo dois domínios, o ocidental e o oriental, separados pelo lineamento Barra do Mendes – João Correia. O Domínio Ocidental é caracterizado por dobramentos apertados e por vulcanismo intenso, enquanto que no Domínio Oriental predominam dobras suaves e o magmatismo é restrito a intrusões básicas. A chapada constitui uma marcante feição geomorfológica, formada por rochas sedimentares e metassedimentares dos supergrupos Espinhaço e São Francisco (Reis, 2012).

A área onde o Supergrupo Espinhaço é mais bem conhecido corresponde ao domínio da Chapada Diamantina (Figura 5.5). Nesta área ocorrem todas as formações individualizadas no supergrupo, na Bahia, desde o vulcanismo basal do Complexo Rio dos Remédios (Schobbenhaus & Kaul, 1971) até a Formação Morro do Chapéu (Brito Neves, 1967), que encerra a sedimentação do supergrupo.

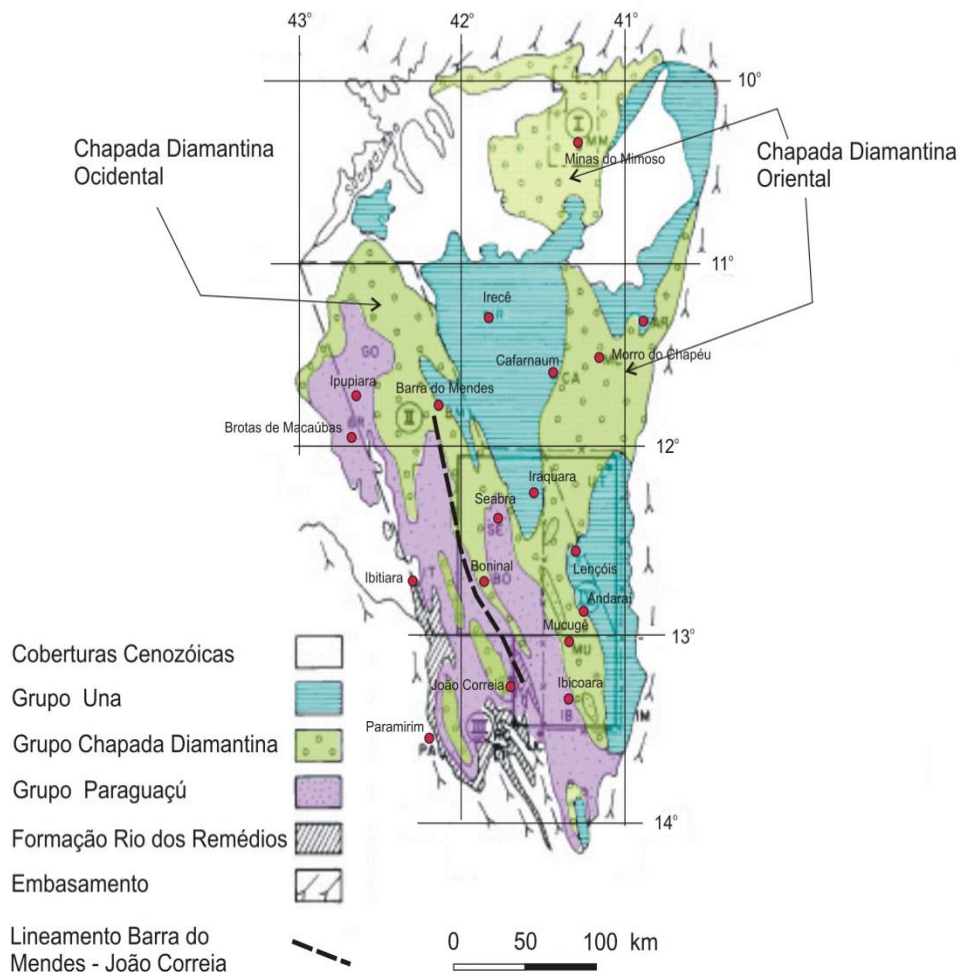
A estratigrafia da região da Chapada Diamantina Oriental é mostrada na Tabela 5.1.



**Tabela 5.1 - Estratigrafia do Supergrupo Espinhaço na Chapada Diamantina Oriental. Compilado de Pedreira da Silva (1994).**

GRUPO	FORMAÇÃO	MEMBRO
Chapada Diamantina	Morro do Chapéu	
	Caboclo	
	Tombador	Lavras
Paraguaçu	Guiné	
	Mangabeira	
	Ouricuri do Ouro	
Formação Rio dos Remédios		

A distribuição do Supergrupo Espinhaço (grupos Paraguaçu, Chapada Diamantina e Formação Rio dos Remédios) é mostrada na Figura 5.7.



**Figura 5.7 - Áreas de ocorrência do Supergrupo Espinhaço na região da Chapada Diamantina. Adaptado de Pedreira da Silva (1994).**

## **Grupo Paraguaçu**

De acordo com o Mapa Geológico do Estado da Bahia (CPRM/CBPM, 2003), o Grupo Paraguaçu (1800 a 1400 Ma) inclui as formações Rio dos Remédios, Ouricuri do Ouro, Mangabeira, Lagoa de Dentro e Açuruá. Pedreira da Silva (1994) reconheceu na Chapada Diamantina Oriental as duas primeiras, além da Formação Guiné.

### *Formação Rio dos Remédios*

Inicialmente chamados de Complexo Rio dos Remédios (Schobbenhaus & Kaul, 1971), os derrames vulcânicos dessa unidade foram considerados por Pedreira da Silva (1994) como um grupo independente, pois os mesmos se comportam de maneira estratiforme, com posição bem definida, atendendo, portanto, aos códigos de nomenclatura estratigráfica. Na presente discussão vamos considerá-los como formação, como defende CPRM/CBPM (2003). O nome da formação provém do Rio dos Remédios, afluente pela margem direita do rio Paramirim, que drena uma grande parte da área de ocorrência dos derrames. A Formação Rio dos Remédios compreende essencialmente rochas vulcânicas ácidas representadas por riolitos, dacitos, traquitos, tufitos, aglomerados e brechas vulcânicas. Essas rochas estão depositadas sobre o complexo gnáissico-migmatítico do embasamento cratônico e têm como contato superior a Formação Ouricuri do Ouro ou, na sua ausência, a Formação Mangabeira.

### *Formação Ouricuri do Ouro (Pedreira da Silva, 1994)*

A Formação Ouricuri do Ouro aflora em uma região a cerca de 15 km a sudeste de Brotas de Macaúbas, nos arredores da cidade homônima e estende-se a oeste da serra da Mangabeira por 90 km na direção sudeste. A formação consiste de um conglomerado mal classificado formado por seixos e matacões bem arredondados de quartzitos, quartzo leitoso, gnaisse, itabirito e rochas meta-vulcânicas ácidas. A sua matriz é arenosa, arcossiana, areno-argilosa ou quartzo-sericítica. Localmente contém pequenas intercalações de quartzito conglomerático, arcóseo e rochas vulcânicas ácidas (Schobbenhaus & Kaul, 1971). Assenta-se comumente sobre o embasamento cristalino, mas a sudeste de Ibitiara é concordante com a Formação Rio dos Remédios. O contato superior com a Formação Mangabeira é gradativo.

### *Formação Mangabeira (Pedreira da Silva, 1994)*

Essa formação é amplamente distribuída na região de Brotas de Macaúbas e no núcleo do anticlinal situado cerca de 50 km a sudeste dessa cidade (Figura 5.7). O seu nome deriva da Serra da Mangabeira, que forma o limite ocidental da Chapada Diamantina. A formação está bem exposta na rodovia entre Brotas de Macaúbas e Ipupiara, e nas regiões de Seabra, Guiné, Cascavel e Ibicoara. Na Chapada Diamantina Centro-oriental, o contato superior da Formação Mangabeira é com a Formação Guiné. Nos locais onde esta não se depositou, ou foi erodida (oeste de Seabra e leste de Cascavel) é com a Formação Tombador. O contato basal, com a Formação Ouricuri do Ouro é exposto na região de Cabralia-Bela Sombra. Schobbenhaus & Kaul (1971) não descreveram uma secção-tipo para essa formação. Pedreira da Silva (1994), entretanto, estudando diversos afloramentos da mesma, mostrou que ocorrências típicas da sua parte inferior encontram-se a norte e oeste de



Ibicoara, representadas por arenitos rosa de granulação fina a média, com grãos angulosos e palhetas de biotita limitando planos de estratificação, e níveis de conglomerados com seixos subcentimétricos. Exposições da sua parte superior podem ser observadas entre Velame e Seabra, representadas por arenitos de granulação fina a média com distribuição bimodal, isto é, níveis alternados de cada granulometria. Daí para norte, a porção superior da Formação Mangabeira aflora nas regiões de Guiné, Baraúnas, Velame e até 20 km a norte de Seabra.

Uma característica importante da Formação Mangabeira é a uniformidade da sua composição através de toda a sua área de afloramento, desde o local onde foi inicialmente descrita por Schobbenhaus & Kaul (1971) até o extremo sul da área estudada por Pedreira da Silva (1994), isto é, as imediações de Ibicoara.

#### *Formação Guiné (Pedreira da Silva, 1994)*

Essa formação, situada acima da Formação Mangabeira, foi denominada inicialmente por Schobbenhaus & Kaul (1971) de Formação Caboclo, por estar sobreposta pela sequência por eles identificada como Formação Morro do Chapéu. Posteriormente, em 1974, Pedreira & Mascarenhas demonstraram que a Formação Morro do Chapéu de Schobbenhaus & Kaul (1971), aflorante ao sul do paralelo 12°, correspondia em realidade à Formação Tombador, definida originalmente por Branner (1910). Verificou-se, posteriormente, que o mesmo ocorria em outros locais da Chapada Diamantina. Assim, a sequência descrita por Schobbenhaus & Kaul, estando entre as formações Mangabeira e Tombador, não poderia ser a Formação Caboclo, devendo receber um novo nome. Na correlação entre a área mapeada por Schobbenhaus & Kaul (1971) e a área mapeada por Pedreira da Silva (1994), foi notado que a Formação Caboclo de Schobbenhaus & Kaul (1971) corresponde inteiramente à Formação Guiné de Montes (1977). Esta formação se estende pelo sopé de diversas serras passando a norte, sul e leste de Brotas de Macaúbas, a norte de Seabra, leste de Boninal, Piatã, oeste de Mucugê e leste de Ibicoara. A sua secção-tipo está no caminho Guiné-Patis, a leste da localidade que lhe deu o nome, onde ela consiste de metassiltitos, siltitos argilosos e metargilitos intercalados com metassiltitos). Na maior parte da sua área de afloramento, a base da Formação Guiné está em contato com a Formação Mangabeira e o topo passa gradativamente à Formação Tombador. Sua espessura, medida na secção-tipo, é de 160 m, diminuindo até desaparecer por afinamento em alguns lugares. Sua ausência a oeste do sinclinal de Boninal pode ser explicada por falhamentos paralelos ao Lineamento Barra do Mendes-João Correia (Transcorrência Brasileira). As litologias descritas na secção-tipo são encontradas na maior parte dos afloramentos da formação, como a norte de Guiné e a leste de Seabra.

#### **Grupo Chapada Diamantina**

Em 1968, Leal & Brito Neves definiram o Grupo Chapada Diamantina como composto pelas seguintes formações, do topo para a base:

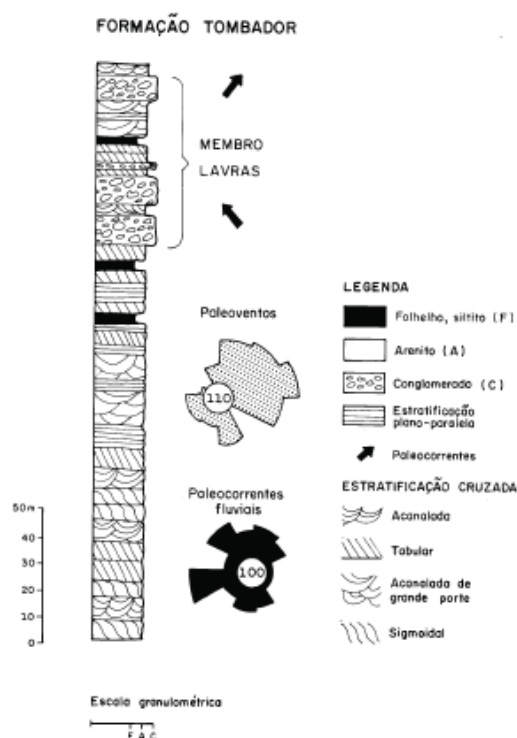
- Morro do Chapéu;
- Caboclo;
- Tombador;
- São Pedro.

Posteriormente, ficou demonstrado que as litologias da Formação São Pedro eram parte integrante da Formação Tombador, o que levou à exclusão daquela formação.

O Grupo Chapada Diamantina, hoje, é dividido nas seguintes formações, da mais antiga para a mais recente: Formação Tombador; Formação Caboclo; Formação Morro do Chapéu.

### Formação Tombador

A Formação Tombador foi descrita pela primeira vez por Branner (1910). Ela aflora extensivamente na Chapada Diamantina, apresentando uma litologia essencialmente de arenitos e conglomerados, com raras fácies argilosas. Uma seção típica da formação (Figura 5.8) encontra-se na BR-242, entre o morro do Pai Inácio e o entroncamento para Lençóis (Guimarães & Pedreira, 1990).



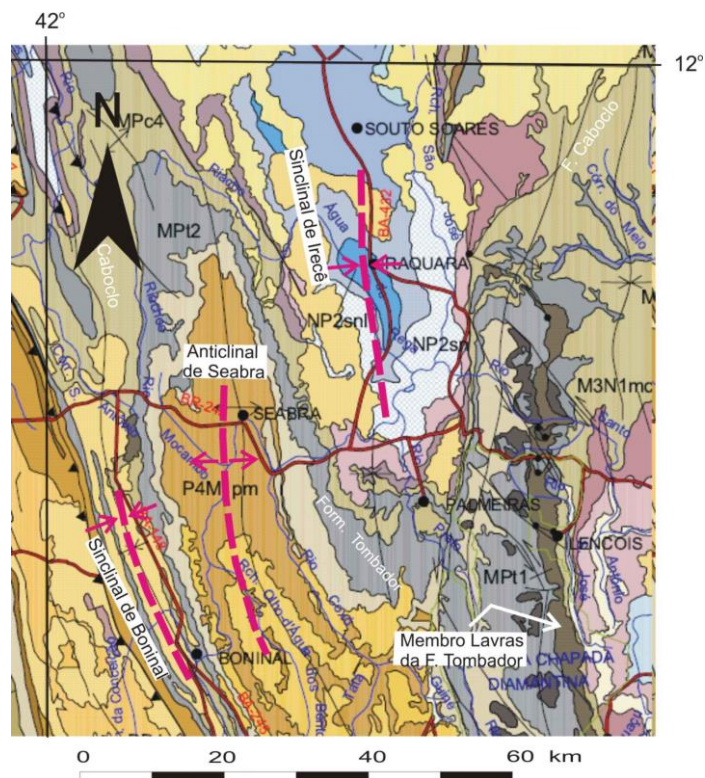
**Figura 5.8 - Seção tipo da Formação Tombador ao longo da BR-242. Compilado de Pedreira da Silva (1994).**

Nessa seção, a Formação Tombador é constituída de arenitos bem selecionados, de granulometria bimodal, compostos por grãos de quartzo e alguns de feldspato; conglomerados de grânulos e pequenos seixos sustentados pela matriz; conglomerados sustentados pelos seixos ou pela matriz, com estratificação grosseira e seixos ocasionalmente imbricados; e pelitos. A análise de centenas de afloramentos da Formação Tombador mostrou que essas litologias se repetem ao longo de toda sua área de exposição. Próximo ao seu topo, podem ser reconhecidos os conglomerados descritos por Derby (1906), como Grupo Lavras, que são agora designados de Membro Lavras (Figura 5.8). Esses conglomerados afloram em uma faixa grosseiramente sul-norte que, desde as imediações de Andaraí, perlonga a zona de afloramento da Formação Tombador, acompanhando seu limite oriental, passando por Lençóis, e desaparecendo a leste de Iraquara (Figura

4.9). Afloram também em corpos isolados aproximadamente na parte média da Formação Tombador. O maior desses corpos está situado em Mucugê e os menores a sul e leste dessa cidade e a oeste de Andaraí. Na região situada entre Lençóis e essa última cidade, o Membro Lavras foi descrito por Bomfim & Pedreira (1990) como constituído de conglomerados sustentados pelos clastos ou pela matriz, e arenitos seixosos ou não, localmente cortados por diques básicos. Os conglomerados, que constituem no mínimo 80% da sequência têm clastos de arenito, quartzo e quartzito verde. Na região do rio Combucas, situada cerca de 3 km a norte de Mucugê, o Membro Lavras tem aproximadamente 100 m de espessura consistindo em uma alternância de arenitos e conglomerados, tanto sustentados pelos clastos como pela matriz. Os seixos do conglomerado têm diâmetros entre 3 e 5 cm e compõem-se de arenitos rosa e quartzito branco e verde.

### Formação Caboclo

A Formação Caboclo foi descrita pela primeira vez por Branner (1910). Pedreira da Silva (1994) informa que essa formação aflora em uma faixa dentro do sinclinal de Boninal e contorna o anticlinal de Seabra e o sinclinal de Irecê (Figura 5.9). Assenta-se em contato normal sobre a Formação Tombador e, a leste de Palmeiras, separa-se da mesma pela falha do Rio São João. Aflora também na região a norte de Tanquinho e leste de Afrânio Peixoto. Dessa região para sul ela aflora em uma faixa estreita que baliza a serra do Sincorá a leste, no vale do Rio São José.



**Figura 5.9 - Formações Tombador e Caboclo na Chapada Diamantina Centro Oriental. Adaptado de CPRM/CBPM (2003).**

Na Chapada Diamantina Centro Oriental, a Formação Caboclo consiste essencialmente de arenitos e pelitos, com conglomerados subordinados. Os arenitos possuem granulação fina a média, são bem selecionados e têm coloração avermelhada, ou são finos a muito finos com palhetas de mica branca;

Os conglomerados exibem clastos com diâmetro da ordem de 1 cm, e as camadas têm estratificação cruzada tabular.

Os pelitos, por sua vez, apresentam-se associados às demais litologias em camadas laminadas, lateralmente contínuas.

Ocorrem calcários silicificados, próximos à base da formação, em dois locais. O primeiro deles fica cerca de 10 km a leste de Segredo, em uma cascalheira enquanto que o segundo situa-se 13 km a norte de Boninal. Esses calcários silicificados apresentam estruturas laminadas semelhantes à laminitos algáceos e são correlacionáveis aos Jacuípe flints de Branner (1910). No topo da formação, cerca de 5 km a oeste da cascalheira acima citada, foi encontrado um biostroma com estromatólitos colunares.

Bons afloramentos da Formação Caboclo ocorrem na BR-242, a sul de Palmeiras e também na mesma estrada imediatamente a oeste da falha do rio São João. O primeiro deles consiste em arenitos, siltitos com estratificação cruzada de baixo ângulo e marcas onduladas no topo e argilitos com laminação plano-paralela ou estratificação lenticular, em camadas de espessura centimétrica. No afloramento situado a sul de Palmeiras a formação consiste em uma alternância de arenitos e argilitos. Finalmente, o terceiro afloramento, situado a oeste da falha do rio São João, na BR-242, consiste de camadas de arenito (espessura entre 20 e 60 cm) com estratificação plano-paralela, topo retrabalhado por ondas e bases deformadas, separadas por níveis de argila com lentículas de areia cuja espessura varia entre 5 e 20 cm.

A leste de Boninal foi encontrada intercalada na Formação Caboclo uma camada de diamictito com cerca de 2 m de espessura. Os seixos são angulosos, com diâmetro de até 5 cm e em geral são de quartzito. Esse diamictito pode ser interpretado como um fluxo de detritos, evidenciando erosão submarina.

#### *Formação Morro do Chapéu*

A Formação Morro do Chapéu foi descrita pela primeira vez por Brito Neves (1967), na região da cidade de Morro do Chapéu (Figura 5.7). Na serra de Martim Afonso (ou das Lajes), nessa região, ela é composta de ortoquartzitos brancos e róseos com estratificações plano-paralelas e cruzadas, possuindo pelo menos duas intercalações de argilitos roxos micáceos. Brito Neves (1967) propôs uma espessura de mais de 250 m para toda a formação.

Para sul, as maiores áreas de afloramento da Formação Morro do Chapéu encontram-se na região de Água de Rega, a norte de Palmeiras, entre Wagner e Tanquinho e a leste de Segredo. Nessas áreas, foram encontrados os melhores afloramentos. Na secção Palmeiras-BR 242, a formação se assenta em contato concordante e nítido sobre a Formação Caboclo. Sua sequência sedimentar se inicia por uma brecha de matriz arenosa com grãos arredondados. Acima dessa brecha seguem-se conglomerados e arenitos

conglomeráticos com marcas onduladas. Todo esse conjunto, ou seja, a Formação Morro do Chapéu, é recoberto discordantemente pela Formação Bebedouro. A leste de Segredo a formação consiste de arenitos rosados com marcas onduladas e estratificações cruzadas tabulares e do tipo espinha de peixe. Nessa mesma seção, a formação possui, próximo ao topo, intercalações argilosas intercamadas com arenitos, que possuem marcas onduladas. De acordo com Guimarães & Pedreira (1990), a formação se caracteriza por diversos ciclos de sedimentação que se iniciam por conglomerados e terminam com argilitos ou arenitos finos.

Os conglomerados são polimíticos cinza claros a róseos com matriz de granulação variável entre fina e grossa, mal selecionada. Os clastos são de quartzo, sílex, quartzito e arenito, subangulares e com diâmetro máximo de 5 cm. A sua característica principal é a presença de estratificação cruzada acanalada de grande porte formando canais de até 15 m de largura e 2 a 3 m de profundidade.

Os arenitos têm granulometria média a fina, são rosados a avermelhados, apresentando às vezes alguma matriz argilosa e palhetas de mica dispersas. Ocasionalmente, as duas frações granulométricas estão associadas formando leitões delgados. As principais estruturas sedimentares são estratificações plano-paralelas em bancos decimétricos a métricos ou cruzadas tabulares e acanaladas de porte médio. Marcas onduladas ocorrem no topo de algumas camadas.

Os pelitos ocorrem principalmente no topo da formação, associados a arenitos com marcas onduladas e ocasionalmente estratificações cruzadas do tipo espinha de peixe.

#### **5.1.2.1.2. Domínio do Espinhaço Setentrional**

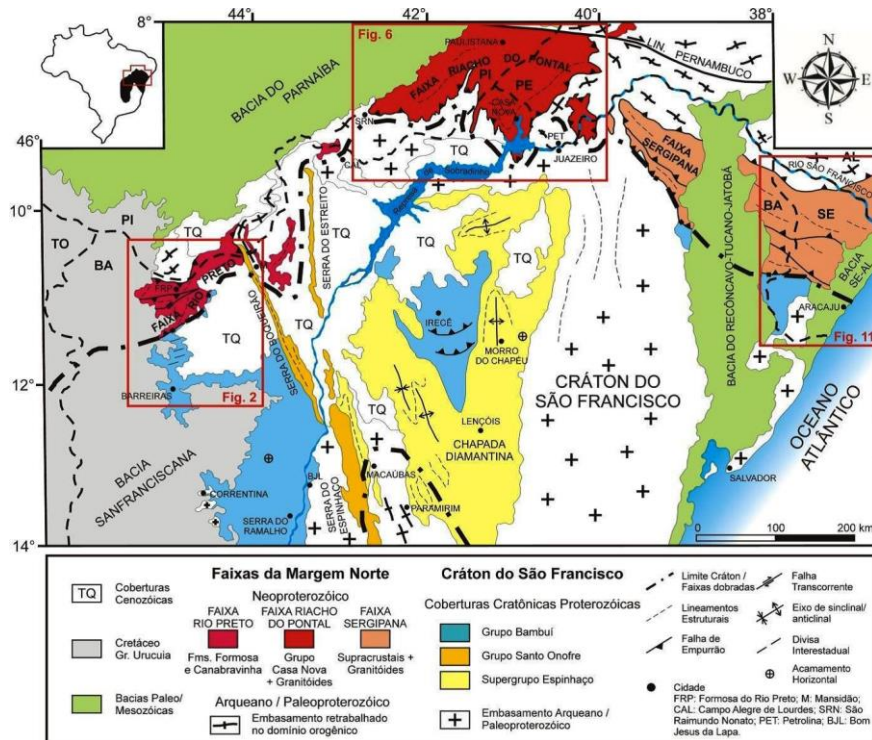
De acordo com Caxito *et al.* (2008), o Supergrupo Espinhaço é representado na região de Macaúbas e Canatiba (Espinhaço Setentrional - Figuras 5.5 e 5.10), pelo Grupo Pajeú, Formação Bom Retiro e grupos São Marcos e Sítio Novo. A espessura estimada desse pacote, devido aos efeitos da deformação ocorrida, pode chegar a quase 9.000 m.

A estratigrafia do supergrupo é mostrada na Figura 5.11 e sua descrição segue essencialmente Caxito *et al.* (2008).

#### **Grupo Pajeú**

O Grupo Pajeú, composto pelas formações Ipuçaba e Bomba, é a base do Supergrupo Espinhaço na área acima citada. Este grupo é composto pelas formações Ipuçaba e Bomba.





**Figura 5.10 - Visão panorâmica da geologia do norte da Bahia. Compilado de Uhlein et al. (2011).**

### Formação Ipuçaba

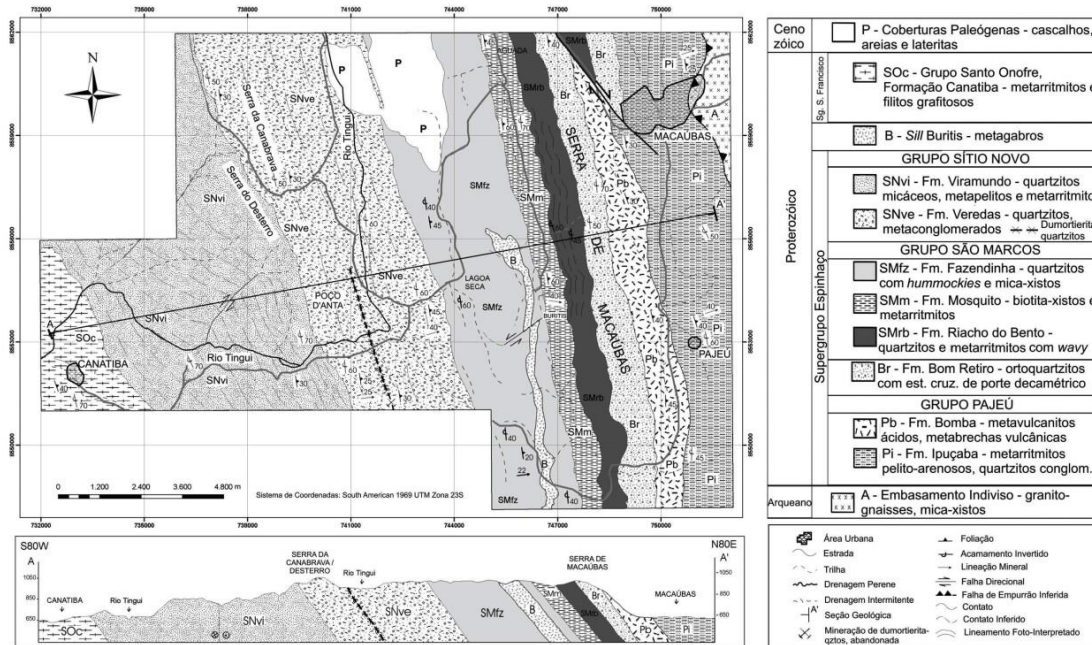
Na Formação Ipuçaba, com 1.125 m de espessura estimada, dominam metarritmitos arenopelíticos com gretas de contração, estratificação gradacional e laminações cruzadas. Localmente ocorrem quartzitos conglomeráticos. Essas litofácies são, em conjunto, sugestivas de um sistema deposicional predominantemente lacustre.

### Formação Bomba

Sobrepostas à sequência acima citada ocorrem rochas de filiação vulcânica ácida a intermediária, principalmente quartzo-pórfiros, com evidências de episódios de erupção explosiva (rochas piroclásticas, metabrechas vulcânicas) e contribuição epiclástica associada. Esse conjunto é englobado na Formação Bomba, com 550 m de espessura estimada.

### Formação Bom Retiro

A Formação Bom Retiro é composta por uma sequência de ortoquartzitos texturalmente maduros, com estratificações cruzadas tabulares de porte métrico a decamétrico, que sustentam a Serra de Macaúbas, a oeste da cidade homônima. Essas litofácies são típicas de um sistema deposicional eólico. A monotonia de seus litotipos, a persistente continuidade lateral e a resposta inconfundível em imagens de sensoriamento remoto, de textura rugosa e tonalidade esbranquiçada, fazem da Formação Bom Retiro uma excelente camada-guia, que na área de Macaúbas e Canatiba atinge 425 m de espessura.



**Figura 5.11 - Geologia do Supergrupo Espinhaço no Domínio Espinhaço Setentrional. Compilado de Caxito et al. (2008).**

### Grupo São Marcos

As litofácies encontradas no Grupo São Marcos são indicativas de sedimentação marinha plataformar, em ciclos transgressivos e regressivos. Este grupo aflora na porção centro leste da área de Canatiba/Macaúbas (Figura 5.11). É composto por duas formações predominantemente psamíticas (Riacho do Bento e Fazendinha) separadas por uma formação pelítica (Mosquito), apresentando contatos gradacionais entre si.

#### Formação Riacho do Bento

Esta formação é composta por quartzitos com estratificações cruzadas decimétricas e marcas de corrente, metarritmitos arenopelíticos com estratificações dos tipos *wavy*<sup>2</sup> e *linsen*<sup>3</sup>, gretas de contração e marcas de corrente, e quartzitos. A Formação Riacho do Bento é a unidade menos espessa de todo o pacote sedimentar, com 400 m de espessura.

#### Formação Mosquito

A Formação Mosquito é composta por biotita-xistos porfiroblásticos e metarritmitos pelitoarenosos, com 425 m de espessura.

#### Formação Fazendinha

<sup>2</sup> Estratificação suavemente ondulada.

<sup>3</sup> Estratificação finamente laminada.

A Formação Fazendinha é composta por quartzitos com *hummockies*<sup>4</sup>, associados a micaxistos, com 1.325 m de espessura.

### **Grupo Sítio Novo**

Na porção centro-oeste da área de Canatiba/Macaúbas (Figura 5.11) aflora o Grupo Sítio Novo, constituído pelas formações Veredas e Viramundo. As litofácies encontradas neste grupo indicam um conjunto de ambientes deposicionais distintos, interligados, englobando sistemas fluviais, transicionais, deltáicos e marinhos rasos.

#### *Formação Veredas*

Esta formação é predominantemente psamítica e pode atingir até 1.875 m de espessura. Engloba vários tipos de quartzitos de caráter puro a levemente micáceo, desde conglomeráticos até maciços e fortemente silicificados, com laminações e estratificações cruzadas, planas e onduladas. Subordinadamente afloram metaconglomerados. Em sua porção intermediária, ocorre um nível com espessura média de 10 m de quartzitos silicificados de coloração azul, conferida pela presença do mineral dumortierita, com cianita subordinada em bandas localizadas.

#### *Formação Viramundo*

A Formação Viramundo tem composição pelitopsamítica, com até 2.675 m de espessura, sendo, portanto, a unidade mais espessa de todo o Domínio Espinhaço Setentrional. Seus litotipos englobam quartzitos arcoseanos e com fragmentos líticos, metarritmitos siltoargilosos e metapelitos.

### **5.1.2.1.3 Domínio do Espinhaço Meridional – Setor Sul**

No domínio do Espinhaço Meridional (ver Figura 5.5), Knauer (2007) reconhece dois setores: o setor norte e o setor sul. O setor sul é tratado no presente tópico, enquanto que o setor norte será abordado no tópico 5.1.2.1.4

No setor sul o autor acima citado propõe três conjuntos maiores, denominados de Grupo Guinda, Formação Galho do Miguel e Grupo Conselheiro Mata, do mais antigo para o mais recente. Esses grupos reúnem oito formações, ainda hoje válidas, definidas por Pflug (1968) e Schöll & Fogaça (1979).

#### **Grupo Guinda**

O Grupo Guinda (Knauer, 1990) engloba tanto as formações São João da Chapada e Sopa-Brumadinho, como a Formação Itapanhoacanga e a Suíte Metaígneia Conceição do Mato. Knauer (2007) ressalva, entretanto, que, muitas vezes, as relações entre essas unidades, especialmente as últimas, são pouco claras, devido essencialmente ao forte tectonismo da região onde afloram.

##### a) Formação São João da Chapada

Com espessuras de até 200 metros, a Formação São João da Chapada mostra contatos inferiores marcados por discordância erosiva/angular e contatos

---

<sup>4</sup> Estratificação cruzada característica de zona litorânea sob o efeito de ondas.

superiores gradacionais. Schöll & Fogaça (1979) propuseram três níveis informais, cujas características indicam ambientes continentais.

- No nível mais basal “A”, descontínuo, ocorrem predominantemente termos quartzíticos e, subordinadamente, metaconglomerados polimíticos e metabrechas quartzíticas;
- O nível “B”, com contatos bruscos e espessuras de até 50 metros, é representado por sericita-filitos hematíticos que gradam para intercalações de xistos verdes. Ocorrem também rochas compostas por mais de 70% de cloritóide e, muito raramente, turmalinitos finos. A composição química dos filitos, surpreendentemente homogênea, é incompatível com origem ígnea. Todos os indícios observados levam a admitir uma origem a partir do metamorfismo de rochas ígneas, que modificou sua composição inicial;
- Com espessuras que ultrapassam os 150 metros, o nível “C” é caracterizado pelo predomínio de quartzitos médios até grosseiros e, subordinadamente, filitos e quartzo-filitos que gradam lateralmente para quartzitos micáceos finos. Metaconglomerados, na forma de lentes métricas, são raros, assim como intercalações de clorita-xistos e/ou de filitos hematíticos.

#### b) Formação Sopa-Brumadinho

A Formação Sopa-Brumadinho ocorre amplamente no subdomínio sul do Espinhaço Meridional, exibindo um caráter heterogêneo que lhe é característico. Essa formação foi objeto de estudos detalhados em função do seu potencial diamantífero. Knauer (2007) considera três membros, designados respectivamente de Datas, Caldeirões e Campo Sampaio, reconhecidos anteriormente por Almeida Abreu (1993), além da Unidade Rio Preto (Mourão, 1995).

- Membro Datas

Este membro representa a porção mais basal da Formação Sopa-Brumadinho. Suas espessuras são inferiores a 50 metros e exibe uma litologia de filitos e quartzo-filitos que podem gradar lateral e/ou verticalmente para quartzitos finos e micáceos.

- Membro Caldeirões

Este membro apresenta espessuras oscilando entre os 100 e 200 metros, com predomínio de quartzitos, muitas vezes ferruginosos e ocorrência subordinada de metaconglomerados, usualmente polimíticos e suportados pela matriz. Esses quartzitos são, localmente, diamantíferos. Filitos hematíticos, bem como corpos de xistos verdes, são conhecidos se apresentando como corpos concordantes ou discordantes. Entre as estruturas sedimentares preservadas, nesta unidade, destacam-se diversos tipos de estratificações cruzadas, de médio a grande porte, incluindo tabulares, tangenciais e acanaladas. Marcas onduladas, tanto simétricas como assimétricas são facilmente reconhecíveis, com variados tamanhos e comprimentos de onda.

- Unidade Rio Preto

A Unidade Rio Preto (Mourão, 1995) se caracteriza por uma alternância de camadas decamétricas de quartzitos finos e micáceos, com camadas de



sericita-xistos. Usualmente, esse conjunto contém carbonatos e fosfatos. No mapa geológico do estado de Minas Gerais, na escala de 1:1.000.000, (CPRM/COMIG, 2003), esta unidade situa-se estratigraficamente abaixo do Membro Campo Sampaio, como aqui indicado.

- Membro Campo Sampaio

Este membro inclui, a norte, desde filitos, metassiltitos e quartzitos finos até corpos descontínuos de metabrechas diamantíferas de matriz filítica. Nesta região, mostra um excelente grau de preservação de estruturas sedimentares de pequeno porte, incluindo desde laminações planoparalelas e cruzadas até marcas onduladas. Para sul, a unidade parece tornar-se mais importante, com predomínio de termos quartzíticos finos.

- Formação Itapanhoacanga

Esta formação, com espessuras que devem ultrapassar os 150 metros, ocorre exclusivamente na borda leste da Serra do Espinhaço. É caracterizada por variados tipos de quartzitos, gradando localmente para quartzo-xistos. Inclui intercalações de níveis ferríferos bandeados, filitos, filitos hematíticos e metaconglomerados. Seus contatos com as unidades que a limitam são invariavelmente tectônicos, o que impede uma melhor caracterização de suas relações estratigráficas. Seu caráter litológico, entretanto, respalda sua inclusão no Grupo Guinda.

- Suíte Meta-ígnea Conceição do Mato Dentro

Esta unidade (Knauer, 1990) engloba rochas metavulcânicas/subvulcânicas de filiação ácida. Predominam tipos claros, podendo ocorrer localmente tipos mais escuros. A matriz é fina envolvendo fenocristais de quartzo azulado e, mais raramente, de feldspato. Essas rochas correspondem aos metariolitos descritos na literatura (e.g. Grossi-Sad & Mello, 1969), com os termos mais escuros representando, verdadeiros metariodacitos. Datações U/Pb nessas rochas forneceram idades entre 1,70 e 1,72 Ga (Machado *et al.* 1989), o que as coloca no Estateriano, isto é, final do Paleoproterozoico.

### **Formação Galho do Miguel**

A Formação Galho do Miguel é caracterizada por quartzitos puros e finos que constituem mais de 90% da unidade. Os outros 5 ou 10% estão representados por quartzitos finos micáceos e por finas intercalações de metargilitos acinzentados ou esverdeados. A capacidade de preservação de estruturas nos quartzitos é excepcionalmente boa, incluindo marcas onduladas, além de estratificações planoparalelas e cruzadas (acanaladas, tabulares e tangenciais a base, com portes métricos até decamétricos). O conjunto de características da formação sugere ambiente predominantemente eólico para sua deposição. A Formação Galho do Miguel é de provável idade Mesoproterozoica.

### **Grupo Conselheiro Malta**

O Grupo Conselheiro Malta, também de provável idade Mesoproterozoica, é constituído por alternâncias cíclicas de sedimentos arenosos e siltico-argilosos, caracterizando episódios transgressivos e regressivos em ambiente marinho (Dossin *et al.*, 1990). As seguintes formações são reunidas nesse grupo



(Knauer, 2007): Santa Rita, Córrego dos Borges, Córrego da Bandeira, Córrego Pereira e Rio Pardo Grande.

a) Formação Santa Rita

A Formação Santa Rita, na base do grupo, é constituída por quartzitos, filitos e metaconglomerados localizados.

b) Formação Córrego dos Borges

A sequência acima descrita grada verticalmente para os quartzitos finos a médios da Formação Córrego dos Borges que podem apresentar intercalações de metabrechas quartzíticas e de metaconglomerados.

c) Formação Córrego da Bandeira

Acima da Formação Córrego dos Borges vem a Formação Córrego da Bandeira, caracterizada por filitos e metassiltitos na base que gradam na direção do topo para quartzitos finos a médios, localmente feldspáticos.

d) Formação Córrego Pereira

Os quartzitos da formação anterior gradam para os quartzitos mais puros da Formação Córrego Pereira.

e) Formação Rio Pardo Grande

Culminando a sequência sedimentar do Grupo Conselheiro Malta, vem a Formação Rio Pardo Grande. Esta formação, que é descontínua e nem sempre ocorre, é constituída de metassiltitos e metargilitos que passam verticalmente, na direção do topo, para quartzitos finos e muito micáceos. Nessa secção mais superior podem aparecer intercalações finas de rochas calcárias, interpretadas como restos de algas.

#### 5.1.2.1.4 Domínio do Espinhaço Meridional – Setor Norte

O setor norte do Espinhaço Meridional é separado do setor sul por uma descontinuidade na altura do paralelo 17°30'S (ver Figura 5.5). Nessa descontinuidade, a extremidade sul do setor norte, onde se situa a localidade de Itacambira<sup>5</sup>, fica distanciada cerca de 70 km para NNE, em relação à extremidade norte do setor sul. Os metassedimentos do Supergrupo Espinhaço, na região de Itacambira, formam um arco de serras, quase sempre contínuas, com concavidade voltada para o norte e fechamento ao sul da referida localidade.

Essa morfologia é reflexo de uma grande estrutura anticlinória de direção N-S e caimento do eixo para sul, daí o fechamento ao sul de Itacambira. Essa estrutura é conhecida na literatura como Anticlinal de Itacambira (Martins *et al.*, 2011). Em seu núcleo afloram rochas do embasamento (Guimarães *et al.*, 1993) e seu flanco oriental se prolonga ininterruptamente até o estado da Bahia.

---

<sup>5</sup> Itacambira fica cerca de 40 km a SE de Montes Claros.

### ***Sinclinal de Itacambira***

Na região de Itacambira, (Karfunkel & Karfunkel, 1975 *apud* Knauer, 2007) propuseram uma subdivisão em quatro formações que, pelas informações disponíveis, podem ser correlacionadas ao Grupo Guinda definido no setor sul do Espinhaço Meridional. São as seguintes, da base para o topo, as formações propostas:

#### *Formação Itacambiruçu*

Nesta formação, que pode atingir 40 metros de espessura, foram agrupados micaxistos, quartzo-filitos, turmalina quartzitos e metarcósios.

#### *Formação Resplandecente*

Essa formação foi caracterizada como uma sequência de quartzitos, micáceos ou não, que pode atingir até 300 metros de espessura. É considerada por alguns autores como correlacionável à Formação Galho do Miguel, do setor sul do Espinhaço Meridional.

#### *Formação Matão*

São quartzitos, quartzitos micáceos e lentes de metaconglomerados, com até 200 metros de espessura.

### **Região entre Grão Mogol e Monte Azul**

Para o restante do setor norte do Espinhaço Meridional, Knauer (2007) informa que uma divisão formal ainda não pode ser proposta. Considera-se válida, assim, a divisão informal aceita por Knauer *et al.* (2006). Essa divisão é a seguinte:

#### *Unidade Metavulcanossedimentar*

Estudada com algum detalhe pelos geólogos do Projeto Porteirinha - Monte Azul (Drumond *et al.*, 1980), a unidade pode ser definida como um conjunto de metavulcanitos ácidos a intermediários com metassedimentos associados, em especial metaconglomerados polimíticos e variados tipos de quartzitos. Ela nem sempre aflora e seu desaparecimento local coincide com o aparecimento de espessos pacotes de quartzitos da Unidade Superior, o que pode indicar que a supressão não tem caráter exclusivamente tectônico. Dentre os metavulcanitos ácidos, a tendência riolítica é nitidamente predominante. Na região de Monte Azul, propriamente dita (Knauer *et al.*, 2006), onde a sequência é mais importante, os metavulcanitos observados caracterizam-se por uma granulação muito fina e coloração cinza-azulada, com pórfiros de quartzo e de feldspato. Além destas rochas, ocorrem vulcanoclásticas metamorfisadas, que apresentam, além de pórfiros de origem vulcânica, clastos arredondados. A base da unidade nos locais onde não são observados metavulcanitos pode ser marcada por extensos e espessos corpos de metaconglomerados polimíticos, tanto matriz-suportados como clasto-suportados. Estes são de quartzitos puros, de granitóides e de quartzitos micáceos, além daqueles de quartzo de veio.

#### *Unidade Inferior*

A chamada Unidade Inferior não deve ultrapassar os 300 metros de espessura. É caracterizada por pacotes quartzíticos com intercalações de metaconglomerados e, mais raramente, quartzo-filitos. Observam-se localmente faixas com quartzitos puros de coloração clara, de granulometria fina a média, com estratificação cruzada tabular de pequeno a médio porte e marcas onduladas. Uma análise dos termos quartzíticos da unidade mostra uma marcante heterogeneidade, sem uma clara lei de distribuição dos tipos litológicos. Embora dominada por quartzitos nos setores mais meridionais, a unidade apresenta ainda intercalações de quartzo-xistos, moscovita-quartzo-xistos e raros muscovita-filitos e metaconglomerados matriz-suportados. Na região de Grão Mogol (Figura 5.5), esta unidade exhibe intercalações lenticulares de metaconglomerados com clastos arredondados de quartzo, variados tipos de quartzitos e de quartzitos ferruginosos, localmente diamantíferos.

#### *Unidade Superior*

A Unidade Superior é constituída por quartzitos laminados, micáceos e finos, podendo apresentar localmente variações no conteúdo de óxidos de ferro. Ocorrem, mais raramente, verdadeiros quartzitos arcoseanos. Nos quartzitos micáceos são observadas estruturas sedimentares preservadas, representadas por estratificação/laminação planoparalela e estratificação cruzada tabular de pequeno a médio porte, além de marcas onduladas assimétricas, com cristas retilíneas e contínuas até sinuosas e interrompidas.

### 5.1.3 O Supergrupo São Francisco

Sob a designação de Supergrupo São Francisco são reunidas todas as sequências deposicionais do Proterozoico Superior (Neoproterozoico), ou seja, a Formação Jequitai e os grupos Macaúbas e Bambuí em Minas Gerais; O Grupo Santo Onofre; A Formação Bebedouro e o Grupo Una, na Bahia. Essas unidades recobrem quase todo o segmento centro-sul do Cráton do São Francisco e ocorrem também na região da Chapada Diamantina. Assentam-se diretamente sobre o embasamento gnáissico ou sobre o Supergrupo Espinhaço, contato este marcado por discordância angular e erosiva. As unidades situadas no domínio do Cráton São Francisco apresentam deformação e metamorfismo incipiente ou mesmo ausente. Essas unidades tornam-se gradualmente mais deformadas e com maior grau de metamorfismo na direção das faixas de dobramentos.

#### 5.1.3.1 Estratigrafia do Supergrupo São Francisco

O Supergrupo São Francisco ocorre numa vasta área e se caracteriza por uma grande variabilidade litológica. Embora caracterizado por uma menor complexidade estrutural, sua variabilidade leva a uma abordagem por região, como foi feito no caso do Supergrupo Espinhaço. As regiões que foram julgadas conveniente abordar são as seguintes:

- Faixa de dobramentos Araçuaí e Corredor de Paramirim – Região definida por critérios geológicos. Serão enfocados aqui a Formação Jequitai, o Grupo Macaúbas e o Grupo Santo Onofre;
- Bacias de Irecê e Una-Utinga – Região definida por critérios geológicos. Serão enfocados aqui o Grupo Una e a Formação Bebedouro;
- Região de Minas Gerais - Região definida por critérios geográficos. Será abordado aqui o Grupo Bambuí.

##### 5.1.3.1.1 Faixa de dobramentos Araçuaí e Corredor de Paramirim

Durante a ruptura do supercontinente Rodínia<sup>6</sup> desenvolveu-se, na área que corresponde ao atual Cráton São Francisco, um *rifte* neoproterozoico denominado *rifte* Macaúbas – Santo Onofre (Uhlein *et al.*, 2007). Sua abertura iniciou-se na região ocupada pela Faixa de Dobramentos Araçuaí, tendo prosseguido para norte, para o Corredor do Paramirim (Figuras 5.1 e 5.4). Os esforços de distensão, responsáveis pela abertura do *rifte* foram orientados N 100 a N 110, tendo sido menores no norte (Graben de Santo Onofre) que no sul (*rifte* Macaúbas). Essa conclusão é respaldada pelas respectivas espessuras sedimentares. Apenas a título de ilustração, o Golfo de Suez e o Mar Vermelho, no Egito, representam duas estruturas recentes muito semelhantes, respectivamente, ao Graben Santo Onofre e ao *rifte* Macaúbas. De acordo com Uhlein *et al.* (2007), o *rifte* Macaúbas-Santo Onofre é preenchido pelos grupos Macaúbas e Santo Onofre, enquanto que a Formação Jequitai teria se depositado preferencialmente nas partes altas, fora do domínio do *rifte*.

---

<sup>6</sup> Supercontinente anterior ao Pangeia.

### **Formação Jequitaiá**

A Formação Jequitaiá aflora na base do Grupo Bambuí (Dardenne, 1981), na região centro-norte do Estado de Minas Gerais, nos arredores da Serra do Cabral, e na borda sudeste do Cráton do São Francisco. É constituída por uma sucessão de 0 - 150 metros de diamictitos e raras intercalações de sedimentos psamo-pelíticos, jazendo em discordância sobre unidades do Supergrupo Espinhaço. Seu caráter glacial, reconhecido desde o início do século (Moraes & Guimarães, 1930) atesta a grande glaciação instalada na região no início do Neoproterozoico. Nessa mesma época deu-se o início da abertura do *rifte* Macaúbas-Santo Onofre, de modo que a Formação Serra do Catuni, principal unidade diamictítica do Grupo Macaúbas, é correlacionável à Formação Jequitaiá, ainda que formadas em contextos bacinais distintos, com diferentes taxas de subsidência.

### **Grupo Macaúbas**

O Grupo Macaúbas constitui a unidade estratigráfica relacionada ao preenchimento do *rifte* Macaúbas, neoproterozoico, que se desenvolveu nos limites da faixa de dobramentos Araçuaí (Uhlein, 1991). Este grupo foi originalmente proposto como formação (Formação "Macahúbas") por Moraes (1928), Moraes & Guimarães (1930) e Moraes (1932), para designar a sequência de filonitos conglomeráticos, com algumas camadas associadas de quartzito, presentes na bacia do rio homônimo e na Serra do Catuni. Seu caráter glaciogênico foi primeiramente proposto por Branner (1919) e reiterado por Moraes (1932). Posteriormente, a Formação Macaúbas foi elevada à categoria de grupo e incluída no Supergrupo São Francisco de Pflug & Renger (1973). O Grupo Macaúbas é a principal unidade estratigráfica da Faixa Araçuaí, possuindo espessura de alguns quilômetros, constituído por metadiamictitos com gradação vertical e lateral para quartzitos e metapelitos (Uhlein 1991).

O Grupo Macaúbas aflora extensivamente no município de Monte Azul, no norte de Minas Gerais, nas proximidades imediatas da fronteira com o estado da Bahia. Está assentado sobre quartzitos do Supergrupo Espinhaço e ocorre tanto a leste (com maior extensão) como a oeste (com menor extensão) deste supergrupo. A morfologia da área ocupada pelo Grupo Macaúbas é marcada, predominantemente, por extensas superfícies aplainadas, em dissecação por novo ciclo de denudação. Observam-se cristas onduladas que, quando constituídas por quartzitos, tornam-se mais resistentes e contínuas. O Platô do Alto Rio Pardo (Lima, 1994) corresponde à boa parte das áreas de afloramento das formações Rio Peixe Bravo e Nova Aurora (Grupo Macaúbas) e do Complexo Córrego Tingui.

### **Região a leste da Serra do Espinhaço**

Na região a leste da Serra do Espinhaço foram definidas cinco formações no Grupo Macaúbas, descritas a seguir, da base para o topo:

#### **Formação Rio Peixe Bravo**

Esta é a formação basal do Grupo Macaúbas, pelo menos na região a leste da Serra do Espinhaço. Desenvolve-se segundo uma faixa N-S que bordejia o Supergrupo Espinhaço pelo seu lado leste, exibindo espessuras da ordem de



700 m segundo Viveiros *et al.*(1978). É constituída predominantemente por filitos e quartzo-filitos, com intercalações de quartzitos, quartzitos ferruginosos, filitos ferruginosos e carbonosos. Os filitos e quartzo-filitos, quando frescos, exibem tonalidades acinzentadas claras até escuras. São constituídos essencialmente de quartzo, sericita e óxido de ferro, cujo arranjo define uma foliação crenulada<sup>7</sup>. Estes filitos, em geral, encontram-se semidecompostos ou decompostos, adquirindo tonalidades amareladas. Podem exibir níveis quartzosos e grânulos de quartzo, além de localmente apresentarem porfiroblastos milimétricos, oxidados, de magnetita/martita. Quartzitos, via de regra na forma de lentes métricas até decamétricas, aparecem intercalados nos pacotes filíticos. Estes quartzitos mostram tonalidade branca amarelada e cinza e granulometria fina a média. Os termos mais finos apresentam variáveis conteúdos em sericita/muscovita, e muitas vezes são ferruginosos.

#### *Formação Nova Aurora*

A Formação Rio Peixe Bravo grada verticalmente para os sedimentos da Formação Nova Aurora, mais recentes, conforme definido por Viveiros *et al.* (1978). Esta formação é constituída basicamente por metadiamicititos com intercalações subordinadas de quartzitos e filitos, além de conter horizontes ferruginosos (Membro Riacho Poções) de significado econômico. Os metadiamicititos apresentam-se semidecompostos ou decompostos, e têm tonalidade amarelada (ocre). Quando ferruginosos, são arroxeados. Apresentam intercalações de quartzito que podem chegar a várias dezenas de metros. Esses quartzitos apresentam coloração branca a avermelhada, granulometria média, contendo além do quartzo, feldspato alterado para argila e fragmentos de quartzito, filito e rocha quartzo-feldspática. Minerais opacos e sericita ocorrem como acessórios. Intercalações de filitos também são observadas nos metadiamicititos. Esses filitos apresentam-se geralmente semidecompostos, sendo ferruginosos, com colorações desde amareladas até arroxeadas, contendo grânulos esparsos de quartzo e cristais milimétricos de hematita.

#### *Formação Chapada Acauã*

Representa uma transição da formação anterior. É constituída de quartzitos de origem turbidítica, assim como metapelitos, metarritmitos, metamargas, recorrências de metadiamicititos e xistos verdes metabasálticos. A espessura da Formação Chapada Acauã é difícil de precisar devido ao tectonismo, mas pode atingir 2000 a 3000 metros. Para leste, esta formação grada para a Formação Ribeirão da Folha, constituída por micaxistos, metarritmitos, quartzitos e calcisilicáticas. Na região do Ribeirão da Folha ocorrem também rochas metaultrabásicas e anfibolitos com intercalações de formações ferríferas consideradas como remanescentes de uma crosta oceânica neoproterozoica (Pedrosa Soares *et al.*, 1998, 2001).

#### *Formação Salinas*

No topo do Grupo Macaúbas aflora a Formação Salinas, constituída por quartzitos, quartzo-biotita xistos bandados, com intercalações de grauvacas,

---

<sup>7</sup> Foliação com microdobras.

rochas cálcio-silicáticas, metaconglomerados e grafita xistos (Pedrosa-Soares, 1995).

#### *Formação Capelinha*

Alternância de xistos e protoquartzito na base e ortoquartzitos no topo (Pedrosa-Soares, 1995).

### **Região a oeste da Serra do Espinhaço**

A oeste da Serra do Espinhaço foram reconhecidas duas formações no Grupo Macaúbas.

#### *Formação Duas Barras*

Esta formação é constituída de quartzitos geralmente microconglomeráticos com lentes de conglomerado.

#### *Formação Serra do Catuni*

Em discordância sobre as unidades anteriores e marcando uma fase de ampliação da bacia Macaúbas, aflora a Formação Serra do Catuni, constituída por metadiamicritos, geralmente maciços, às vezes mostrando intercalações lenticulares de quartzitos e filitos ou metarritmitos. Os metadiamicritos apresentam grande espessura, da ordem de 150 a 2000 metros. Trata-se de uma sedimentação gravitacional subaquosa, com predomínio de fluxos de detritos e com intercalações lenticulares de turbiditos, que podem ser correlacionados aos sedimentos glaciomarinheiros pouco espessos da Formação Jequitaí. Pode-se, então, inferir uma idade de sedimentação de cerca de aproximadamente 800 a 750 Ma para a Formação Serra do Catuni. A abertura do *rifte* Macaúbas-Santo Onofre, acima citada, é responsável pela sedimentação gravitacional dessa formação. Um hiato de aproximadamente 50 Ma entre a Formação Duas Barras e a Formação Serra do Catuni pode ser evidenciado, pelas diferenças de idades, diferença de sistema deposicional e pela discordância entre ambas as unidades. Estratigraficamente acima da Formação Serra do Catuni afloram litologias da Formação Chapada Acauã (Noce *et al.*, 1997). Desta forma, as Formações Serra do Catuni, Chapada Acauã e Ribeirão da Folha representam a evolução de uma sedimentação *rifte* para margem passiva.

### **Setor Meridional**

No Setor Meridional ocorrem também as formações Duas Barras, Serra do Catuni, Chapada Acauã e Salinas, anteriormente definidas. A única formação que ocorre unicamente no Setor Meridional do *rifte* Macaúbas-Santo Onofre é a Formação Domingas, constituída de metassiltitos e metadolomitos estromatolíticos.

### **Magmatismo associado ao Grupo Macaúbas**

Além de um evento de glaciação, o Grupo Macaúbas registra um evento tafrogênico de expressão regional, como visto acima. Este evento tafrogênico foi acompanhado de magmatismo de caráter básico por volta de 930 Ma (Pedrosa-Soares *et al.*, 1992, 1998). Os corpos metabásicos estendem-se na direção N-S por mais de 400 km, com 80 km de largura. A propagação do magmatismo neoproterozoico foi controlada por lineamentos pré-existentes, de direção N a NNW, correspondentes a um antigo sistema de fraturas do Cráton São Francisco (Uhlein, 1991; Dossin & Dossin, 1995). Menos comuns, são corpos orientados E-W. Os metabasitos ocorrem como diques, *sills* ou grandes intrusões (Uhlein & Quémèneur 2000), petrograficamente caracterizados como metabasaltos ou metagabros. O Mapa Geológico de Minas Gerais (CPRM/COMIG, 2003) considerando o posicionamento dos metabasaltos, os inclui no Grupo Macaúbas.

### **Grupo Santo Onofre**

O Grupo Santo Onofre, na Bahia, constitui a unidade estratigráfica neoproterozoica relacionada ao preenchimento da porção norte do *rifte* Macaúbas-Santo Onofre, designada de Graben de Santo Onofre.

O Grupo Santo Onofre é considerado como correlato do Grupo Macaúbas (Schobbenhaus, 1996). As litofácies psamo-pelíticas e as pelito-grafitosas do Grupo Santo Onofre, com efeito, podem ser seguidas continuamente ao longo da Serra do Espinhaço, no sentido sul, até se confundirem com unidades do Grupo Macaúbas, na região do alto Rio Pardo, norte de Minas Gerais (Schobbenhaus, 1972b; Schobbenhaus, 1972c; Viveiros *et al.*, 1978; Pedrosa-Soares, 1996). Assim, tanto o Grupo Santo Onofre como o Grupo Macaúbas representam a sedimentação basal do Supergrupo São Francisco, separada por discordância e hiato deposicional das rochas do Supergrupo Espinhaço.

O Grupo Santo Onofre, com cerca de 4000 metros de espessura, pode ser subdividido em três unidades estratigráficas (Danderfer, 2000): unidade Canatiba (pelitos), unidade Boqueirão (sedimentos psamopelíticos) e unidade João Dias (ruditos). As três unidades mostram relação de interdigitamento lateral e vertical, com os ruditos predominando a oeste e os pelitos a leste (Figura 5.12).

#### *Unidade João Dias*

As principais litofácies da unidade João Dias, segundo Danderfer (2000), são: conglomerados clasto a matriz-suportados, desorganizados ou eventualmente gradados, diamictitos, brecha clasto-suportada e arenitos. A brecha sedimentar, variando de clasto a matriz suportada, constitui a litofácia predominante, com fragmentos angulosos, que variam de seixo a matacão, cuja composição são gnaisses, granitóides, arenitos, dolomitos e pelitos carbonosos. A matriz é dominada por areia grossa e, em outros locais, por argila. Possui espessura de centenas de metros e constitui a litofácia predominante da unidade João Dias. Mostra intercalações de conglomerados, diamictitos e arenitos grossos.

#### *Unidade Boqueirão*

A unidade Boqueirão é constituída por diversos tipos de arenitos que variam de arcóseo lítico a litoarenito feldspático, de granulometria grossa a fina,

apresentando-se maciços, gradados, com laminação horizontal ou cruzada. Os arenitos podem apresentar intercalações locais de ritmitos, pelitos carbonosos (grafitosos) e conglomerado matriz-suportado com intraclastos de lamitos.

#### *Unidade Canatiba*

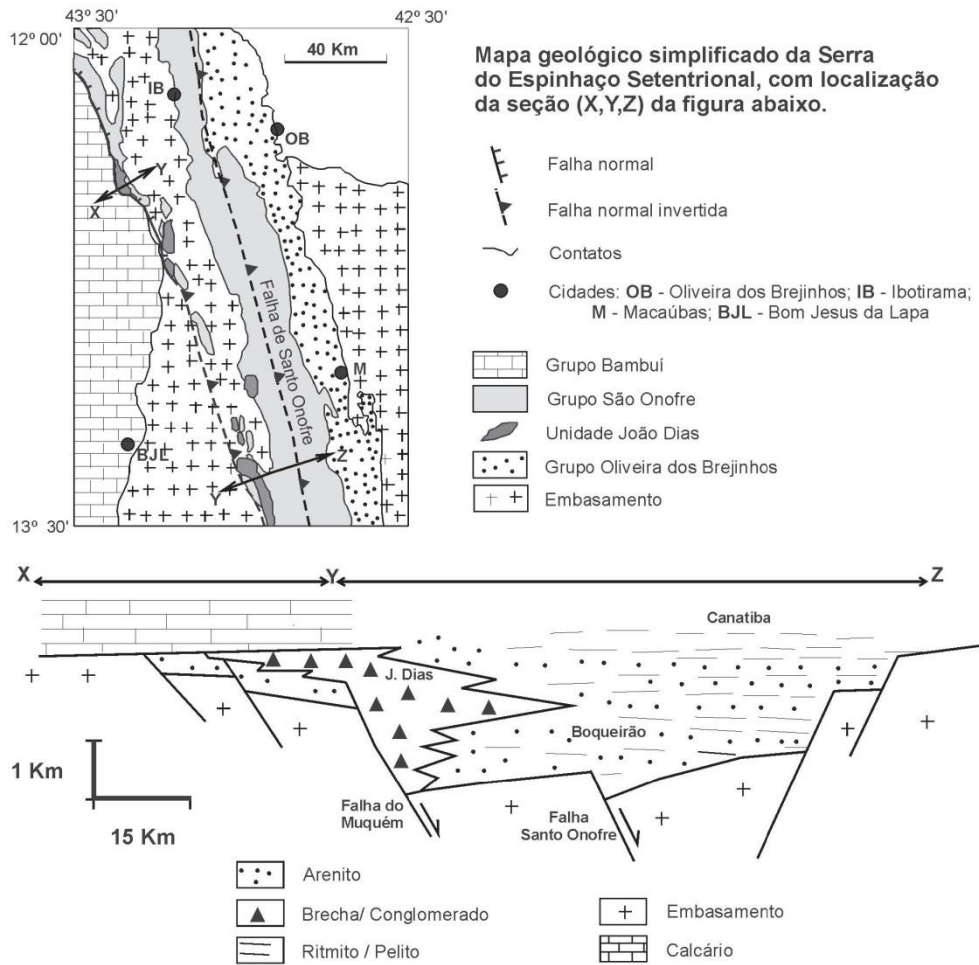
A unidade Canatiba é constituída principalmente por pelitos carbonosos (grafitosos) e, secundariamente, por arenitos de granulometria fina e ritmitos, estes últimos com interaleitamento centimétrico a milimétrico de arenito e pelito.

Os mecanismos de transporte e sedimentação das litofácies descritas acima foram predominantemente fluxos gravitacionais de sedimentos (Danderfer, 2000). Assim, a unidade João Dias, constituída pela brecha clasto a matriz suportada, resultou de diversos tipos de fluxos gravitacionais proximais, em especial o tipo denominado de queda de rocha, que significa queda de material litificado pelo talude ou rampa de falha. Os demais conglomerados e o diamictito associado representam fluxos de detritos hiperconcentrados, variando de coesivos a não-coesivos.

As fácies arenopelíticas da Unidade Boqueirão registram sedimentação gravitacional na forma de fluxo turbidítico de alta e baixa densidade. As fácies mais finas, com ritmitos e pelitos, representam sedimentação por correntes de turbidez diluídas, que se alternam com estágios de suspensão.

Na unidade Canatiba predomina a sedimentação por suspensão, que ocorre nas caudas diluídas de fluxos turbidíticos de baixa densidade.

O modelo deposicional para o Grupo Santo Onofre, conforme Danderfer (2000) é de fan-delta, com avental ou franja de detritos subaquosos/subaéreos na unidade João Dias, que grada na direção leste para as unidades Boqueirão e Canatiba.



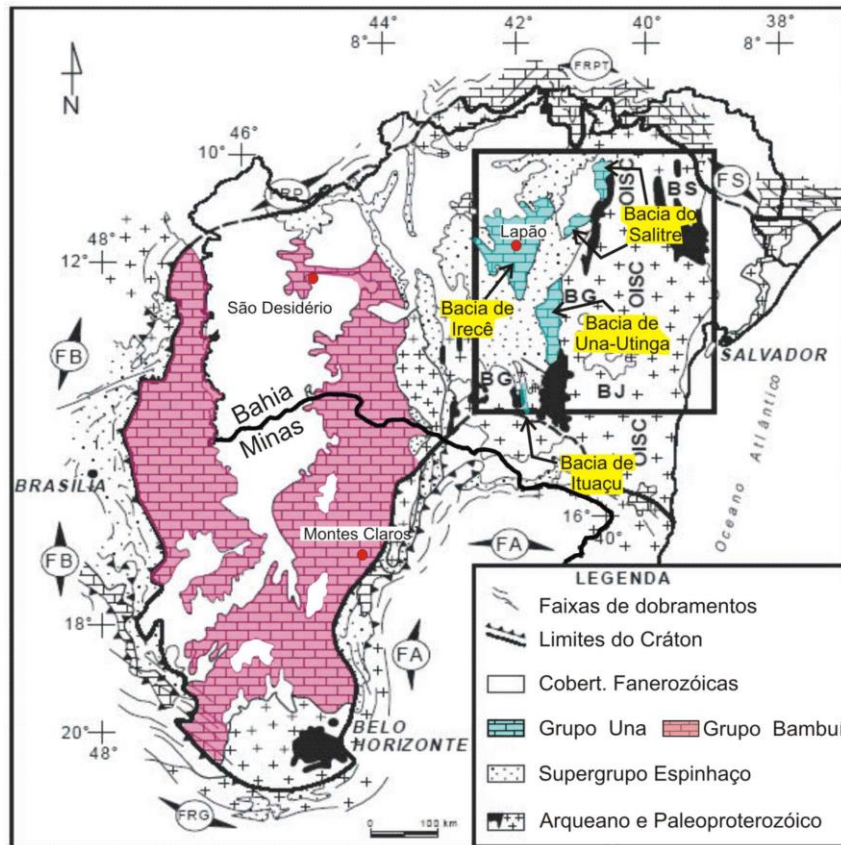
**Figura 5.12 - O Grupo Santo Onofre no Graben de Santo Onofre, domínio do Espinhaço Setentrional. Compilado de Uhlein et al. (2007).**

### 5.1.3.1.2 Chapada Diamantina Oriental

Na região da Chapada Diamantina Oriental, o Supergrupo São Francisco é representado pelo Grupo Una que ocorre nas chamadas “bacias”<sup>8</sup> de Irecê, Salitre, Una-Utinga e Ituaçu (Guimarães, 1996), numa área total de 16.000 km<sup>2</sup> (Figueiredo, 2008). Este grupo compreende a Formação Bebedouro, na base, e a Formação Salitre, no topo. As áreas de ocorrência do Grupo Una são mostradas na Figura 5.13.

<sup>8</sup> Não se trata de bacia no sentido geológico nem no sentido hidrológico do termo. São, antes, regiões topograficamente rebaixadas e isoladas, abrigando remanescentes de depósitos carbonatados. Daí, os autores utilizarem o termo “bacia” entre aspas.





**Figura 5.13 - Área de ocorrência dos grupos Una e Bambuí. Adaptado de Barbosa et al. (2003).**

De acordo com Pedreira da Silva (1994), a designação Grupo Una deve-se a Derby (1905), que descreveu os calcários do Rio Una, na área hoje conhecida como Bacia Una-Utinga. Até 1974, entretanto, os sedimentos carbonatados que ocorrem nas “bacias” acima citadas eram incluídos no Grupo Bambuí. Oliveira & Leonardos (1943), por exemplo, posicionaram a Formação Bebedouro “na base dos calcários da Série São Francisco - Bambuí”. Kegel (1959), estudando os conglomerados da Formação Bebedouro em Laje do Batata, supôs a existência de uma “discordância angular e erosiva dos mesmos com o Grupo Bambuí”. Brito Neves (1967,1968), por sua vez, incluiu na Série Bambuí os conglomerados basais da chamada “Bacia” Salitre – Jacaré.

Na década de 1970, grandes projetos de mapeamento regional, na escala de 1:250.000, foram conduzidos na Bahia, cobrindo mais de 80% da área desse estado. Esses projetos foram os seguintes (Guimarães, 1996):

- Projetos executados pelo convênio DNPM/CPRM - Projeto Bahia, Projeto Bahia II, Projeto Sul da Bahia;
- Projeto executado pela PROSPEC - Projeto Leste do Tocantins-Oeste do São Francisco (LETOS).

Em 1974, quando da conclusão desses projetos, foi promovido um seminário com a participação dos geólogos responsáveis pelos mesmos, e de outros geólogos, tanto do Departamento de Geologia da CPRM (DEGEO) como do DNPM. Em reuniões desse seminário, ocorridas em Livramento de Brumado e

Salvador, foi padronizada uma coluna estratigráfica para a região estudada. Nessa coluna, os sedimentos Neoproterozoicos da região da Chapada Diamantina Oriental, depositados sobre rochas do Supergrupo Espinhaço, passaram a ser chamados de Grupo Una, representado pelas formações Bebedouro e Salitre<sup>9</sup>, o que foi ratificado por Inda & Barbosa (1978), em sua Nota Explicativa do Mapa geológico do Estado da Bahia, escala: 1:1.000.000. Embora a designação Grupo Una tenha sido amplamente adotada a partir de 1978, alguns autores se ativeram à designação antiga. Brito Neves *et al.* (2012), por exemplo, tratam ostensivamente de Grupo Bambuí esses sedimentos Neoproterozoicos, mantendo, entretanto, as designações de Formação Bebedouro e Formação Salitre. Silva (2013), por sua vez, tratando da Bacia de Irecê, sequer se refere à Formação Salitre, mas sim, às “litologias do Grupo Bambuí”.

No presente documento vamos acompanhar a maioria dos autores consultados e adotar a designação de Grupo Una na Chapada Diamantina Oriental, reservando a designação de Grupo Bambuí para a região oeste da Bahia e a região oeste de Minas Gerais (ver Figura 5.13). De acordo com Lima & Rocha (2011), esses dois grupos são correlacionados e síncronos, como indicam as evidências quimio-estratigráficas e geofísicas, sugerindo um evento comum de sedimentação em um ambiente epicontinental.

### **O Grupo Una**

O Grupo Una é constituído, da mais antiga para a mais recente, das formações Bebedouro e Salitre.

#### *Formação Bebedouro*

O intervalo do tempo geológico que se estendeu de 1.000 Ma a 560 Ma se caracterizou pela ocorrência de inúmeras glaciações, muitas delas reconhecidas, ainda hoje, nos sete continentes, em função da preservação parcial dos seus sedimentos. Uma dessas glaciações ocorreu no alvorecer do Proterozoico superior (entre 1.000 e 950 Ma atrás), nas áreas hoje ocupadas pelas “bacias” de Irecê, Salitre, Una-Utinga e Ituaçu (Figura 5.13). Essa glaciação resultou numa sedimentação plataformal glacio-marinha marginal rasa, representada por sedimentos reciclados e ressedimentados sob a influência parcial de ondas (Guimarães, 1996). Esses sedimentos ocupam hoje uma área superior a 40.000 km<sup>2</sup> e correspondem à Formação Bebedouro, que faz parte do Grupo Una, o qual, por sua vez, é integrante do Supergrupo São Francisco.

A primeira referência aos sedimentos desta formação remonta ao final do século passado, quando Allen (1870) relatou a presença de grandes seixos de quartzo e matacões de todos os tamanhos, cores e composições, na fazenda Mocambo, localizada na estrada Andaraí-Itaetê. No início do século passado coube a Derby (1905) descrever esses sedimentos como conglomerados, na localidade de Bebedouro (entre Itaitê e Marcionílio Souza), ao longo dos rios Paraguaçu e Utinga e situá-los sotopostos aos “calcários do Rio Una”. O termo

---

<sup>9</sup> Nessa mesma reunião adotou-se a designação de Formação Salitre, anteriormente chamada de Unidade Salitre.

Formação Bebedouro, entretanto, foi introduzido na literatura por Oliveira & Leonardos (1940) para designar as camadas conglomeráticas de provável origem glacial, aflorantes na "Bacia" Una-Utinga e no vale do Rio Paraguaçu.

A Formação Bebedouro, com espessura máxima da ordem de 200 m, é constituída de diamictitos, pelitos e arenitos, estratificados e maciços, ordenados em camadas, alternadas ou não, limitadas por contatos bruscos, erosivos e gradativos. Essas litologias se agrupam em quatro associações de litofácies: (i) associação de litofácies extraglacial eólica; (ii) associação de litofácies de contato de geleira; (iii) associação de litofácies proglacial; e (iv) associação de litofácies de degelo de icebergs (Pedreira da Silva, 1994). Os processos sedimentares responsáveis pela deposição dos sedimentos dessa formação foram: fluxos de detritos subaquáticos; correntes de turbidez de alta e baixa concentração; derretimento de icebergs e, muito localmente, processos eólicos. Do ponto de vista petrográfico, ocorrem grauvacas, arenitos líticos, arcóseos, subarcóseos, quartzo-arenitos e argilitos. O modelo deposicional proposto para a Formação Bebedouro corresponde a um paleoambiente plataformar no qual os sedimentos se acumularam em subambientes glacio-marinho proximal e continental extraglacial. O lençol de gelo responsável pela acumulação inicial e pelo posterior transporte desses sedimentos para o subambiente glacio-marinho alojou-se a leste da área de ocorrência atual da formação, sobre as rochas do Pré-Espinhaço e do Grupo Chapada Diamantina.

A formação aflora na extremidade meridional da "bacia" de Irecê, sobre as formações Caboclo e Morro do Chapéu e em áreas isoladas. Na "bacia" Una-Utinga ela aflora em uma faixa de largura variável que vai de Utinga a Novo Acre, a sudeste de Nova Redenção e a leste de Rumo. No flanco oriental da bacia a formação está em não conformidade sobre o embasamento cristalino; no ocidental é discordante ou desconforme sobre as formações Tombador, Caboclo e Morro do Chapéu.

### *Formação Salitre*

A Formação Salitre, de ambiente marinho raso, é constituída predominantemente de calcários escuros muito carstificados. Sua maior área de ocorrência corresponde às chamadas "Bacia" de Irecê e "Bacia" do Salitre (Figura 5.13), contornadas por rochas do Supergrupo Espinhaço, que servem de substrato ao Grupo Una. A intensidade de carstificação é tal, nos calcários da Formação Salitre, que Auler & Smart (s/ data) consideram uma Província Espeleológica Una, na qual ocorrem as duas cavernas mais extensas do Brasil: a Toca da Boa Vista, com 102 km de galerias mapeadas, e a Toca da Barriguda com aproximadamente 28 km, ambas no município de Rio Formoso, na chamada "Bacia" do Salitre. Além dessas duas cavernas existem muitas outras na mesma região, tais como, Toca do Calor de Cima, Toca do Pitu e Toca do Morrinho, todas de grande porte.

Não obstante essa intensidade de carstificação na Bacia do Salitre, e não obstante os abatimentos de terreno recentemente ocorridos em Lapão (Santos *et al.*, 2012; Brito *et al.*, 2013), Beraldo (2006) assegura que a intensidade de carstificação, na Formação Salitre, cresce de norte para sul, e sugere a região de Iraquara como a mais carstificada. Seu trabalho, entretanto, limitou-se à folha de Irecê 1:100.000 e mostra apenas uma grande intensidade de carstificação ao longo de uma faixa L-W que inclui a cidade de Lapão. Os

resultados obtidos por Beraldo (2006) confirmam, portanto, os fatos recentemente observados nessa cidade. A abordagem adotada por esse autor é muito interessante, tendo consistido do mapeamento de estruturas de dissolução (dolinas, sumidouros, rios cegos, e outras) através de imagens aéreas e seu cômputo por unidade de área. Nos estudos geofísicos por eletrorresistividade que serão realizados na Formação Salitre, é muito recomendável um confronto entre a metodologia de Beraldo (2006) e o índice elétrico de carstificação devido a Feitosa (2004).

Além de ocorrer nas “bacias” acima citadas, a Formação Salitre ocorre também nas “bacias” de Una-Utinga e de Ituaçu (Figura 5.13), sempre com as mesmas características gerais. Foi na “Bacia” de Una-Utinga, a propósito, que os calcários da hoje denominada Formação Salitre foram descritos pela primeira vez por Derby (1905), acima citado.

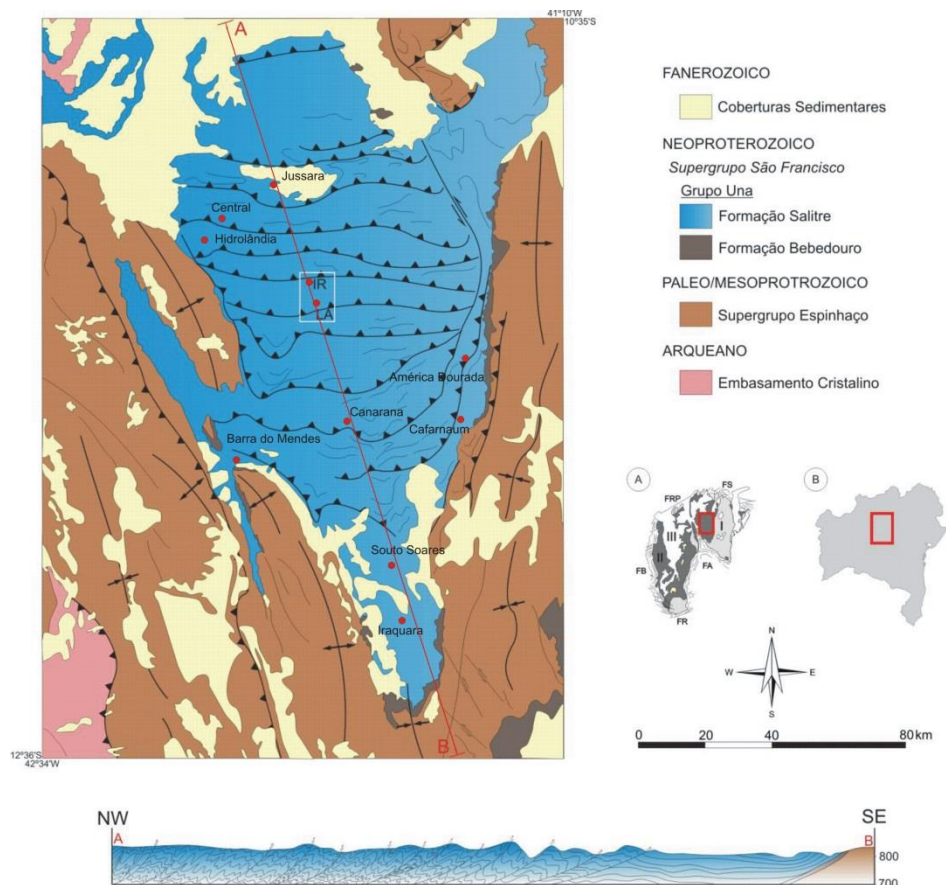
Avaliações da idade da Formação Salitre, através de estromatólitos, indicaram o intervalo 650-950 Ma (Rifeano Superior), segundo Pedreira da Silva (1994).

#### a) “Bacia” de Irecê

Na “Bacia” de Irecê (Figura 5.14), a Formação Salitre predomina largamente, constituída de uma espessa sucessão carbonática com raras intercalações terrígenas. Essa litologia foi originada numa extensa plataforma dominada por marés (Souza *et al.*, 1993). No setor central da bacia, região dos municípios de Irecê e Lapão, esta formação corresponde a uma sucessão de calcilutitos, calcarenitos, calcirruditos e, subordinadamente, estromatólitos fosfáticos e sedimentos siliciclásticos, arrançados em um ciclo regressivo-transgressivo (Fragoso *et al.* 2008) (Figura 5.17).

Do ponto de vista estrutural, a Bacia de Irecê tem despertado a atenção dos geocientistas, desde meados do Século XX, por seu curioso arranjo estrutural. Os carbonatos aflorantes da Formação Salitre, com efeito, apresentam estruturação tectônica principal na direção E-W, com vergência geral para sul, fato não verificável nas rochas do Supergrupo Espinhaço adjacentes à bacia (Figura 5.14). Esse comportamento foi inicialmente constatado por Taltasse (1959) *apud* Lagoeiro (1990) que descreveu linhas de colinas alongadas que se distribuem na região de Irecê de oeste para leste, interpretadas como anticlinais associados a falhas com mergulhos para norte. Os calcários entre estes alinhamentos estariam, portanto, estruturados em sinclinais de eixo E-W, com abas truncadas por falhas inversas e de empurrão. Essa estruturação teria sido resultante de esforços de sul para norte ao longo de uma superfície de deslizamento representada pelo embasamento. Brito Neves (1967) e Misi, A. & Souto, P. (1975) estudaram esses alinhamentos, constatando que os mergulhos das camadas calcárias chegam a ser subverticalizados na porção norte, sendo atenuados em direção ao sul, até atingir conformações sub-horizontais no extremo sul da Bacia de Irecê, na região de Iraquara/Souto Soares. Esse comportamento é mostrado no corte geológico da Figura 5.14 (Kuchenbecker *et al.*, 2011). Comportam-se também assim a borda oriental dos calcários, entre Cafarnaum e o extremo nordeste da bacia.





**Figura 5.14 - A “Bacia” de Irecê. Adaptado de Kuchenbecker et al. (2011).**

No centro oeste da bacia, a CPRM perfurou para a SUVALE dois poços profundos na primeira metade da década de 1970 (Feitosa, 1975). Um deles (01-CL-1-BA) foi perfurado na estrada Central-Hidrolândia, enquanto que o outro (01-JR-1-BA) foi perfurado na cidade de Jussara (Figura 4.14). Esses poços atravessaram espessuras de calcário de, respectivamente, 1000 metros e 712 metros, não tendo atingido os quartzitos do Grupo Chapada Diamantina. Admite-se, assim, que podem ser esperadas na “Bacia” de Irecê espessuras da Formação Salitre superiores a 1000 metros.

Pedreira *et al.* (1993) propuseram para a Formação Salitre quatro ciclos sedimentares que se alternam em função de pulsações de um mar Neoproterozoico, conforme mostrado na Figura 4.15.

O ciclo mais inferior (I) é regressivo. Os ciclos seguintes (II, III e IV) são, respectivamente, transgressivo, regressivo e transgressivo. Durante os ciclos regressivos depositaram-se calcisiltitos, laminitos algais, dolomitos e brechas, reunidos sob a designação de Unidade Nova América. As estruturas sedimentares dessas rochas sugerem deposição em água rasa e exposição subaérea. Podem ocorrer, localmente, colônias extensas de estromatólitos colunares.



CICLOS		FÁCIES
IV	TRANSGRESSIVO	IRECÊ
		JUSSARA Superior
III	REGRESSIVO	JUSSARA Inferior
		SARANDI
		NOVA AMÉRICA Superior
		IRECÊ
II	TRANSGRESSIVO	NOVA AMÉRICA Inferior
		JUSSARA Superior
I	REGRESSIVO	IRECÊ
		NOVA AMÉRICA Superior
		NOVA AMÉRICA Inferior

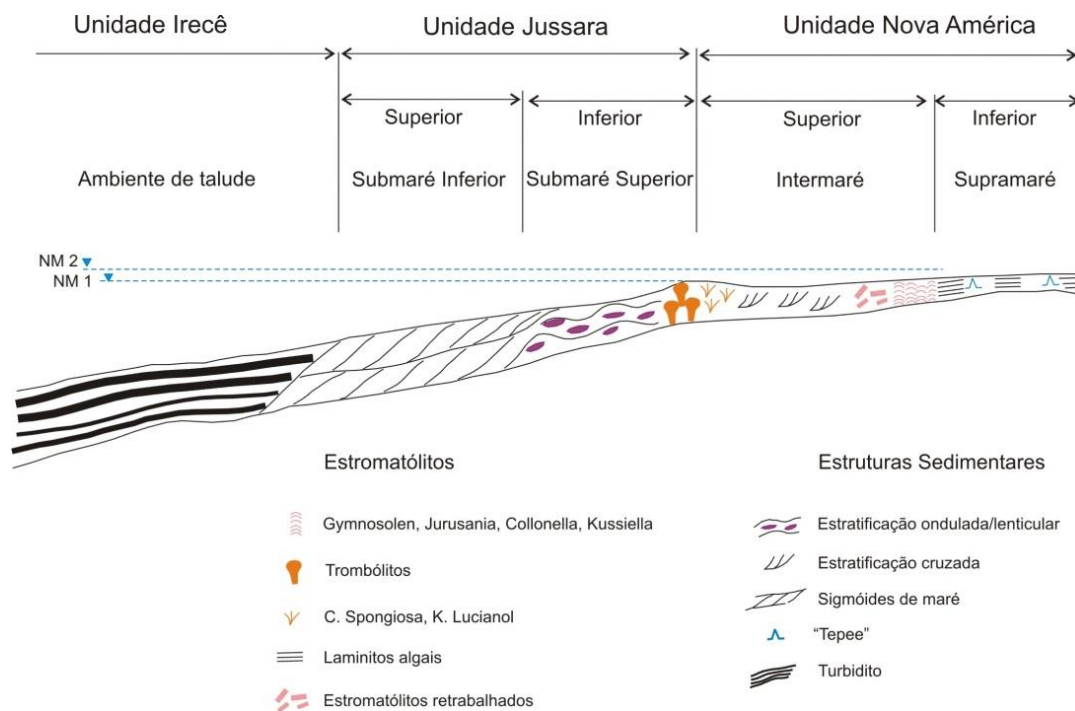
**Figura 5.15 - Fácies da Formação Salitre. Adaptado de Pedreira et al. (1993).**

Durante os ciclos transgressivos depositaram-se predominantemente calcilutitos, calcissiltitos e calcarenitos, com calcarenitos e arenitos arcossianos subordinados, agrupados na Unidade Jussara. As litologias e estruturas sedimentares da Unidade Jussara sugerem que sua porção inferior depositou-se em ambiente semelhante ao da Unidade Nova América, enquanto que a parte mais superior mostra evidências de ter se depositado em águas mais profundas. O caráter mais distintivo entre as duas unidades é a presença de dolomitização e a presença extensiva de estromatólitos na Unidade Nova América e, por outro lado, sua ausência na Unidade Jussara.

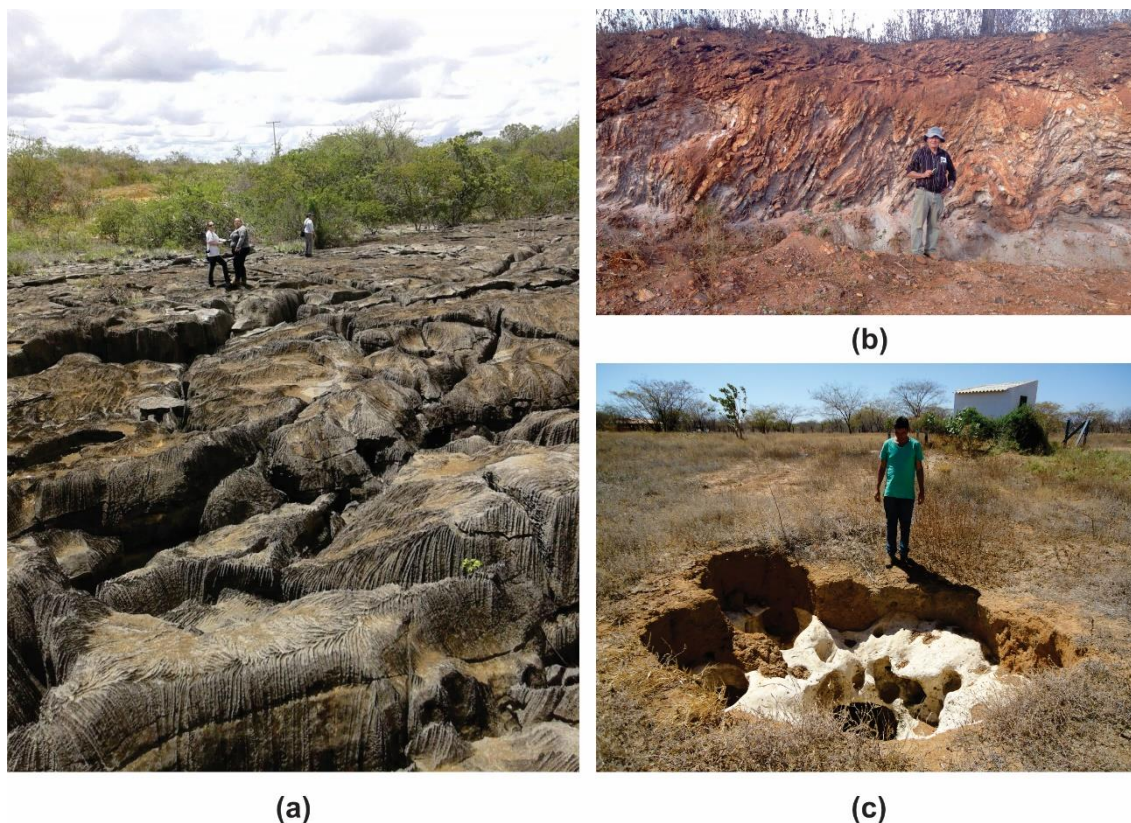
Intercaladas nas litologias das duas unidades acima citadas ocorrem alternâncias de camadas centimétricas de carbonatos e material terrígeno, consignadas à Unidade Irecê. Esta unidade é interpretada como tendo sido depositada em águas mais profundas, abaixo do nível das ondas, por correntes de turbidez.

As unidades de fácies acima citadas figuram no Mapa Geológico do Estado da Bahia – Escala 1:1.000.000 (CPRM/CBPM, 2003), sendo, entretanto, de difícil representação no presente texto.

Visando uma melhor compreensão dos ambientes deposicionais da Formação Salitre na “Bacia” de Irecê, incluímos o corte esquemático mostrado na Figura 4.16. Neste corte, Pedreira *et al.* (1993) interpretam as diferentes unidades de fácies, atribuindo-lhes ambientes de deposição desde francamente marinho (zona de talude continental) até costeiros (zona de supramaré). Considerando duas fases de regressão alternadas com duas fases de transgressão, o autor chega à sucessão vertical de fácies mostrada na Figura 4.15.



**Figura 5.16 - Fácies da Formação Salitre – Corte esquemático. Adaptado de Pedreira et al. (1993).**



**Figura 5.17: Principais Unidades Litoestratigráficas que compõem a Formação Salitre, presentes na Bacia de Irecê.**

a) Calcarenitos cinza escuro representativos da Unidade Jussara; (b) Vista geral do corte de estrada da unidade Irecê representada pela intercalação entre calcilitos cinza intercalados com margas, denunciando um sistema de dobras cuja direção das linhas de charneira estão alinhadas W-E com caimento para Sul. Margens da BA433 sentido Irecê-Jussara; (c) Exposição da Formação Caatinga no Povoado de Queimadas, Município de Itaguaçu da Bahia.

#### b) “Bacia” de Una/Utinga

A Bacia de Una/Utinga constitui uma depressão estreita e alongada norte-sul, com 170 km de comprimento por 30 km de largura média, o que nos dá cerca de 5.000 km<sup>2</sup>. Nessa bacia, a Formação Salitre ficou preservada, rodeada por uma faixa de afloramentos da Formação Bebedouro (ver Figuras 5.13 e 5.18). Não se conseguiu, até o momento, obter maiores informações sobre a geologia da Formação Salitre na Bacia de Una/Utinga.

#### c) “Bacia” do Salitre

A chamada “Bacia” do Salitre corresponde aproximadamente à bacia hidrográfica do Rio Salitre. A porção dessa bacia hidrográfica ocupada pela Formação Salitre, mostrada na Figura 5.19, tem 140 km de comprimento na direção norte-sul por cerca de 50 km de largura, o que nos dá 7.000 km<sup>2</sup>. Na Figura 5.19, a Formação Salitre aflora em grandes áreas da bacia hidrográfica e, em outras partes, aparenta ser recoberta por sedimentos aluviais e pelos calcários recentes da Formação Caatinga. Essas duas condições são delimitadas conjuntamente em azul claro transparente, na figura em questão. A análise do mapa geológico, na Figura 5.19, permite tecer as seguintes considerações:

- Os sedimentos carbonatados da “Bacia” de Irecê aparentam uma continuidade física com aqueles da “Bacia” do Salitre, através de uma garganta esculpida na Formação Morro do Chapéu. O desenvolvimento dessa garganta, na região entre Umburanas e Ouroândia, foi facilitado pelo “plunge” para norte do anticlinal de Morro do Chapéu;
- Da garganta acima citada para leste o mapa geológico mostra um vasto recobrimento NQdl (CPRM/CBPM, 2003), isto é, areia com níveis de argila e cascalho e crosta laterítica. Não se pode, portanto, afirmar que os calcários da Formação Salitre extravasaram da “Bacia” de Irecê e se espraíram pela “Bacia” do Salitre. Considera-se essa uma interessante questão a ser posta como alvo de futuros estudos geofísicos da região;
- Em grande parte do vale do rio Salitre afloram os carbonatos da Formação Caatinga assentados, provavelmente, sobre os calcários da Formação Salitre.

Os calcários da Formação Caatinga são recentes, do Terciário, tendo sido originados a partir da dissolução e reprecipitação dos carbonatos da Formação Salitre (Auler *et al.*, 2003). Ribeiro (2005) informa que, na “Bacia” do Salitre, a Formação Caatinga inclui brechas calcíferas, com seixos de calcário cinza-escuro, e inclui também calcrete/travertino. Este último corresponde, em parte, ao mármore Bege Bahia, de grande importância econômica no vale do Rio Salitre. A feição litológica mais comum da Formação Caatinga, entretanto, é um calcário branco-rosado a cinza-esbranquiçado, por vezes bege amarelado, fragmentário, maciço ou compacto. Esse calcário apresenta forte diagênese,

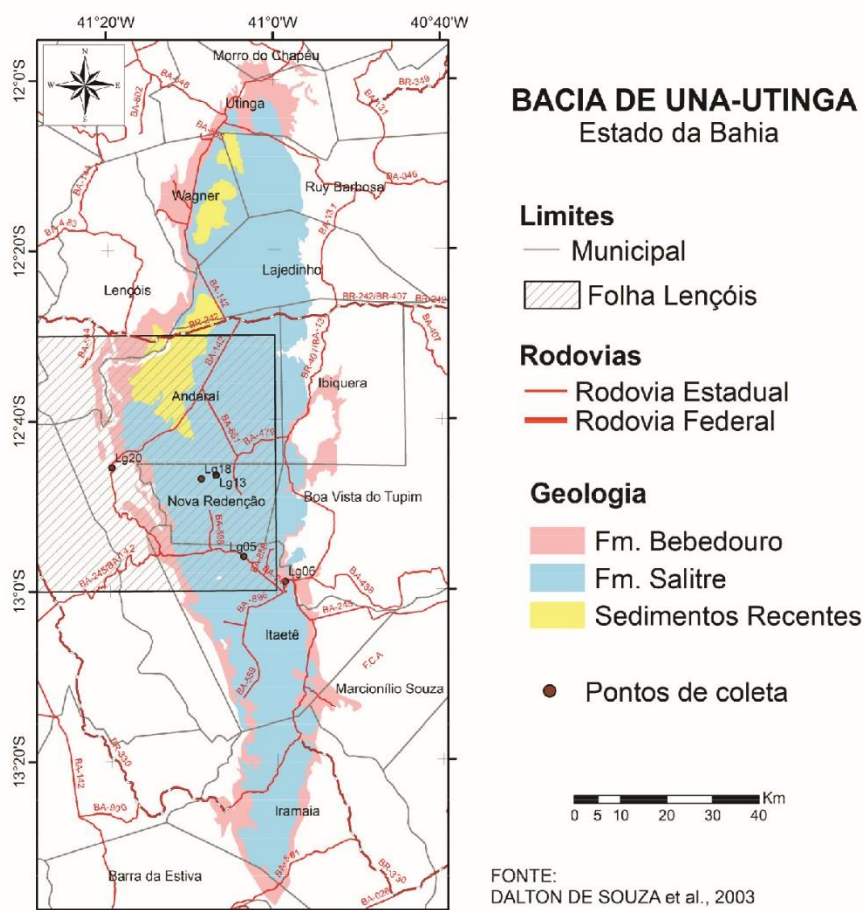


não sendo afetado pelos dobramentos. Fósseis de algas, gastrópodes e lamelibrânquios são encontrados em fragmentos consolidados. Ainda segundo Ribeiro (2005), as espessuras da formação variam entre 20 e 30 m, podendo alcançar até 80 m em áreas isoladas.

No que diz respeito à Formação Salitre, Ribeiro (2005) informa que as espessuras máximas admitidas na “Bacia” do Salitre estão em torno de 530 m, significativamente inferiores, portanto, àquelas da Bacia de Irecê.

Silva (2006) considera as seguintes unidades de fácies na Bacia do Salitre:

- Unidade Nova América, basal: calcilito, calcarenito e “tepees” algais;
- Unidade Gabriel: calcilito e calcarenito com níveis de silexito dolomítico, arenito e pelito;
- Unidade Jussara Inferior e Média: calcarenito, calcissilito e calcilito preto; calcarenito quartzoso e silito;
- Unidade Jussara Superior: calcarenito oncolítico, calcirrudito e calcilito.



**Figura 5.18 - A Formação Salitre na Bacia de Una-Utinga. Compilado de Lima & Rocha (2011).**

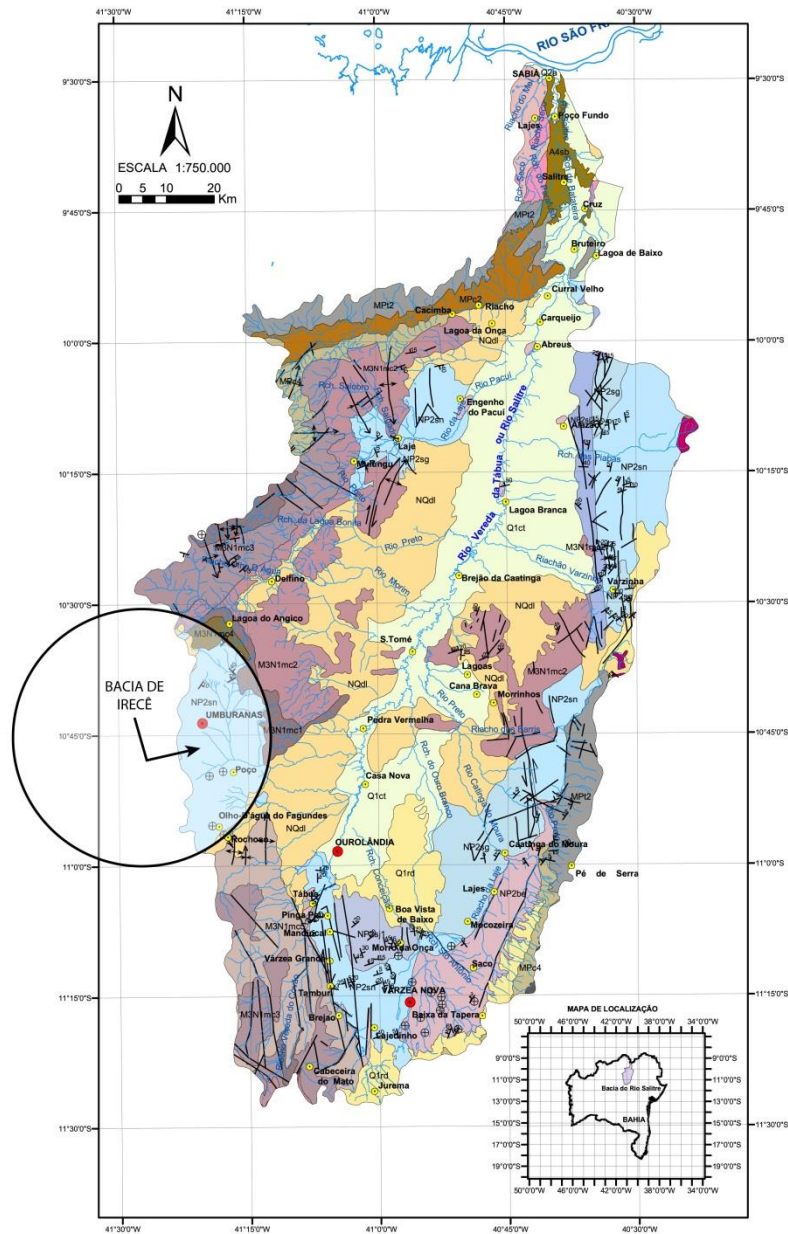


Figura 5.19 - A Formação Salitre na Bacia do Salitre. Adaptado de Silva (2006).

### Paleontologia na Bacia de Irecê

Durante os trabalhos de campo do presente estudo, na Bacia de Irecê, tomou-se conhecimento da ocorrência de fósseis compatíveis com megafauna, no Povoado de Floresta, cerca de 30 km a NW do centro urbano do município de João Dourado no estado da Bahia. Este material foi encontrado pelo proprietário em seu terreno por volta do ano de 2012, em consequência do rebaixamento do nível de água presente nas áreas correspondentes a fraturas abertas, denominadas tanques (feição de dissolução), na Unidade Nova América. Trata-se de fragmentos e/ou partes inteiras, misturados com fragmentos de calcário e solo (Figura 5.20). Na residência do proprietário do terreno existe um galpão onde estão guardados os espécimes que são encontrados em sua propriedade e, sobre uma mesa esta todo o material que



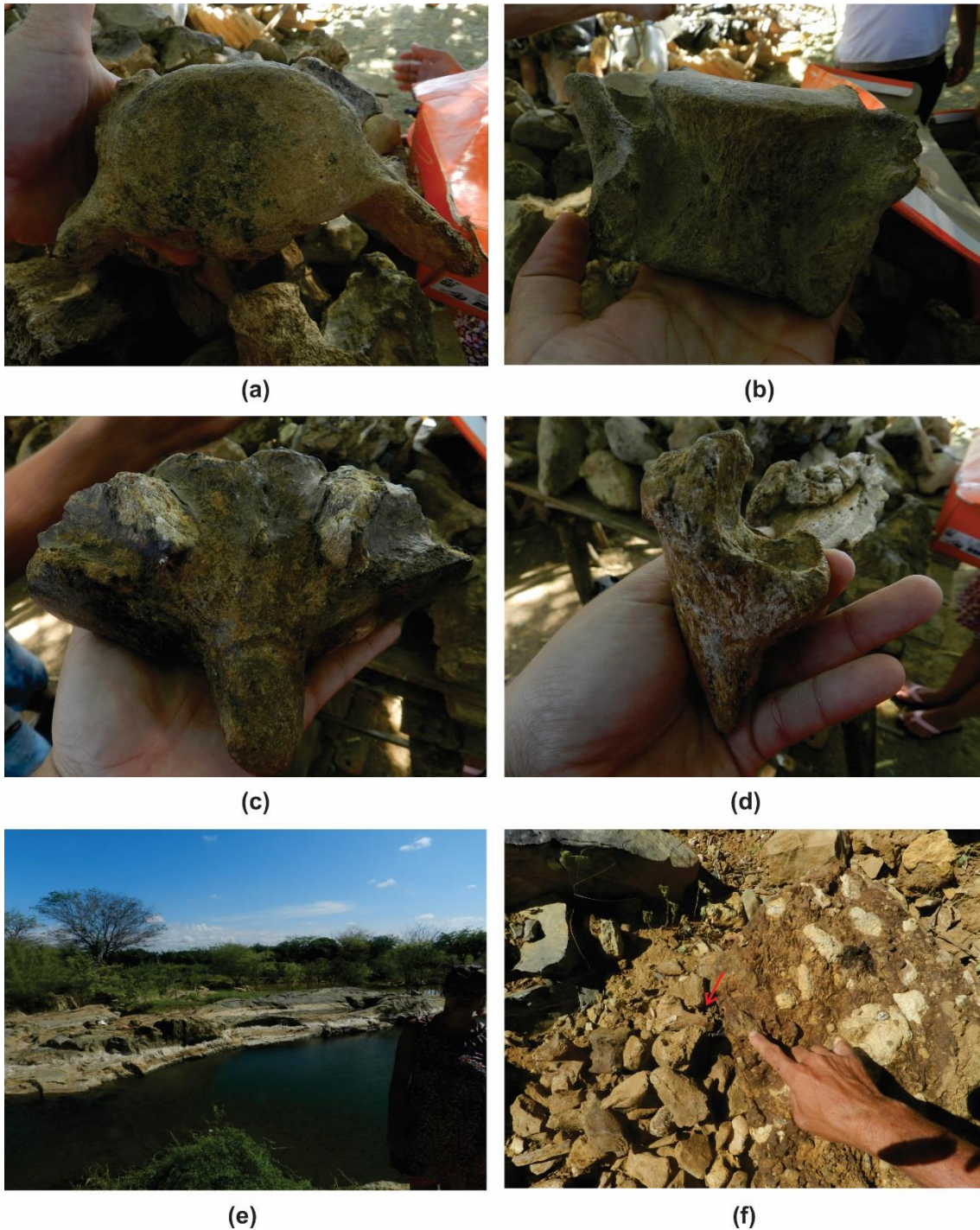
foi recolhido anteriormente, compreendendo um grande acervo, aguardando uma equipe de paleontólogos qualificados para estudá-los. A Equipe foi acionada pelo morador por conta da visita recente na área com o objetivo de cadastrar poços na região e principalmente pelo mesmo ter ciência que este material não pode ficar de posse de terceiros e tendo que ser entregue a uma instituição pública. Numa avaliação inicial, esses animais provavelmente vinham beber água nas águas represadas nesses locais. Esses ossos podem pertencer a mamíferos de grande porte, extintos do período quaternário, de época pleistocênica (entre 2,5 milhões a 11 mil anos), como já foi relatado ocorrências semelhantes em outros municípios na Bahia. No Município de Morro do Chapéu, no Povoado de Brejão da Gruta está localizada a APA Gruta dos Brejões/Vereda do Romão Gramado onde, em 1977, a Universidade Católica de Minas Gerais iniciou estudos e catalogou cerca de cinco mil peças sendo, algumas delas pertencentes à *Paleolama major* (ilhama), *Northrotherium maquinense* (pequena-preguiça ternicola), *Eremotherium laurillardii* (preguiça gigante), entre outros.

#### **5.1.3.1.3 Região Oeste da Bahia e Oeste de Minas Gerais**

Conforme comentado no item 4.3.1.2, os carbonatos Neoproterozoicos da Chapada Diamantina Oriental foram separados do antigo Grupo Bambuí e individualizados sob a designação de Grupo Una, a partir da publicação do Mapa Geológico do Estado da Bahia, escala 1:1.000.000 (Inda & Barbosa, 1978). No grupo Bambuí, entretanto, permaneceu a maior parte dos sedimentos carbonatados Neoproterozoicos que ocorrem segundo uma grande faixa N-S com 900 km de extensão e largura média de 350 km, desde a Faixa de Dobramentos Rio Preto, ao norte, até o escudo arqueano na região de Belo Horizonte (ver Figura 4.13). Essa faixa, chamada de Bacia do São Francisco por grande parte dos autores, ocupa uma área de 315.000 km<sup>2</sup>, cortada diagonalmente de SSW para NNE pelo Rio São Francisco.

#### **O Grupo Bambuí - Geologia**

O Grupo Una se diferencia do Grupo Bambuí em dois importantes aspectos. Em primeiro lugar, ocorre de forma localizada, na Chapada Diamantina Oriental, sendo fisicamente separado do Grupo Bambuí por altos estruturais e topográficos do Supergrupo Espinhaço e do Arqueano (Figura 5.13). Em segundo lugar, exibe uma estratigrafia mais simples, com apenas as formações Bebedouro e Salitre. 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.

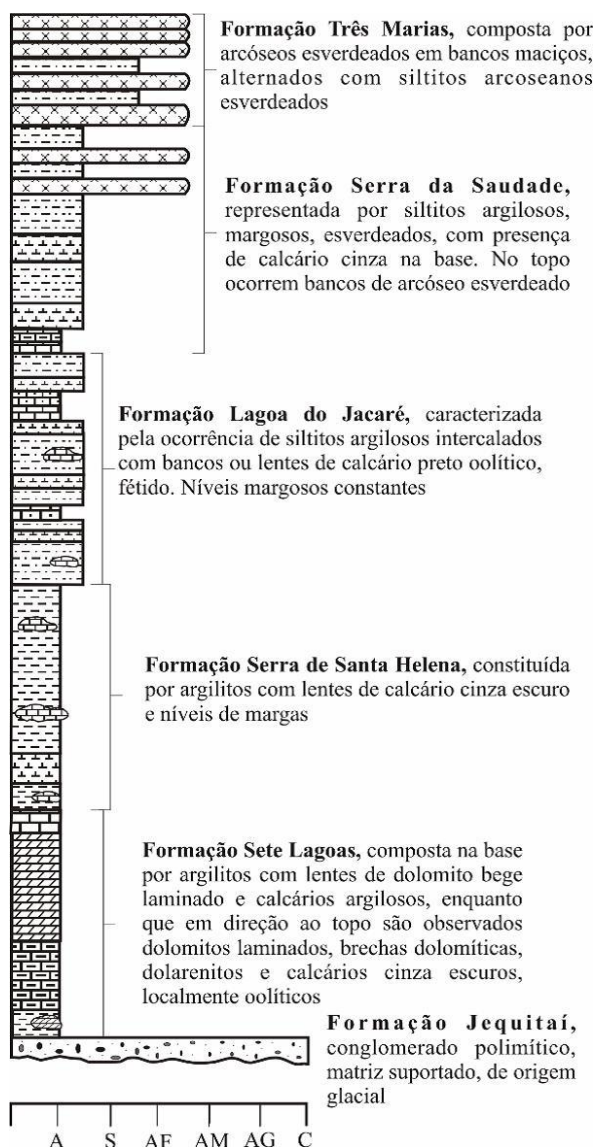


**Figura 5.20 - Fósseis encontrados na região Norte da Bacia de Irecê.**

(a) Fragmento de uma vértebra vista em planta; (b) Mesmo exemplar anterior com vista lateral; (c) Fragmento não identificado; (d) um dos exemplos bem preservados correspondem a dentes tal como ilustrado; (e) Tanque, feição de dissolução onde foi feita a primeira descoberta; (f) Fragmentos espalhados ao longo do terreno em rocha ou fragmentados (seta vermelha), tal como o fragmento de osso espalhado.

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. As três formações citadas são análogas às formações Lagoa do Jacaré, Serra da Saudade e Três Marias.

De acordo com o Zoneamento Ecológico-Econômico do DF (GDF/SEDUMA, 2010), o Grupo Bambuí exhibe a coluna estratigráfica geral mostrada na Figura 5.21.



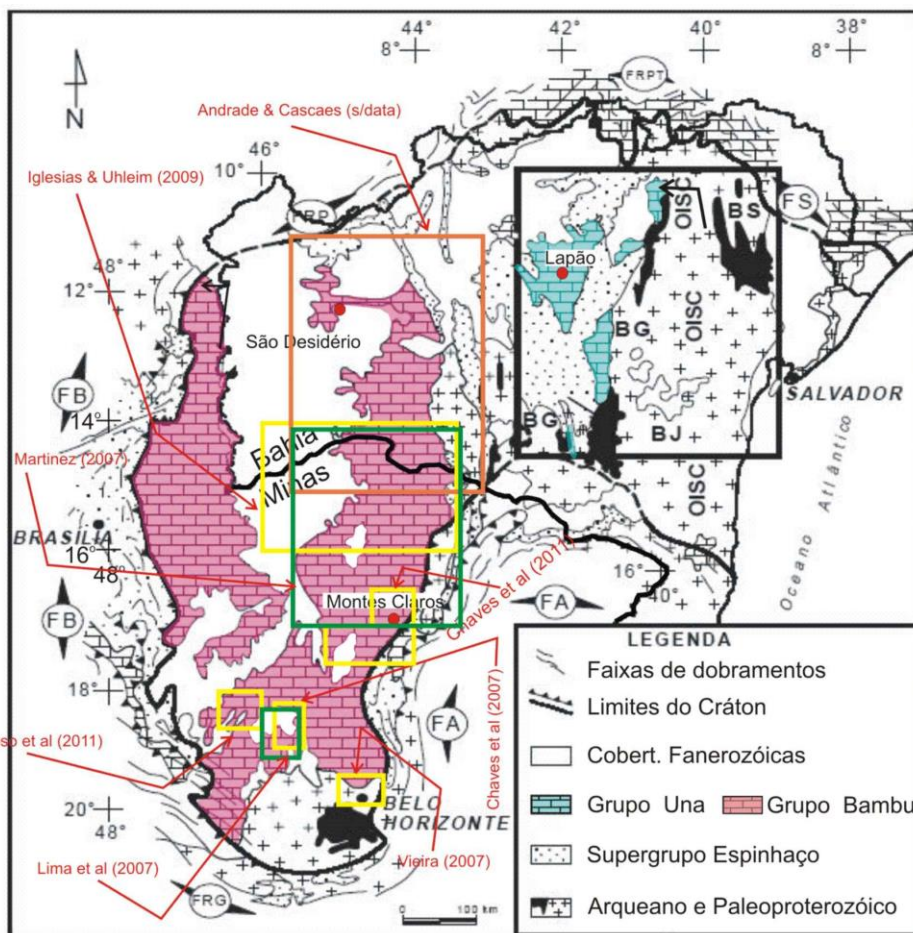
**Figura 5.21 - Coluna estratigráfica genérica do Grupo Bambuí. Compilado de GDF/SEDUMA (2010).**

A Formação Jequitaiá, do Supergrupo São Francisco, de origem glacial (ver item 4.3.1.1.1), é indicada na coluna como substrato do Grupo Bambuí.

Muitos autores se debruçaram sobre o Grupo Bambuí desde a década de 1970. Foi possível obter informações de nove desses estudos, cujas áreas mapeadas são mostradas na Figura 5.22. A delimitação dessas áreas fica um

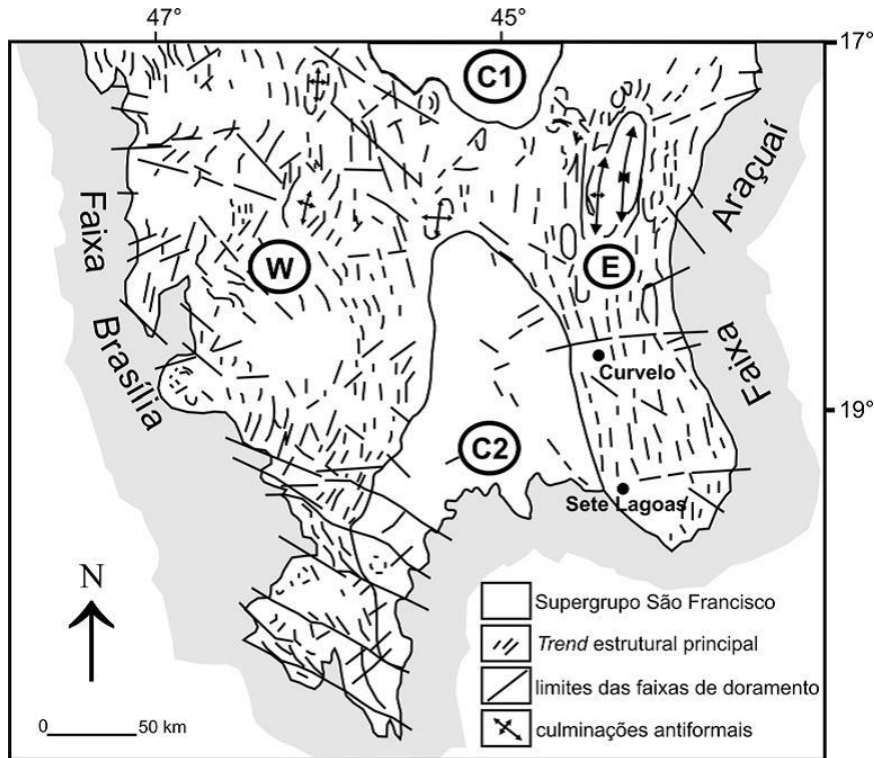


tanto incerta em decorrência da imprecisão das coordenadas do mapa utilizado na Figura 5.22. A partir desses estudos vamos tentar uma visualização panorâmica do Grupo Bambuí.



**Figura 5.22 - Áreas estudadas no Grupo Bambuí. Adaptado de Barbosa et al. (2003).**

Na região sul de Minas Gerais, abaixo do paralelo 17°, Vieira (2007) mostra, numa pequena área, que as rochas que compõem o Grupo Bambuí são afetadas por deformação fraca a moderada como resultado da atividade tectônica ao longo das faixas móveis Brasília e Araçuaí. Entretanto, a análise de perfis sísmicos (Romeiro Silva & Zalán, 2005) mostra que não há espessamento significativo do Grupo Bambuí de leste para oeste, nem controle tectônico importante da sedimentação para suportar um modelo de bacia de antepaís. Além disso, o intenso falhamento da sequência Bambuí, mostrado pela sísmica, sugere que sua deposição ocorreu antes da Orogenia Brasileira. Com base na caracterização do arcabouço tectônico do Grupo Bambuí, no sul de Minas Gerais, Vieira (2007), acompanhando outros autores, individualiza quatro grandes compartimentos estruturais que são: compartimento oeste, marcado pela influência da Faixa Brasília; compartimento leste, que corresponde à área de influência da Faixa Araçuaí; e dois compartimentos centrais (C1 e C2), abrigando sedimentos pouco ou não deformados (Figura 5.23).



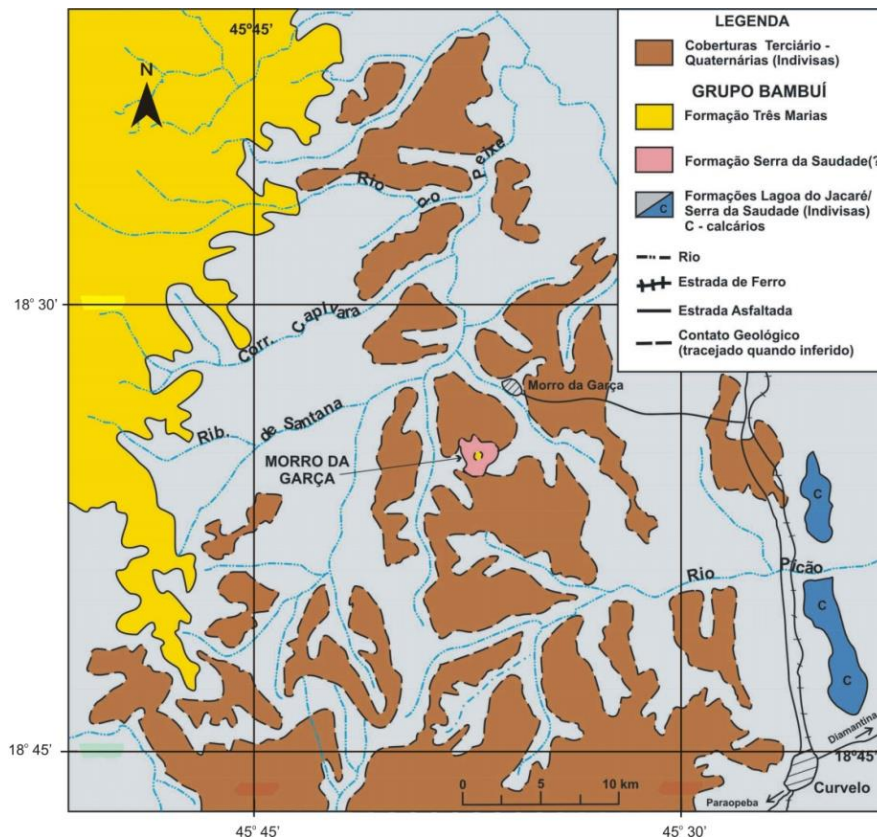
**Figura 5.23 - Compartimentação estrutural do Grupo Bambuí no extremo sul da Bacia do São Francisco. Compilado de Vieira (2007).**

Chaves et al (2007), por sua vez, estudaram uma área no extremo sul da Bacia do São Francisco (Figura 5.24), chamada de região do Morro da Garça. Esse morro constitui uma feição geomorfológica circular ressaltada na planura do cerrado, e que tem servido ao longo dos últimos séculos como guia de referência para os viajantes. Em termos geológicos, tal região é coberta por litotipos do Grupo Bambuí, datados no Neoproterozoico. Na parte mais arrasada do relevo, predominam as formações Lagoa do Jacaré e Serra da Saudade, com as camadas dispostas sub-horizontalmente.

A geologia da área estudada por esses autores é mostrada na Figura 5.24.

De modo preliminar, correlaciona-se a seção basal pelito-carbonática da sequência, que inclui os entornos do morro da Garça, com a porção superior da Formação Serra da Saudade, a qual em outras regiões mais ao norte apresenta aspectos litológicos muito semelhantes. O autor não informa se as formações basais do Grupo Bambuí – Serra de Santa Helena e Sete Lagoas – não aflorantes, ocorrem em profundidade.





**Figura 5.24 - Geologia da região do Morro da Garça. Compilado de Chaves et al. (2007).**

Segundo Thomaz Filho *et al.* (1998), Babinski & Kaufman (2003), Babinski (2005) *apud* Chaves *et al.* (2007), a idade de sedimentação do grupo está compreendida no intervalo aproximado entre 740 Ma (Formação Sete Lagoas) e 580 Ma (Formação Três Marias), com base em idades radiométricas Rb/Sr, K/Ar e Pb/Pb. A deformação da sequência está relacionada ao ciclo orogênico Brasileiro (aproximadamente 600-500 Ma). Um perfil geológico de detalhe efetuado no morro da Garça tornou possível entender seu arcabouço geológico, bem preservado neste local, assim como a própria razão de existência de tal morfologia. Em toda a seção os mergulhos são muito suaves, variando entre 5 e 10° para NW. Nos entornos e na base do morro, encontra-se um metassiltito amarelado com estrutura tabular, incluindo finas laminações que dão à rocha um aspecto de ritmito. A espessura total dessa primeira sequência oscila em torno de 190 m. Subindo no perfil, afloram metarenitos amarelados ou esverdeados, impuros e de granulação fina a média, apresentando 40 m de espessura. Mais para cima ocorre um metarenito carbonático silicificado, muito duro, com cerca de 20 metros de espessura que serve de base ao topo do morro. O topo do perfil, metarenítico e com cerca de 60 m de espessura, é considerado como pertencente à Formação Três Marias. Esta situação geológica peculiar permitiu que o morro da Garça fosse preservado como um testemunho na paisagem regional.

Chaves *et al.* (2007) concluem sua análise da geologia da área estudada dizendo que o Grupo Bambuí, embora seja uma das unidades litoestratigráficas

melhor conhecidas do país, ainda possui muitas questões a serem estudadas, principalmente quanto à regionalização dos vários estudos localizados e detalhados existentes.

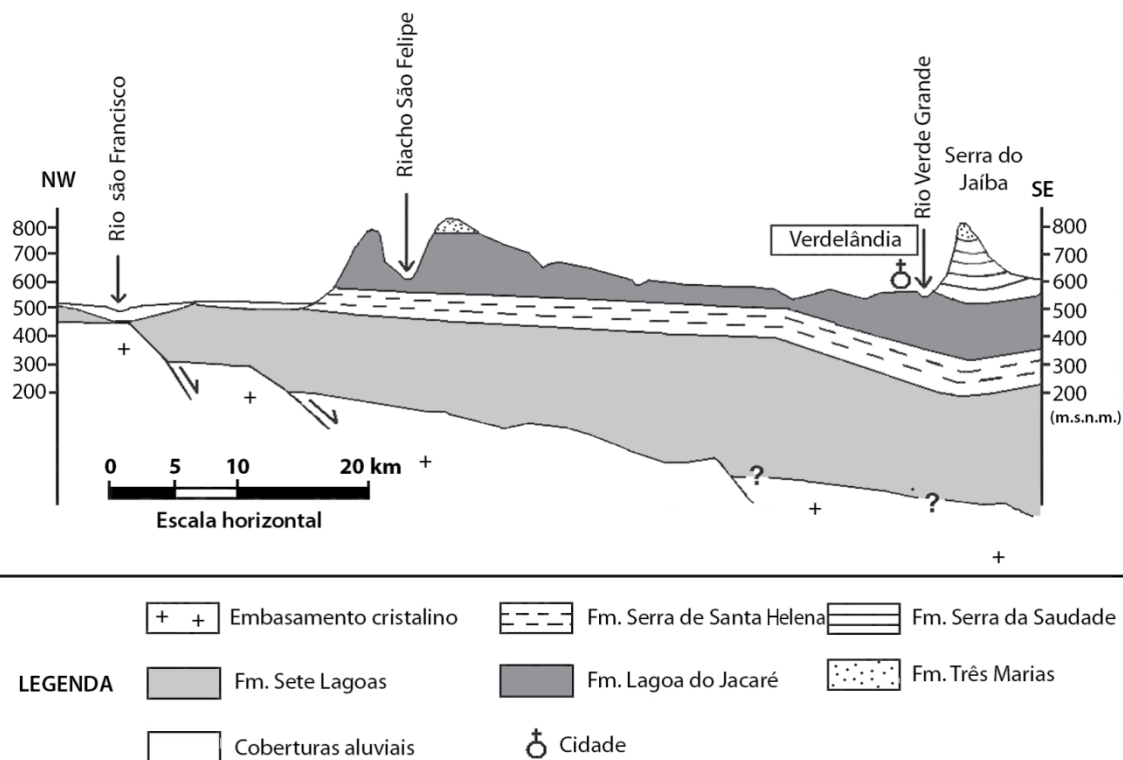
Iglesias & Uhlein (2008) apresentam uma proposta para a estratigrafia da região da Serra do Jaíba, tendo como base o acervo de dados estruturais e estratigráficos coletados nas pesquisas realizadas para a dissertação de mestrado do primeiro autor (Iglesias, 2007). A Serra do Jaíba, próxima às cidades de Janaúba e Verdelândia, no norte do Estado de Minas Gerais, está localizada ao longo da margem direita do Rio Verde Grande, constituindo uma feição morfológica alinhada, por mais de 35 km, segundo uma direção NE-SW, elevando-se mais de 200 m sobre a planície aluvial do Rio Verde Grande, situado a oeste.

A estratigrafia da serra tem constituído motivo de discussão entre diversos autores que sugeriram diversas hipóteses sobre a sua disposição estratigráfica (falhamento regional, resposta sedimentar a eventos brasileiros, etc.).

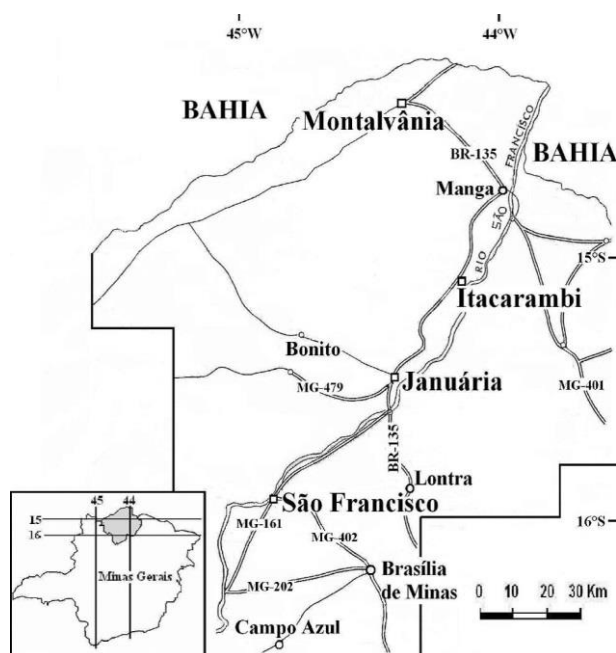
Considerando as coberturas detríticas aluvionares, eluvionares e coluvionares, que recobrem o Grupo Bambuí, na imensa área peneplanizada que a cinge, a Serra do Jaíba constitui-se numa das escassas possibilidades para o estudo das litofácies desse grupo. A serra permite ainda um detalhamento da coluna estratigráfica regional, daí a importância do seu conhecimento.

A estratigrafia da Serra do Jaíba se inicia, na base, com siltitos da Formação Serra da Saudade, com espessura em torno de 100 m. Subindo, ocorre um pacote carbonático de pequena espessura e de origem discutida, o qual pode ser também pertencente à Formação Serra da Saudade. Ambas as litofácies representam sedimentação marinha. No topo da Serra do Jaíba afloram arcóseos com estratificações cruzadas e um conglomerado basal descontínuo, pertencentes à Formação Três Marias (Figura 5.25). Os arcóseos constituem litofácies de origem fluvial, indicando uma discordância de borda de bacia. A sucessão sedimentar da Serra do Jaíba, representada pelas unidades superiores do Grupo Bambuí, contrasta com a estratigrafia encontrada, para a mesma cota, nas serras próximas. A evidência de mergulhos opostos em ambos os flancos da serra indica uma estrutura sinclinal, de eixo NNE-SSW. Na Serra do Jaíba observam-se ainda numerosos fraturamentos, dobras e foliação incipiente, todos eles resultantes dos esforços do Ciclo Brasileiro, que originaram a Faixa Araçuaí.

Iglesias & Uhlein (2009) ampliaram e regionalizaram seu estudo anterior, acima discutido. Dentro do panorama regional do Grupo Bambuí, a área estudada por Iglesias & Uhlein (2009) situa-se na região norte de Minas. Na Figura 5.26 mostram-se detalhes dessa área.



**Figura 5.25 - Estratigrafia da Serra do Jaíba. Compilado de Iglesias & Uhlein (2008).**



**Figura 5.26 - Área estudada por Iglesias & Uhlein. Compilado de Iglesias & Uhlein (2009).**

Segundo Iglesias & Uhlein (2009), a deposição das formações do Grupo Bambuí na área mostrada na Figura 5.26 é resultado da paleogeografia do embasamento e de processos tectônicos. Foram verificadas áreas de

embasamento em altos estruturais (Alto de Januária) e depocentros locais na porção sul e leste da área, onde a espessura do Grupo Bambuí é substancialmente maior. A Formação Sete Lagoas, representada por sucessão plataformal rasa, constituída por calcários e dolomitos, aflora, exclusivamente, na margem esquerda do Rio São Francisco. As unidades médias do Grupo Bambuí, formações Serra de Santa Helena (siltitos, folhelhos e lentes de calcário escuro) e Lagoa do Jacaré (calcários oolíticos/intraclásticos, siltitos e margas), apresentam uma ampla distribuição em toda a região. Detalhado estudo petrográfico dos carbonatos da Formação Lagoa do Jacaré na região de Lontra (sul da área) evidenciou um caráter faciológico particular dessa unidade. Já as formações Serra da Saudade (siltitos e folhelhos) e Três Marias (arenitos, arcósios e siltitos) afloram apenas nos extremos leste e sul da área, apresentando depocentros locais, diferenciados das formações inferiores.

Na Figura 5.27 mostra-se o mapa geológico da área estudada por Iglesias & Uhlein (2009), bem como uma seção geológica NW-SE na Figura 5.28.

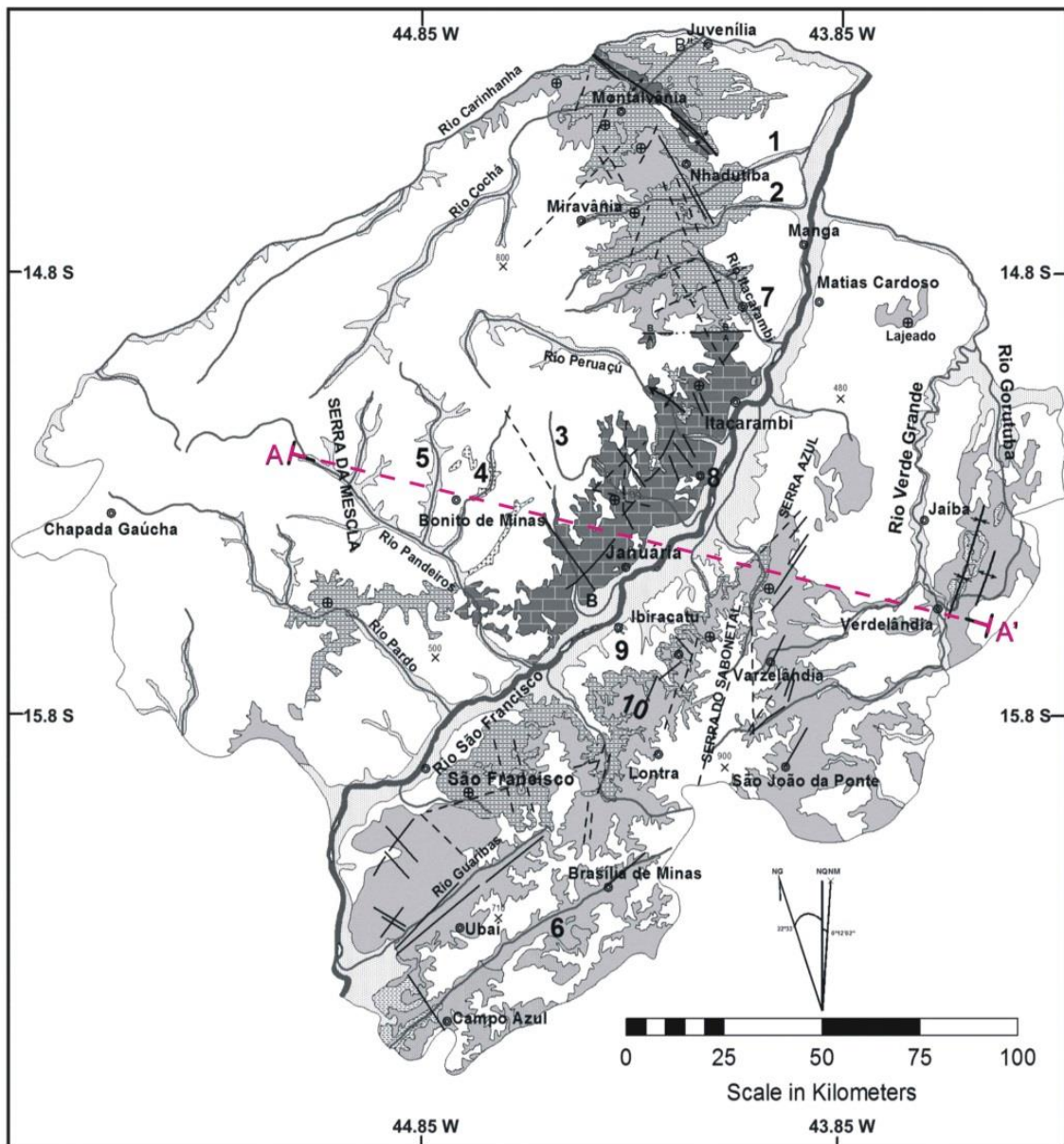
A sequência estratigráfica acima citada constitui duas sucessões principais: uma sucessão basal, marinha, composta da base para o topo pelas formações carbonáticas Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré e Serra da Saudade (pelítica), as quais compõem o Subgrupo Paraopeba; e uma sucessão superior, marinho-continental, representada pela Formação Três Marias, predominantemente psamítica (Iglesias & Uhlein, 2009).

Segundo esses autores, a deposição das rochas carbonáticas da Formação Sete Lagoas ocorreu em ambiente marinho raso, em resposta a uma importante transgressão marinha. Desenvolveram-se plataformas carbonáticas num contexto tectônico extensional, com altos e baixos sin-sedimentares. As espessuras da Formação Sete Lagoas, na área estudada por Iglesias & Uhlein (2009) é estimada como variando entre 200 e 500 m.

O afogamento gradual dessas plataformas carbonáticas conduziu a ambientes marinhos plataformais, com profundidades variáveis, submetidos, por vezes, a influência de ondas. Nesses ambientes depositaram-se os sedimentos da Formação Serra de Santa Helena com uma sucessão, da base para o topo, de margas, finamente laminadas, que passam transicionalmente a siltitos finos, esverdeados, ricos em cristais de pirita, intercalados com lentes de calcário cinza, fétidos e plaqueados, culminando, no topo, com siltitos cinza esverdeados, micáceos, finamente laminados e piritosos. A espessura da Formação Serra de Santa Helena é estimada como sendo da ordem de 135 m.

A fase transgressiva que originou as duas formações acima discutidas cede lugar agora a uma fase regressiva que leva à instalação de novas plataformas carbonáticas de alta energia, sujeitas a constante retrabalhamento (brechas intraclásticas) e episódios de tempestades. Depositaram-se, assim, os calcários da Formação Lagoa do Jacaré, de cor predominantemente negra e com abundância de pirita, que indicam condições de sedimentação redutoras e intensa atividade orgânica. A espessura máxima da Formação Lagoa do Jacaré é da ordem de 140 m.

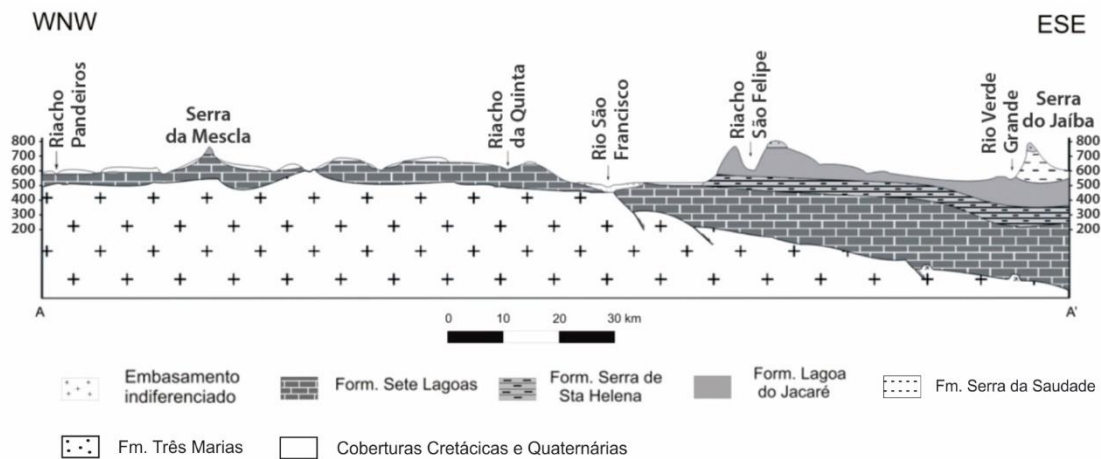




COLUNA LITOESTRATIGRÁFICA		SÍMBOLOS ESTRUTURAIS		CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS	
	Sedimentos Quaternários		Contato geológico		Drenagem
	Cobertura Cretácicas a Quaternárias		Falha indiscriminada		Cidade
	Formação Três Marias		Falha inferida		Ponto cotado
	Formação Serra da Saudade		Falha encoberta	1	Rio Calindó
	Formação Lagoa do Jacaré		Falha com indicação do boco: A - alto, B - baixo	2	Rio Japoré
	Formação Serra de Santa Helena		Eixo de dobra sinclinal	3	Riacho da Cruz
	Formação Sete Lagoas		Eixo de dobra anticlinal com indicação de caimento	4	Riacho do Borrachudo
	Pré-cambriano indiferenciado		Acamamento Horizontal	5	Córrego Catolé
			Traço de seção geológica	6	Rio Paracatú
				7	Sao Joao das Missoes
				8	Levinópolis
				9	Pedras de Maria da Cruz
				10	Serra do Bom Sucesso

**Figura 5.27 - Mapa geológico do vale do Rio São Francisco no norte de Minas Gerais. Compilado de Iglesias (2007).**





**Figura 5.28 - Seção geológica esquemática NW-SE da área de estudo, entre a região de Bonito e a Serra do Jaíba. Compilado de Iglesias (2007).**

Nova e rápida transgressão ocorre agora, fazendo as condições deposicionais anteriores evoluírem para ambiente mais profundo e de águas calmas num contexto plataformal com influência de correntes de turbidez. Nessas novas condições depositou-se a Formação Serra da Saudade, com seus siltitos finamente laminados e eventuais calcários no topo. A espessura máxima da Formação Serra da Saudade varia entre 60 e 100 m.

Após a sedimentação da Formação Serra da Saudade, uma significativa regressão restabeleceu, mais uma vez, ambientes plataformais sob ação de ondas de tempestades, a sudoeste (Chiavegatto, 1992; Uhlein *et al.*, 2004), que evoluíram para ambiente continental a transicional (flúvio-deltaico) na direção nordeste. Essas condições, já bem distintas daquelas que comandaram a deposição do Subgrupo Paraopeba, condicionaram a origem da Formação Três Marias. Enquanto os contatos entre todas as quatro formações do Subgrupo Paraopeba, acima discutidas, são concordantes e gradacionais, a Formação Três Marias repousa sobre o Subgrupo Paraopeba, em contatos variados: gradativo e transicional quando feito com a Formação Serra da Saudade, no extremo sul da área; erosivo e discordante no caso do contato com os calcários do topo da Formação Serra da Saudade na região da Serra do Jaíba. A Formação Três Marias, na área estudada por Iglesias & Uhlein (2009), é representada por um conjunto de arcósios, arenitos e siltitos, de cor verde a cinza-esverdeado, contendo raras lentes de argilitos.

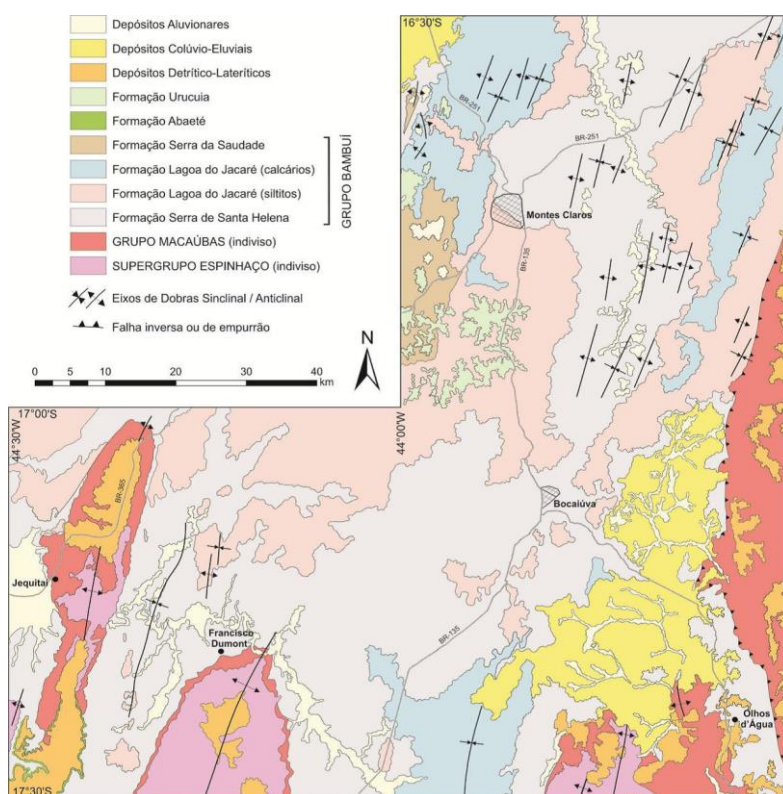
O estudo dessa unidade sugere que a mesma depositou-se em um contexto de borda de bacia, com espessuras aumentando para SW, diferentemente das unidades inferiores, como as formações Sete Lagoas, Serra de Santa Helena e Lagoa do Jacaré, que mostram espessamento para leste. Pode-se concluir, portanto, que os depocentros locais das formações inferiores e médias do Grupo Bambuí são diferentes do depocentro da Formação Três Marias. A espessura da Formação Três Marias, nos locais estudados, não excedeu 100 m.

Chaves *et al.* (2011) mapearam três folhas 1:100.000 (Jequitaiá, Bocaiúva e Montes Claros), a partir de 2004, no âmbito do Programa Geologia do Brasil da CPRM.

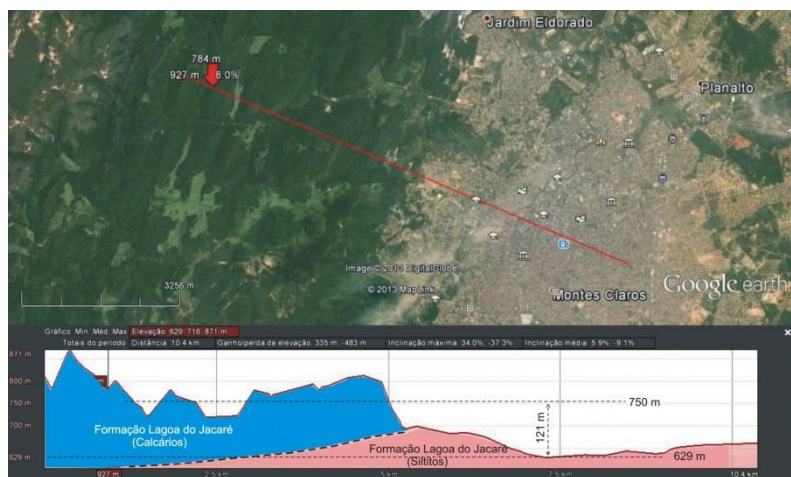
O Grupo Bambuí (Neoproterozoico tardio) representa a sequência de maior expressão superficial, de natureza pelito-carbonática, sendo representada pelas formações Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré e Serra da Saudade, da base para o topo. Na unidade intermediária foram ainda individualizados os horizontes mais potentes de rochas calcárias. Essas três formações são recobertas discordantemente por depósitos cretácicos (formações Abaeté e Urucuia) e fanerozoicos (coberturas inconsolidadas).

Na Figura 5.29 é mostrado o mapa geológico da área estudada. A Formação Três Marias não ocorre na área, tendo sido provavelmente removida por erosão. Os autores nada informam sobre a possível ocorrência da Formação Sete Lagoas em profundidade.

Chama a atenção, na região da cidade de Montes Claros, a grande expressão topográfica dos calcários da parte superior da Formação Lagoa do Jacaré (Figura 5.30). Observa-se que cerca de três quartos da área da Bacia Hidrográfica do Rio do Vieira (uma das áreas piloto do presente estudo), ou seja, todo o flanco oeste dessa bacia situa-se nesses calcários, com um desnível médio da ordem de 120 m em relação ao talvegue do rio.



**Figura 5.29 - Mapa Geológico da Região de Montes Claros. Compilado de Chaves et al. (2011).**



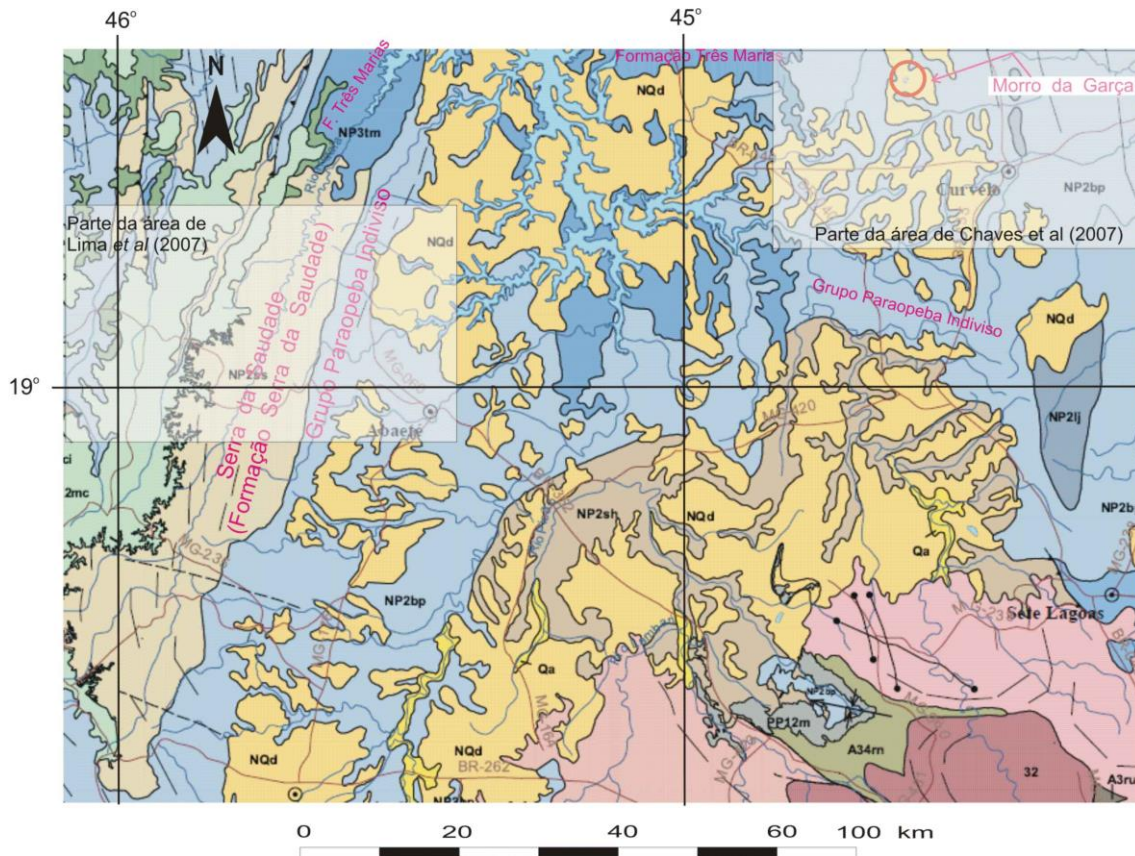
**Figura 5.30 - Corte geológico na região de Montes Claros. Topografia obtida do Google Earth.**

Lima *et al.* (2007) estudaram a área mostrada na Figura 5.31, quase coincidente com a área abordada por Chaves *et al.* (2007). Aqui, entretanto a área se estende mais para oeste, de modo a incluir as extensas elevações denominadas de Serra da Saudade, esculpidas nos siliciclásticos da Formação Serra da Saudade. A Serra da Saudade faz parte de um conjunto de cristas que marcam a zona de interflúvio entre as bacias hidrográficas do alto Rio São Francisco e do rio Indaiá, no centro-oeste mineiro, imediatamente a montante da represa de Três Marias (Figura 5.31). Na literatura geológica, a Serra da Saudade ganhou notoriedade por ser a seção tipo da formação homônima, unidade estratigráfica definida originalmente por Costa & Branco (1961), que a colocaram no topo do Grupo Bambuí. O posicionamento estratigráfico da Formação Serra da Saudade foi revisto por Dardenne (1978), que a colocou sotoposta à Formação Três Marias. Desde então, essa proposta estratigráfica foi mantida nos sucessivos trabalhos realizados. A Formação Serra da Saudade é constituída de rochas arenopelíticas e pelíticas de cor verde, tradicionalmente conhecidas como verdetes, e depósitos areno-fosfáticos encontrados, principalmente, entre as cidades de Cedro do Abaeté-MG e Quartel São João-MG, no alto da Serra da Saudade.

Na Figura 5.32 é apresentado o mapa geológico de detalhe da área estudada por Lima *et al.* (2007), enquanto que na Figura 5.33 são mostrados dois cortes transversais à Serra da Saudade.

Nos cortes apresentados chama a atenção o pronunciado dobramento dos estratos e o discreto capeamento cretácico representado pelo Grupo Areado. Esse discreto capeamento cretácico, entretanto, é aqui apenas um prenúncio da vasta capa cretácica representada pelo Grupo Urucuia que vai dominar o cenário na região centro-oeste da Bahia.





**Figura 5.31 - Serra da Saudade e Morro da Garça. Adaptado de CPRM/CBPM (2003).**

Fragoso *et al.* (2011) mapearam a Folha Presidente Olegário (Figura 5.34), já bem próxima da faixa de dobramentos Brasília.

A área estudada por esses autores se caracteriza por um extensivo recobrimento cretáceo representado pelo Grupo Mata da Corda e pelo Grupo Areado (Figuras 5.34 e 5.35), cujo contato com o topo do Grupo Bambuí é marcado por uma superfície erosiva, contínua e irregular.

No Grupo Bambuí foram reconhecidas as formações Lagoa do Jacaré, Serra da Saudade e Três Marias, além de uma nova formação - Formação Lagoa Formosa – proposta por Uhlein *et al.* (2010).

A Formação Lagoa do Jacaré constitui a unidade basal do Grupo Bambuí na região. Corresponde a uma sequência predominantemente carbonática intensamente deformada, com espessura da ordem de 250 m. Aflora em um faixa estreita e contínua, de direção NNW-SSE, na porção centro-leste do mapa. Em campo, os afloramentos são facilmente identificados devido à morfologia de cristas elevadas. Sua ocorrência está associada à Falha de Galena, que corresponde ao empurrão desta unidade sobre os litotipos da Formação Três Marias.

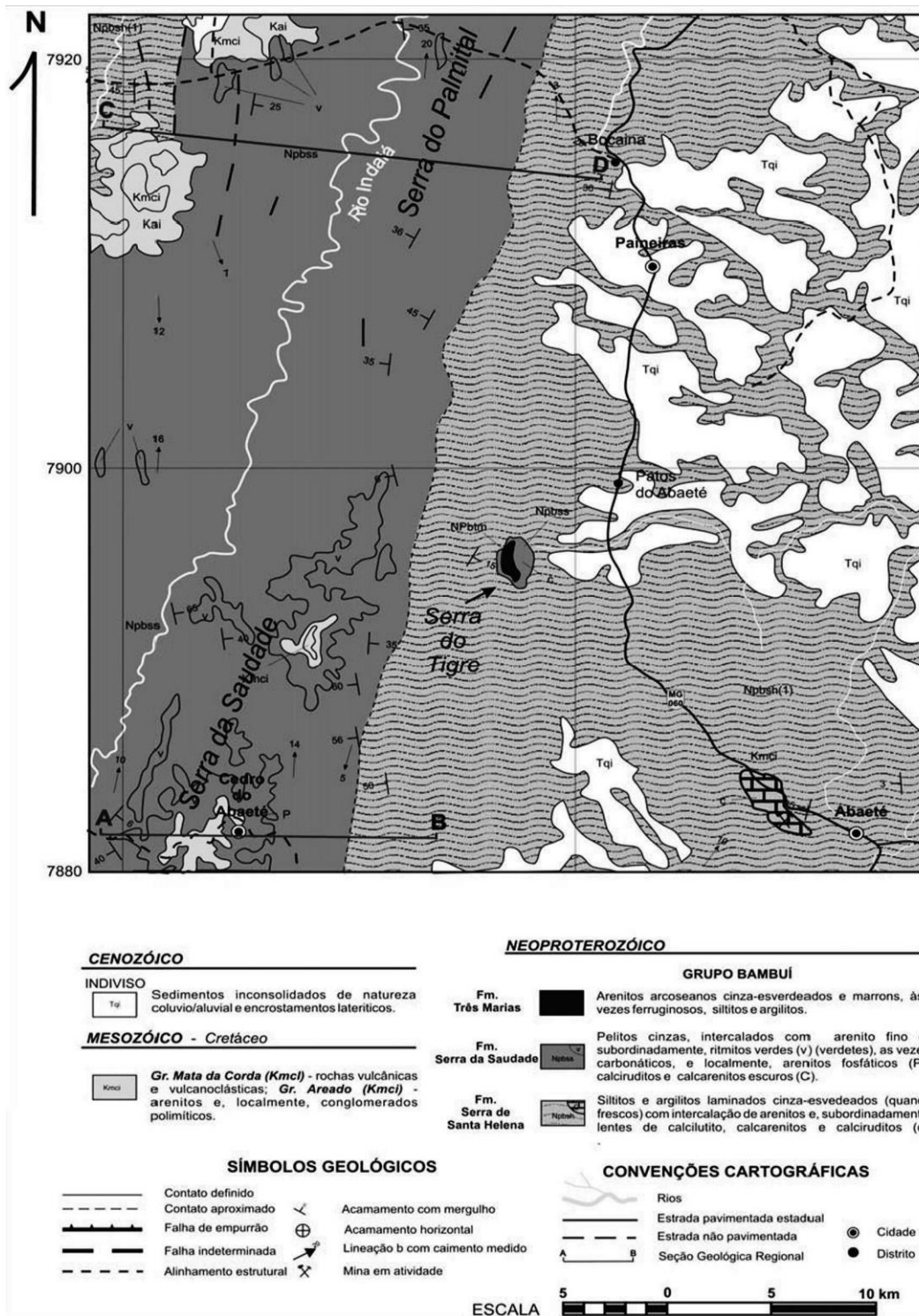
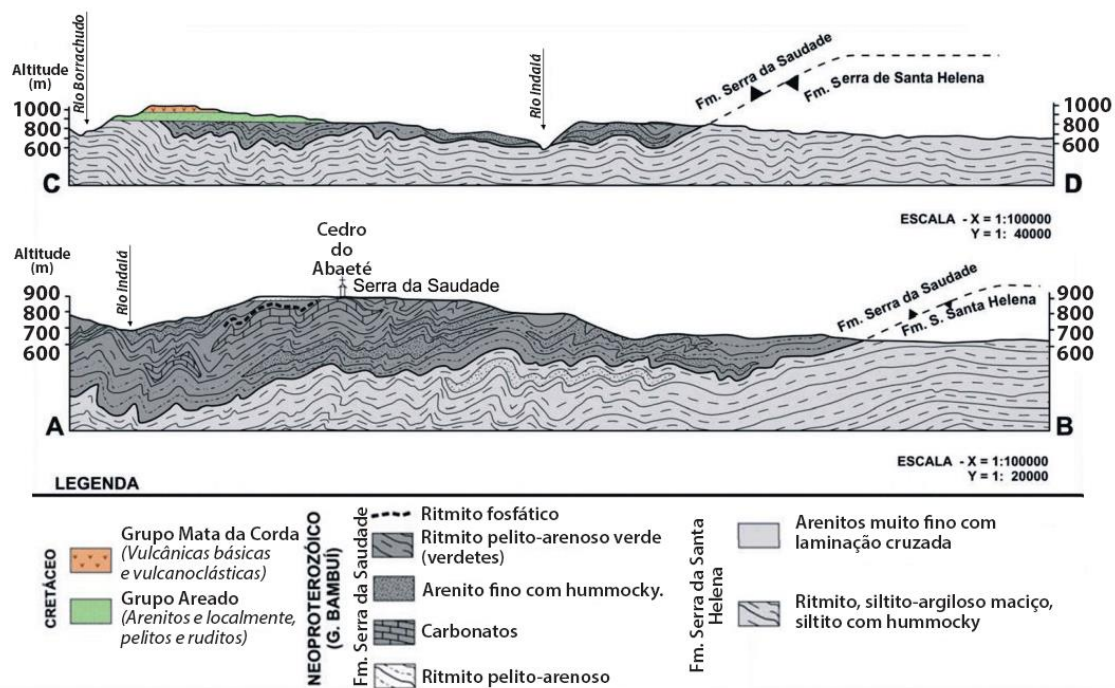


Figura 5.32 - Mapa geológico apresentado por Lima et al. (2007). Compilado de Lima et al. (2007).

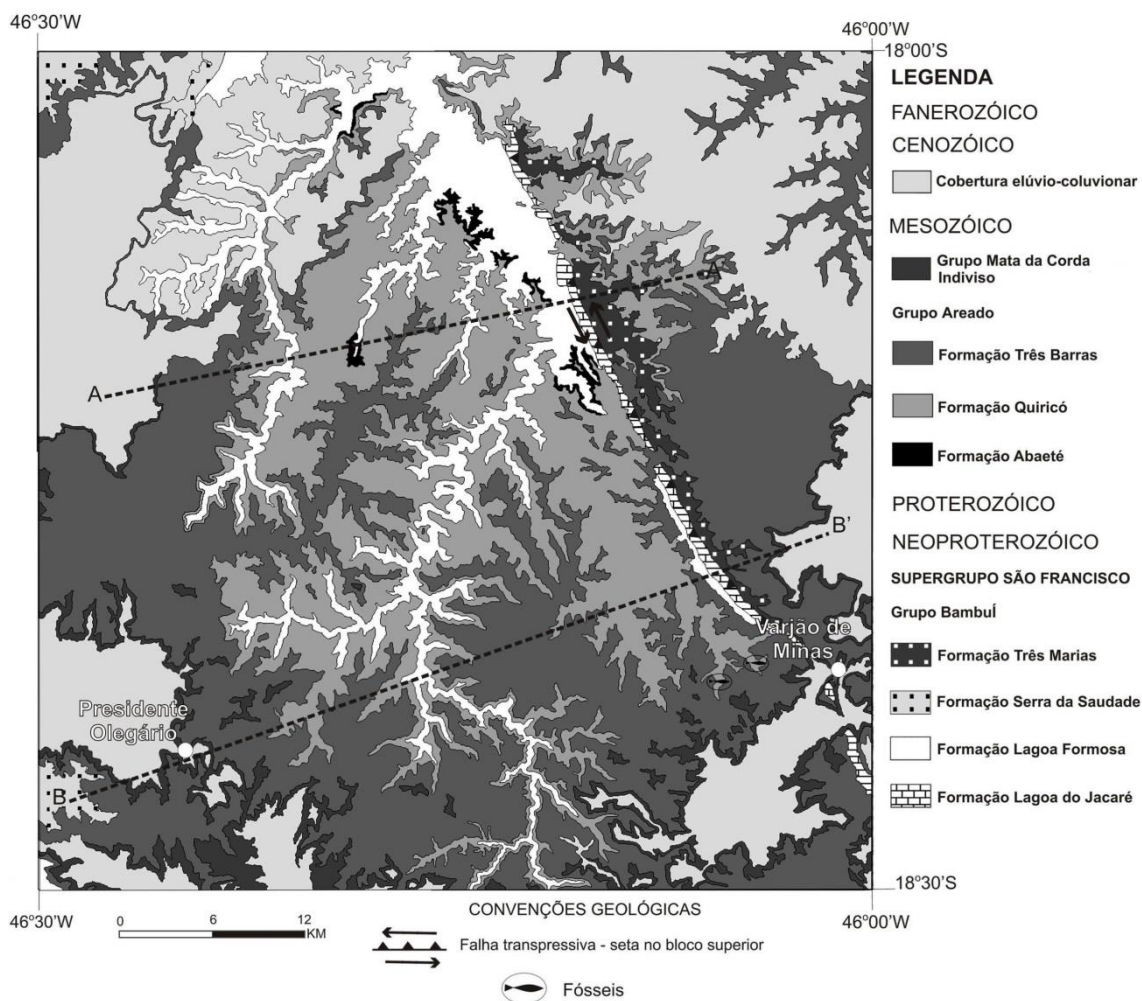




**Figura 5.33 - Cortes geológicos indicados no mapa da Figura 4.30. Compilado de Lima et al. (2007).**

A Formação Lagoa do Jacaré é composta principalmente por calcarenito, localmente oolítico. Ocorrem, subordinadamente, calcissiltito, biolitito, margas e siltito. Observam-se, em todos os litotipos, estruturas de laminação e/ou estratificação plano-paralela e, localmente, laminação cruzada. O calcissiltito ocorre na porção basal da unidade. Apresenta laminação plano-paralela e cor cinza claro ou rósea. Observam-se porções dolomitizadas e silicificadas. Subordinadamente afloram siltito, margas e calcarenito fino cinza-escuro. O biolitito é identificado na porção intermediária. Corresponde a construções estromatolíticas colunares, finamente laminadas, com ramificação paralela. O material intercolunar é composto por calcissiltito, cinza-claro, com alguns fragmentos das próprias construções. No topo da sequência carbonatada predomina calcarenito cinza-escuro, por vezes oolítico, muito deformado e recristalizado.

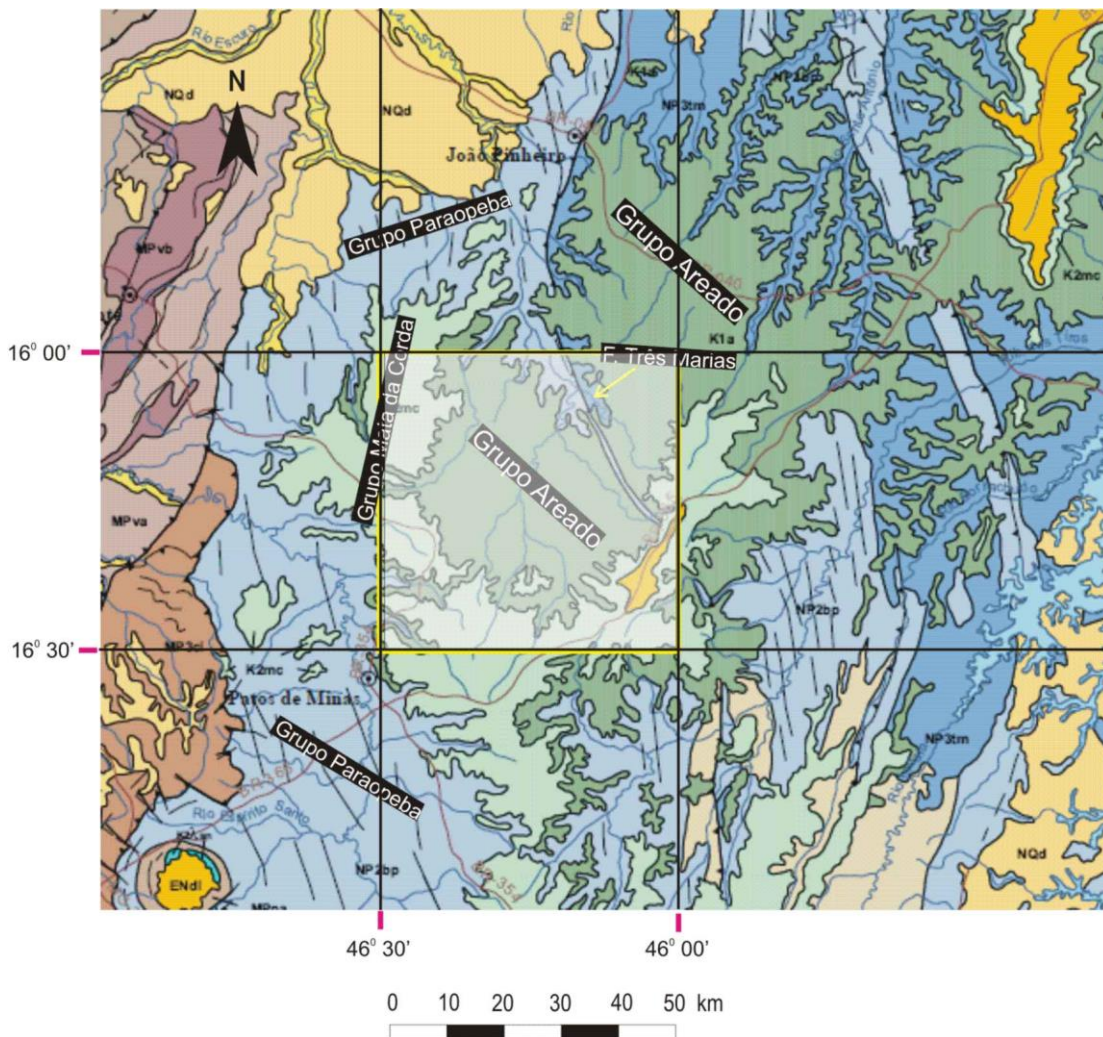
A Formação Lagoa Formosa, não descrita pelos autores acima discutidos, foi descrita e integrada ao Grupo Bambuí por Uhlein *et al.* (2010). Segundo esses autores, essa formação é constituída de litofácies rudíticas, psamíticas, pelíticas e carbonáticas que ocorrem na região de Lagoa Formosa, Minas Gerais. A Formação Lagoa Formosa corresponde à unidade neoproterozoica de maior extensão em área na Folha Presidente Olegário. Aflora em toda a porção central ao longo dos vales encaixados. Sua espessura é de difícil determinação devido aos efeitos da deformação – dobras e repetições por falhamentos – que muitas vezes estão encobertas pelos sedimentos cretáceos do Grupo Areado. Estima-se aqui uma espessura na ordem de 200 m.



**Figura 5.34 - Mapa geológico apresentado por Fragoso et al. (2011). Compilado de Fragoso et al. (2011).**

Segundo Uhlein *et al.* (2010), a Formação Lagoa Formosa – neófito no Grupo Paraopeba - é composta predominantemente por siltito com pequenas intercalações de siltito argiloso, argilito e, em menor quantidade, arenito. Essas litologias apresentam laminação e estratificação planoparalela condicionadas pela variação granulométrica dos sedimentos e/ou pela mudança de cor. Em geral, os afloramentos encontram-se intensamente fraturados e bastante intemperizados, exibindo colorações que variam de bege a rósea. Quando frescas essas rochas apresentam coloração verde escuro a cinza. Ocorre subordinadamente diamictito de matriz silto-argilosa e arcabouço composto por seixos e blocos subangulosos de siltito laminado e maciço.





**Figura 5.35 - Área estudada por Fragoso et al. (2011) no contexto geológico mais regional. Adaptado de CPRM/CBPM (2003).**

A Formação Serra da Saudade aflora apenas na porção oeste do mapa e apresenta espessura na ordem de 200 m. Aparentemente, esta unidade está estratigraficamente acima da Formação Lagoa Formosa, separada desta por um contato transicional. As relações entre essas duas unidades, entretanto, não foram ainda bem definidas. O litotipo predominante na Formação Serra da Saudade corresponde a um siltito, por vezes argiloso, com constante laminação planoparalela. Os afloramentos encontram-se normalmente bem intemperizados, o que confere à rocha coloração ocre a rósea. Calcissiltito e, subordinadamente, calcarenito fino ocorrem em lentes de no máximo um metro de espessura, apresentando estratificações planoparalelas e cruzadas tabulares. Intercalado no siltito, ocorrem também lentes métricas de verdete, que corresponde a um siltito verde enriquecido em potássio, podendo apresentar também altos teores de fósforo. A coloração esverdeada deve-se a presença do filossilicato potássico glauconita, conforme Lima *et al.* (2007). Este litotipo característico se assemelha com os pelitos verdes e diamictitos de matriz esverdeada observados na Formação Lagoa Formosa, o que pode sugerir uma correlação entre estas unidades. As litologias da Formação Serra

da Saudade, aqui, são semelhantes àquelas descritas por Lima *et al.* (2007) na Serra da Saudade que é a área tipo dessa unidade, cerca de 100 km a sudeste.

A Formação Três Marias, no mapa da Figura 5.34, ocorre restrita à porção leste da principal estrutura identificada na região – a Falha de Galena. Apresenta espessura na ordem de 50 m e aflora preferencialmente ao longo dos vales do Rio Andrequicé e suas drenagens, bem como nos vales das drenagens do Ribeirão Quiricó. É composta predominantemente por subarcósió e arenito feldspático grauvaquiano cinza-escuro, fino a médio, com camadas planoparalelas, maciças ou laminadas. Na porção inferior ocorrem intercalações de siltito e siltito argiloso entre as camadas arenosas. Para o topo passa a dominar as frações areníticas. Nos arenitos são frequentes marcas onduladas e laminações cruzadas. Predominam, entretanto, as camadas tabulares centimétricas a decimétricas de arenito maciço ou com laminação planoparalela.

Do ponto de vista estrutural, a chamada Falha de Galena é a principal feição da área. Essa falha é uma descontinuidade de alto ângulo, de origem compressiva e direção aproximada NW-SE, dividindo a área em dois domínios estruturais. No domínio 1, situado a sudoeste da estrutura, a deformação é mais intensa, enquanto que no domínio 2, a nordeste, são observados acamamentos sub-horizontais e dobras suaves e abertas. A cinemática da Falha de Galena ainda carece de mais estudos. Análise que puderam ser feitas, todavia, sugerem que essa estrutura apresenta uma movimentação oblíqua sinistral. A relação angular entre seu traço retilíneo, os eixos das dobras e a vergência das mesmas, mais as inflexões e curvaturas que ocorrem nas proximidades da falha, indicam que o setor oeste foi empurrado contra o setor leste ao mesmo tempo em que se deslocava sinistralmente ao longo da descontinuidade.

Em termos mais regionais, merece atenção o estudo devido a Andrade & Cascaes (1990). Como pode ser visto na Figura 5.22, esses autores enfocaram uma área que cobre quase todo o oeste baiano. Seu tema, entretanto, é essencialmente hidrogeologia. As informações sobre a geologia do Grupo Bambuí são, assim, escassas, antigas e muito genéricas.

Com base no mapa geológico da Bahia, de Inda & Barbosa (1978), Andrade & Cascaes (1990) informam que o Grupo Bambuí, no oeste da Bahia, numa área de 400.000 km<sup>2</sup>, é constituído de calcários, margas, metassiltitos, ardósias, metarcósios e metagrauvacas, recobertas em grande parte por rochas sedimentares detríticas do Cretáceo.

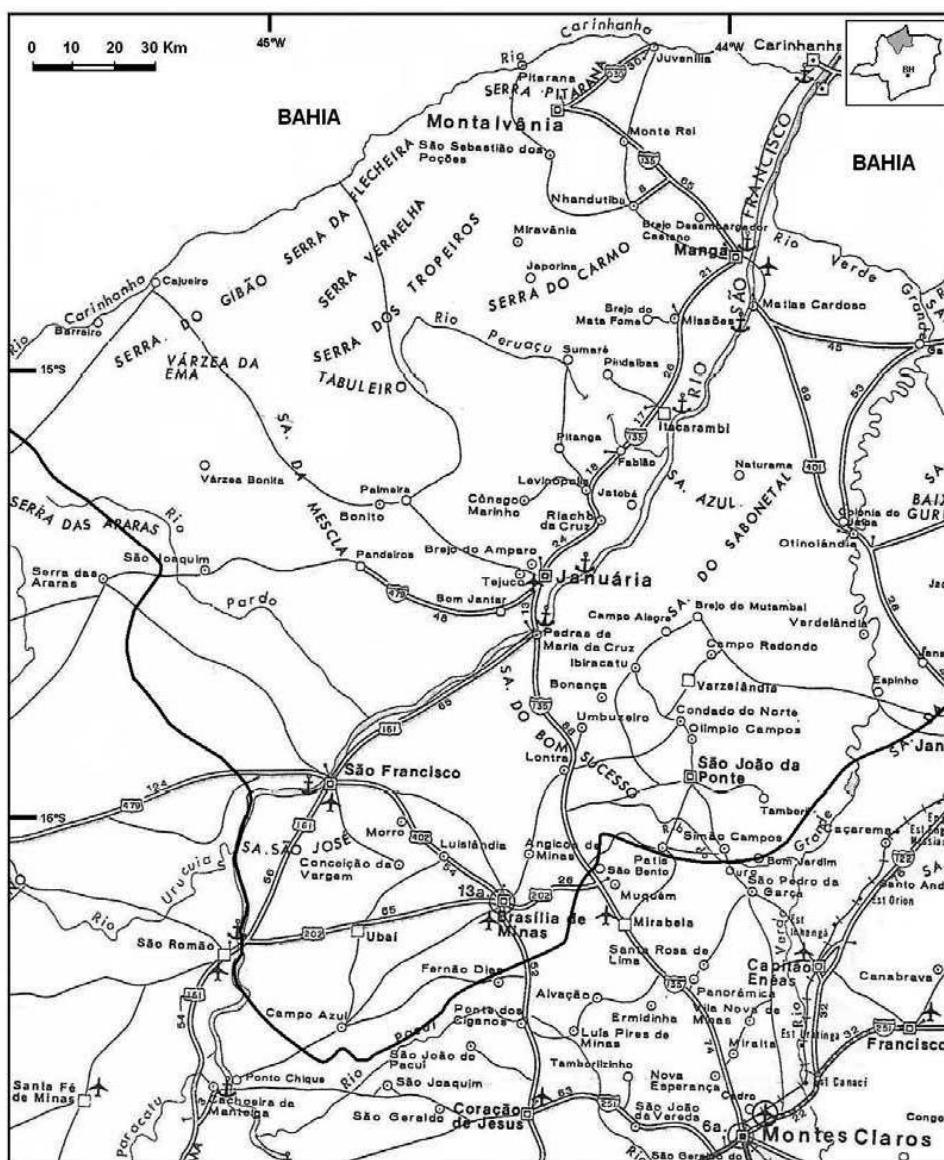
Informam ainda esses autores que os sedimentos do Grupo Bambuí foram depositados sobre rochas granítico-gnáissicas do Cráton do São Francisco, em ambiente de águas marinhas rasas e planícies de maré. Essa cobertura carbonatada sofreu deformações devido à tectogênese das faixas marginais do cráton. Os esforços associados a essa tectogênese provocaram deformações e rupturas nessa cobertura, originando dobramentos principalmente nos pelitos das partes próximas às bordas do cráton. Entretanto, mais para o interior da bacia Bambuí, os estratos são menos perturbados, apresentando-se sub-horizontais em vastas extensões.



Andrade & Cascaes (1990) se referem a duas direções principais de fraturamento: N60W e N30E. Segundo eles, ambas as direções refletem esforços preferenciais associados às deformações da Faixa Araçuaí, ao sul, e à Faixa Brasília, a oeste da área enfocada em seu estudo.

O estudo desses autores será retomado quando abordarmos o tema hidrogeologia.

Martínez, M.I. (2007), por sua vez, desenvolveu uma dissertação de mestrado numa área no norte de Minas Gerais, mostrada na Figura 5.36, delimitada por uma linha escura mais espessa.



**Figura 5.36 - Área estudada por Martínez (2007). Compilado de Martínez (2007).**

A área estudada por Martínez (2007) tem 38.000 km<sup>2</sup>, incluindo a área de 10.800 km<sup>2</sup> estudada por Silva *et al.* (1981) e por Silva (1984).

Martínez (2007) traça um completo histórico da evolução do conhecimento do Grupo Bambuí e faz uma boa revisão bibliográfica do tema. Na Tabela 5.2 esse autor mostra a visão de diferentes autores, escalonados no tempo, sobre o Grupo Bambuí.

**Tabela 5.2 - Evolução no tempo da concepção do Grupo Bambuí.**

Costa e Branco (1961)		Barbosa (1965)	Oliveira (1967)	Braun (1968)	Dardenne (1978)	Radambrasil (1982)	
Membros	Formações	Formações	Formações	Formações	Formações		Formações
Serra da Saudade	Paraopeba	Três Marias	Três Marias	Três Marias	Três Marias		Três Marias
Três Marias					Serra da Saudade		Serra da Saudade
Lagoa do Jacaré		Lagoa do Jacaré	Lagoa do Jacaré		Lagoa do Jacaré		Lagoa do Jacaré
Serra de Santa Helena		Serra de Santa Helena	Serra de Santa Helena	Paraopeba	Serra de Santa Helena		Serra de Santa Helena
		Sete Lagoas	Sete Lagoas		Sete Lagoas	Paraopeba	Sete Lagoas
	Sete Lagoas	Paranoá	Vila Chapada	Paranoá	Jequitaiá	Subgrupo	Sete Lagoas
	Carrancas	Samburá		Fácies Carrancas			Samburá/ Carrancas

Os seguintes mapeamentos foram utilizados por Martínez (2007): Projeto Três Marias (Menezes *et al.*, 1978 *apud* Martínez, 2007); projeto LETOS (Baptista & Meneguesso, 1976 *apud* Martínez, 2007); projeto RADAMBRASIL (DNPM, 1982 *apud* Martínez, 2007); Projeto PLANOROESTE (CETEC, 1981 *apud* Martínez, 2007); Projeto Bambuí Norte (METAMIG, 1977 *apud* Martínez, 2007); e integração dos perfis estratigráficos dos furos de sondagem realizados pela CPRM/DNPM (Brandalise *et al.*, 1980 *apud* Martínez, 2007), CPRM (Projeto Januária-Itacarambi, 1976 *apud* Martínez, 2007) e o furo 1-MA-1-MG (Petrobras, *apud* Martínez, 2007). Os dados obtidos a partir da integração dos anteriores projetos, junto aos trabalhos de campo efetuados na área, forneceram as informações necessárias para a execução do mapa geológico 1:500.000 da área de estudo, no qual foram discriminadas as formações do Grupo Bambuí e coberturas utilizando os critérios da litoestratigrafia.

Através de trabalhos de campo e da integração dos mapeamentos e furos de sondagem acima citados, foi possível a produção de um mapa geológico na escala 1:500.000, abrangendo toda a área de estudo, no qual foram discriminadas as formações do Grupo Bambuí e coberturas utilizando os critérios da litoestratigrafia. Ao final, Martínez (2007) estabeleceu as seguintes conclusões:

- O embasamento cristalino, representado pelo Cráton do São Francisco aflora no nível das drenagens dos riachos e córregos da região de Bonito, em cotas de até 600 m (Alto de Januária);
- Para nordeste e sudeste o Grupo Bambuí torna-se sensivelmente mais espesso. Este fato foi relacionado a um afundamento progressivo do embasamento. Furos de sondagem permitiram comprovar este afundamento e forneceram subsídios para a identificação de depocentros;
- O Grupo Bambuí constitui uma cobertura de plataforma neoproterozoica depositada sobre o Cráton do São Francisco, o qual se apresenta rodeado por faixas de dobramentos marginais relacionadas ao Ciclo Brasileiro (900-530 Ma). A influência da faixa Araçuaí, no extremo leste da área, ficou evidenciada por uma foliação incipiente nos siltitos da Formação Serra da Saudade e numerosos dobramentos de diferente amplitude, desde pequenas dobras, a estruturas do tipo sinclinal, como identificado na serra do Jaíba;
- As cinco formações clássicas do Grupo Bambuí ocorrem na área estudada (Formação Sete Lagoas, Formação Serra de Santa Helena, Formação Lagoa do Jacaré, Formação Serra da Saudade e Formação Três Marias), assim como um pacote carbonático, sobreposto à Formação Serra da Saudade, de ocorrência restrita, considerado por alguns autores, como Formação Jaíba;
- A Formação Lagoa do Jacaré constitui a unidade com maior distribuição dentre as formações do Grupo Bambuí na área de estudo e apresenta uma importante variabilidade faciológica. A seção de detalhe levantada para a região de Lontra contrasta fortemente com aquelas observadas no resto da área, e mesmo nos afloramentos desta unidade em locais vizinhos. A abundante intercalação de pelitos, dominantes para o topo, a ausência de evidências de oólitos entre os aloquímicos e a cor mais clara dos calcários na seção de Lontra parecem indicar condições de sedimentação em um subambiente diferenciado do resto da plataforma, caracterizado por uma menor energia;
- A descrição detalhada de 22 lâminas delgadas de litofácies da Formação Lagoa do Jacaré permitiu um estudo sobre a diagênese das rochas carbonáticas da região de Lontra (MG), com formulação da seqüência paragenética. Identificaram-se os processos de compactação/estilolitização, dolomitização, dissolução, silicificação, fraturamento e precipitação de calcita tardia;
- Cobrindo discordantemente as rochas do Grupo Bambuí ocorrem arenitos quartzosos, bem selecionados, de idade cretácica, pertencentes ao Grupo Urucuaia;
- Coberturas terciárias e quaternárias ocorrem largamente, principalmente na calha aluvionar do Rio São Francisco;
- O Rio São Francisco representa um divisor na distribuição e espessura das formações do Grupo Bambuí, de maneira que a formação basal, Formação Sete Lagoas, só se apresenta aflorante na sua margem esquerda. Este fato foi associado a uma subsidência tectônica diferencial, com maior afundamento na margem direita, relacionada a sistemas de falhas NNE e NNW, que condicionaram a distribuição dos depocentros e, conseqüentemente, a espessura da pilha sedimentar (ver

Iglesias & Uhlein (2009) – item 4.3.1.3.1.4). Estruturas tectônicas como os horst-anticlinais de Montalvânia e Itacarambi, e mesmo a orientação do Rio São Francisco na área (falha de Januária), favorecem esta hipótese;

- O sistema fluvial que drena a área, apresenta um padrão semi-retangular, formando lineamentos fisiográficos nas direções N, NW e NE. Provavelmente este sistema tenha se instalado no Terciário, segundo falhas ou fraturas neotectônicas resultantes de reativações de falhamentos de idade brasileira, os quais estavam presentes desde a abertura do Atlântico Sul;
- O flúor representa um dos elementos característicos da denominada província metalogenética do Bambuí (Pb-Zn-Ag-F). As ocorrências de fluorita concentram-se nos calcários das Formações Sete Lagoas e Lagoa do Jacaré, nas regiões de Montalvânia, Itacarambi e Januária. A maior parte das mineralizações ocorrem associadas a fraturas, o que pôde possibilitar a mobilização, remobilização e concentração das soluções hidrotermais, sendo notória a esterilidade das zonas não perturbadas tectonicamente.

## **5.2 Geologia Regional: Mapeamento**

### **5.2.1 Mapeamento geológico**

Toda a Bacia do Rio São Francisco é coberta por 76 folhas topográficas na escala de 1:250.000 no corte internacional. Destas, 38 folhas cobrem o sistema cárstico e fissuro-cárstico, somando uma área de 67.874.302,75 ha. (Figura 5.37).

O Consórcio utilizou os mapas geológicos 1:1.000.000 da Bahia (CPRM/CBPM, 2003) e Minas Gerais (CPRM/COMIG, 2003). As bases em GIS foram recortadas em 1:250.000 e serviram de base para a reinterpretação da geologia regional, levada a efeito através da interpretação de imagens, de dados levantados em campo, e da compilação da literatura geológica mais recente.

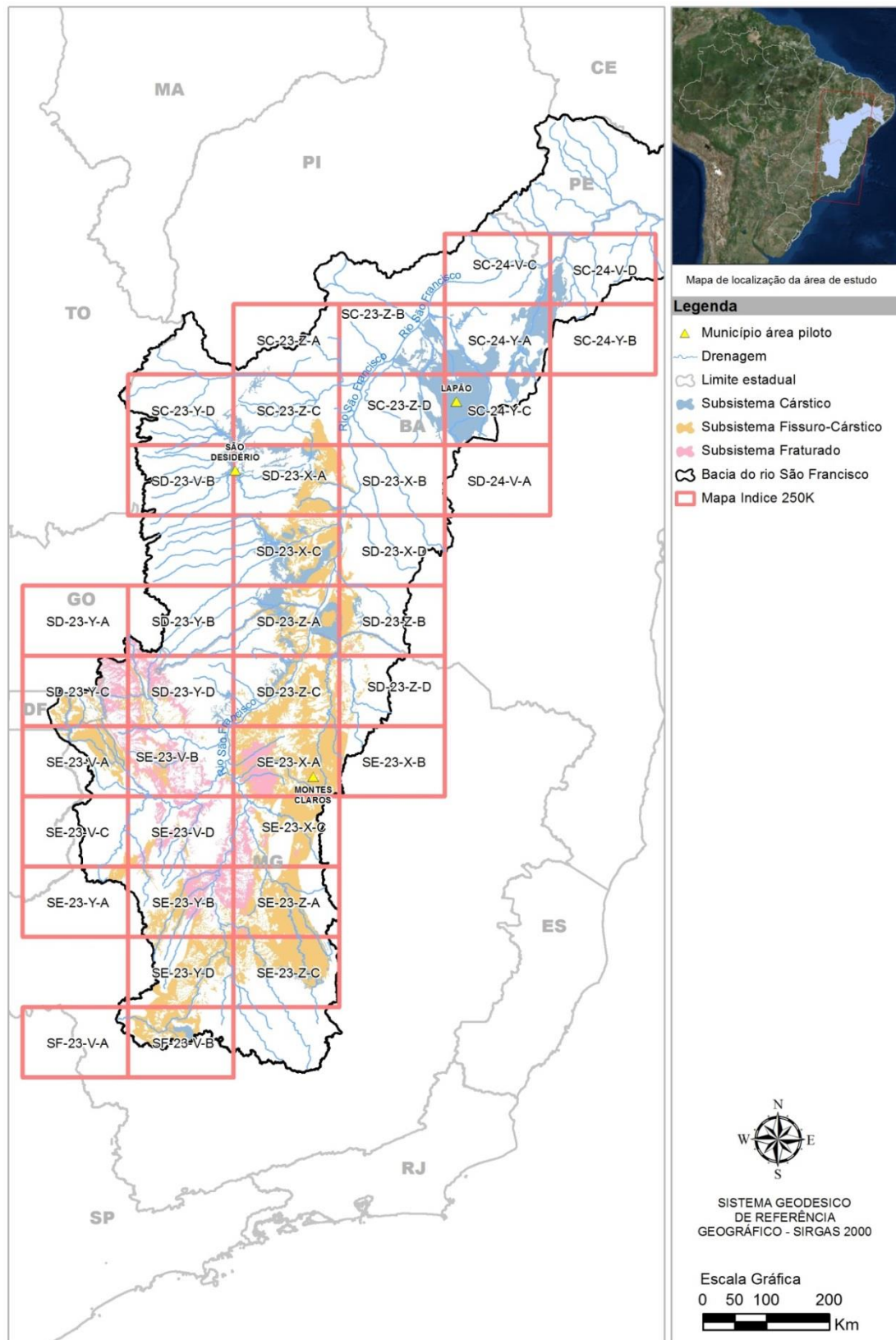
O mapa da Figura 5.38 mostra o recorte dessa base geológica para a área do projeto.

### **5.2.2 Mapa de estruturas de carstificação**

Para a produção do mapa de estruturas de carstificação dos grupos Una e Bambuí, na escala 1:250.000 (Figura 5.39), foram utilizadas as informações geológicas da área e a base de cavidades do IBAMA/CECAV, além das estruturas cadastradas pelo consórcio.

As feições cársticas foram mapeadas considerando-se duas grandes classes: as formas exocársticas e as formas endocársticas. Naturalmente, em se tratando da escala utilizada (1:250.000), as formas endocársticas tornam-se meros elementos de apoio, uma vez que apenas potencializam o entendimento dos diversos cenários de evolução do modelado do relevo cárstico nos diversos domínios onde foram inventariados.





**Figura 5.37 - Cartas topográficas na escala 1:250.000 que abrangem unidades dos sistemas aquíferos cársticos e fissuro-cársticos na região hidrográfica do São Francisco.**

A maioria das feições endocársticas, que são os carstes subterrâneos propriamente ditos, foi obtida a partir do banco de dados do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV). Várias outras, entretanto, foram reconhecidas ao longo dos trabalhos de campo executados pelo Consórcio.

As feições exocársticas, por sua vez, foram subdivididas em feições residuais proeminentes no relevo (positivas) e as feições de abatimento/supressão advindas dos processos de denudação da massa carbonática pelas atividades hídricas de dissolução subsuperficial e subterrânea (negativas).

No que diz respeito às feições cársticas negativas, foram mapeadas muitas dolinas e uvalas em toda região ocupada pelos grupos Una e Bambuí. Já as feições cársticas positivas constituem os domínios cársticos residuais e ou vinculados a outras rochas de menor capacidade de dissolução.



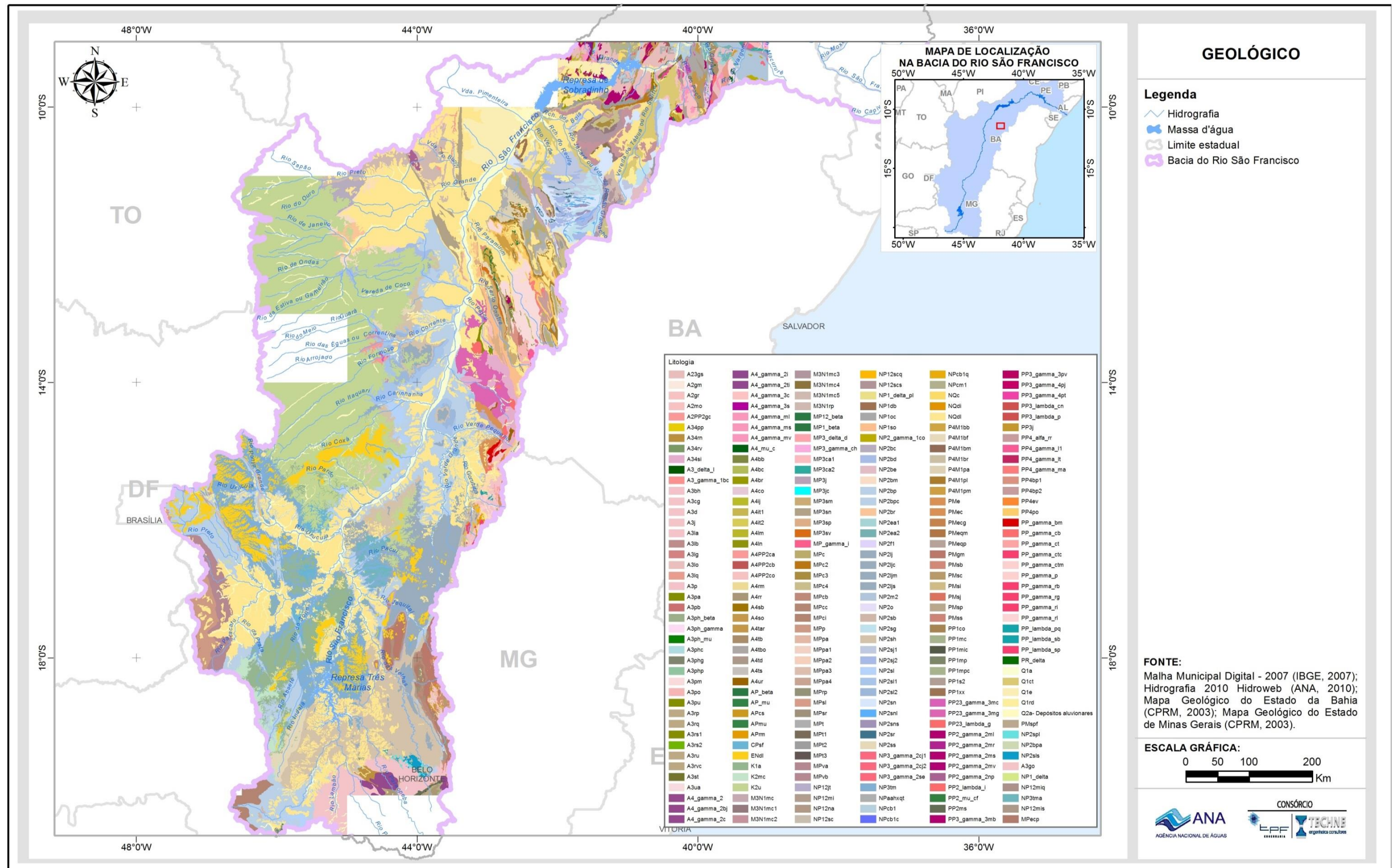


Figura 5.38 - Mapa geológico da área regional.

Nas áreas piloto foram feitos estudos mais detalhados nas escalas 1:50.000 (área piloto do riacho do Juá e área piloto do rio do Vieira) e 1:100.000 (área piloto do rio São Desidério). Essas áreas serão abordadas no Volume III do Relatório Final.

### **5.2.3 Feições cársticas negativas (dolinas e uvalas)**

Para identificação das dolinas foram utilizadas as bases do projeto SRTM. Para cada carta da região em estudo foram gerados no ArcGis um mapa de declividade (slope, output measurement: Degree, Z fator: 9.259259483E-06) e um mapa de curvatura (Curvature, Z fator: 9.259259483E-06).

Foi realizada, em seguida, uma composição de bandas com os dados de: curvatura – banda 1; declividade – banda 2; e altimetria – banda 3. A apresentação da composição no ArcMap na sua configuração padrão (Stretch Type: Standard Deviations e n: 2) ressaltou as áreas de depressões e maciços.

A partir daí uma varredura visual sistemática foi realizada para identificação das possíveis dolinas. Cada carta foi dividida em quatro faixas longitudinais com largura de 22,5 arco minutos. Essas faixas foram percorridas marcando-se as estruturas menores que seis pixels de dimensão (aproximadamente 500 m) em um shape de pontos e, as demais, com o seu perímetro definido em um shape de polígonos.

### **5.2.4 Domínios cársticos residuais (feições positivas)**

Os domínios cársticos positivos foram definidos em ambiente SIG no *software ArcGis 10* a partir da sobreposição da litologia às informações de altimetria, declividade e distribuição das cavidades em calcário obtidas do banco de dados do CECAV. A litologia foi obtida do *Geobank* no site da CPRM (<http://geobank.sa.cprm.gov.br/>) e as folhas trabalhadas foram: SE23-Belo Horizonte; SC23-São Francisco; SD23-Brasília; SB24-Jaguaribe; e SC24-Aracaju. As informações de altimetria e declividade (*slope*) foram adquiridas a partir do tratamento das imagens do projeto SRTM.

Os domínios cársticos residuais foram definidos através de uma avaliação visual, observando-se proeminências na superfície associadas às unidades litológicas cársticas e às cavidades em calcário. Imagens no *Google Earth* também serviram de ferramenta auxiliar, onde se avaliou em detalhe as feições cársticas típicas para validação das observações no *ArcGis*.



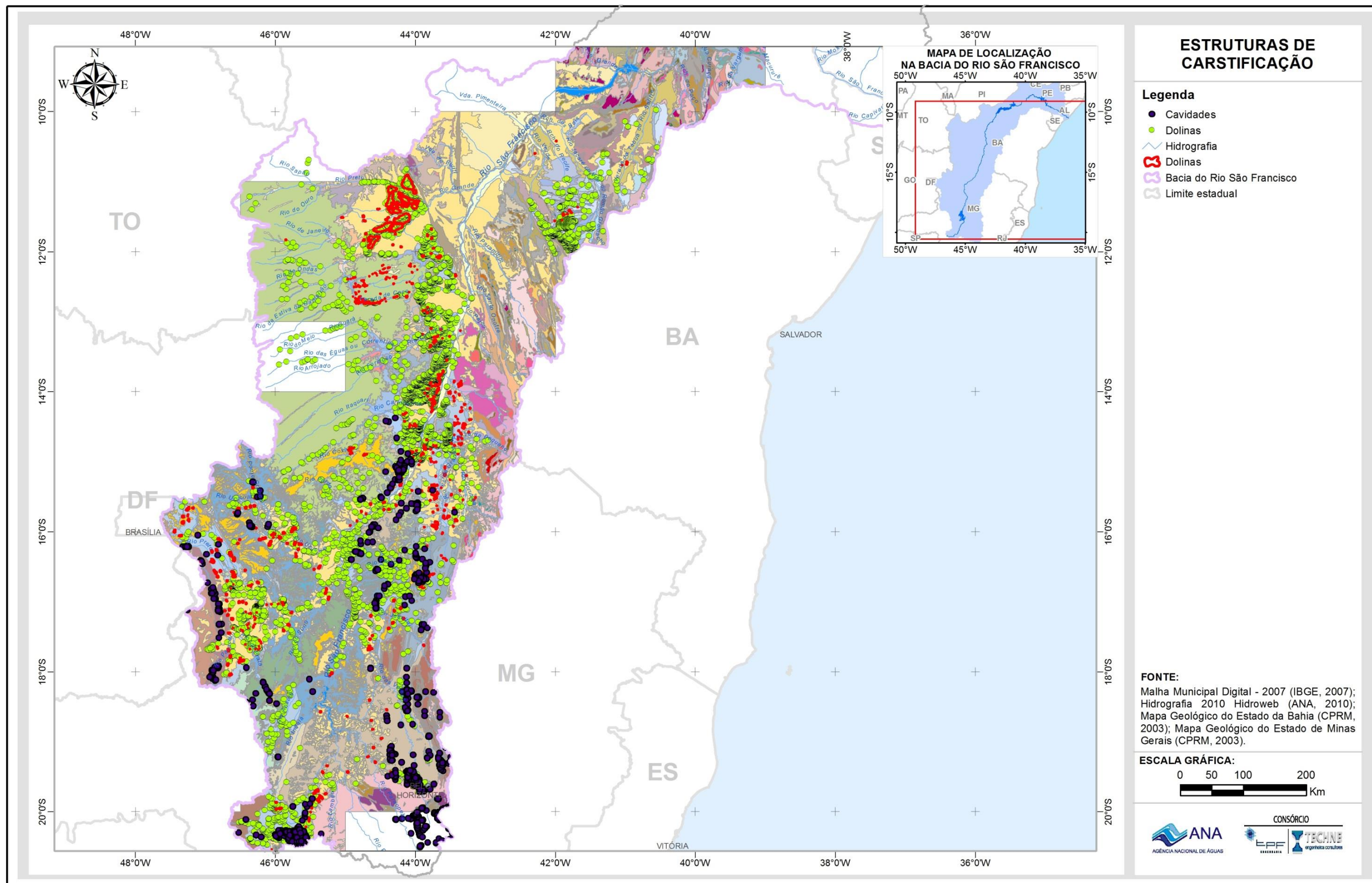


Figura 5.39 - Mapa de estruturas de carstificação da área regional.

### 5.2.5 Mapa de lineamentos estruturais

Para identificação das feições lineares, em toda a área de ocorrência do Grupo Bambuí, gerou-se *hillshades* (arquivo *raster* que espacializa um relevo sombreado) com azimute de 90°, altitude com ângulo de inclinação de 45° e fator Z1, a partir dos modelos digitais de elevação SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*). Combinando-se o resultado do *hillshade* e o *shape* de drenagem, foi possível a visualização de padrões retilíneos no relevo, onde foram traçados por meio de interpretação visual os lineamentos que se destacaram e que apresentaram comprimentos compatíveis com a escala utilizada.

Todas as bases acima citadas foram geradas em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas), através do *software ArcGis*, versão 10.2 (Ver figura de 5.40).

Os estudos para compreensão das estruturas mapeadas e das feições de interesse já delimitadas e indicadas em planta baixa foram alvo de acurada análise. Esta análise considerou as informações geotectônicas e litoestratigráficas disponíveis, os dados de poços do SIAGAS, e as informações geofísicas existentes, além, ainda, das inspeções de campo, principalmente nas áreas piloto, onde as escalas de trabalho pressupõem maior detalhamento dos atributos de interesse.



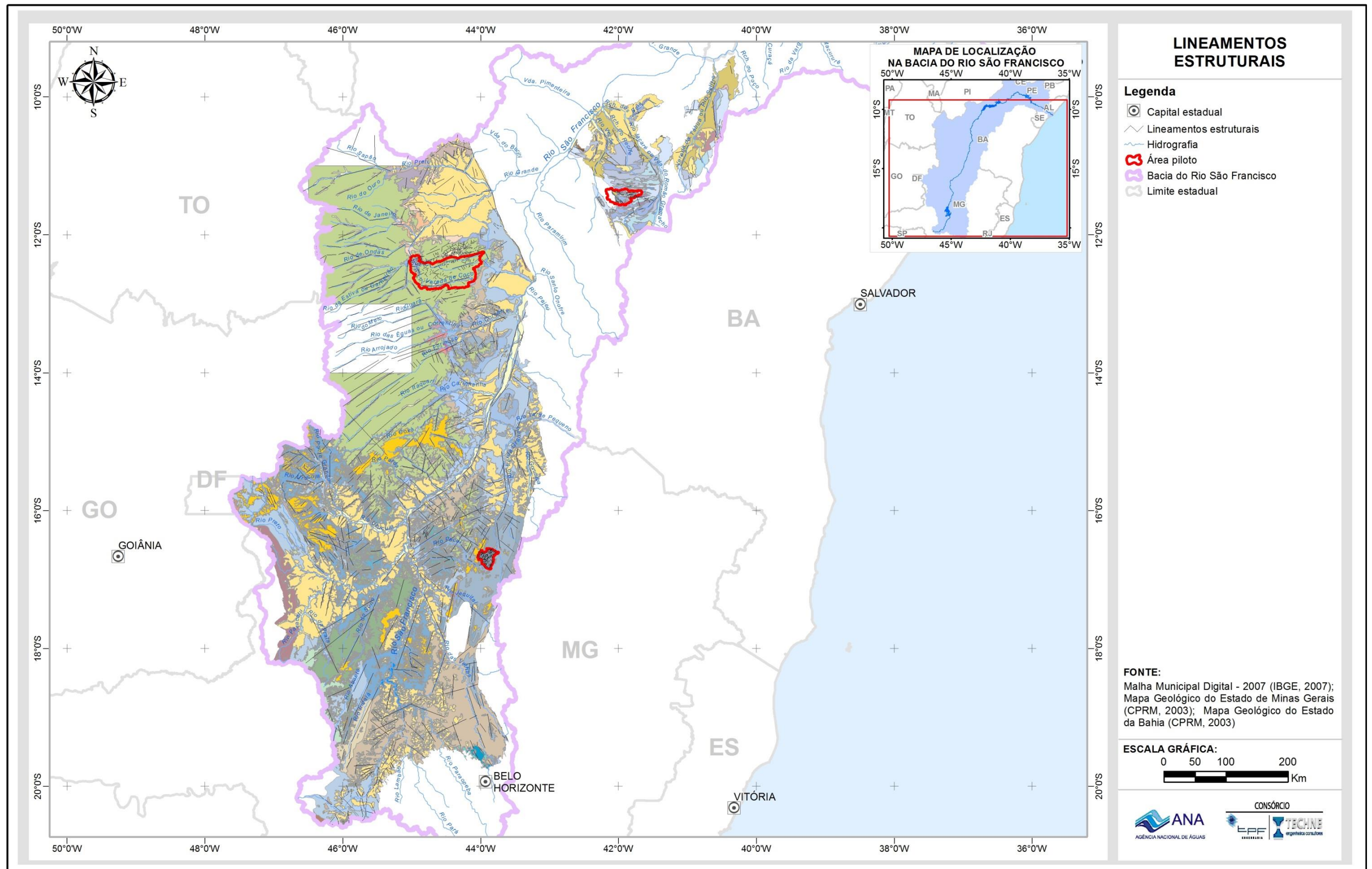


Figura 5.40 - Mapa de lineamentos estruturais da área regional.

## **6 Geomorfologia regional**

### **6.1 Aspectos Gerais**

A Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco inclui porções dos estados de Alagoas, Sergipe, Pernambuco, Bahia e Minas Gerais, com uma superfície de aproximadamente 639.219 km<sup>2</sup>. Com predominância de uma superfície pediplanizada, o relevo dessa região apresenta grande variedade de formas como serras, chapadas e inselbergues. Segundo o Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (2004), a variabilidade da geomorfologia decorre principalmente da ação dos agentes agressivos nos diferentes tipos de rocha presentes na área, os quais possuem níveis de resistência diversos. Como cita o Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional (2004), a litologia da região é composta por rochas cristalinas, de idade Paleo-Proterozoica, e por rochas carbonatadas do Neo-Proterozoico, recobertas por solos pouco espessos, aluviais e coluviais. O mesmo projeto ainda afirma que em decorrência das enormes variações climáticas toda a superfície de aplanamento foi retocada, inumada e desnudada, em função dos ciclos alternados de aridez ou semiaridez com alternância entre maior e menor umidade.

Segundo o Diagnóstico do Macrozoneamento Ecológico-Econômico da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (Brasil/MMA, 2011), produzido pelo Ministério do Meio Ambiente, a drenagem desta região está centralizada pelo rio que dá nome à Bacia, cortando-a de sul para o norte, até meados de Pilão Arcado/BA, quando inflete para nordeste até Cabrobó/PE, de onde segue para sudeste até sua foz. Todas essas mudanças de direção foram adaptações ao longo do tempo à estrutura do substrato geológico.

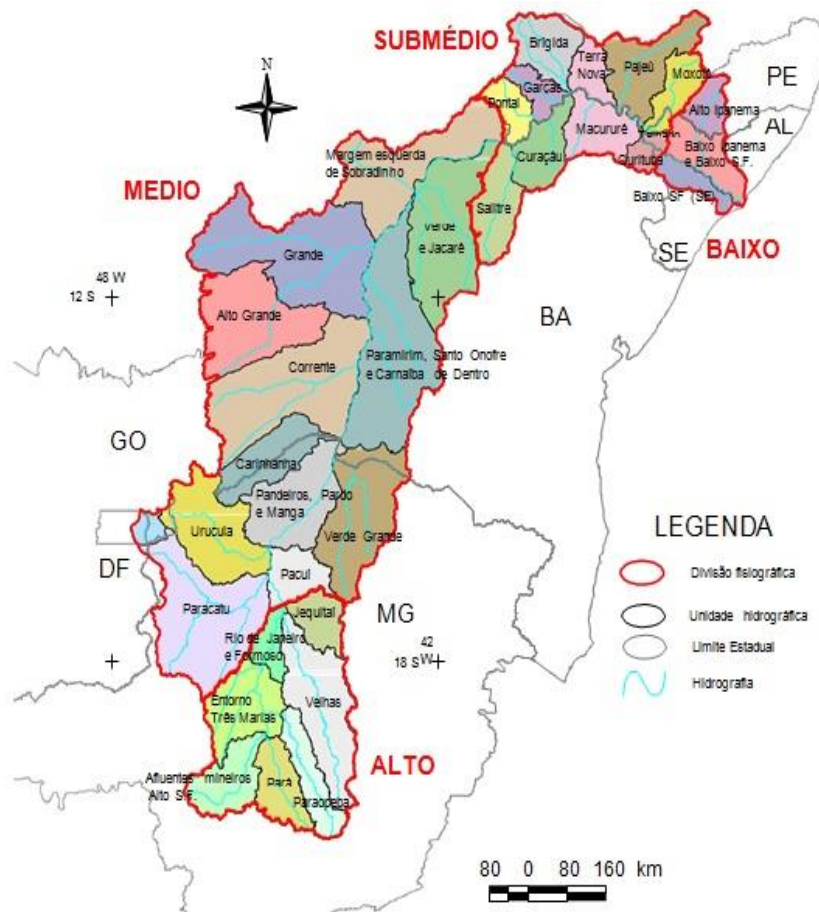
### **6.2 Comportamento geomorfológico por Região Hidrográfica**

O trecho principal do Rio São Francisco possui 2.863 km. O desnível entre as nascentes e a foz é de 1.000 m, com as maiores declividades nas cabeceiras e as menores nas proximidades da foz. Nos primeiros 120 km, há um acentuado desnível de 250 m; nos seguintes 360 km, até Três Marias, outros 180 m. Daí até Sobradinho, ao longo de 1.416 km, as cotas do talvegue caem apenas 176 m. Entre Paulo Afonso e Pão de Açúcar, o rio percorre 113 km com um desnível de mais de 300 m: é o trecho das grandes quedas. Daí em diante o declive é pequeno até a foz.

Brasil/MMA (2011) distingue quatro regiões hidrográficas na bacia do Rio São Francisco, totalizando uma área de 639.219 km<sup>2</sup>. Essas regiões, mostradas na Figura 6.1, são as seguintes:



- Região do Alto São Francisco (111.804 km<sup>2</sup>), compreendida entre as nascentes do rio e a cidade de Pirapora. Sua topografia é bastante acidentada. A Serra do Espinhaço faz o divisor de águas leste, com cadeias estreitas e alongadas que se dispõem segundo a direção Norte-Sul, com altitudes de 1.000 a 1.300 m. No divisor oeste, apresenta-se a Serra Geral de Goiás, com altitudes que oscilam entre 800 e 1.200 m. Observa-se, também, nesse trecho, a presença de superfícies de erosão, que descem escalonadas em direção à calha principal da bacia, até a chamada Depressão Sanfranciscana.
- Região do Médio São Francisco, que vai de Pirapora a Remanso (339.763 km<sup>2</sup>) exibindo as planícies elúvio-colúvio-aluviais da Depressão Sanfranciscana. Nessa região, entalhada por profundos vales, as altitudes são mais elevadas, variando entre 1.000 e 2.000 m, cotejando com as altitudes do divisor de águas leste. Aí se situa a Chapada Diamantina, dotada de grande potencial de lazer e turismo, sendo essa uma vocação para o uso da água no trecho Médio da Bacia. Tal quadro morfológico é resultado dos falhamentos e dobramentos que afetaram pacotes de metassedimentos em diferentes ciclos tectônicos. No divisor de águas oeste o relevo é representado por duas feições. A primeira, na metade sul, corresponde ao prolongamento da Serra Geral de Goiás. A segunda feição, na metade norte do divisor de águas, corresponde à Serra da Tabatinga, que separa as bacias dos rios São Francisco e Parnaíba, com cotas variando entre 800 e 1.000 m. Destacam-se, ainda, no domínio da Depressão Sanfranciscana, as serras do Boqueirão e Estreito, com altitudes no entorno dos 800 m, estendendo-se de sudeste para noroeste a primeira e, de norte para sul, a última.
- Região do Submédio São Francisco, entre Remanso e a Cachoeira de Paulo Afonso (155.637 km<sup>2</sup>). Essa região apresenta uma topografia ondulada com vales muito abertos em razão da baixa resistência à erosão dos xistos e outras rochas de baixo grau de metamorfismo, salientando-se formas abauladas de rochas graníticas e gnáissicas, principalmente. Nesta região situam-se as formas tabulares da Chapada do Araripe e do Raso da Catarina, no estado de Pernambuco, fora da nossa área de estudo.
- Região do Baixo São Francisco, entre a Cachoeira de Paulo Afonso e a foz do rio no estado de Alagoas (32.013 km<sup>2</sup>). Nessa região, completamente fora da nossa área de estudo, ocorrem tabuleiros do grupo Barreiras, com altitudes entre 100 e 200 m, além da planície costeira, com altitudes inferiores a 100 m.



**Figura 6.1 - Unidades hidrográficas de referência e divisão fisiográfica da Bacia.**  
**Fonte: ANA (2004).**

### 6.3 Caracterização das Unidades Geomorfológicas

A descrição aqui apresentada das várias unidades geomorfológicas da área de ocorrência do Carst São Francisco foi adaptada de Brasil/MMA (2011) - Diagnóstico do macrozoneamento ecológico-econômico da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco.

O mapa geomorfológico proposto por Brasil/MMA (2011) foi gerado a partir da compatibilização dos mapas geomorfológicos das folhas SB.24 Jaguaribe, SC.23 São Francisco, SC.24 Aracaju, SD.23 Brasília, SD.24 Salvador, SE.23 Belo Horizonte e SF.23 Rio de Janeiro, na escala de 1:1.000.000, integrantes do Levantamento de Recursos Naturais do Projeto Radambrasil. A compatibilização visou à uniformização de conceitos e de legendas com a redefinição dos domínios morfoestruturais, regiões e unidades geomorfológicas, representando um avanço em relação ao mapeamento original. Essa compatibilização baseou-se nos procedimentos contidos no Manual Técnico de Geomorfologia (IBGE, 1995) e no Mapa de Unidades de Relevo do Brasil na escala de 1:5.000.000 (IBGE, 2006).

A Figura 6.2 apresenta as Unidades Geomorfológicas da Bacia Hidrográfica do São Francisco, segundo Brasil/MMA (2011). Apresenta-se, nos tópicos a

seguir, uma discussão das unidades geomorfológicas consideradas mais pertinentes à área regional de trabalho do Projeto Carste São Francisco. Essas unidades se agrupam em quatro grandes classes geomorfológicas que são as seguintes: Depósitos sedimentares Quaternários; Bacias e coberturas sedimentares Fanerozoicas; Cinturões móveis Neoproterozoicos; Cratons Neoproterozoicos.

### **6.3.1 Depósitos sedimentares Quaternários**

Compõem as áreas de acumulação mapeadas ao longo do Rio São Francisco e em trechos de alguns de seus afluentes. Duas categorias geomorfológicas são distinguidas.

#### **Planícies do São Francisco**

Compõem as áreas de acumulação mapeadas ao longo do Rio São Francisco e em trechos de alguns de seus afluentes, incluindo apenas uma unidade geomorfológica que é a seguinte:

- **Várzeas e Terraços Fluviais:** Trata-se de áreas de planície compostas por várzeas e terraços, sujeitas a inundações na época das enchentes. Ocorrem ao longo do Rio São Francisco e de seus principais afluentes, mas nem sempre são mapeadas na escala de 1:1.000.000. No médio curso do Rio São Francisco é onde essas planícies são mais expressivas com extensas faixas de terraços, diques aluviais, cicatrizes de meandros e paleocanais.

#### **Piemontes Inumados**

Caracterizam-se por extensos planos inclinados em direção ao Rio São Francisco, recobertos por depósitos predominantemente arenosos, inconsolidados e, localmente, por coberturas detríticas. Três unidades são distinguidas nessa categoria.

- **Campos de Areias do Médio São Francisco:** Apresentam descontinuidade espacial constituindo dois setores: um ao longo da represa de Sobradinho e outro a oeste da Serra do Estreito. Predomina um campo de dunas interiores de formas longitudinais e parabólicas, localmente fitoestabilizadas, intercaladas por vales e brejos, e por zonas de espraiamento formando planos arenosos em altitudes que variam de 400 a 500 m.
- **Depressão dos Rios Grande e Preto:** Relevos aplainados conformando rampas convergentes com caimento em direção ao vale do Rio São Francisco e seus afluentes, com fraco grau de inclinação, partindo dos sopés da Chapada de Tabatinga.



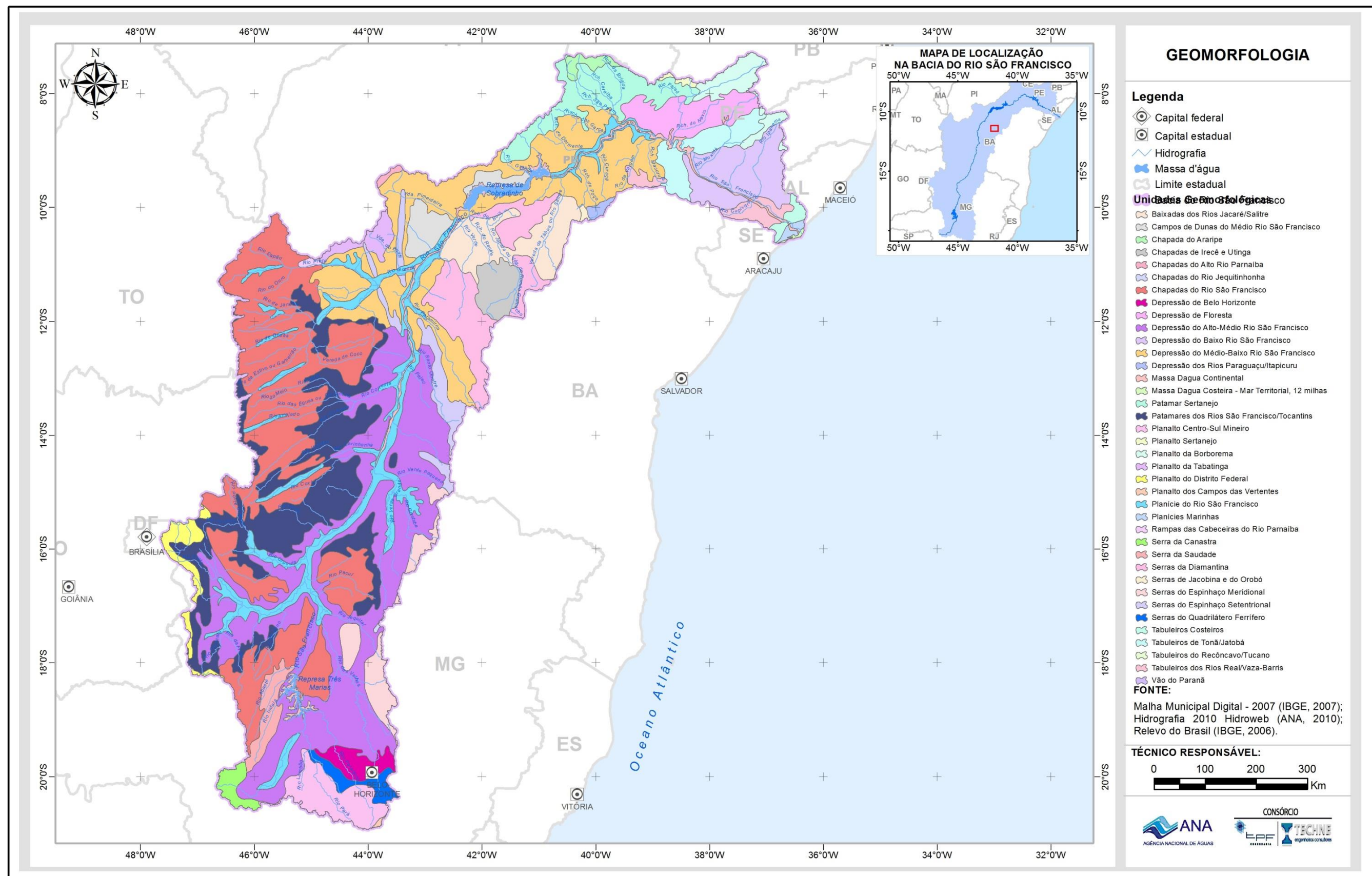


Figura 6.2 - Mapa das Unidades Geomorfológicas que compoem a Bacia Hidrográfica do São Francisco.



- Superfície de Morpará: Planos irregulares e leques coluviais com cobertura de depósitos detríticos areno-argilosos, em altimetrias médias de 400 m. Dispõem-se no sopé das serras da borda ocidental da Diamantina, com caimento em direção à calha do Rio São Francisco.

### 6.3.2 Bacias e coberturas sedimentares Fanerozoicas

Correspondem às chapadas e aos tabuleiros desenvolvidos sobre rochas sedimentares horizontais e sub-horizontais em ambientes de sedimentação diversos. Esses relevos entalham os sedimentos principalmente de idade cretácea, correspondendo essencialmente aos arenitos das Formações Urucuia, Areado e Mata da Corda. Nesse domínio foram identificadas seis categorias geomorfológicas.

#### 1) Chapadas da Bacia Tucano/Jatobá

Chapadas talhadas em rochas sedimentares da Bacia Tucano-Jatobá situadas em ambas as margens do Rio São Francisco, no trecho da represa de Itaparica. O conjunto de falhas na área do vale separou os dois blocos, permitindo a identificação de duas unidades, situadas fora da nossa área de trabalho.

- Chapada do Raso da Catarina: Domínio das feições planas relacionadas à horizontalidade dos arenitos da Formação Marizal, em altimetrias que variam de 400 e 500 m. Essas feições estão inumadas por sedimentos arenosos e, ao longo dos vales, apresentam dissecação incipiente, em lombas<sup>10</sup>. Na parte centro-norte destaca-se um topo plano bem conservado, limitado por ressalto e em altitude mais elevada, conhecido como Serra de Tonã. Trata-se de um topo residual esculpido em rocha calcária. Os rios que drenam esta unidade apresentam vales encaixados que em alguns trechos formam cânions, como no vale do Riacho do Gama.
- Chapada de Serra Talhada: Corresponde a topos planos inumados por depósitos areno-argilosos cenozoicos e esculpidos nos arenitos da Formação Marizal. Contornando os topos mais conservados, entre os quais se destaca a Chapada da Serra Talhada, ocorrem planos retocados com dissecação incipiente. No trecho nordeste, a erosão expôs os arenitos das Formações Inajá e Tacaratu, sotopostas à Formação Marizal, com ocorrência de relevos dissecados em lombas e relevos residuais: morros e cristas. Essa unidade limita-se com o Pediplano do Baixo São Francisco por uma escarpa monoclinal.

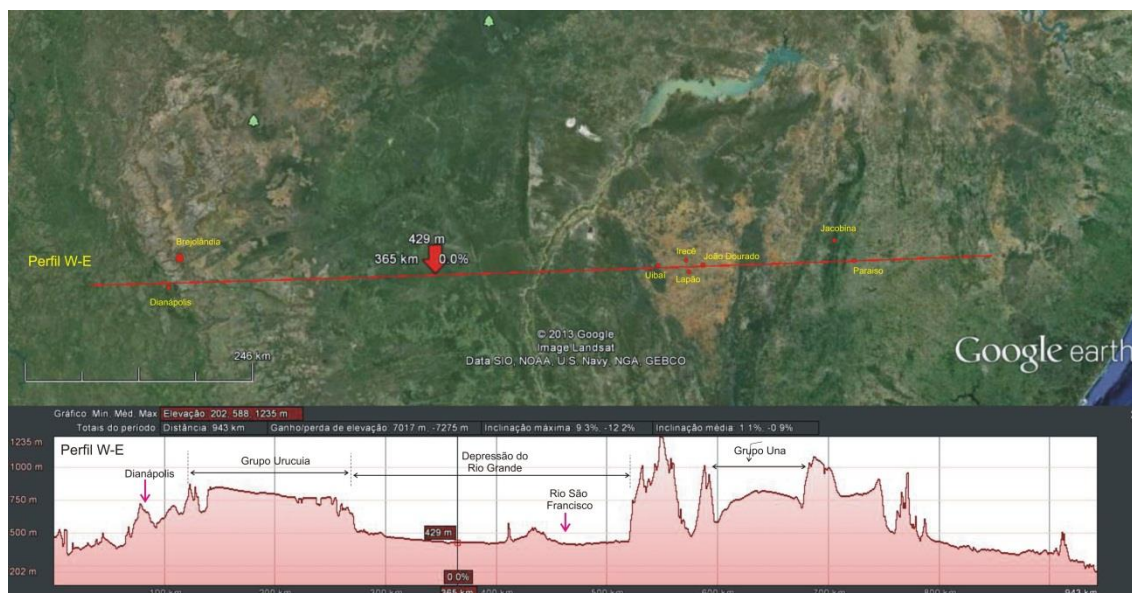
#### 2) Chapadões Ocidentais

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 m, onde as cotas mais elevadas estão próximas à borda ocidental, conforme mostrado nas figuras 6.3 e 6.4. As feições de relevo dessa região foram esculpidas sobre os arenitos de idade cretácea da Formação Urucuia.

---

<sup>10</sup> Lomba = Crista arredondada de colina, serra ou monte

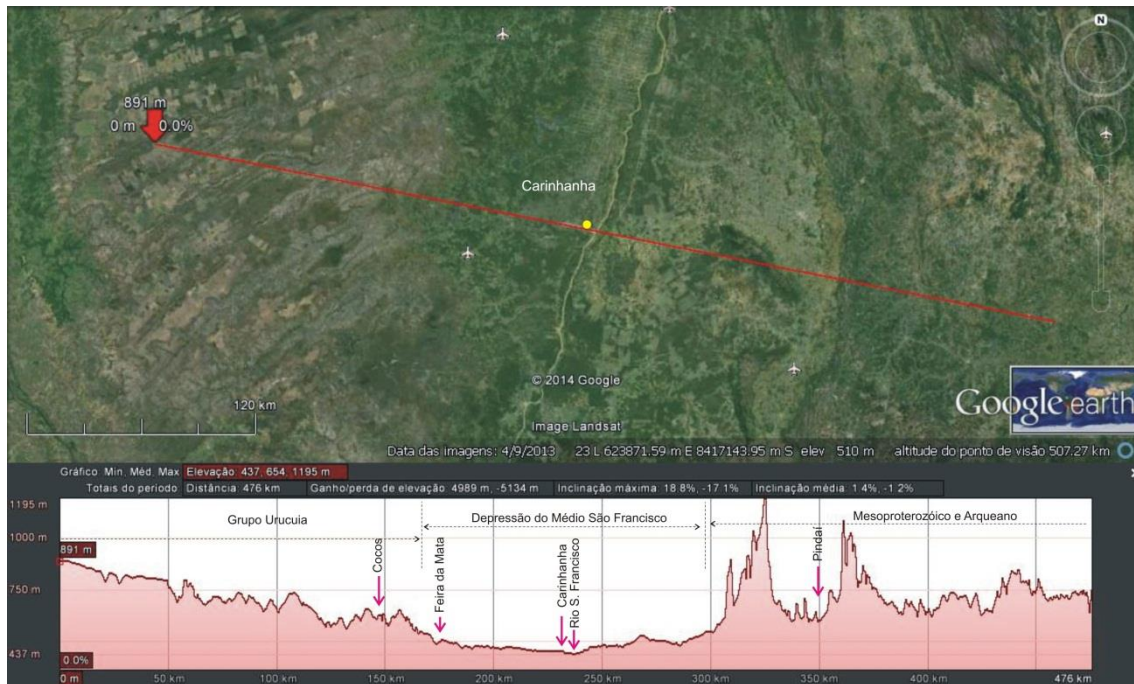
Em alguns trechos os planos estão inumados por cobertura areno-argilosa cenozoica, sobreposta aos arenitos. A rede de drenagem caracteriza-se por apresentar padrão paralelo a subparalelo com direção geral SO-NE, evidenciando um controle estrutural. Os vales estão embutidos na superfície aplainada, apresentando-se em geral, como veredas e marimbus<sup>11</sup>, cuja formação está relacionada com a presença do lençol freático próximo à superfície e com a porosidade e permeabilidade do material. Os chapadões foram subdivididos em cinco unidades geomorfológicas, descritas a seguir.



**Figura 6.3 - Corte regional W-E passando em Irecê/BA.**

- Chapada do Rio Sapão: Topos planos inumados por sedimentos predominantemente arenosos, limitados por escarpas e recortados pela drenagem do Rio Preto e seu afluente Rio Sapão que elaboraram amplos vales embutidos na superfície de topo. Esses vales foram posteriormente aplainados e atualmente apresentam dissecação incipiente. Nas calhas dos rios ocorrem as várzeas que, em alguns trechos, assumem a feição de veredas.
- Chapada do Rio Grande: 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 capturas 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.

<sup>11</sup> Brejo, pântano nas margens de rios



**Figura 6.4 - Corte regional NW-SE passando em Carinhanha/BA.**

- Chapada de Baianópolis: Caracteriza-se por relevo plano com dissecação incipiente, drenado por afluentes da margem direita do Rio Grande, cujas acumulações ao longo dos canais conformam marimbus. Essas feições se diferenciam das veredas propriamente ditas, por apresentarem trechos espriados formando alagadiços que dificultam o fluxo dos rios. A superfície dessa chapada apresenta caimento topográfico para oeste, em direção ao vale do Rio Grande.
- Chapada do Rio Corrente: Topos planos conservados apresentando maior continuidade na borda ocidental, recortados pela drenagem do Rio Corrente e seus afluentes, entre os quais se destaca o Rio Formoso. Essa drenagem acha-se embutida na superfície aplainada onde elaborou vales alargados com encostas íngremes. Esses vales sofreram o efeito da pedimentação, apresentando planos com dissecação incipiente. Os rios que nascem próximos à escarpa da borda ocidental, a exemplo do que ocorre na Chapada do Rio Grande, também estão ameaçados de captura pela drenagem da Bacia do Rio Tocantins.
- Chapada do Rio Carinhanha: Topos planos limitados por escarpas e recortados pela instalação da drenagem dos rios Itaquari e Carinhanha e seus afluentes, que elaboraram vãos entre as vertentes dissecadas em lombas e colinas. Nesses vãos destacam-se relevos residuais com feições de morros testemunhos da superfície de topo.

### 3) Chapadas do Alto/Médio São Francisco

Compõem-se de feições elaboradas sobre sedimentos predominantemente areníticos de idade cretácica das formações Areado, Mata da Corda e Urucua, em alguns trechos recobertos por coberturas detríticas quaternárias. As estruturas sub-horizontais e horizontais dos arenitos são responsáveis pelas feições tabulares dos topos das chapadas que, em alguns locais, são mantidos

pela presença de couraças. Nos trechos escarpados e nas áreas dissecadas ao longo dos vales afloram arcóseos, metargilitos e metassiltitos, sotopostos aos arenitos cretácicos. Essas chapadas estão em cotas altimétricas que variam de 700 a 1.400 m e pelas suas características e descontinuidade espacial foram subdivididas em três unidades geomorfológicas que são as seguintes.

- Chapada dos Rios Urucuia/Paracatu: Relevo caracterizado por topos planos limitados por escarpas íngremes, ravinadas e, localmente, com paredão rochoso. Os topos foram isolados pela dissecação que ocorreu com a instalação da drenagem das bacias dos rios Urucuia, Paracatu e Carinhanha e que gerou, ao longo dos vales, planos com dissecação incipiente, lombas e colinas. Localmente, destacam-se relevos residuais com feições de morros testemunhos.
- Chapada de Carmo do Paranaíba: Composta por relevos em dois níveis altimétricos bem distintos, onde o nível mais elevado caracteriza-se por topos planos limitados por escarpas, configurando-se como residuais de uma superfície cimeira. O nível mais baixo apresenta-se como um plano com dissecação incipiente que resultou em lombas e em colinas. Essa chapada acha-se seccionada pelo vale do Rio São Francisco, onde o bloco a leste é conhecido como Serra do Repartimento.
- Chapada dos Rios Verde Grande/Jequitaí: Situada entre os vales dos rios São Francisco, Verde Grande e Jequitáí, caracteriza-se por topos planos muito recortados, inumados por sedimentos detríticos lateritizados, e limitados por escarpas dissecadas em colinas. Ocorrem com frequência morros testemunhos remanescentes da superfície de topo.

### **6.3.3 Cinturões móveis Neoproterozoicos**

Esse domínio está associado aos relevos elaborados em terrenos dobrados e falhados, correspondendo às áreas cratônicas remobilizadas por ciclos tectônicos posteriores, relativos ao Neoproterozoico, cujas litologias incluem principalmente metamorfitos e granitoides associados. O domínio corresponde aos relevos da faixa remobilizada do Nordeste Oriental e da faixa que ocorre nas bordas sul e sudeste da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, abrangendo quatro regiões ou categorias geomorfológicas.

#### **1) Planaltos do Espinhaço Meridional**

Compreendem compartimentos planálticos descontínuos espacialmente, com as feições morfológicas refletindo as condições litoestruturais, dobramentos e falhamentos que afetaram as coberturas plataformais metassedimentares de natureza essencialmente quartzítica. Essas estruturas, originadas no Mesoproterozoico, foram afetadas posteriormente pelos eventos tectônicos relativos ao Neoproterozoico, correspondente à Faixa Araçuaí e tipificados por falhas de empurrão. Esses eventos posteriores não atingiram a parte norte do Espinhaço, levando à sua inclusão em outro domínio morfoestrutural. São divisores de águas das bacias dos rios São Francisco, Jequitinhonha e Doce, com os rios controlados por falhas e fraturas. Pelas suas peculiaridades, esses planaltos foram grupados em três unidades geomorfológicas.



- Serras do Espinhaço Central: Apresentam descontinuidade espacial, separadas pelos Patamares Ocidentais do Espinhaço e pelas Depressões Interiores, compondo-se principalmente por cinco blocos serranos: Serra Monte Alto, Serra Central, serras Rochedo/Curralinho, Serra Nova e Serra Catuni. Esses relevos integram vasta estrutura geológica tipo anticlinório, com as feições morfológicas associadas a dobramentos e falhamentos perpendiculares ao eixo da estrutura. Essas feições se dispõem numa faixa alongada na direção geral sul-norte. As serras da borda oriental do anticlinório estão em geral alinhadas na direção citada e conformam blocos com topos planos inumados, limitados por escarpas. Na área de Serra Nova os topos são em degraus, semelhantes a patamares estruturais. Na borda ocidental da estrutura, os topos planos estão separados por relevos dissecados e o conjunto é limitado a oeste por uma escarpa de falha.
- Serras do Espinhaço Meridional: Correspondem a blocos serranos e superfícies estruturais de altitude, dispostos numa direção geral sul-norte, atingindo níveis altimétricos superiores a 1.000 m, chegando a até 2.000 m. Apresentam descontinuidade espacial, destacando-se dois blocos, onde o primeiro está situado na borda da bacia, funcionando como divisor de águas dessa bacia com a do Rio Doce. Seu limite oeste constitui uma escarpa escalonada, adaptada à falha, compondo paredões desnudos e esporões acentuados. O segundo bloco é o que se destaca como divisor de águas das drenagens das sub-bacias dos rios Jequitaí e das Velhas, e corresponde à Serra do Cabral. As feições morfológicas desses blocos são, em geral, derivadas da litoestrutura, que apresenta dobramentos fortemente perturbados pela tectônica de falhas, e caracterizam-se pela dissecação estrutural, gerando planos irregulares exumados, cristas residuais e, localmente, topos planos residuais inumados, limitados por escarpas.
- Depressões Interiores do Espinhaço: São compartimentos embutidos tanto nas serras do Espinhaço Central como nas serras do Espinhaço Meridional, em níveis altimétricos em torno dos 800 m. São resultantes de uma fase de pedimentação que gerou relevos planos com dissecação incipiente, propiciada pela instalação posterior da drenagem que, em certos trechos, esculpiu lombas e colinas.

## 2) Planaltos Centro-Sul de Minas

Correspondem a conjuntos de relevos dissecados, topograficamente desnivelados, abrangendo apenas uma unidade geomorfológica.

- Planalto dos Campos das Vertentes: Caracteriza-se por relevos dissecados em formas colinosas, formando uma paisagem de “mares de morros”, com cristas residuais, em cotas altimétricas variando de 400 a 1.300 m, entalhando litologias do Complexo Divinópolis, destacando-se granitos, granodioritos e gnaisses. No setor ocidental as formas de relevo estão orientadas pela litoestrutura e apresentam topos nivelados. A ocorrência de formações superficiais espessas nas encostas localmente declivosas facilita o aparecimento de ravinas e voçorocas.

## 3) Serras do Quadrilátero Ferrífero

Caracterizam-se por alinhamentos de serras entre as quais se destacam as da Moeda e a do Curral, situadas em altimetrias em torno de 1.000 m, podendo chegar a até 1.900 m. Sua denominação está relacionada aos grandes depósitos de minério de ferro da região, associados aos quartzitos ferruginosos. Uma unidade geomorfológica é distinguida nessa categoria.

- Alinhamentos de Cristas do Quadrilátero Ferrífero: Correspondem a conjuntos de cristas e linhas de cumeada orientadas pelas estruturas geológicas, marcados em alguns trechos por escarpas de falha. A crista que mais se destaca é conhecida como Serra da Moeda e está orientada na direção norte-sul, limitando a unidade para oeste. O prolongamento noroeste da unidade caracteriza-se por feições colinosas um pouco alongadas.

#### 4) Planaltos da Canastra

Caracterizam-se por lineamentos de orientação preferencial ESE-WNW, com dobramentos perturbados por falhas de mesmo direcionamento, secundariamente interceptadas por falhamentos subortogonais. Essas estruturas originaram feições morfológicas de serras e patamares esculpidas em litologias do Grupo Canastra compostas por filitos, sericita-xistos, quartzitos, micaxistos e xistos calcíferos. Trata-se da área das nascentes do Rio São Francisco e divisor de águas desta bacia com a do rio Paraná. Apenas uma unidade geomorfológica é individualizada.

- Serras e Patamares da Canastra: As formas de relevo que caracterizam essa unidade são cristas, barras e residuais de topo plano, limitados por escarpas, em altitudes que chegam a 1.400 m. Geralmente as encostas são íngremes e ravinadas. Os topos planos são heranças da superfície de aplainamento que truncou as estruturas geológicas. Em níveis topográficos mais baixos, em torno de 1.000 m, ocorrem níveis de dissecação em amplas colinas com topos tendendo a planos com vertentes convexas e rampeadas. Conformam patamares entre as serras e a Depressão do Alto São Francisco.

### 6.3.4 Cratons Neoproterozoicos

Esta classe geomorfológica inclui os planaltos residuais e as depressões interplanálticas, tendo como embasamento as áreas menos afetadas pelos ciclos tectônicos, com a dominância de metamorfitos e granitoides associados, incluindo rochas sedimentares metamorfizadas. Ela corresponde ao cráton do São Francisco, subdividido em onze categorias ou regiões geomorfológicas.

#### (1) Depressões do Submédio São Francisco

Caracterizam-se por superfícies de erosão polifásica que truncaram as rochas granito-gnáissicas e gnáissicas do complexo Caraíba-Paramirim. Elas são recobertas, em trechos, por depósitos areno-argilosos cenozoicos. Na parte sudoeste da região afloram os calcários da Formação Caatinga de idade quaternária. Pela situação topográfica, localizada entre os Patamares dos Divisores São Francisco/Parnaíba, o Planalto da Diamantina e as Chapadas da Bacia Tucano/Jatobá, assumem um caráter de depressões interplanálticas em cotas altimétricas entre 400 e 500 m. Pelas suas características de relevo foram identificadas duas unidades:

- Superfície de Curaçá: Sistemas de planos resultantes da superfície de erosão modelada pelos processos de pediplanação que atuaram na área, apresentando caimento em direção ao Vale do Rio São Francisco. Esses planos localmente estão dissecados em lombas e em colinas e coalescem com as áreas abaciaadas, resultantes da convergência de leques de espraiamento coluvial que ocorrem principalmente ao sul da cidade de Curaçá/ BA e nos interflúvios do Riacho Grande, Rio Salitre e Riacho Tourão. Destacam-se, dispersos na paisagem, relevos residuais – inselbergues – em forma de cristas e de morros, alinhados segundo a litoestrutura.
- Superfície de Petrolina: Superfície plana resultante dos processos de pediplanação que ocorreram na área, rampeada em direção ao Vale do São Francisco. A instalação da rede de drenagem resultou num processo de dissecação em lombas e em colinas, principalmente ao longo dos vales, gerando um nível topográfico mais baixo que o da superfície, limitando-se com esta através de ressaltos. Há ocorrência de relevos residuais – inselbergues – em cristas e em morros, alinhados segundo a litoestrutura.

## (2) Planaltos Residuais.

Apenas um pequeno trecho dessa região está na Bacia do Rio São Francisco e compreende a terminação norte de uma dorsal constituída por relevos dissecados e vales estruturais que entalham quartzitos, filitos e granitos afetados por dobramentos e falhamentos. Apenas uma unidade geomorfológica pode ser identificada nessa categoria.

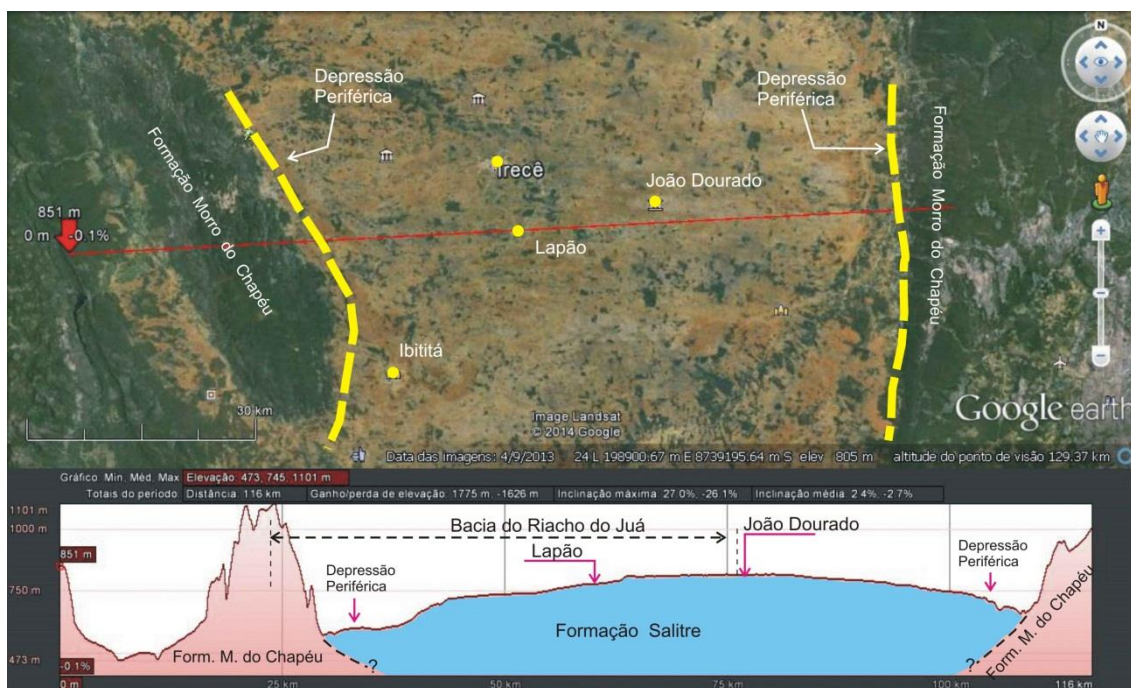
- Serra de Jacobina: Compreende a terminação norte da serra em altitudes que variam entre 500 e 700 m, com residuais de topos planos limitados por escarpas, intercalados por conjuntos de morros e cristas com encostas íngremes e vales profundos adaptados à estrutura geológica. Na parte oeste, os relevos estão em nível altimétrico mais baixo, formando um vão em relação ao topo da serra e aos relevos da Baixada do Rio Salitre.

## 3) Reversos do Planalto da Diamantina

Trata-se de um compartimento rampeado em direção ao Vale do Rio São Francisco, embutido entre as elevações da Chapada Diamantina. As ocorrências de rochas calcárias e sedimentos areno-argilosos interferiram nas feições morfológicas, caracterizadas por superfícies planas e relevos cársticos com formas resultantes da dissolução dos carbonatos, em altimetrias que variam de 400 m nas baixadas, a 800 m na chapada. A ocorrência dos calcários possibilitou o desenvolvimento de uma drenagem subterrânea. Esta região geomorfológica se divide em três unidades:

- Chapada de Irecê: Compartimento embutido entre as chapadas do Morro do Chapéu e as serras da Chapada Diamantina Ocidental, caracterizado por uma superfície plano-abaulada com formas de dissolução de rochas calcárias da Formação Salitre (ver Figura 6.5). Essas formas caracterizam-se principalmente por dolinas, grutas, sumidouros e ressurgências. Entre as grutas destaca-se a dos Brejões, localizada no limite dessa unidade com as chapadas do Morro do

Chapéu. O Rio Jacaré ou Vereda do Romão Gramacho, que drena essa unidade, penetra nessa gruta ressurgindo adiante, tendo contribuído ao seu modelado. O limite dessa unidade com a Baixada dos rios Jacaré/Verde é marcado por degraus que constituem um patamar estrutural. Esta unidade geomorfológica está incluída no Subdomínio Hidrogeológico Va que será discutido em um volume posterior do presente relatório.



**Figura 6.5 - Morfologia da Chapada de Irecê.**

- Baixada do Rio Salitre: Caracteriza-se por planos rampeados na direção do Vale do Rio São Francisco, inumados por depósitos areno-argilosos cenozoicos, destacando-se, na parte leste, relevos residuais de topo plano. No trecho sul da unidade, onde afloram os calcários Neoproterozoicos da Formação Salitre, e no vale do rio de mesmo nome, onde ocorrem os sedimentos calcíferos da Formação Caatinga, há uma grande incidência de exocarstes e endocarstes, principalmente dolinas e grutas, sendo a do Icó, próxima à Várzea Nova/BA, a mais conhecida. O Rio Salitre apresenta vale encaixado com controle estrutural, com encostas abruptas esculpidas nos calcários, em alguns trechos conformando cânions. Esta unidade, como a anterior, está incluída no Subdomínio Hidrogeológico Va.
- Baixada dos Rios Jacaré/Verde: São planos rampeados na direção do Vale do São Francisco, inumados por depósitos areno-argilosos cenozoicos. Nos vales dos rios Verde e Jacaré ou Vereda do Romão Gramacho, onde afloram os sedimentos calcíferos da Formação Caatinga, desenvolveu-se um carste coberto por material de alteração da cobertura preexistente, com feições em superfície, originadas pela dissolução do calcário, representadas principalmente pelas dolinas, muito concentradas na margem esquerda do Rio Jacaré. Este rio e o



Verde apresentam vales encaixados com encostas íngremes esculpidas nos calcários, com trechos em cânion. Esta unidade, como a anterior, está incluída no Subdomínio Hidrogeológico Va.

#### 4) Planalto da Diamantina

Conjuntos de relevos topograficamente elevados, conhecidos também como Chapada Diamantina, com cotas que variam de 800 a 1.800 m, refletindo um forte controle estrutural. Conformam uma sucessão de cristas, escarpas e vales direcionados, adaptados a falhas e fraturas, resultantes da tectônica que gerou os dobramentos da região. Sua litologia é constituída por metarenitos, metassiltitos, metargilitos e metaconglomerados do Grupo Chapada Diamantina, de idade Mesoproterozoica. Trata-se do divisor de águas das bacias do São Francisco, Paraguaçu e de Contas e, pelas suas características, foram grupados em quatro unidades geomorfológicas.

- Blocos Planálticos Setentrionais da Diamantina: Correspondem a feições de relevo elaboradas nas litoestruturas da área, compostas principalmente por ampla dobra anticlinal que, posteriormente, foi afetada por uma tectônica de falhas. Essas feições caracterizam-se por superfícies estruturais irregulares, conformando em suas bordas facetas triangulares (chevrons) resultantes da inclinação das camadas da rocha, e dissecação marcada por controle estrutural, seccionadas pela drenagem adaptada a linhas de fraqueza. Esses blocos são conhecidos regionalmente pela denominação de serras, onde se destacam as do Escurial, da Cascavel, do Curral Feio e do Boqueirão da Onça. As diferenças litológicas permitiram que o centro da anticlinal fosse erodido, gerando uma depressão embutida drenada pelo Riacho da Bazuá e limitada por bordas escarpadas. O bloco localizado no setor noroeste é conhecido como Serra do Boqueirão da Onça ou São Francisco, e caracteriza-se por uma superfície em degraus limitados por escarpas monoclinais com reverso dissecado.
- Chapadas de Morro do Chapéu: São feições modeladas numa estrutura representada por ampla anticlinal esvaziada, limitada por escarpas monoclinais, das quais, uma no lado leste é conhecida como Serra do Tombador. Caracterizam-se por superfícies planas resultantes do aplainamento que trancou os topos da anticlinal, geralmente inumadas por material arenoso derivado da alteração dos metarenitos, e localmente exumadas pela erosão que expôs a rocha. Na borda da estrutura, a inclinação das camadas originou feições denominadas de facetas triangulares (chevrons).
- Serras da Borda Ocidental da Diamantina: Correspondem ao flanco ocidental do Planalto da Diamantina onde o sistema de dobramentos afetado pela tectônica de falhas gerou cristas alinhadas com vertentes íngremes, escarpas adaptadas a falhas e escarpas monoclinais, além de cristas assimétricas (hogbacks<sup>12</sup>) e vales estruturais. A parte sul dessa unidade é caracterizada por uma superfície estrutural. Nessa área, a

---

<sup>12</sup> Cuesta cujo rebordo tem inclinação acentuada

oeste de Paramirim/BA, destaca-se a sinclinal de Água Quente, conformando uma depressão embutida limitada por bordas abruptas. O piso da depressão é formado por rampas arenosas. Os blocos que compõem essa unidade são conhecidos como serras. Na parte norte destacam-se as serras Azul, de Mirorós, dos Venturas e Ponta do Sene. Na parte sul, a escarpa que limita a unidade a oeste é conhecida como Serra da Mangabeira.

- Pediplano Central da Diamantina: Trata-se de um compartimento embutido entre as serras da Borda Ocidental da Diamantina, caracterizado por um altiplano remanescente da superfície de aplainamento que truncou as áreas centrais de anticlinais e sinclinais, inumado por espessa cobertura. A drenagem que se instalou nessa área apresenta trechos retilinizados, evidenciando um controle estrutural.

#### 5) Patamares dos Chapadões Ocidentais

A região geomorfológica assim denominada equivale aos relevos dissecados que ocorrem na borda dos chapadões, entalhando as litologias calcárias do Grupo Bambuí e os arenitos da Formação Urucuia, e conformando um nível intermediário entre o topo dos chapadões e as Depressões Interplanálticas do Alto/Médio São Francisco. Suas cotas altimétricas variam entre 500 e 800 m. Trata-se de uma área de nascente de rios afluentes de sub-bacias do Rio São Francisco, com vales encaixados, localmente formando cânions. A região engloba três unidades geomorfológicas.

- Patamares das Chapadas dos Rios Sapão/Baianópolis: Caracterizam-se por relevos de topos planos limitados por escarpas ravinadas, conformando residuais dos chapadões, e por áreas rampeadas, que contornam os topos e estão dissecadas em colinas e lombas. Nesta unidade, os topos residuais são mais restritos e há uma ocorrência mais significativa dos planos cársticos recobertos por material detrítico, o qual foi removido em alguns trechos. Nessa área, os patamares limitam-se com a Depressão Sanfranciscana através de escarpas.
- Serra do Ramalho: Compõe-se principalmente por duas feições morfológicas: uma superfície aplainada dissecada em lombas entalhando os arenitos, localizada na parte oeste, e planos cársticos elaborados sobre os calcários na porção leste. Esses planos apresentam-se recobertos por material detrítico, mas na borda da unidade, no contato com a Depressão Sanfranciscana, a erosão exumou-os. A superfície aplainada está situada em nível intermediário entre o topo dos chapadões e o piso da depressão e nela ocorrem também relevos residuais de topo plano, em posição interfluvial, remanescentes dos chapadões. A drenagem que retocou essa superfície, representada por trechos dos rios Formoso e Itaguari, dissecou seus trechos, originando formas colinosas e vales encaixados adaptados à estrutura.
- Patamar da Chapada do Rio Carinhanha: Caracteriza-se por superfície aplainada, recoberta por material detrítico, mas retocada pela drenagem que elaborou amplas lombas esculpidas em arenitos. Em áreas interfluviais ocorrem relevos planos eventualmente limitados por escarpas, configurando-se como residuais do topo dos chapadões.

Também é comum a presença de morros testemunhos, em geral de topo plano, conformando remanescentes da superfície dos chapadões. O Patamar da Chapada do Rio Carinhanha está em um nível topográfico intermediário entre o topo dos chapadões e o piso da depressão, sendo drenado pelos altos cursos dos rios Peruaçu, Pandeiros, Pardo e Acari, e também por afluentes da margem esquerda do Rio Urucuia, com vales encaixados e controlados pela litoestrutura. No trecho compreendido entre os rios Carinhanha e Pardo, a borda do patamar é caracterizada por planos cársticos recobertos, em alguns trechos, por material detrítico. Em outros trechos esse material inexistente, tendo sido removido por erosão. Localmente o limite entre o patamar em análise e a Depressão Sanfranciscana é marcado por escarpas. Na área drenada pelo Rio Acari e pelos afluentes do Urucuia, o relevo acha-se dissecado em feições colinosas, alinhadas segundo a litoestrutura.

#### (6) Planaltos do Espinhaço Setentrional

Caracterizam-se por um modelado formado por cristas, barras em relevo dobrado, hogbacks e escarpas, e áreas intensamente dissecadas, além de superfícies estruturais elaboradas pela erosão que exumou os dobramentos. Em alguns trechos, ocorrem superfícies planas inumadas por cobertura detrítica. As condições litoestruturais dessa região estão relacionadas a dobramentos e falhamentos que afetaram os metassedimentos de natureza essencialmente quartzítica, relacionados a eventos ocorridos no Mesoproterozoico. Esses relevos dispõem-se numa orientação geral N-S e em altimetrias que variam entre 800 e 1.100 m, e compõem três unidades geomorfológicas.

- Serras Setentrionais do Espinhaço: Predominam formas de relevo resultantes da atuação dos processos erosivos sobre os dobramentos fortemente afetados pela tectônica de falhas, conformando cristas com vertentes íngremes, barras de relevo dobrado, escarpas adaptadas à falha e cristas assimétricas (hogbacks), destacando-se em meio a um relevo dissecado marcado por forte controle estrutural. Em alguns trechos ocorrem topos planos inumados por material detrítico remanescente da superfície de erosão que truncou os alinhamentos estruturais. Esses relevos são conhecidos regionalmente como Serra das Mangabeiras, Serra do Boqueirão e Serra Geral ou da Garapa, entre outras. A drenagem que se instalou na área é representada principalmente pelo Rio Santo Onofre e seus afluentes, e apresenta forte controle estrutural com vales encaixados e de vertentes íngremes.
- Serras do Boqueirão e Estreito: Correspondem a feições de topos planos truncados pela pediplanação que atuou na área, alongados segundo as direções litoestruturais, com vertentes dissecadas e de forte declividade. Seus topos estão em altitudes entre 700 e 800 m e os sopés em geral acham-se inumados por material arenoso, resultante da alteração dos quartzitos das serras. Enquanto na Serra do Estreito os topos planos estão inumados por material detrítico, na Serra do Boqueirão os topos acham-se exumados pelos processos erosivos que removeram a cobertura. O setor sudeste dessa última serra apresenta-se bifurcado com o ramo leste achando-se dissecado em formas

abauladas e cristas, refletindo a estrutura dobrada. O Rio Grande, que nasce no chapadão do Urucuia e o disseca, drena suas águas subterrâneas e as leva a banhar São Desidério e Barreiras, fazendo-as cortar em seguida essas duas proeminentes cristas do Supergrupo Espinhaço, formando agudos boqueirões, antes de se lançar no São Francisco, na cidade de Barra.

- Superfície dos Gerais: Corresponde a uma área plana inumada por cobertura detrítica, resultante da superfície de aplainamento que truncou as litologias que compõem o Espinhaço. Em alguns trechos, o relevo é caracterizado por rampas convergentes formando áreas embaciadas e na parte leste a área plana acha-se retocada por uma dissecação que gerou amplas lombas. O limite oeste da unidade é limitado por escarpas e nessa área a dissecação é mais acentuada, com formas abauladas refletindo a litoestrutura.

#### (7) Chapada da Tabatinga

Esta região geomorfológica situa-se no extremo noroeste do estado da Bahia e sul do estado do Piauí. É caracterizada por relevo plano elevado em relação às unidades vizinhas, sendo elaborada em quartzitos do Grupo Rio Preto, de idade proterozoica. A chapada apresenta uma cobertura areno-argilosa e exhibe vertentes dissecadas. Funciona como divisor de águas das bacias dos rios São Francisco e Parnaíba em cotas altimétricas superiores a 700 m. Inclui apenas uma unidade.

- Borda Meridional da Chapada da Tabatinga: Formada por topos planos limitados por vertentes dissecadas localmente escarpadas, inumados pela cobertura areno-argilosa. Esses topos estão contornados por um relevo dissecado em cristas e morros, resultantes da atuação dos processos erosivos que retiraram a cobertura, expondo a litoestrutura.

#### (8) Depressões Interplanálticas do Alto/Médio São Francisco

Correspondem a extensos planos rampeados que partem dos relevos elevados dos patamares dos Chapadões Ocidentais e das serras de Unaí, da Saudade e da Canastra a oeste, dos alinhamentos de cristas do Quadrilátero Ferrífero a sul e do Espinhaço a leste. Esses planos foram elaborados pelos processos de pediplanação e pedimentação que atuaram na área, e remodelados pela drenagem do Rio São Francisco e seus afluentes, nesse trecho, sobre litologias carbonáticas do Grupo Bambuí e rochas do embasamento cristalino recobertas em muitos trechos por coberturas detríticas. Estão em cotas altimétricas que variam de 400 a 900 m e compreendem seis unidades geomorfológicas.

- Depressão do Paramirim: Situada entre as Serras da Borda Ocidental da Diamantina e as Serras Setentrionais do Espinhaço, caracteriza-se por planos rampeados em direção ao Vale do Rio Paramirim. Estão recobertos por material coluvial. A instalação da drenagem retrabalhou a superfície original, isolando topos planos residuais limitados por ressaltos topográficos. No sopé das serras da Borda Ocidental ocorrem rampas resultantes dos processos de pedimentação, com concentração de material arenoso proveniente da erosão dos quartzitos das serras. Nessa unidade, destacam-se relevos residuais – inselbergues – em forma de morros e cristas, alinhados segundo a litoestrutura. Em um dos



conjuntos, as cristas são assimétricas (hogbacks) e conhecidas na região como Serra do Carrapato.

- Depressão de Guanambi: Caracteriza-se por planos rampeados em direção ao Vale do Rio São Francisco, inumados por coberturas detríticas na parte norte e exumados na parte sul. Nesse trecho, ocorrem com frequência relevos residuais – inselbergues – conformando morros, além de lajedos e de depressões arredondadas e/ou ovaladas, geralmente fechadas, ligadas ou não à rede de drenagem.
- Depressão do Médio São Francisco: Dominância dos planos cársticos recobertos por material detrítico, inclinados em direção ao Vale do São Francisco, cujos limites com os patamares dos Chapadões Ocidentais são assinalados por bordas escarpadas. Nessas áreas, a dissolução dos carbonatos originou dolinas, sumidouros e ressurgências, além de morros cársticos. A maior ocorrência das dolinas está nos interflúvios dos rios Verde Grande e Salinas. Nas áreas onde as coberturas detríticas se superpõem ao calcário, os planos estão inumados.
- Depressão do Alto São Francisco: Caracteriza-se por uma superfície de aplainamento retocada pela instalação da rede de drenagem, rampeada em direção ao Vale do São Francisco e dissecada em alguns trechos em feições de lombas e colinas de encostas côncavo-convexas, ravinadas. Nas áreas planas ocorrem depressões fechadas, de formas alongadas e circulares, ligadas ou não à rede de drenagem. Trata-se da área da Alta Bacia do Rio São Francisco, onde os vales geralmente têm fundo plano e canais meandrantés.
- Depressão de Belo Horizonte: Composta por formas colinosas resultantes da esculturação da superfície de aplainamento desenvolvida entre a borda setentrional dos Alinhamentos de Cristas do Quadrilátero Ferrífero e as Depressões do Alto e Médio São Francisco. As cotas altimétricas ficam em torno de 900 m. A área é drenada pelos altos cursos dos rios das Velhas e Paraopebas, cujos canais apresentam-se assoreados pelo material resultante da exploração do minério de ferro efetuada a montante.
- Depressão dos Rios Urucuia/Paracatu: Trata-se da superfície que se desenvolveu ao longo dos vales do Urucuia e do Paracatu e seus afluentes, entre as serras e as chapadas da área, em níveis altimétricos entre 500 e 700 m, com caimento na direção geral do Rio São Francisco. Em alguns trechos, essa superfície acha-se dissecada em feições de lombas e colinas. A drenagem da área caracteriza-se em alguns trechos por veredas que, às vezes, se interligam com depressões fechadas, localmente inundadas e de forma irregular, que ocorrem principalmente na área das nascentes do Rio Paracatu.

#### (9) Patamares do Alto/Médio São Francisco

Correspondem a degraus rampeados e com relevos dissecados desenvolvidos entre as chapadas e as depressões e entre estas e o Espinhaço, apresentando descontinuidade espacial. Entalham litologias predominantemente calcárias do Grupo Bambuí e rochas cristalinas recobertas em alguns trechos por material detrítico. Estão em níveis altimétricos que variam de 600 a 1.000 m e compõem-se de três unidades.

- Patamar de João Pinheiro: Situa-se entre a Chapada do Carmo do Paranaíba e a Depressão dos Rios Urucuia/Paracatu, no trecho correspondente ao Vale do Rio Paracatu, dos quais se limita por ressaltos topográficos. Caracteriza-se por cristas alinhadas, intercaladas por áreas dissecadas com feições de lombas e colinas alongadas. Os vales são encaixados e alinhados segundo as litoestruturas regionais. Ocorrência de relevos residuais em cristas e em morros testemunhos, remanescentes da chapada.
- Patamares Ocidentais do Espinhaço: Dispõem-se entre o Espinhaço e as Depressões Interplanálticas do Alto/Médio São Francisco, apresentando descontinuidade espacial e características diferenciadas que permitem a identificação de dois setores. Os patamares situados entre as serras setentrionais do Espinhaço e do Espinhaço Central correspondem a degraus esculpidos em rochas cristalinas e caracterizam-se por rampas localmente dissecadas em colinas com cobertura coluvial. Em alguns trechos, a cobertura foi retirada, exumando superfícies estruturais. O limite desses patamares com a Depressão de Guanambi é feito através de escarpas. O segundo setor é mais expressivo espacialmente e corresponde aos patamares entre as Serras do Espinhaço Meridional e as Depressões do Alto São Francisco e de Belo Horizonte. Caracterizam-se por uma superfície retocada pela instalação da drenagem com caimento em direção ao Vale do Rio São Francisco, localmente dissecada em lombas e colinas e com planos cársticos, principalmente na parte sul da unidade, com grutas, sumidouros, ressurgências, dolinas e morros cársticos esculpidos em rochas calcárias do Grupo Bambuí.
- Patamar da Chapada dos Rios Verde Grande/Jequitaí: Situa-se na parte leste da chapada, funcionando como um degrau entre esta e a Depressão do Médio São Francisco, caracterizando-se por um relevo em morros e cristas alinhados pelas litoestruturas, alternados por trechos dissecados em colinas, entalhando rochas calcárias do Grupo Bambuí. Ocorrência de morros cársticos, torres, pináculos e grutas.

#### (10) Planaltos Divisores São Francisco/Paranaíba

Correspondem às altas superfícies de erosão degradadas e a um patamar intermediário entre elas e a Depressão dos rios Urucuia/Paracatu, em altitudes que variam de 600 a 1.250 m. Entalham rochas proterozoicas: argilitos, siltitos, calcários e quartzitos submetidos a dobramentos e falhamentos com basculamento de blocos e coberturas detrítico-lateríticas cenozoicas. Duas unidades são distinguidas.

- Serras de Unaí: Correspondem a cristas residuais em rochas calcárias e barras de relevo dobrado, alinhadas na direção NW-SE, intercaladas por planos dissecados em colinas com encostas localmente ravinadas. As cristas apresentam encostas íngremes e algumas delas são monoclinais. Esses relevos conformam um patamar entre o Planalto de Cristalina/Patrocínio e a Depressão dos Rios Urucuia/Paracatu, e estão em cotas altimétricas que variam de 600 a 800 m.
- Planalto de Cristalina/Patrocínio: Compõe-se por relevos tabulares resultantes das altas superfícies de erosão, em níveis altimétricos entre

900 e 1.250 m, conformando rampas inclinadas para oeste. Esses relevos acham-se recobertos por depósitos terciário-quadernários elúvio-coluvionares. Esta unidade limita-se com as serras de Unaí através de escarpamento.

#### (11) Sistemas de Cristas do Alto São Francisco

Trata-se de área tectonizada com dobramentos apertados, constituídos por folhelhos e siltitos e, secundariamente, por arenitos que geraram interflúvios alongados, direcionados de nordeste para sudoeste. Apenas uma unidade geomorfológica é individualizada.

- Serra da Saudade: Essa unidade se caracteriza por interflúvios alongados com uma dissecação marcada por controle estrutural evidente, resultando em colinas, morros e cristas em níveis altimétricos variando de 700 a 1.100 m. A drenagem dessa área integra as sub-bacias dos rios Indaiá, Borrachudo e Abaeté, com vales com encostas íngremes alinhados segundo as litoestruturas.

## 7 Unidades de solos

De acordo com o Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia do São Francisco (2004), no Baixo São Francisco os solos agriculturáveis são os Latossolos, Argissolos, Hidromórficos; além desses ocorrem os Litossolos, Neossolo e Espodossolos. Já entre o Submédio e o Baixo São Francisco ocorrem solos com menor aptidão agrícola: os Brunos Cálcicos são rasos e suscetíveis à erosão; as Areias Quartzosas e os Regossolos apresentam texturas grosseiras com taxas de infiltração muito altas e fertilidade baixa; e planossolos com elevados teores de sódio.

Para unificação da legenda das unidades de solo da área regional foi utilizado o mapa de solos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, produzido a partir dos mapas pedológicos na escala 1:1.000.000 do Projeto RADAMBRASIL.

As legendas foram agrupadas e convertidas para o novo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) e a compatibilização foi realizada de maneira a eliminar repetições e unir as que possuem elevadas semelhanças. Já as unidades de mapeamento foram ordenadas de acordo com os critérios do Manual Técnico de Pedologia do IBGE.

A legenda de identificação dos solos tem unidades de mapeamento formadas por associações de solos compostas por dois ou mais componentes. Figura em primeiro lugar, nessa legenda, o solo que ocupa maior extensão ou, no caso de equivalência, o que seja mais importante para utilização agrícola. Os solos com extensão inferior a 20% da unidade de mapeamento foram considerados como inclusões. As cores e símbolos das unidades de solo foram caracterizadas em função do componente principal.

De acordo com a EMBRAPA (2009), segue a descrição das unidades de solo:

- Cambissolos

Solos constituídos por material mineral, que apresentam horizonte A ou hístico com espessura insuficiente para definir a classe dos Organossolos, seguido de horizonte B incipiente e satisfazendo os seguintes requisitos: B incipiente não coincidente com horizonte glei dentro de 50 cm da superfície do solo; B incipiente não coincidente com horizonte plíntico; B incipiente não coincidente com horizonte vértico dentro de 100 cm da superfície do solo; não apresente a conjugação de horizonte A chernozêmico e horizonte B incipiente com alta saturação por bases e argila de atividade alta.

Devido à heterogeneidade do material de origem, das formas de relevo e das condições climáticas, as características destes solos variam muito de um local para outro. Assim, a classe comporta desde solos fortemente até imperfeitamente drenados, de rasos a profundos, de cor bruna ou bruno-amarelada até vermelho escuro, e de alta a baixa saturação por bases e atividade química da fração argila.

- Espodossolos

São constituídos por material mineral, apresentando horizonte B espódico, imediatamente abaixo de horizonte E, A ou horizonte hístico, dentro de 200 cm da superfície do solo, ou de 400 cm de profundidade, se a soma do horizonte A+E ou dos horizontes hísticos (com menos de 40 cm) + E ultrapassar 200 cm de profundidade.

A cor do horizonte A varia de cinzenta até preta e a do horizonte E desde cinzenta ou acinzentada-clara até praticamente branca. A cor do horizonte espódico varia desde cinzenta, de tonalidade escura ou preta, até avermelhada ou amarelada.

- Plintossolos

Compreende solos minerais, formados sob condições de restrição à percolação da água, sujeitos ao efeito temporário de excesso de umidade, de maneira geral imperfeitamente ou mal drenados, que se caracterizam fundamentalmente por apresentar expressiva plintitização com ou sem petroplintita na condição de que não satisfaçam os requisitos estipulados para as classes dos Neossolos, Cambissolos, Luvisolos, Argissolos, Latossolos, Planossolos ou Gleissolos.

Apresentam muitas vezes horizonte B textural sobre ou coincidente com o horizonte plíntico ou com o horizonte concrecionário, ocorrendo também, solos com horizonte B incipiente, B latossólico, horizonte glei e solos sem horizonte B.

Predominantemente são solos fortemente ácidos, com saturação por bases baixa e atividade da fração argila baixa. Todavia, verifica-se a existência de solos com saturação por bases média a alta, ou argila de alta atividade (ANJOS *et al.*, 1995), bem como solos com propriedades solódica e sódica.



- Gleissolos

São constituídos por material mineral com horizonte glei iniciando-se dentro de 150 cm da superfície, imediatamente abaixo de horizontes A ou E, ou de horizonte hístico com menos de 40 cm de espessura e não apresentando horizonte vértico ou horizonte B textural com mudança textural abrupta acima ou coincidente com horizonte glei, tampouco qualquer outro tipo de horizonte B diagnóstico acima do horizonte glei, ou textura exclusivamente areia ou areia franca em todos os horizontes até a profundidade de 150 cm da superfície do solo ou até um contato lítico. Horizonte plíntico se presente deve estar à profundidade superior a 200 cm da superfície do solo.

- Latossolos

Solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A, dentro de 200 cm da superfície do solo ou dentro de 300cm, se o horizonte A apresenta mais que 150 cm de espessura.

Os Latossolos apresentam teor de argila entre 15% e 80%, já o silte fica inferior a 15%. Os solos são de alta permeabilidade sendo trabalhados em grande amplitude de umidade.

Esses tipos de solo tendem formar crosta, devido a produção de agregados de argilas que passam a se comportar como silte e areia fina.

Os Latossolos geralmente são utilizados para culturas perenes, reflorestamento e pastagens. Na grande maioria das vezes estão localizados em terrenos com planos a levemente ondulado, onde a declividade não chega a 7 %, facilitando assim sua utilização.

- Nitossolos

Constituídos por material mineral, com 350 g/kg ou mais de argila, inclusive no horizonte A, que apresentam horizonte B nítico imediatamente abaixo do horizonte A, dentro de 150 cm da superfície do solo.

Os Nitossolos há baixa presença de argila, tendo logo abaixo do horizonte A o caráter alítico ou nos primeiros centímetros do horizonte B. O horizonte diagnóstico B nítico é caracterizado pelo desenvolvimento de estrutura e de cerosidade.

Esse solo está relacionado a rochas básicas, basalto e diabásio e também a rochas calcárias e também a algumas rochas intermediárias (ex. gnaisses).

Os Nitossolos podem apresentar alta e baixa fertilidade natural, as áreas mais planas são os mais férteis e mais profundos e são de grande potencial agrícola, já os de relevos mais inclinados são mais susceptíveis a ação da erosão o que diminui seu potencial agrícola.

- Argissolos

Compreende solos constituídos por material mineral, que têm como características diferenciais a presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa, ou alta conjugada com saturação por bases baixa ou caráter alítico. O horizonte B textural (Bt) encontra-se imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial, exceto o hístico, sem apresentar, contudo, os requisitos estabelecidos para serem enquadrados nas classes dos Luvisolos, Planossolos, Plintossolos ou Gleissolos.

Grande parte dos solos dessa classe apresenta um evidente incremento no teor de argila do horizonte superficial para o horizonte B, com ou sem decréscimo, para baixo no perfil. A transição entre os horizontes A e Bt é usualmente clara, abrupta ou gradual.

São de profundidade variável, desde forte a imperfeitamente drenados, de cores avermelhadas ou amareladas, e mais raramente, brunadas ou acinzentadas. A textura varia de arenosa a argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte Bt, sempre havendo aumento de argila daquele para esse.

- Neossolos

Solos constituídos por material mineral, ou por material orgânico com menos de 20 cm de espessura, não apresentando qualquer tipo de horizonte B diagnóstico e satisfazendo os seguintes requisitos: ausência de horizonte glei até 150 cm de profundidade, exceto no caso de solos de textura areia ou areia franca virtualmente sem materiais primários intemperizáveis; ausência de horizonte vértico imediatamente abaixo de horizonte A; ausência de horizonte plíntico dentro de 40 cm, ou dentro de 150 cm da superfície se imediatamente abaixo de horizontes A, ou E, ou precedido de horizontes de coloração pálida, variegada ou com mosqueados em quantidade abundante; ausência de horizonte A chernozêmico com caráter carbonático, ou conjugado a horizonte C cálcico ou com caráter carbonático.

Pertencem ainda a essa classe solos com horizonte A ou hístico, com menos de 20 cm de espessura, seguidos de camada(s) com 90% ou mais (expresso em volume) de fragmentos de rocha ou do material de origem, independente de sua resistência ao intemperismo.

- Planossolos

Compreende solos minerais imperfeitamente ou mal drenados, com horizonte superficial ou subsuperficial eluvial, de textura mais leve, que contrasta abruptamente com o horizonte B imediatamente subjacente, adensado, geralmente de acentuada concentração de argila, permeabilidade lenta ou muito lenta, constituindo, por vezes, um horizonte pã, responsável pela formação de lençol de água sobreposto (suspenso), de existência periódica e presença variável durante o ano.

A característica distintiva marcante é a diferenciação bem acentuada entre os horizontes A ou E e o B, devido à mudança textural abrupta, ou com transição abrupta conjugada com acentuada diferença de textura do A para o horizonte B. Decorrência bastante notável, nos solos quando secos, é a exposição de um contato paralelo à disposição dos horizontes, formando limite drástico, que configura um fraturamento muito nítido entre o horizonte A ou E e o B.

Tipicamente, um ou mais horizontes subsuperficiais apresentam-se adensados, com teores elevados em argila dispersa, constituindo, por vezes, um horizonte pã, condição essa que responde pela restrição à percolação de água, independente da posição do lençol freático, ocasionando retenção de água por algum tempo acima do horizonte B, o que se reflete em feições associadas com excesso de umidade.

- Luvissolos

Constituídos por material mineral, apresentando horizonte B textural com argila de atividade alta, alta saturação por bases, imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A, exceto A chernozêmico, ou sob horizonte E, e satisfazendo o seguinte requisito: horizontes plântico, vértico e plânico, se presentes, não satisfazem os critérios para Plintossolos, Vertissolos e Planossolos, respectivamente; ou seja não são coincidentes com a parte superficial do horizonte B textural.

- Vertissolo

Constituídos por material mineral com horizonte vértico entre 25 e 100 cm de profundidade e relação textural insuficiente para caracterizar um B textural, e apresentando, além disso, os seguintes requisitos: teor de argila, após mistura e homogeneização do material de solo, nos 20 cm superficiais, de no mínimo 300 g/kg de solo; fendas verticais no período seco, com pelo menos 1 cm de largura, atingindo, no mínimo, 50 cm de profundidade, exceto no caso de solos rasos, onde o limite mínimo é de 30 cm de profundidade; ausência de material com contato lítico, ou horizonte petrocálcico, ou duripã dentro dos primeiros 30 cm de profundidade; em áreas irrigadas ou mal drenadas (sem fendas aparentes), o coeficiente de expansão linear (COLE) deve ser igual ou superior a 0,06 ou a expansibilidade linear é de 6 cm ou mais; e ausência de qualquer tipo de horizonte B diagnóstico acima do horizonte vértico.

Segue a descrição da legenda que consta no mapa da Figura 7.1:

- AR - Afloramentos de rochas;
- Cxa - Cambissolo háplico alumínico;

Solos com caráter alumínico na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA).

- CXbd - Cambissolo háplico Tb distrófico;

Solos com argila de atividade baixa e baixa saturação por bases ( $V < 50\%$ ) na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA).

- CXbe - Cambissolo háplico Tb eutrófico;

Solos com argila de atividade baixa e saturação por bases alta ( $V \geq 50\%$ ) na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA) (BRASIL, 1976, v.12, p.254, perfil 16).

- CXj – Cambissolo háplico perférico;

Solos com argila de atividade baixa e teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (pelo  $\text{H}_2\text{SO}_4$ )  $\geq 360$  g/kg de solo na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA).

- CXk - Cambissolo háplico carbonático;

Solos com caráter carbonático ou com horizonte cálcico em um ou mais horizontes, dentro de 120cm da superfície do solo. (Embrapa, 1977-1979, v.2, p.773, perfil 234; v.2, p.781, perfil 238; v.2, p.779, perfil 237).

- CXye - Cambissolo háplico Ta eutrófico;

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, v.12, p.254, perfil 16).

- EKo – Espodossolo humilúvico órtico;

São os outros solos que não se enquadram nas demais classes de espodossolo humilúvico.

Espodossolo humilúvico são solos com presença de horizonte espódico identificado com os seguintes sufixos Bh e/ou Bhm, principalmente, isoladamente ou sobreposto a outros tipos de horizontes (espódicos ou não espódicos) (EMBRAPA, 1977-1979, v.1 p.734, perfil 226). Podem ser:

- hidro-espersos - apresentam horizonte B espódico após 200 cm da superfície do solo e permanecem saturados com água em um ou mais horizontes, dentro de 100 cm da superfície do solo, durante algum tempo na maioria dos anos - ou artificialmente drenados - e que apresentam pelo menos uma das seguintes características: horizonte H hístico; e/ou horizonte Eg, ou áreas de acumulação de manganês, devido a redução e oxidação no horizonte E ou no B espódico, dentro de 100 cm da superfície do solo;
- hidromórficos - permanecem saturados com água em um ou mais horizontes, dentro de 100 cm da superfície do solo, durante algum tempo na maioria dos anos (ou artificialmente drenados) e que apresentam pelo menos uma das seguintes características: horizonte H hístico; e/ou horizonte Eg, ou áreas de acumulação de manganês, devido a redução e oxidação no horizonte E ou no B espódico, dentro de 100 cm da superfície do solo (REUNIÃO, 1979, p213, perfil 15).



- hiperespessos - Solos que apresentam horizonte B espódico após 200 cm da superfície do solo; e
- ESKo – Espodossolo ferrihumilúvico órtico;

São os solos que não se enquadram nas outras classes de espodossolo ferrihumilúvico, que são:

- hidro-hiperespessos - apresentam horizonte B espódico após 200 cm da superfície do solo e permanecem saturados com água em um ou mais horizontes, dentro de 100 cm da superfície do solo, durante algum tempo na maioria dos anos (ou artificialmente drenados) e que apresentam pelo menos uma das seguintes características: horizonte H hístico; e/ou horizonte Eg, e/ou mosqueados e/ou áreas de acumulação de óxidos de ferro e/ou manganês, devido a redução e oxidação de ferro e/ou manganês no horizonte E ou no B espódico, dentro de 100 cm da superfície do solo;
- hidromórficos - permanecem saturados com água em um ou mais horizontes, dentro de 100cm da superfície do solo, durante algum tempo na maioria dos anos (ou artificialmente drenados) e que apresentam uma ou mais das seguintes características: horizonte H hístico; e/ou horizonte Eg, e/ou mosqueados e/ou áreas de acumulação de óxidos de ferro e/ou manganês, devido a redução e oxidação de ferro e/ou manganês no horizonte E ou no B espódico, dentro de 100 cm da superfície do solo;
- hiperespessos - apresentam horizonte B espódico após 200cm da superfície do solo.
- FFc – Plintossolo pétrico concrecionário;

Solos com horizonte concrecionário em posição diagnóstica.

- FTa – Plintossolo argilúvico;

Solos com horizonte plíntico e caráter argilúvico.

- GJo – Gleissolo tiomórfico órtico;

Os gleissolos tiomórficos são solos com horizonte sulfúrico e/ou materiais sulfídricos, dentro de 100 cm a partir da superfície. A classe órtico são solos que não se enquadram na seguinte classe de gleissolo tiomórfico:

- húmico - Solos com horizonte A húmico.
- GMa – Gleissolo melânico alumínico;

Solos com caráter alumínico na maior parte dos primeiros 100 cm a partir da superfície do solo (EMBRAPA, 1980h, p.255, perfil GB-41; p.263, perfil GB-29).

- GMbd – Gleissolo melânico Tb distrófico;

Solos com argila de atividade baixa ( $T < 27 \text{ cmol}_c/\text{kg}$  de argila) e baixa saturação por bases ( $V < 50\%$ ) na maior parte do horizonte diagnóstico

subsuperficial até o limite de 100 cm a partir da superfície do solo, excluindo horizontes intermediários.

- GXa – Gleissolo háplico alumínico;

Solos com caráter alumínico na maior parte dos primeiros 100 cm a partir da superfície do solo.

- GXbd – Gleissolo háplico Tb distrófico;

Solos com argila de atividade baixa ( $T < 27$  cmol<sub>c</sub>/kg de argila) e baixa saturação por bases ( $V < 50\%$ ) na maior parte dos primeiros 100 cm a partir da superfície do solo.

- GXbe – Gleissolo háplico Tb eutrófico;

Solos com argila de atividade baixa ( $T < 27$  cmol<sub>c</sub>/kg de argila) e alta saturação por bases ( $V \geq 50\%$ ) na maior parte dos primeiros 100 cm a partir da superfície do solo.

- GXvd – Gleissolo háplico Ta distrófico;

Solos com argila de atividade alta ( $T \geq 27$  cmol<sub>c</sub>/kg de argila) e baixa saturação por bases ( $V < 50\%$ ) na maior parte dos primeiros 100 cm a partir da superfície do solo.

- LAd – Latossolo amarelo distrófico;

Solos apresentando baixa saturação por bases ( $V < 50\%$ ) na maior parte dos primeiros 100cm do horizonte B (inclusive BA).

- LBdf – Latossolo bruno distroférico;

Podem ser rúbricos (solos com caráter rúbrico dentro dos primeiros 100 cm do horizonte B) ou típicos (outros solos que não se enquadram na classe anterior).

- LVA – Latossolo vermelho-amarelo;

Outros solos de cores vermelho-amareladas e amarelo-avermelhadas que não se enquadram nas classes de latossolos:

- Brunos - Solos que apresentam a parte superior do horizonte B (inclusive BA) de coloração bruna, apresentando matizes predominantemente 7,5YR ou mais amarelo, em concomitância com valor  $\leq 4$  e croma  $\leq 6$  quando úmidos. Admitem-se solos com matiz 5YR na parte superior do horizonte B (inclusive BA), desde que o valor seja  $\leq 4$  e o croma  $< 6$  quando úmido. Apresentam caráter retrátil e horizonte A húmico ou conteúdo de carbono orgânico superior a 10g/kg até 70cm de profundidade;
- Amarelos - Solos com matiz 7,5YR ou mais amarelo na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA);
- Vermelhos - Solos com matiz 2,5YR ou mais vermelho na maior parte dos primeiros 100cm do horizonte B (inclusive BA).

- LVAd – Latossolo vermelho-amarelo distrófico;

Solos com saturação por bases baixa ( $V < 50\%$ ) na maior parte dos primeiros 100cm do horizonte B (inclusive BA).

- LVAe – Latossolo vermelho-amarelo eutrófico;

Apresentam saturação por bases alta ( $V \geq 50\%$ ) na maior parte dos primeiros 100cm do horizonte B (inclusive BA).

- LVD – Latossolo vermelho distrófico;

Solos com saturação por bases baixa ( $V < 50\%$ ) na maior parte dos primeiros 100cm do horizonte B (inclusive BA).

- LVdf – Latossolo vermelho distroférico;
- Solos com saturação por bases baixa ( $V < 50\%$ ) e teores de  $Fe_2O_3$  (pelo  $H_2SO_4$ ) de 18% a  $< 36\%$  na maior parte dos primeiros 100cm do horizonte B (inclusive BA).LVe – Latossolo vermelho eutrófico;

Solos que apresentam saturação por bases alta ( $V \geq 50\%$ ) na maior parte dos primeiros 100cm do horizonte B (inclusive BA) (BRASIL, 1973h, v.2, p.81, perfil 20).

- LVj – Latossolo vermelho perférico;

Solos com saturação por bases baixa ( $V < 50\%$ ) e teores de  $Fe_2O_3$  (pelo  $H_2SO_4$ )  $\geq 36\%$  na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA).

- NVe – Nitossolo vermelho eutrófico;

Outros solos com saturação por bases alta ( $V \geq 50\%$ ) na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA).

Os nitossolos vermelhos são solos com matiz 2,5YR ou mais vermelho na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (exclusive BA).

- PAa – Argissolo amarelo alumínico;

Solos com argila caráter alumínico na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA).

- PVAa – Argissolo vermelho-amarelo alumínico;

Solos com caráter alumínico na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA).

- PVAd – Argissolo vermelho-amarelo distrófico;

Solos distróficos (saturação por bases  $< 50\%$ ) na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA).

- PVAe – Argissolo vermelho-amarelo eutrófico;

Solos Eutróficos (saturação por bases  $\geq 50\%$ ) na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA).

- PVa – Argissolo vermelho;

Solos com matiz 2,5YR ou mais vermelho ou com matiz 5YR e valores e cromas iguais ou menores que 4, na maior parte dos primeiros 100cm do horizonte B (inclusive BA).

- PVd – Argissolo vermelho distrófico;

Solos distróficos (saturação por bases < 50%), na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA).

- PVe – Argissolo vermelho eutrófico;

Outros solos eutróficos (saturação por bases  $\geq$  50%) na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA).

- RLd – Neossolo litólico distrófico;

Neossolos litólicos 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.

A classe dos distróficos são solos com saturação por bases baixa ( $V < 50\%$ ) (BRASIL, 1973e, p.364, perfil RS-78).

- RLe – Neossolo litólico eutrófico;

Solos com saturação por bases alta ( $V \geq 50\%$ ) (BRASIL, 1973e, p.337, perfil RS-38).

- RLk – Neossolo litólico carbonático;

Solos com caráter carbonático no horizonte A e/ou no C, sem horizonte A chernozêmico.

- RQg – Neossolo quartzarênico hidromórfico;

Neossolo quartzarênico são outros solos sem contato lítico dentro de 50cm de profundidade, com seqüência de horizontes A-C, porém apresentando textura areia ou areia franca em todos os horizontes até, no mínimo, a profundidade de 150 cm a partir da superfície do solo ou até contato lítico; são essencialmente quartzosos, tendo nas frações areia grossa e areia fina 95% ou mais de quartzo, calcedônia e opala e, praticamente, ausência de minerais primários alteráveis (menos resistentes ao intemperismo).

A classe hidromórfico são solos com presença de lençol freático elevado durante grande parte do ano, na maioria dos anos, imperfeitamente ou mal drenados e apresentando um ou mais dos seguintes requisitos:

- horizonte H hístico; e/ou



- saturação com água permanente dentro de 50cm da superfície do solo; e/ou
- presença de lençol freático dentro de 150cm da superfície do solo, durante a época seca; e/ou
- presença do lençol freático dentro de 50cm de profundidade, durante algum tempo, na maioria dos anos (ou artificialmente drenados) e satisfazendo a um ou mais dos seguintes requisitos: croma zero; matiz 10YR ou mais vermelho com valor (úmido) de 4 ou maior e croma 1; matiz 10YR ou mais vermelho com croma 2 ou menor e mosqueados (ou acumulação de ferro e/ou manganês) provenientes de redução e oxidação do ferro e/ou manganês; matiz 2,5Y ou mais amarelo, com croma 3 ou menor e mosqueados (ou áreas de acumulação de ferro e/ou manganês), provenientes de redução e oxidação destes elementos; matiz 2,5Y ou mais amarelo e croma 1 ou menor; e matizes 5GY, ou 5G, ou 5BG ou 5B; e/ou
- presença de ferro reduzido em quantidade capaz de desenvolver uma cor vermelha intensa, com o emprego do indicador químico alfa, alfadipiridil (CHILDS, 1981).

- RQo – Neossolo quartzarênico órtico;

São os outros solos que não se enquadram na classe de neossolo quartzarênico hidromórfico.

- RRd – Neossolo regolítico distrófico;

Podem ser quatro tipos: lépticos fragipânicos (solos com contato lítico entre 50 cm e 100 cm da superfície do solo e com fragipã em um ou mais horizontes ou camadas); lépticos (solos com contato lítico entre 50 cm e 100 cm da superfície do solo); fragipânicos (Solos com fragipã em um ou mais horizontes ou camadas, dentro de 150 cm da superfície do solo); e típicos (outros solos que não se enquadram nas classes anteriores).

- RRe – Neossolo regolítico eutrófico;

Podem ser de seis tipos: lépticos fragipânicos (solos com contato lítico entre 50 cm e 100 cm da superfície do solo e com fragipã em um ou mais horizontes ou camadas); lépticos solódicos (solos com contato lítico entre 50 cm e 100 cm da superfície do solo e caráter solódico em um ou mais horizontes ou camadas); lépticos (solos com contato lítico entre 50 cm e 100 cm da superfície do solo); fragipânicos (solos com fragipã em um ou mais horizontes ou camadas, dentro de 150 cm da superfície do solo); solódicos (solos com caráter solódico em um ou mais horizontes ou camadas, dentro de 150 cm da superfície); e típicos (outros solos que não se enquadram nas classes anteriores).

- RYbd – Neossolo flúvico Tb distrófico;

Podem ser de dois tipos: gleissólicos (solos com horizonte glei dentro de 150cm da superfície do solo (EMBRAPA, 1975a, p.367, perfil 63); e típicos (outros solos que não se enquadram na classe anterior).

- RYbe – Neossolo flúvico Tb eutrófico;

Podem ser de três tipos: gleissólicos (solos com horizonte glei dentro de 150 cm da superfície do solo); solódicos (solos com caráter solódico em um ou mais horizontes dentro de 150 cm da superfície do solo); e típicos (outros solos que não se enquadram nas classes anteriores).

- RYve – Neossolo flúvico Ta eutrófico;

Podem ser de sete tipos: gleissólicos (solos com horizonte glei dentro de 150 cm da superfície do solo); vertissólicos solódicos (solos intermediários para vertissolos, ou seja, com horizonte vértico em posição não diagnóstica ou com caráter vértico, e com caráter solódico em um ou mais horizontes ou camadas, dentro de 150 cm da superfície do solo); vertissólicos (solos intermediários para Vertissolos, ou seja, com horizonte vértico em posição não diagnóstica ou com caráter vértico em um ou mais horizontes ou camadas, dentro de 150 cm da superfície do solo); solódicos (solos com caráter solódico em um ou mais horizontes dentro de 150 cm da superfície do solo); salinos (solos com caráter salino em um ou mais horizontes, dentro de 150 cm da superfície do solo); carbonáticos (solos que apresentam caráter carbonático, dentro de 150 cm da superfície do solo); e típicos (outros solos que não se enquadram nas classes anteriores).

- SNo – Planossolo nátrico órtico;

Planossolos nátricos são solos apresentando horizonte plânico com caráter sódico imediatamente abaixo de um horizonte A ou E.

Os planossolos órticos são aqueles que não se enquadram nas seguintes classes: carbonáticos (solos com caráter carbonático em um ou mais horizontes ou com horizonte cálcico, dentro de 120cm da superfície do solo (EMBRAPA, 1977-1979, v.2, p.871, perfil 273)); sálicos (solos com caráter sálico em um ou mais horizontes, dentro de 120cm da superfície do solo. (EMBRAPA, 1975b, p.279, perfil 58)).

- SXd – Planossolo háplico distrófico;

Solos com saturação por bases baixa ( $V < 50\%$ ) na maior parte do horizonte B.

- SXe – Planossolo háplico eutrófico;

Solos com alta saturação por bases na maior parte do horizonte B (inclusive BA) (BRASIL, 1973e, p.250, perfil RS-109).

- TCK – Luvissolo crômico carbonático;

Solos com caráter carbonático ou com horizonte cálcico em um ou mais horizontes, dentro de 100 cm da superfície do solo.

- TCp – Luvissole crômico pálico;

Solos com espessura do solum (A + B, exceto BC) maior que 80 cm.

- TCo – Luvissole crômico órtico;

Outros solos com espessura do solum (A + B, exceto BC)  $\leq$  80 cm e que não se enquadram nas classes anteriores.

- VEk – Vertissolo ebânico carbonático;

Solos com caráter carbonático ou horizonte cálcico em um ou mais horizontes, dentro de 100 cm da superfície do solo (BRASIL, 1971a, p.560, perfil 111).

- VEO – Vertissolo ebânico órtico;

Outros solos que não se enquadram na classe anterior (carbonático) e sódicos (solos com caráter sódico em um ou mais horizontes, dentro de 100 cm da superfície do solo).

- VXo – Vertissolo háplico órtico;

São os solos que não se enquadram nas seguintes classes de vertissolo háplico: carbonáticos (solos com caráter carbonático ou horizonte cálcico em um ou mais horizontes, dentro de 100 cm da superfície do solo); sálicos (solos com caráter sálico, em um ou mais horizontes, dentro de 100 cm da superfície do solo); e sódicos (solos com caráter sódico, em um ou mais horizontes, dentro de 100 cm da superfície do solo).

O mapa de solos da área regional é apresentado na Figura 7.1 e a partir dele foram confeccionadas as Tabelas de 7.1 a 7.3 com os tipos de unidades de solo, área e porcentagem, de acordo com os subsistemas cástico, fissuro-cárstico e fraturado.



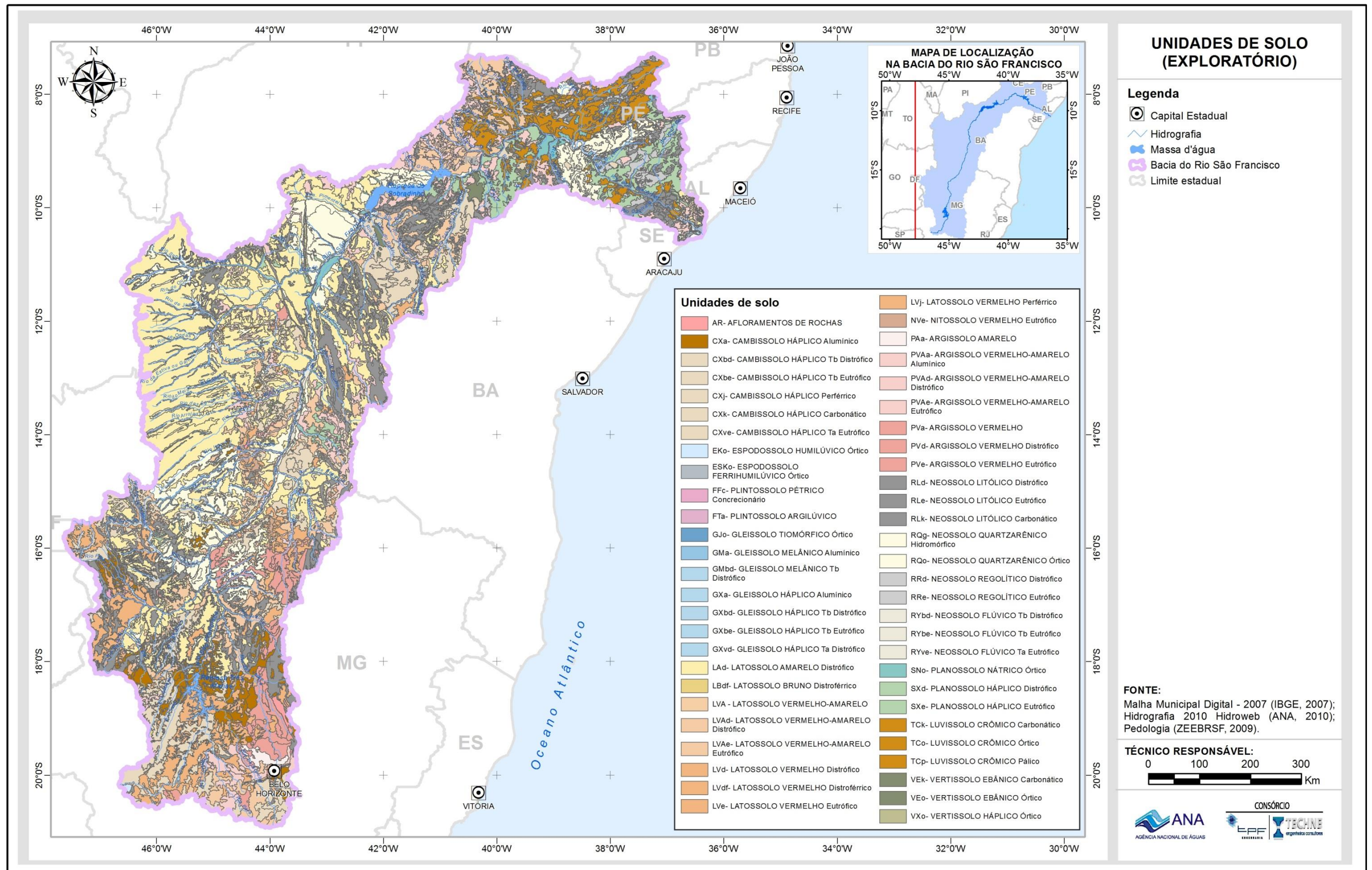


Figura 7.1 - Mapa das unidades de solo da área regional.



**Tabela 7.1 - Área, porcentagem e tipos das unidades de solo do subsistema cárstico na área regional.**

Unidade de solo	Hectares (ha)	Porcentagem (%)
Afloramentos de rochas	12.154,61	0,41
Argissolo amarelo alumínico	2.969,30	0,10
Argissolo vermelho eutrófico	77.032,89	2,61
Argissolo vermelho-amarelo distrófico	15.344,63	0,52
Argissolo vermelho-amarelo eutrófico	133.585,94	4,52
Cambissolo háplico alumínico	21.407,92	0,72
Cambissolo háplico carbonático	1.360.490,36	46,03
Cambissolo háplico Ta eutrófico	300.303,62	10,16
Cambissolo háplico Tb distrófico	6.081,81	0,21
Cambissolo háplico Tb eutrófico	16.841,72	0,57
Gleissolo melânico alumínico	5.618,99	0,19
Latossolo amarelo distrófico	270.536,95	9,15
Latossolo vermelho distrófico	19.947,63	0,67
Latossolo vermelho eutrófico	131.714,58	4,46
Latossolo vermelho-amarelo	2.403,39	0,081
Latossolo vermelho-amarelo distrófico	130.044,61	4,40
Latossolo vermelho-amarelo eutrófico	64.811,33	2,19
Luvissolo crômico órtico	4.918,69	0,17
Neossolo flúvico Ta eutrófico	632,90	0,02
Neossolo flúvico Tb eutrófico	8.616,37	0,29
Neossolo litólico distrófico	51.007,80	1,73
Neossolo litólico eutrófico	98.917,35	3,35
Neossolo quartzarênico órtico	34.083,65	1,15
Nitossolo vermelho eutrófico	24.173,77	0,82
Vertissolo ebânico carbonático	82.591,05	2,79
Vertissolo ebânico órtico	32.167,09	1,09

**Tabela 7.2 - Área, porcentagem e tipos das unidades de solo do subsistema fissuro-cárstico na área regional.**

Unidades de solo	Área (ha)	Porcentagem (%)
Afloramento de rochas	24.191,92	0,26
Argissolo vermelho alumínico	116.761,44	1,23
Argissolo vermelho distrófico	52.011,83	0,55
Argissolo vermelho eutrófico	1.437.415,36	15,16
Argissolo vermelho-amarelo alumínico	4.712,24	0,050
Argissolo vermelho-amarelo distrófico	26.367,66	0,28
Argissolo vermelho-amarelo eutrófico	264.246,06	2,79
Cambissolo háplico alumínico	807.111,71	8,51
Cambissolo háplico carbonático	377.770,77	3,98
Cambissolo háplico Ta eutrófico	759.495,86	8,01
Cambissolo háplico Tb distrófico	1.416.522,51	14,94
Cambissolo háplico Tb eutrófico	53.538,72	0,56
Espodossolo humilúvico órtico	272,91	0,0029
Gleissolo háplico alumínico	41,15	0,00043
Gleissolo háplico Tb distrófico	10.763,59	0,11
Gleissolo melânico alumínico	9.838,77	0,10
Gleissolo melânico Tb distrófico	1,188,99	0,013
Latossolo amarelo distrófico	644.400,74	6,80
Latossolo bruno distroférico	284,26	0,003
Latossolo vermelho distrófico	949.294,02	10,01
Latossolo vermelho eutrófico	330.163,57	3,48
Latossolo vermelho-amarelo distrófico	498.154,84	5,25
Latossolo vermelho-amarelo eutrófico	21.170,79	0,22
Neossolo flúvico Ta eutrófico	158.811,08	1,67
Neossolo flúvico Tb eutrófico	454,28	0,0048
Neossolo litólico distrófico	775.493,69	8,18
Neossolo litólico eutrófico	131.248,30	1,38
Neossolo quartzarênico hidromórfico	301,99	0,0032
Neossolo quartzarênico órtico	455.578,85	4,80
Nitossolo vermelho eutrófico	78.558,68	0,83
Planossolo háplico distrófico	596,00	0,0063
Planossolo háplico eutrófico	15.109,32	0,16
Plintossolo argilúvico alumínico	3.392,25	0,036
Vertissolo ebânico carbonático	39.556,97	0,42
Vertissolo ebânico órtico	858,12	0,0090

**Tabela 7.3 - Área, porcentagem e tipos das unidades de solo do subsistema fraturado na área regional.**

Unidades de solo	Área (ha)	Porcentagem (%)
Cambissolo háplico alumínico	230.812,87	20,75
Cambissolo háplico Tb distrófico	295.963,61	26,60
Gleissolo melânico alumínico	3.083,54	0,28
Latossolo amarelo distrófico	119.645,97	10,75
Latossolo vermelho distrófico	86.558,99	7,78
Latossolo vermelho-amarelo distrófico	191.742,15	17,23
Neossolo flúvico Ta eutrófico	2.625,73	0,24
Neossolo litólico distrófico	160.992,30	14,47
Neossolo quatzarênico órtico	21.165,48	1,90

## 8 Vegetação

De acordo com o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (CBHSF, 2004), essa bacia possui diversas condições naturais de vegetação que é formada, em sua maior parte, pelo cerrado e caatinga, mas em seu domínio também encontramos biomas como florestas, costeiros e insulares.

O Cerrado, que cobre praticamente metade da bacia, predomina nas regiões de clima úmido e subúmido, além de solos de baixa fertilidade. O grande domínio desse bioma situa-se em Minas Gerais e no oeste e sul da Bahia (Alto e Médio São Francisco).

Já a Caatinga é a vegetação que impera nas áreas de clima árido e semiárido, como Bahia, Pernambuco e oeste de Alagoas e Sergipe (Médio, Submédio e Baixo São Francisco).

E por último, a Floresta, que é o bioma predominante na região úmida, subúmidas secas e úmidas, onde ocorre maior umidade no solo, ao longo de rios, formando as matas ciliares. Ocorre em Minas Gerais e nas faixas costeiras de Sergipe e Alagoas (Alto e Baixo São Francisco).

Como apresentado no Capítulo 2 (Figura 2.1), a Bacia do São Francisco possui três subsistemas aquíferos – cárstico e fissuro-cárstico (área de estudo desse projeto) e o fraturado. O mapa das classes de vegetação (Figura 8.1) foi produzido com base na classificação do IBGE (2004) e sua ocorrência em cada um dos subsistemas é apresentada nas Tabelas 8.1 a 8.3.

**Tabela 8.1 - Percentual de área das classes de vegetação no subsistema cárstico.**

Vegetação	Hectares (ha)	Porcentagem (%)
Atividades agrárias	1.498.628,39	50,246
Floresta estacional decidual submontana	2.650,63	0,089
Floresta estacional semidecidual montana	16.849,73	0,565
Savana/Floresta estacional	103.959,39	3,486
Savana/Savana estépica/Floresta estacional	31.659,68	1,061
Savana arborizada	247.018,80	8,282
Savana estépica/Floresta estacional	172.134,46	5,771
Savana estépica arborizada	386.999,80	12,975
Savana estépica florestada	167.983,67	5,632
Savana estépica parque	29.204,46	0,979
Savana florestada	2.001,06	0,067
Savana gramíneo lenhosa	28,68	0,001
Savana parque	19.368,68	0,649
Vegetação secundária e atividades agrárias	304.118,03	10,196

**Tabela 8.2 - Percentual de área das classes de vegetação no subsistema fissuro-cárstico.**

Vegetação	Hectares (ha)	Porcentagem (%)
Atividades agrárias	3.381.295,86	32,555
Floresta estacional decidual montana	417.200,28	4,017
Floresta estacional decidual submontana	53.806,53	0,518
Massa de água continental	60.681,53	0,584
Refúgios vegetacionais alto-montano	93.755,92	0,903
Savana/Floresta estacional	596.055,62	5,739
Savana arborizada	962.697,14	9,269
Savana estépica/Floresta estacional	313.409,02	3,017
Savana gramíneo-lenhosa	1.640.504,30	15,795
Savana parque	460.165,32	4,430
Vegetação secundária e atividades agrárias	2.406.865,84	23,173



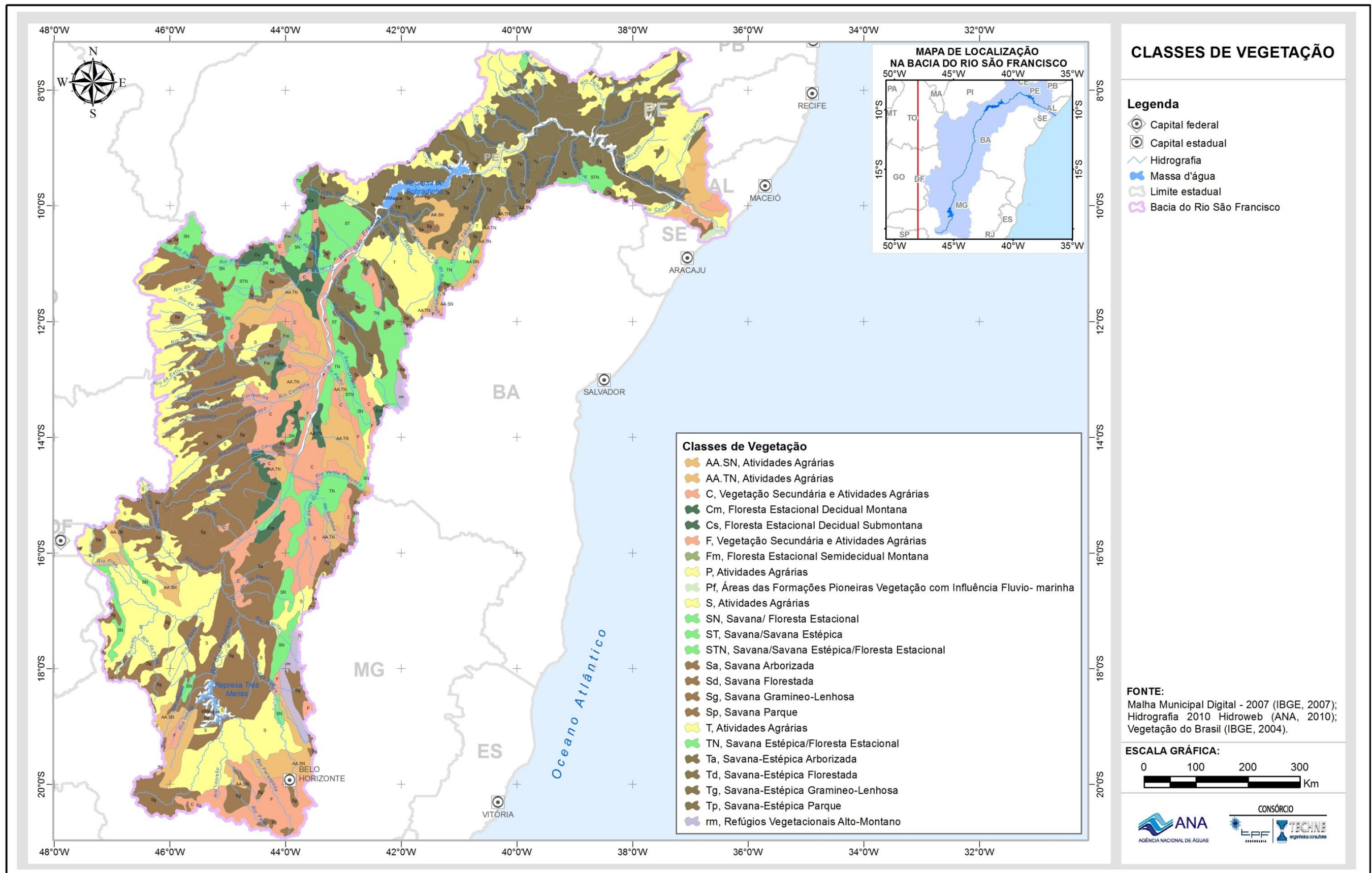


Figura 8.1 - Mapa das classes de vegetação da área regional.

**Tabela 8.3 - Percentual de área das classes de vegetação no subsistema fraturado.**

Vegetação	Hectares (ha)	Porcentagem (%)
Atividades agrárias	140.251,41	76,818
Savana arborizada	23.612,20	12,933
Savana gramíneo-lenhosa	18.711,73	10,249

A partir da classificação apresentada, segue detalhamento de cada classe de vegetação.

#### Atividades agrárias

São regiões 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. Regiões como o Oeste da Bahia (municípios como Luis Eduardo Magalhães, Roda Velha e Barreiras) e a Região Centro-Norte (municípios de Irecê, América Dourada e João Dourado), são áreas onde os cultivos de Soja e Algodão, além de alguns tipos de hortifrúti como milho, tomate e cebola, estão entre os mais cultivados.

#### Savana (Cerrado)

A Savana (Cerrado) é conceituada como uma vegetação xeromorfa, que ocorre sob distintos tipos de clima. Revestem solos lixiviados aluminizados, apresentando sinúsias de hemicriptófitos, geófitos, caméfitos e fanerófitos oligotróficos de pequeno porte, com ocorrência em toda a Zona Neotropical e, prioritariamente, no Brasil Central. Em outras partes do País, recebe nomes locais, como: “Tabuleiro”, “Agreste” e “Chapada”, na Região Nordeste; “Campina” ou “Gerais” no norte dos Estados de Minas Gerais, Tocantins e Bahia; e “Lavrado” no Estado de Roraima, entre outras denominações. A Savana (Cerrado) foi subdividida em quatro subgrupos de formação: Florestada; Arborizada; Parque; e Gramíneo-Lenhosa.

#### Savana arborizada

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, sujeita 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. Tem sua

ocorrência significativa na região Centro-oeste, principalmente no estado de Minas Gerais, nos municípios de Lagoa dos Patos, Ubaí e Ibiracatu.

#### Savana Parque

Conforme a definição do IBGE (1992), a região do Subgrupo Savana Parque tem formação constituída essencialmente por um estrato graminóide, integrado por hemiptófitos 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. Exemplo de ocorrência no município de Buritis, no centro da área de estudo, estado de Minas Gerais.

#### Savana florestada (cerradão)

É subgrupo de formação com fisionomia típica e característica, restrita a áreas areníticas lixiviadas com solos profundos, ocorrendo em um clima tropical eminentemente estacional. Apresenta sinúsias lenhosas de micro e nanofanerófitos tortuosos com ramificação irregular. Extremamente repetitiva, a sua composição florística reflete-se de Norte a Sul.

#### Savana gramíneo-lenhosa (campo)

Prevalecem nesta fisionomia, quando natural, os gramados entremeados por plantas lenhosas raquíticas, que ocupam extensas áreas dominadas por hemiptófitos e que, aos poucos, quando manejados através do fogo ou pastoreio, vão sendo substituídos por geófitos que se distinguem por apresentar colmos subterrâneos, portanto, mais resistentes ao pisoteio do gado e ao fogo. A composição florística é bastante diversificada, sendo as plantas lenhosas seus ecotipos mais representativos.

#### Savana estépica (savanas secas e/ou úmidas)

É a Caatinga do sertão árido, restrita ao extremo Norte da bacia, mais precisamente no estado da Bahia, no município de Oliveira dos Brejinhos. O termo foi empregado para denominar a área do sertão árido nordestino com dupla estacionalidade. O sertão árido nordestino apresenta frequentemente dois períodos secos anuais, um com longo déficit hídrico seguido de chuvas intermitentes e outro com seca curta seguido de chuvas torrenciais que podem faltar durante anos. Presente no Centro-norte Baiano, no município de São Gabriel. Esse tipo de vegetação subdivide-se em quatro subgrupos de formações situados em áreas geomorfológicas diferentes.

#### Savana estépica florestada

Subgrupo de formação caracterizado por micro e/ou nanofanerófitos, em média de até cinco metros, ultrapassando excepcionalmente os sete metros de altura, mais ou menos densos, com grossos troncos e esgalhamento bastante ramificado em geral provido de espinhos e/ou acúleos, com total decidualidade



na época desfavorável. No extremo Norte da Bahia, ainda ocorrem no município de Uibaí.

#### Savana estépica arborizada

Possui as mesmas características florísticas da fitofisionomia anterior, porém os indivíduos que o compõe são mais baixos.

#### Savana estépica parque

Esse grupo de formação é o que apresenta características fisionômicas mais típicas, com nanofanerófitos de um mesmo ecotipo bastante espaçados, como se fossem plantados, isso porque apresentam uma pseudo-ordenação de plantas lenhosas raquíticas, sobre denso tapete gramíneo-lenhoso de hemicriptófitos e caméfitos.

#### Savana estépica gramíneo-lenhosa

Também conhecida como campo espinhoso, apresenta características florísticas e fisionômicas bem típicas, tais como um extenso tapete gramíneo salpicado de plantas lenhosas anãs espinhosas. Localizada no extremo sul da bacia, no estado de Minas Gerais, tendo sua ocorrência significativa entre os municípios de João Pinheiro, Três Marias, Abaeté e São Roque de Minas.

#### Floresta estacional decidual

Este tipo de vegetação é caracterizado 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.

Apresenta grandes áreas descontínuas localizadas do Norte para o Sul, entre a Floresta ombrófila aberta e a Savana (Cerrado); de Leste para Oeste, entre a Savana estépica (Caatinga do sertão árido) e a Floresta estacional semidecidual (Floresta tropical subcaducifólia. Estas grandes áreas disjuntas apresentam quatro formações distintas: aluvial, terras baixas, submontana e montana.

#### Floresta estacional semidecidual

O conceito ecológico dessa vegetação está condicionado 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.

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%.

O critério estabelecido com a finalidade exclusiva de propiciar um mapeamento contínuo de grandes áreas foi o das faixas altimétricas, utilizado também nas formações vegetacionais precedentes. Especialmente na Bacia do Rio São Francisco estão presentes três dos quatro subgrupos presentes no país,: Aluvial, Submontana e Montana. Presente no extremo sul da bacia, no estado de Minas Gerais nos municípios de Carmópolis de Minas, Conselheiro Lafaiete, Ouro Preto, Caetité e Betim. Na Bahia, Bom Jesus da Lapa, Serra do Ramalho e Ibotirama.

## **9 Uso e ocupação do solo**

Segundo o Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia do São Francisco (2004), este rio, desde a sua descoberta, vem sendo submetido à ocupação econômica, começando pelo ouro e as pedras preciosas. Exerceu grande papel ao integrar o Nordeste e o Sudeste do País, através de embarcações movidas a vapor, o que contribuiu para a devastação das matas ao longo das suas margens.

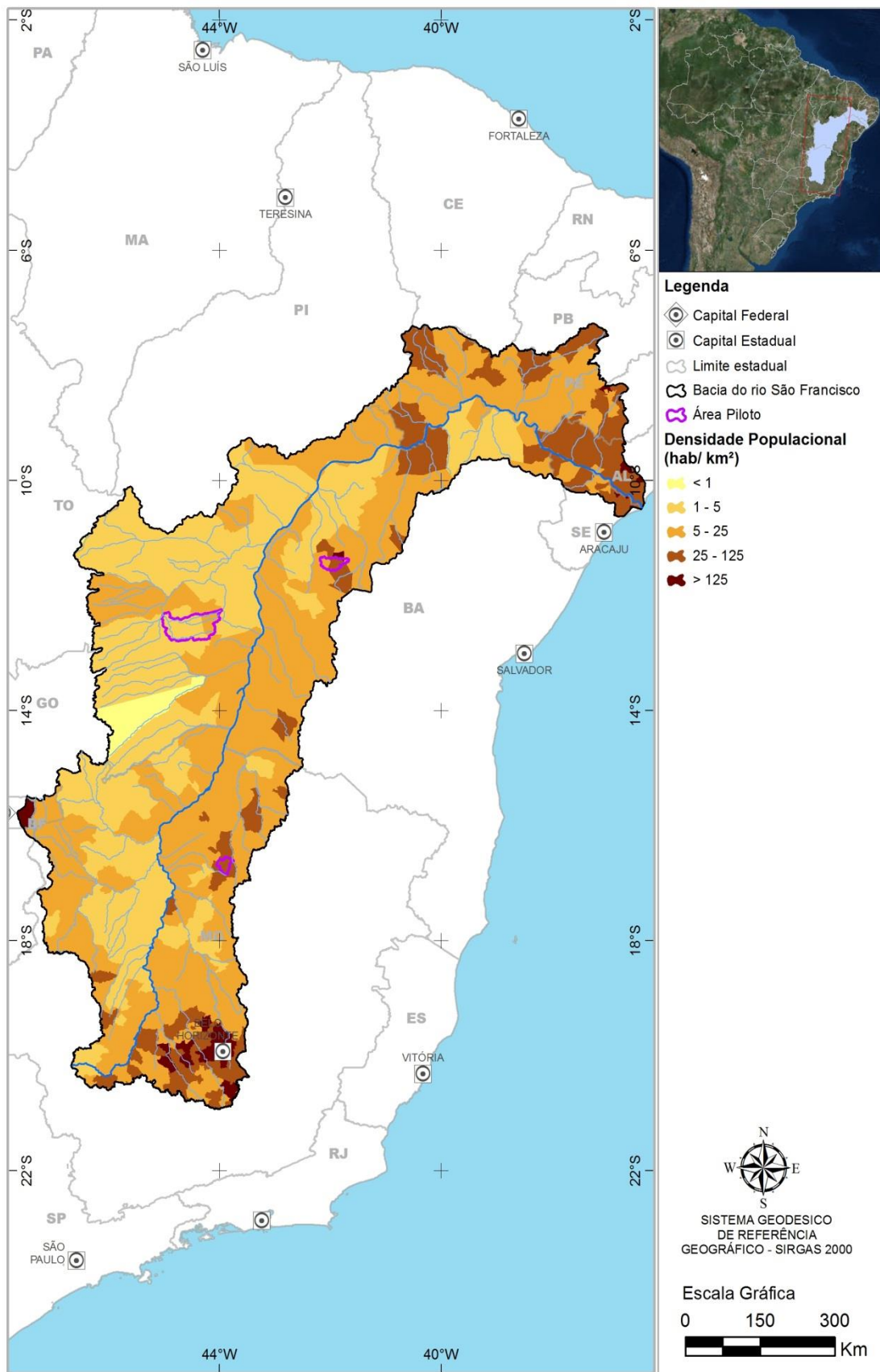
A ocupação populacional na bacia se deu de duas formas:

- No nordeste da bacia, a ocupação se deu da foz em direção ao interior, em função da navegabilidade do rio e de condições propícias ao desenvolvimento dos primeiros povoados;
- No sul da bacia, a ocupação ocorreu principalmente pelos bandeirantes em busca das riquezas minerais. Onde estas foram encontradas, os vilarejos foram criados. Um importante indicador associado ao tema é a distribuição espacial da ocupação demográfica, que pode ser vista na Figura 9.1.

Várias sub-bacias foram intensamente exploradas pela mineração, como ouro e diamantes. Outras explorações minerais têm ocupado papel importante e de suporte econômico para o País, como o ferro do quadrilátero ferrífero, no alto São Francisco.

A ocupação extensiva das áreas ocorreu pela pecuária bovina, caprina e ovina, fazendo com que os biomas caatinga e cerrado fossem antropizados por essas atividades.

Ainda conforme o Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia do São Francisco (2004), a ocupação agrícola se deu intensamente a partir da década de 70, com a quebra do mito de que o cerrado não tinha potencial para a agricultura. A ocupação estimada com lavouras temporárias e permanentes é de oito milhões de hectares, com outros 10 milhões, aproximadamente, ocupados por pastagem.



**Figura 9.1 - Densidade demográfica na Bacia do São Francisco.**

Merece destaque a demanda da indústria siderúrgica de ferro gusa por carvão vegetal, o que tem expandido muito a área de plantações de eucalipto e a exploração do cerrado e da caatinga para sua produção. Merece também ser citada a demanda de matéria prima para papel e celulose que na bacia é ainda incipiente. Os levantamentos realizados por Faria (1997) apontaram a existência de valores acima de 5,6 milhões de hectares de florestas plantadas, até o ano de 1994.

O Plano Decenal de Recursos Hídricos consultado também informa que o desmatamento e as queimadas – com vistas à expansão das atividades agrossilvopastoris, podem ser considerados práticas históricas na ocupação regional da bacia, tornando-se acentuados a partir do final da década de 1960, quando a ocupação dos cerrados no noroeste e Norte de Minas e no Oeste Baiano tornou-se mais intensa.

As atividades mineradoras e de garimpo, no Alto São Francisco, por sua vez, provocam grandes impactos pelo desmatamento e geração de sedimentos, comprometendo os recursos hídricos tanto de forma qualitativa como quantitativa.

O extrativismo vegetal, praticado de forma difusa para atendimento das necessidades domésticas (lenha, madeira, fibras) e para o atendimento das necessidades energéticas de atividades industriais, com especial destaque para o carvão vegetal, produz efeitos sobre a geração de sedimentos e o consequente assoreamento dos cursos de água, compromete a qualidade da água e degrada importantes áreas de recarga de aquíferos. Os prejuízos à conservação da biodiversidade são também sérios, levando o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e as Unidades da Federação a definirem áreas estratégicas para instalação de unidades de conservação.

A remoção da cobertura vegetal e o uso do solo para agricultura, sem práticas de conservação de água e do solo, têm contribuído para o aumento dos processos erosivos, carreando sedimentos para a calha dos rios da bacia, alterando significativamente sua capacidade de retenção, com efeitos inevitáveis nas planícies de inundação.

A intensa ocupação das chapadas tem provocado a compactação subsuperficial de extensas áreas, seja pela utilização intensiva de motomecanização, seja pelo pastoreio. Têm-se levantado questões quanto à redução da capacidade de recarga dos aquíferos, o que precisa ser melhor estudado.

Com relação às margens dos rios, sua ocupação para diversos fins tem sido uma das principais causas propulsoras da degradação da bacia, principalmente no que se refere à erosão e ao aumento de sedimentos no leito dos rios. Em função dos tipos de sedimentos gerados pelos processos erosivos, os efeitos têm sido diferenciados, como:

- os sedimentos arenosos têm formado grandes bancos de areia ao longo das calhas dos rios que, em alguns casos, transformam-se em ilhas permanentes em todo o Médio e Submédio São Francisco. Ao longo do Médio São Francisco, são responsáveis pela formação de vazante, que corresponde entre 1 a 3 km da margem do rio, de faixa de solos

arenosos, que demandam grandes investimentos para seu aproveitamento;

- os sedimentos siltosos têm sido os que efetivamente provocam o maior volume de assoreamento, visto que são facilmente carregados pelo escoamento superficial, porém não ficam em suspensão. Esse material é totalmente depositado nos leitos dos rios, reduzindo a capacidade de escoamento e provocando inundações freqüentes nas planícies aluviais, característica marcante do Médio São Francisco;
- os sedimentos argilosos são facilmente carregados e geralmente ficam em suspensão, promovendo a turbidez na água. Esse tipo de sedimento é depositado quando encontra ambiente propício, como nos remansos dos reservatórios.

Os reservatórios da bacia do São Francisco provocam impactos no fluxo hidrossedimentométrico, sendo constatada a concentração de sedimentos em suspensão, a montante do reservatório de Três Marias, de 253 mg/L, enquanto que em Pirapora, abaixo do reservatório de Três Marias, é de 103 mg/L, Bom Jesus da Lapa - 250 mg/L, e em Juazeiro, após Sobradinho, 47 mg/L. Até o reservatório de Sobradinho, o Rio São Francisco apresenta altas concentrações de sedimentos. Entretanto, a jusante, o rio apresenta redução considerável de carga sólida, e, conseqüentemente, da concentração de sedimentos.

Para analisar o uso e ocupação do solo foi necessário compor um mosaico da área de interesse a partir de imagens do satélite *Landsat 8*. Na composição desse mosaico foi realizada a seleção das cenas com a menor cobertura de nuvens e variação temporal possível. Para isso, foi realizada uma pesquisa sobre o período de estiagem na área, sendo identificados os meses entre abril e julho como os mais favoráveis à obtenção das imagens. O mês de julho forneceu a base da maior parte das imagens, seguido por junho e maio. Segue a relação das cenas:

Maio

- LC82170672013150
- LC82170682013150
- LC82180702013125
- LC82180712013125
- LC82180722013125

Junho

- LC82180662013173
- LC82180672013173
- LC82180682013173
- LC82180692013173

Julho

- LC82180732013189
- LC82180742013189
- LC82190672013212
- LC82190682013212
- LC82190692013212



- LC82190702013212
- LC82190712013212
- LC82190722013212
- LC82190732013212
- LC82190742013212
- LC82200672013203
- LC82200682013203
- LC82200692013203
- LC82200702013203
- LC82200712013203
- LC82200722013203
- LC82200732013203
- LC82210672013210
- LC82210682013210
- LC82210712013210

Essas imagens foram reprojctadas, tendo em vista que as imagens *Landsat-8* são orientadas ao norte verdadeiro, ou seja, a cena *Landsat-8* é obtida na Projeção/Datum WGS1984 UTM “Zona 23N”, sendo necessário converter para “Zona 23S” cada uma das 26 cenas do satélite *Landsat 8* que compõem a área de estudo.

Foi realizado o georreferenciamento, utilizando-se dados *geocover* 2000 (imagens *Landsat* ortorretificadas para a escala 1:50.000) e malha hidrológica da ANA, para cada uma das 29 cenas do satélite *Landsat 8* que abrangem a área de estudo; Em seguida, foi efetuada a calibração de bandas e o processo de mosaicagem em um único arquivo, como pode ser visto na Figura 9.2.

Foi realizada uma classificação supervisionada, a partir do mosaico, para a confecção do mapa de uso e ocupação do solo, apresentado na Figura 9.3. Utilizou-se de prévia segmentação baseada em objetos, que leva em consideração várias características da imagem, como heterogeneidade espacial (forma) que também é subdividido em compacidade e suavidade, assim como espectral (cor) e diferença dos objetos de entorno, utilizando em síntese o método de crescimento de regiões para agregar *pixels* vizinhos. Esse processo termina quando o objeto excede o limiar (escala) definido pelo usuário e adotado neste trabalho o valor 100. Foram utilizados os algoritmos *assign class*, *elliptic fit*, *with border* e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), de forma a identificar os seguintes temas, cuja descrição correspondente foi obtida do Manual Técnico de Uso da Terra IBGE (2013):

- Áreas Antrópicas Não Agrícolas

A essa nomenclatura estão associados todos os tipos de uso da terra de natureza não agrícola, florestal ou aquática, tais como áreas urbanizadas, industriais, comerciais, redes de comunicação e áreas de extração mineral. Essas áreas, ditas antrópicas, admitem duas categorias:

### ➤ Áreas Urbanizadas

Como situação urbana foram consideradas as áreas correspondentes às cidades (sedes municipais), vilas (sedes distritais) e as áreas urbanas isoladas. Compreendem áreas de uso intensivo, estruturadas em edificações e sistemas viários, onde predominam as superfícies artificiais não agrícolas. Estão incluídas nessa categoria as metrópoles, cidades, vilas, áreas de rodovias, serviços e transporte, energia, comunicações e terrenos associados, áreas ocupadas por indústrias, complexos industriais e comerciais e instituições que podem em alguns casos encontrar-se isolados das áreas urbanas. As áreas urbanizadas podem ser contínuas, onde as áreas não lineares de vegetação são excepcionais, ou descontínuas, onde as áreas de vegetação ocupam superfícies mais significativas.

### ➤ Áreas de Mineração

Referem-se a áreas de exploração ou extração de substâncias minerais. Os minerais podem ser classificados em metálicos e não metálicos, incluindo-se entre os últimos as gemas. Os processos de extração mais comuns são a lavra e o garimpo. A lavra refere-se a um conjunto de operações coordenadas objetivando o aproveitamento econômico da jazida, desde a extração das substâncias minerais até o beneficiamento das mesmas. No garimpo são utilizados, na extração de minerais, instrumentos rudimentares, aparelhos manuais ou máquinas simples e portáteis, sendo o trabalho realizado individualmente. A lavra garimpeira é o aproveitamento imediato de jazimentos minerais que, por sua natureza, dimensão, localização e utilização econômica, pode ser levado a efeito independentemente de prévios trabalhos de pesquisa, segundo os critérios fixados pelo Departamento Nacional da Produção Mineral-DNPM.

#### • Áreas Antrópicas Agrícolas

No sentido amplo, a terra agrícola pode ser definida como terra utilizada para a produção de alimentos, fibras e *commodities* do agronegócio. Inclui todas as terras cultivadas, caracterizadas pelo delineamento de áreas cultivadas ou em descanso, podendo também compreender áreas alagadas. Podem se constituir em zonas agrícolas heterogêneas ou representar extensas áreas de *plantations*. Encontram-se inseridas nesta categoria as lavouras temporárias, lavouras permanentes, pastagens plantadas, silvicultura e áreas comprovadamente agrícolas cujo uso não foi identificado no período do mapeamento.

### ➤ Cultura Temporária

É o cultivo de plantas de curta ou média duração, geralmente com ciclo vegetativo inferior a um ano, que após a produção deixam o terreno disponível para novo plantio. Dentre as culturas destacam-se as de grãos e cereais, as de bulbos, raízes, tubérculos e hortaliças. Incluem ainda as plantas hortícolas, floríferas, medicinais, aromáticas e condimentares de pequeno porte, que muitas vezes são cultivadas em estruturas como estufas, ripados e telados. As lavouras semipermanentes como cana-de-açúcar e mandioca, bem como as culturas de algumas forrageiras destinadas ao corte também estão incluídas nessa categoria.



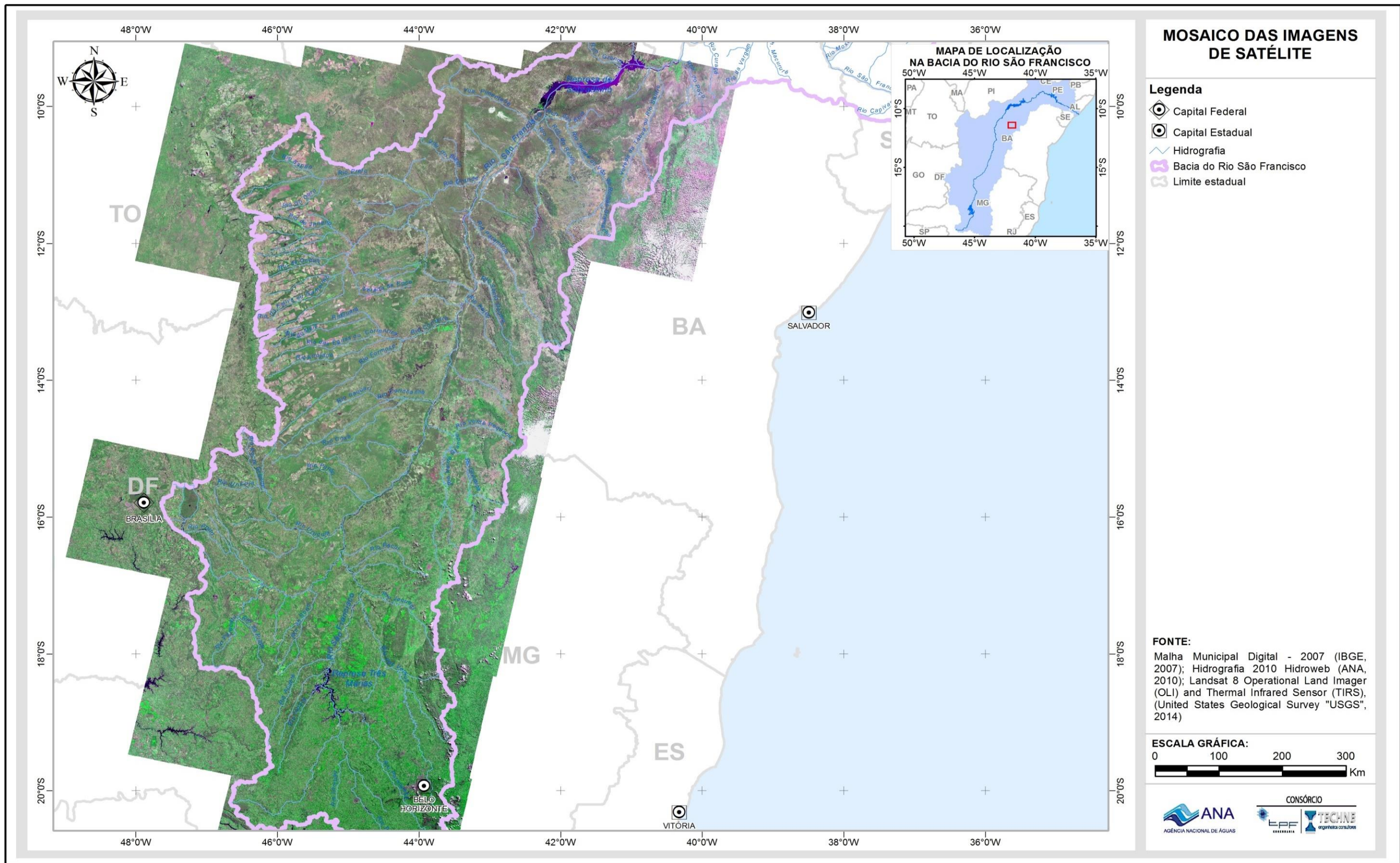


Figura 9.2 - Mosaico da área de interesse.

### ➤ Cultura Permanente

Compreende o cultivo de plantas perenes, isto é, de ciclo vegetativo de longa duração. Essas plantas produzem por vários anos sucessivos sem a necessidade de novos plantios após colheita, sendo utilizadas técnicas de cultivo tradicional, orgânico, assim como o cultivo de plantas modificadas geneticamente. Compreende também a produção de sementes e mudas das plantas dessa classe, quando atividade complementar ao cultivo. Nessa categoria estão espécies frutíferas, como laranjeiras, cajueiros, coqueiros, macieiras e bananeiras; espécies produtoras de fibras, como coco-da-baía, espécies oleaginosas; cultivos diversificados, e as espécies como cafeeiros, seringueiras e cacauzeiros, em sistemas que combinam ou não culturas agrícolas com florestas.

### ➤ Pastagem

É a área destinada ao pastoreio do gado, formada mediante plantio de forragens perenes ou aproveitamento e melhoria de pastagens naturais. Nessas áreas, o solo está coberto por vegetação de gramíneas e/ou leguminosas, cuja altura pode variar de alguns decímetros a alguns metros. A atividade que se desenvolve sobre essas pastagens é a pecuária em que se procura unir ciência e tecnologia visando à produção de animais domésticos com objetivos econômicos, tais como a criação e o tratamento de animais de grande porte, criação de animais de médio porte e animais de pequeno porte.

### ➤ Silvicultura

Atividade ligada a ações de composição, trato e cultivo de povoamentos florestais, assegurando proteção, estruturando e conservando a floresta como fornecedora de matéria-prima para a indústria madeireira, de papel e celulose ou para o consumo familiar. A silvicultura também desempenha papel de agente protetor, benfeitor e embelezador da paisagem.

#### • Áreas de Vegetação Natural

A vegetação natural compreende um conjunto de estruturas florestais e campestres, abrangendo desde florestas e campos originais (primários) e alterados até formações florestais espontâneas secundárias, arbustivas, herbáceas e/ou gramíneo-lenhosas, em diversos estágios sucessionais de desenvolvimento, distribuídos por diferentes ambientes e situações geográficas.

### ➤ Florestal

Consideram-se como florestais as formações arbóreas com porte superior a cinco metros, incluindo-se aí as fisionomias da Floresta Densa (estrutura florestal com cobertura superior contínua), da Floresta Aberta (estrutura florestal com diferentes graus de descontinuidade da cobertura superior, conforme seu tipo (com cipó, bambu, palmeira ou sororoca), da Floresta Estacional (estrutura florestal com perda das folhas dos estratos superiores durante a estação desfavorável (seca e frio) além da Floresta Ombrófila Mista (estrutura florestal que compreende a área de distribuição natural da *Araucaria angustifolia*, elemento marcante nos estratos superiores, que geralmente forma cobertura contínua) e das áreas de mangues.



### ➤ Campestre

Entendem-se como áreas campestres as diferentes categorias de vegetação fisionomicamente bem diversa da florestal, ou seja, aquelas que se caracterizam por um estrato predominantemente arbustivo, esparsamente distribuído sobre um tapete gramíneo-lenhoso. Encontram-se disseminadas por diferentes regiões fitogeográficas, compreendendo diferentes tipologias primárias: savanas, estepes planaltinas, campos rupestres das serras costeiras e campos hidroarenosos litorâneos (restinga), com diversos graus de antropização. Conforme o Manual técnico da vegetação brasileira (2012), estão incluídas nessa categoria as savanas, estepes, savana-estépica, formações pioneiras e refúgios ecológicos.

### • Água

Incluem todas as classes de águas interiores e costeiras, como cursos de água e canais (rios, riachos, canais e outros corpos de água lineares), corpos de água naturalmente fechados, sem movimento (lagos naturais regulados) e reservatórios artificiais (represamentos artificiais de água construídos para irrigação, controle de enchentes, fornecimento de água e geração de energia elétrica), além das lagoas costeiras ou lagoas, estuários e baías. No mapeamento do Uso da Terra, essa classe está dividida em duas subclasses: corpo de água continental e corpo de água costeiro.

#### ➤ Corpos de Águas Continentais

Tratam-se dos corpos de água naturais e artificiais que não são de origem marinha, tais como: rios, canais, lagos e lagoas de água doce, represas, açudes, etc.

#### ➤ Corpos de Água Costeiros

São corpos de água salgada e salobra que recobrem os locais junto à costa, englobando a faixa costeira de praias e as águas abrigadas, como estuários, baías, enseadas, lagoas, lagoas litorâneas e canais. A delimitação entre costeiro e continental deve ser definida caso a caso, considerando-se sempre o limite entre a água de mistura (salobra) e água continental, ou seja, deve-se considerar até onde ocorre a influência marinha.

As classes de uso e ocupação do solo que compõe o mapa apresentado na Figura 9.3 foram as seguintes: Área urbanizada, Lavoura temporária, como representante das classes antropizadas e Florestal e Campestre representando as classes de vegetação

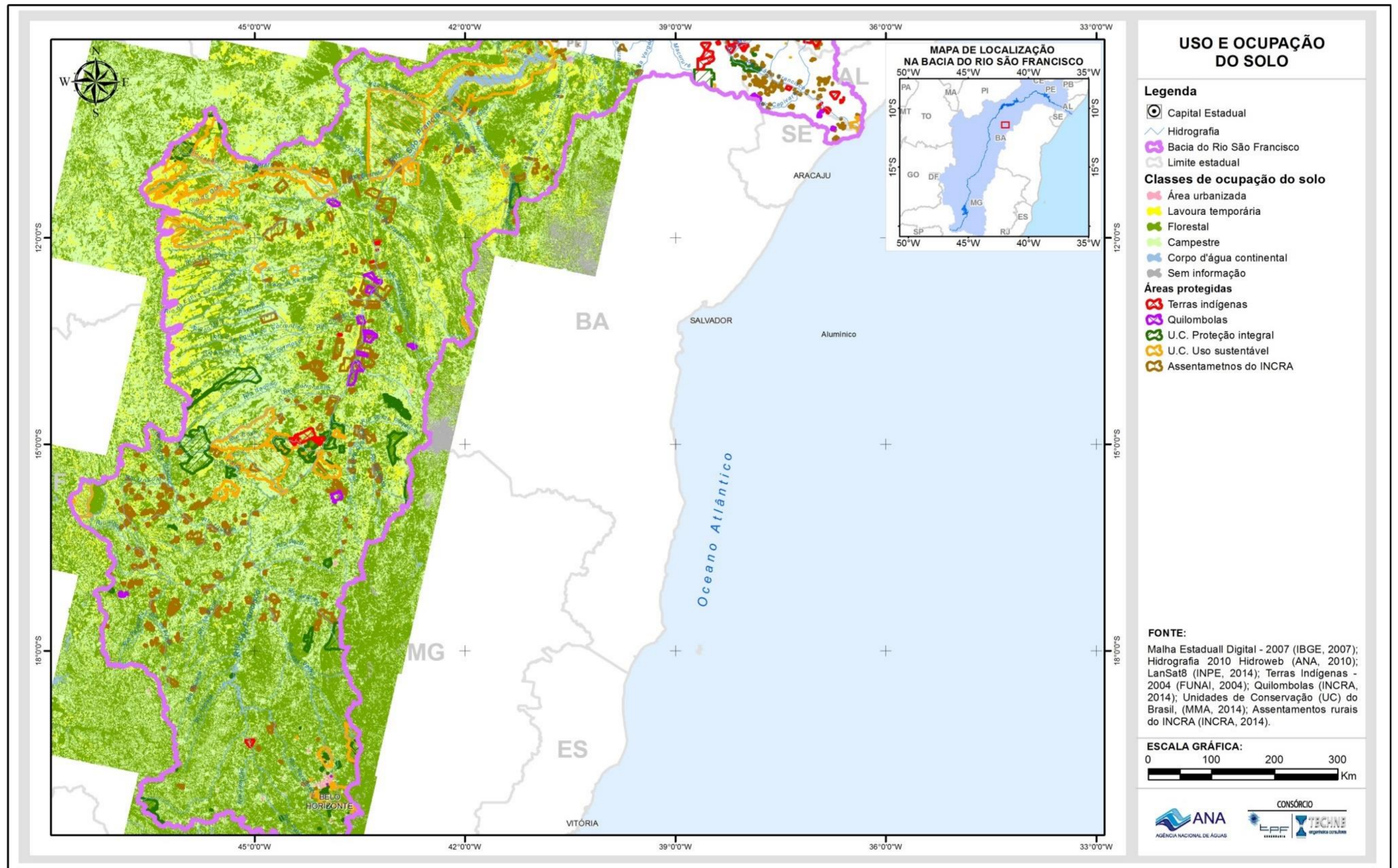


Figura 9.3 - Mapa de uso e ocupação do solo da área regional.



## MEIO SOCIOECONÔMICO

### 10. Socioeconomia

#### 10.1 Análise dos dados socioeconômicos

Os dados socioeconômicos dos estados onde ocorrem sistemas aquíferos cársticos e fissuro-cársticos foram obtidos no SIDRA – Sistema IBGE de Recuperação Automática. Dentro do contexto socioeconômico, tomaram-se os seguintes dados: população, rendimento, taxa de alfabetização, índice de desenvolvimento humano – IDH, produto interno bruto - PIB dos setores primário, secundário e terciário, formas de abastecimento de água, existência de banheiro ou sanitário, esgotamento sanitário, destino do lixo e existência de energia elétrica.

Além desses dados, foram feitas considerações a respeito da incidência de doenças associadas ao saneamento básico. Com este último dado, procurou-se encontrar relação entre este e as doenças de veiculação hídrica. Ou seja, lugares onde há pequeno número de domicílios particulares permanentes (em unidades) com saneamento básico, o número de doenças que estão relacionadas à água tende a ser crescente.

Os dados relacionados ao saneamento básico foram obtidos na página virtual do Ministério da Saúde, sendo os mais recentes referentes ao ano de 2012. As doenças veiculadas pela água analisadas foram cólera, dengue, febre tifoide, leptospirose, hepatite A e esquistossomose. Já no atlas de desenvolvimento humano no Brasil, que é uma plataforma de consulta ao Índice de Desenvolvimento Humano – IDH, além de outros indicadores para municípios brasileiros, foram encontrados os dados referentes a ao IDHM – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal. Este índice é uma medida composta de indicadores de três dimensões do desenvolvimento humano: longevidade, educação e renda.

Neste primeiro momento, a socioeconomia da região será representada pelo Rendimento, Taxa de Alfabetização e IDHM (2010), últimos dados oficiais publicados pelo IBGE. O Rendimento a ser considerado será o Rendimento Nominal médio mensal das pessoas de 10 anos ou mais de idade, com rendimento em reais.

Para a Taxa de Alfabetização, essa traduzirá a percentagem da população, acima de 10 anos, que possui domínio de escrita e leitura, de forma a caracterizar o nível de instrução do local.

Por último, o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) abrange as três dimensões do desenvolvimento humano: longevidade, educação e renda. Esse índice varia no intervalo de 0 a 1, de forma que quanto mais próximo de 1, maior o desenvolvimento humano da região.

A análise do IDH, portanto, consiste em forma de mensurar a oportunidade da referida população de viver uma vida longa e saudável, de ter acesso ao conhecimento e ter um padrão de vida que garanta as necessidades básicas, representadas pela saúde, educação e renda. A qualidade de vida

inferida através deste índice traduzirá a dinâmica da região, que guarda relação com a sua demanda hídrica.

Já a interpretação dos parâmetros de rendimento e taxa de alfabetização auxiliam o entendimento do grau de desenvolvimento econômico de uma região, e a partir disso, torna-se possível correlacioná-los à necessidade hídrica do local.

### 10.1.1 Características gerais dos municípios

Dada a localização dos aquíferos cársticos, os municípios pesquisados pertencem exclusivamente aos estados da Bahia e Minas Gerais. Para caracterização desses municípios, optou-se por agrupá-los em subdomínios. Assim, proceder-se-á com a análise dos dados totais referentes a essas unidades, confrontando-as com toda a área de influência do aquífero, bem como com uma análise em relação aos dois estados.

**Tabela 10.1 - Dados de rendimento, alfabetização e IDHM (2010).**

Região	UF	Rendimento (R\$)	Alfabetização (%)	IDHM
Total Subdomínio	MG	862,81	89,51	0,696
Estado de Minas Gerais		1.101,56	92,30	0,731
Total Subdomínio	BA	613,50	80,59	0,616
Estado da Bahia		813,94	84,60	0,660
TOTAL GERAL DOS SUBDOMÍNIOS		780,16	86,55	0,669

No que se refere à análise de rendimento, tem-se que o valor total dos subdomínios do estado de Minas Gerais encontra-se abaixo da média da região. Os municípios do estado da Bahia também seguem o mesmo comportamento dos municípios mineiros, (Tabela 10.1), sendo o rendimento total por subdomínio menor do que a média do estado. No entanto, vale ressaltar que, apesar de algumas regiões apresentarem rendimentos abaixo da média, todos possuem renda acima do salário mínimo da época, cerca de R\$ 510,00.

De um ponto de vista macro, é possível observar que a área total de ocorrências dos aquíferos cársticos possui rendimento abaixo da média dos estados de Minas Gerais e acima da média da Bahia.

Para o rendimento, tem-se a proporção de adultos potencialmente receptores de renda no domicílio, diante do cenário em que crianças e idosos tendem a não gerar renda. Sabendo que o rendimento é obtido pela divisão entre a receita domiciliar e o número de integrantes neste domicílio, um rendimento baixo pode ser entendido como receita familiar baixa e/ou alto número de integrantes da família.

Dessa forma, o que se percebe é que, geralmente, essas condicionantes de rendimentos baixos se apresentam concomitantemente, tendo influência



direta na qualidade de vida da família. Famílias com menor qualidade de vida tendem a ter mais filhos, ou seja, maior número de integrantes, ao passo de que maiores números de crianças não incrementam a renda familiar, corroborando para um rendimento baixo.

Para a alfabetização, tem-se que a média da área analisada é superior à do estado da Bahia e inferior aos índices do estado de Minas Gerais. Numa análise mais detalhada, percebe-se que, tanto os subdomínios estudados de Minas Gerais, quanto os da Bahia, possuem indicadores inferiores aos seus respectivos estados, sinalizando que são regiões menos desenvolvidas.

Por conseguinte, a taxa de alfabetização contribui para análise das condições de vida populacional por entendimento do bem estar familiar. Essa taxa de alfabetização tende a ser menor em localidades com rendimento limitado. Dessa forma, os dados acerca do rendimento e taxa de alfabetização regional corroboram para a inferência do nível de qualidade de vida, de modo que taxas pequenas indicam menor qualidade de vida.

Quando considerado o IDHM, é possível obter análise mais robusta, haja vista que tal índice pondere longevidade, educação e renda, simultaneamente. Nesse âmbito, o Índice de Desenvolvimento Humano para o estado de Minas Gerais foi de 0,731, em 2010, o que situa essa Unidade Federativa (UF) na faixa de Desenvolvimento Humano Alto (IDHM entre 0,700 e 0,799). Já no caso da Bahia, que possuía Índice de Desenvolvimento Humano de 0,660, em 2010, a mesma é situada na faixa de Desenvolvimento Humano Médio (IDHM entre 0,600 e 0,699).

Ao analisar a amostra, observou-se que as unidades de baixo rendimento são também as de IDHM inferior à média da área em análise. Pode-se dizer que, tanto os subdomínios da região de Minas Gerais, como os da Bahia, apresentaram índices na faixa de Desenvolvimento Humano Médio, sendo Minas Gerais a região mais desenvolvida.

Disso posto, é provável que os municípios do estado de Minas Gerais, quando comparados aos da Bahia, possuam demanda hídrica per capita superior, devido a maior qualidade de vida aferida na região. Como dito anteriormente, um menor desenvolvimento econômico implica numa menor necessidade de utilização de água, e conseqüentemente, uma menor solicitação pela mesma.

### **10.1.2 Atividades econômicas dos municípios**

Ainda no intuito de compor a análise socioeconômica, ficam propostas considerações a respeito do PIB. Nesse âmbito, serão realizadas análises do valor agregado por setor, a considerar os setores primário, secundário e terciário em 2012 (Tabela 10.2), ano da última publicação do IBGE para esse índice.

Representativo da soma de todos os bens e serviços finais produzidos numa determinada região, esse indicador econômico possibilita depreender o desenvolvimento de uma região. Assim, através dele é mensurada a atividade econômica e nível de riqueza da área.

A totalidade de bens e serviços finais, quantificadas, considera valores adicionados pela agropecuária, indústria e serviços, além de impostos. Essas divisões constituem no PIB do setor primário, secundário e terciário, respectivamente.

Uma alta no PIB pode ser traduzida como crescimento da economia e maior disponibilidade de dinheiro, o que tende a resultar em aumento do consumo da população. Assim, aumentado o consumo, este impulsionará aumento da oferta de forma a impactar processos e meios de produção, que, em sua maioria, incluem a necessidade de utilização de água.

Para viabilizar comparação desses indicadores econômicos entre municípios, recomenda-se a normalização deste por sua população. Dessa maneira, serão obtidos valores per capita, donde a participação de cada brasileiro diante da produção fica, portanto, passíveis de contraste.

O PIB per capita é, portanto influenciado por dois fatores: população e atividade econômica. Sendo assim, seu crescimento pode estar relacionado tanto com o aumento da produção econômica quanto com a diminuição do número de habitantes existentes.

Ao contrastar os estados estudados com a média da área em questão, podemos perceber que os dois estados apresentam comportamentos distintos. O PIB per capita do estado mineiro é superior ao valor médio da região, enquanto o estado da Bahia é inferior. Assim, é possível inferir novamente uma baixa qualidade de vida para a região da Bahia.

**Tabela 10.2 - PIB e população da área de estudo em 2012.**

Região	UF	PIB (R\$ mil)	População	PIB per capita (R\$)
Total Subdomínio	MG	55.212.455,00	3.556.560	15.524,12
Estado de Minas Gerais		403.551.317,00	19.597.330	20.592,16
Total Subdomínio	BA	20.070.926,00	1.763.658	11.380,28
Estado da Bahia		167.727.375,00	14.016.906	11.966,08
Total dos Subdomínios		75.283.381,00	5.320.218	14.150,43

Ainda no que se refere a valores de PIB per capita, verifica-se que os valores dos subdomínios estudados são inferiores quando comparados com os valores de seus respectivos estados. A partir desse cenário, pode ser constatar que apesar de ambas as regiões possuírem baixa produção econômica, a região que engloba os subdomínios de Minas possui demanda hídrica mais elevada.

## 10.2 Aspectos sanitários dos municípios

A ocupação humana na área de estudo pode impactar diretamente a qualidade da água, indicando a necessidade de verificação da maneira como as atividades humanas influenciam a região. O tratamento inadequado ou mal encaminhamento dos resíduos, a retirada da vegetação da região, entre outros fatores, constituem exemplos do potencial do ser humano em promover desarranjos ambientais.

Para monitoramento da qualidade da água, propõe-se execução de estudo dos aspectos sanitários característicos dos domicílios que mais influenciam nos problemas ambientais, com identificação das deficiências da região. O levantamento foi feito através do site do SIDRA (Sistema IBGE de Recuperação Automática) no ano de 2010.

Os dados foram coletados em 17,19% dos domicílios de Minas Gerais, que possui um total de 6.028.223 (Seis milhões, vinte e oito mil, duzentos e vinte e três) domicílios, e 11,75% dos domicílios da Bahia, que tem um total de 4.094.405 (Quatro milhões, noventa e quatro mil, quatrocentos e cinco) domicílios. Foram avaliadas quatro influências dos aspectos sanitários das sedes municipais: abastecimento de água, esgotamento sanitário, destino do lixo e existência de energia elétrica.

### 10.2.1 Abastecimento

O abastecimento garante a água distribuída à população urbana ou rural, com ou sem tratamento prévio, a depender da origem do manancial. Por conseguinte, existem várias formas de abastecimento de água que pode ser identificada em uma região:

- **Rede geral:** o sistema de abastecimento de água deve fornecer e garantir à população água de boa qualidade do ponto de vista físico, químico, biológico e bacteriológico, consequência de tratamento pós-

captação superficial ou subterrânea. Após o tratamento, a água segue para reservatórios de onde, posteriormente, partirá a distribuição à população por meio de redes de tubulação;

- **Poço ou nascente dentro ou fora da propriedade:** domicílio abastecido por água canalizada proveniente de poço ou nascente, localizada dentro ou fora da propriedade;
- **Rio, açude, lago ou igarapé:** domicílio abastecido por água canalizada proveniente de rio, açude, lago ou igarapé;
- **Poço ou nascente dentro ou fora da aldeia:** Domicílio abastecido por água canalizada proveniente de poço ou nascente localizada dentro ou fora da aldeia;
- **Outros:** domicílio abastecido por água proveniente de reservatório abastecido por carro-pipa, coleta de chuva ou outra procedência que não se enquadre nas anteriormente descritas.

Para a pesquisa foi possível identificar a multiplicidade de formas de abastecimento de água nos domicílios da região. Como apenas pelo abastecimento por rede geral a água é considerada tratada, é possível detectar precariedade de algumas áreas, onde, em alguns casos, a água é retirada e distribuída diretamente de sua fonte.

Águas naturais são influenciadas diretamente e indiretamente por poluição humana e precisam de tratamento para que possam oferecer qualidade e saúde aos que as consomem, portanto as águas que são canalizadas direto da fonte, sem tratamento, podem ser prejudiciais intensificando a proliferação de doenças.



**Tabela 10.3 - Forma de abastecimento de água no ano de 2010.**

Forma de Abastecimento de Água								
Região	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	% Abastecimento
Total Subdomínio Minas Gerais	886.473	65.596	50.547	19.531	492	197	13.429	85,55%
Total Subdomínio Bahia	379.363	13.126	39.935	17.575	-	-	30.996	78,87%
Total dos Subdomínios	1.265.836	78.722	90.482	37.106	492	197	44.425	83,43%
Estado de Minas Gerais								86,28%
Estado da Bahia								80,34%

Dentre as regiões analisadas, nota-se que ambas possuem uma porcentagem de abastecimento urbano ligeiramente menor do que a total estadual (Tabela 10.3). Percebe-se que 85% dos municípios alocados em Minas Gerais e 78% dos alocados na Bahia possuem abastecimento por rede geral, ou seja, com tratamento adequado de água. Nesse sentido, a região da Bahia necessitaria de menor atenção para o setor de abastecimento, indicando que devem possuir qualidade de vida mais precária.

### 10.2.2 Esgotamento sanitário

O esgoto doméstico tem capacidade de contaminar o meio ambiente e provocar doenças. Por ser rico em carga orgânica e principal poluidor de rios situados em áreas de ocupação urbana, precisa ser coletado e tratado corretamente antes de ser despejado. O sistema de coleta de esgoto sanitário é assim composto:

- **Rede geral:** a destinação adequada dos esgotos se inicia dentro dos domicílios, através da construção de instalações hidrossanitárias, que compreendem a rede de tubulação interna da casa e as peças sanitárias. Essas peças recebem as águas servidas e as levam até a tubulação de saída do ramal predial, seguindo por uma rede geral coletora do esgoto de uma região;

- **Rede pluvial:** quando o imóvel não possui rede coletora de esgoto, é comum a população fazer ligações indevidas nas tubulações diretas na rede pluvial (coletora apenas da água de chuvas);
- **Fossas sépticas:** são unidades de tratamento primário de esgoto doméstico nas quais são feitas a separação e a transformação físico-química da matéria sólida contida no esgoto. É uma maneira simples e barata de disposição dos esgotos indicada, sobretudo, para a zona rural ou residências isoladas;
- **Outros:** descartar o esgoto diretamente em valões, córregos, rios, praias e outras formas que não estejam incluídas nas anteriormente descritas.

Para a pesquisa socioeconômica foi levantado o número de domicílios com coleta de esgoto de acordo com as listadas acima. Anteriormente, no entanto, foram identificados os domicílios que possuíam banheiro ou apenas sanitário (Tabela 10.4).

**Tabela 10.4 - Número de domicílios onde há existência de banheiro ou sanitário e esgotamento sanitário dos subdomínios no ano de 2010.**

Existência de Banheiro ou Sanitário e Esgotamento Sanitário								
Região	Tinham banheiro	Rede geral de esgoto ou pluvial ou fossa séptica	outro	Tinham sanitário	Rede geral de esgoto ou pluvial ou fossa séptica	outro esgotado	Não tinham banheiro nem sanitário	% Esgotamento Sanitário
Total Subdomínio Minas Gerais	983.831	658.003	325.828	22.438	5.437	17.001	29.996	67,43
Total Subdomínio Bahia	397.100	113.724	283.376	26.368	3.403	22.965	57.527	29,5
Total dos Subdomínios	1.380.931	771.727	609.204	48.806	8.840	39.966	87.523	56,52
Estado de Minas Gerais								78,61
Estado da Bahia								51,76

Notou-se que a área de estudo possui indicadores abaixo da média nos dois estados. Dessa forma, pode-se concluir grande impacto ao meio ambiente causado pela falta de tratamento do esgoto, não característico do esgotamento sanitário proveniente da rede geral, rede pluvial, ou fossa séptica.

Ainda referente a essa análise, observa-se que os municípios localizados na Bahia são os que possuem os maiores índices de domicílios que não possuem banheiro nem sanitário. Tal fator indica a necessidade de atenção urgente para o tratamento e transporte de esgoto, visto que é fator essencial para elevar o nível da saúde humana.

Ainda que os municípios da Bahia sejam as regiões mais críticas, cabe atentar para a importância de investimentos que visem à melhoria de ambos os estados, de forma que possíveis doenças de veiculação hídrica não venham a ser um problema na região.

### 10.3.3 Destino do lixo

O lixo e seus diversos tipos de resíduo são um dos principais problemas dos municípios urbanizados. A produção de resíduos é grande e diretamente proporcional à população, e o seu destino constitui em sério problema ambiental e de saúde pública. Podemos classificar seus destinos por:

- **Lixo coletado por serviço de limpeza:** o lixo produzido é diretamente coletado por uma equipe de coleta, obedecendo trajetos e horários para a realização do serviço;
- **Lixo coletado em caçamba de serviço de limpeza:** os moradores deixam os recipientes de lixo, produzidos em domicílio, em caçambas estacionárias que serão posteriormente coletados;
- **Outros destinos:** lixo de coleta seletiva e outros que não se incluam nos exemplos acima.

É importante a verificação dos tipos de coleta que existem nas regiões estudadas (Tabela 10.5), já que o acúmulo de lixo em áreas próximas aos reservatórios de águas superficiais e subterrâneas influi negativamente na qualidade destas.

Com o estudo realizado, foi possível destacar que a área em análise necessitaria de implementação de um projeto de coleta de lixo intensificada, justificado pela proximidade da região a reservas de água, além de apresentarem taxa de coleta de lixo inferior ou muito próxima a 80%. Este resultado pode ser bastante prejudicial à saúde da população, uma vez que a disposição inadequada de resíduos tende a contaminar os cursos d'água próximos, além do solo propriamente dito.

Observa-se que as unidades presentes na Bahia, indicam condições de coleta de lixo mais precárias, apresentando um índice de lixo coletado inferior a 70%. Assim, essa região pode ser prejudicada pelo mal planejamento e destinação correta do lixo, conforme mencionado anteriormente.

**Tabela 10.5 - Número de domicílios de acordo com destino de lixo nos subdomínios (2010).**

Destino de Lixo					
Região	Coletado	Coletado por serviço de limpeza	Coletado em caçamba de serviço de limpeza	Outro destino	% Coleta de lixo
Total Subdomínio Minas Gerais	844.597	817.929	26.668	191.668	81,50%
Total Subdomínio Bahia	315.412	271.715	43.697	165.583	65,57%
Total dos Subdomínios	1.160.009	1.089.644	70.365	357.251	76,45%
Estado de Minas Gerais					87,63%
Estado da Bahia					76,21%

#### 10.4.4 Energia Elétrica

A distribuição de energia elétrica é uma das atividades essenciais para a vida moderna, causa e consequência do desenvolvimento das sociedades e direito constitucional dos cidadãos. A energia elétrica também é indispensável para o processo de construção da cidadania e da sociedade em termos de avanços tecnológicos, o que contribui indiretamente na questão dos recursos hídricos.

O estudo foi feito com base na quantidade de domicílios que recebem ou não energia elétrica (Tabela 10.6), o que determina o quanto aquela região seria avançada ou isolada da sociedade atual.



**Tabela 10.6 - Porcentagem da existência de energia elétrica no ano de 2010.**

Existência de Energia Elétrica			
Região	Tinham	Não tinham	% Coleta de lixo
Total subdomínio Minas Gerais	1.023.212	13.053	98,74%
Total subdomínio Bahia	459.185	21.810	95,47%
Total dos Subdomínios	1.482.397	34.863	97,70%
Estado de Minas Gerais			99,29%
Estado da Bahia			96,43%

Podemos identificar que a área de estudo é uma região bem atendida por redes elétricas, mas ainda passível de melhoras, visto que os índices da Bahia poderiam ser superiores se comparados ao de Minas Gerais.

Temos que regiões com menor acesso à rede elétrica também apresentam índices inferiores no tocante ao desenvolvimento da região. Fica comprovando então o caráter mais precário dessas regiões no que diz respeito ao gerenciamento da coleta de lixo e um sistema inferior de abastecimento e esgotamento sanitário, o que acarreta em maior incidência de doenças e índices socioeconômicos abaixo das médias.

### 10.5.5 Doenças de veiculação hídrica

Os resíduos sólidos e líquidos gerados pelas atividades humanas precisam ser corretamente coletados, transportados, tratados e dispostos de modo a não gerar ameaça à saúde e ao ambiente.

O principal objetivo da remoção regular do lixo gerado pela comunidade e do encaminhamento correto dos dejetos líquidos à partir de canalização é evitar a proliferação de vetores causadores de doenças e a degradação da qualidade do solo e das águas superficiais e subterrâneas. Adicionalmente, os resíduos depositados em locais indevidos geram desconfortos como mal cheiro, proliferação de insetos, atração de animais transmissores de doenças e causa detrimento visual das cidades.

As pessoas, quando em contato com solo ou abastecidas por água contaminada, se expõem às doenças, além de estarem mais expostas aos insetos e animais responsáveis pela transmissão de várias doenças.

As doenças de veiculação hídrica são caracterizadas pela fácil proliferação devido ao fato de que a água é, muitas vezes, um bem de uso comum da população.

Os microrganismos patogênicos, existentes na água, podem ser facilmente transmitidos, facilitando o alcance de grande número de pessoas, culminando em epidemias. Por este motivo se faz tão importante o planejamento do tratamento e transporte de resíduos, potenciais perturbadores, inclusive, das águas superficiais e subterrâneas, direta e indiretamente. Algumas dessas doenças estão listadas a seguir:

- **Esquistossomose:** Causada pelo verme *Schistosoma mansoni*, este se instala nas veias do fígado e do intestino. Para que surja a esquistossomose numa localidade é necessária a existência de caramujos, hospedeiros do *Schistosoma mansoni*, que vivem em córregos, lagoas e valas de irrigação. No hospedeiro, o verme vai se desenvolver e depois se instala no homem.
- **Leptospirose:** A bactéria leptospira é transmitida pela urina de roedores. O contágio é feito através da pele ou pela ingestão de água contaminada.
- **Cólera:** É uma doença causada pelo micróbio *Vibrio Cholerae*, que se localiza no intestino do ser humano, provocando, nos casos graves, diarreia e vômitos intensos. A doença é transmitida, principalmente, por meio da água contaminada pelas fezes e pelos vômitos dos doentes.
- **Febre Tifoide:** É uma doença grave, produzida pela bactéria *Salmonella Typhi*. A doença se transmite pelas descargas do intestino (fezes), que contaminam as mãos, as roupas, os alimentos e a água. O bacilo tifóide é ingerido com os alimentos e a água contaminada.
- **Dengue:** É causada por um Arbovírus do gênero Flavivirus. A doença é transmitida, principalmente, pela picada do mosquito *Aedes aegypti* infectado. Os transmissores da dengue proliferam-se dentro ou nas proximidades de habitações, em recipientes com água acumulada.
- **Hepatite A:** A hepatite infecciosa A é produzida pelo vírus tipo "A". A transmissão pode ocorrer por meio da água contaminada. Os indivíduos doentes podem transmiti-la pelas fezes.

Através do levantamento realizado a partir do site ÁguaBrasil (Sistema de Avaliação da qualidade da água, saúde e saneamento) para dados de 2012 referentes a área de estudo, foi possível observar os aspectos sanitários influenciadores na proliferação de doenças na região (Tabela 10.7).

**Tabela 10.7** - Incidência de doenças associadas ao saneamento básico no ano de 2012.

Incidência de doenças associadas ao saneamento básico por 100.000 habitantes para o período de 2012						
Doenças	Esquistossomose	Leptospirose	Cólera	Febre Tifoide	Dengue	Hepatite A
Subdomínios MG	1.865	68	-	12	35.901	495
Estado de Minas Gerais	39.269	443	-	-	93.693	1.476
Subdomínios BA	950	40	-	-	13.986	195
Estado da Bahia	2.778	60	-	30	145.231	514
Total dos Subdomínios	2.815	108	-	12	49.887	690

Nessa análise, foi possível notar que a área de estudo possui elevada taxa de incidência de dengue, correspondendo a 94% de todas as doenças analisadas no local. Disso posto, é possível inferir certa deficiência no armazenamento e acúmulo de água da região. Ainda, pode ser levado em consideração o fato de a região carecer de um melhor plano para a gestão dos resíduos sólidos, já que o acúmulo e retenção deste propicia a contaminação das águas pelo mosquito transmissor de dengue, chikungunya e zika.

Ainda no intuito de analisar os casos de dengue, tem-se que os municípios mineiros, contam com 38% dos casos de dengue do estado, evidenciando mais uma vez a necessidade de maior cuidado para essa área. Vale ressaltar que, apesar da região analisada na Bahia apresentar um número inferior de casos de Dengue, o estado da Bahia em geral também apresenta considerável incidência.

Além disso, no que tange a esquistossomose, os municípios de Minas Gerais estudados apresentam quase duas vezes o número de casos dos municípios baianos. Isso mostra que o precário esgotamento sanitário da região, aliado a uma má gestão de lixo, resulta em contaminação de suas águas e consequente proliferação da doença.

Assim, fica confirmada a necessidade de atenção para com a região no que diz respeito à qualidade da água, tendo em vista que se tratam de doenças transmitidas por água parada e contaminada.

Podemos concluir que com a intensificação do saneamento e coleta de lixo, em regiões com precária prestação de serviços sanitários e planejamento de coleta, torna-se possível mitigar a proliferação de doenças. Esses procedimentos corretivos também possibilitariam fornecimento de abastecimento de água de qualidade superior para toda a população.

### 10.3 Potenciais conflitos de uso da água ou ambientais

O aumento populacional, e o desenvolvimento econômico e tecnológico da sociedade resultam em um aumento da demanda de recursos naturais e ambientais. Uma maior demanda de recursos hídricos superficiais e subterrâneos é, geralmente, alocada para áreas irrigadas, concentrações urbanas e polos industriais.

O crescimento da demanda tem como consequência a possibilidade do surgimento de conflitos entre usuários, fazendo com que haja necessidade de serem propostas medidas de controle. Tais medidas também visam amenizar a multiplicidade de impactos de diversas magnitudes, que influenciam a demanda atual e futura pela água. Esses conflitos podem ser classificados como:

- **Conflito de destinação de uso:** Utilização da água para finalidades diferentes daquelas estabelecidas pelo órgão gestor;
- **Conflito de disponibilidade qualitativa:** Se refere ao comprometimento da qualidade da água por um determinado uso, afetando ou até mesmo impossibilitando outro uso qualquer, além de acarretar danos à saúde de populações submetidas ao efeito dessa poluição.
- **Conflito de disponibilidade quantitativa:** Esgotamento da disponibilidade quantitativa devido ao uso intensivo da água para atender às necessidades do conjunto de usuários. Esses conflitos podem ser permanentes ou temporários, uma vez que estão relacionados às variações do ciclo hidrológico ou, também, às diferentes formas de uso da água.

Então, é a partir de situações de conflito que surgem avanços no processo democrático e uma melhor distribuição da riqueza material. Nesse intuito, surgiu a gestão dos recursos hídricos, criada para minimizar e/ou evitar tais situações, além de auxiliar na tomada de decisão no momento que o referido conflito acontece. Está descrito na lei Nº 9.433/1997 que os planos de recursos hídricos, planos diretores que visam fundamentar e orientar a implementação e o gerenciamento dos recursos hídricos, incluem, além do diagnóstico das situações atuais dos recursos, um balanço entre disponibilidade e demandas futuras destes, com identificação de conflitos potenciais e posteriores medidas a serem tomadas.

A solução de conflitos pelo uso da água requer, de modo geral, a organização dessa gestão sob o enfoque coletivo, inibindo soluções individuais que impliquem danos a outros usuários e, conseqüentemente, causem impactos à bacia hidrográfica.

### 10.4 Demandas Hídricas da Região em Estudo

Vários fatores contribuem para o aumento do uso da água, com destaque para o crescimento da população, o grau de urbanização e uma maior produção de alimentos e mercadorias. Diante deste cenário, os estudos de demanda visam conhecer as necessidades de água atuais e futuras e, juntamente com o conhecimento das potencialidades e disponibilidades



hídricas, se apresenta como um dos elementos essenciais para a realização do balanço dos recursos hídricos de uma região. Constituem também um valioso instrumento de planejamento e de estabelecimento de prioridades na formulação de uma política de recursos hídricos.

As demandas hídricas podem ser caracterizadas como consuntivas (quando o uso da água implica em consumo) e não consuntivas (quando a água não é consumida, mas mantida em determinadas condições que implicam em restrições aos demais usos). A Tabela 10.8 reúne as categorias de atividades que representam as demandas consuntivas e não consuntivas

**Tabela 10.8 – Demandas consuntivas e não consuntivas.**

Demandas Consuntivas	Demandas Não Consuntivas
Abastecimento humano: Urbano e Rural	Geração de energia
Dessedentação animal	Navegação interior
Irrigação	Pesca
Indústria	Turismo, recreação e Lazer
Agricultura	
Ecologia	

Na avaliação das demandas dois grupos de elementos são essenciais para a execução do trabalho, os fatores de demanda e os coeficientes de demanda.

Os primeiros representam os elementos fornecidos pelos estudos socioeconômicos da situação atual e projetados, que permitem calcular as demandas e os consumos para as diferentes categorias de usuários, sendo essa categoria, portanto, alvo de nosso estudo. São exemplos de fatores de demanda: habitantes, efetivos dos rebanhos, hectares irrigados etc.

É conveniente ressaltar que para as demandas industriais estão consideradas as demandas para mineração, inclusive. Para o estado de Minas Gerais, por exemplo, essa atividade é relevante e não pode ser desprezada, uma vez que consistem em grande parte da demanda hídrica industrial.

Também para o estado de Minas Gerais, devido à disponibilização do Plano de Agricultura Irrigada, os cálculos relativos às demandas hídricas para Agricultura bem como suas projeções terão como fundamento o plano.

#### **10.4.1 Cálculo das projeções – Definição das Taxas de Crescimento.**

Para área de estudo em questão, como mencionado anteriormente, foi detectada a zona de influência do aquífero, fundamentalmente contida nos estados de Minas Gerais e Bahia. A partir das tendências populacionais dessas duas unidades federativas foi avaliada a população para os anos de 2015, 2020, 2025 e 2030.

O confronto entre a disponibilidade e demanda hídrica na região é que norteará a elaboração do programa de gestão das águas. No que diz respeito à demanda, essa está intimamente ligada à população através do abastecimento de água, dessedentação animal, agropecuária, irrigação para atividades agrícolas e indústria.

A concessão de um programa de gestão da água levará em consideração todos esses fatores, e, essencialmente, deverá considerar tais aspectos em caráter futuro. Assim, a definição de metas e diretrizes do programa só será viável diante das projeções de demanda hídrica, conseqüentemente, da população. Nesse cenário, a projeção populacional possibilitará atendimento às informações requeridas acerca da demanda.

A previsão demográfica tende a se basear em um padrão de evolução demográfica anterior e projetá-lo para a década seguinte. É esse o fundamento da metodologia linear de projeção populacional, onde quaisquer tendências externas são desconsideradas à longo prazo. Se, por algum motivo, os parâmetros considerados apresentarem modificações nas décadas seguintes, o método incorrerá em erros cumulativos.

Outra metodologia bastante utilizada consiste na Regressão Linear. Para o presente caso, esse modelo prevê dependência de população em relação a uma ou mais variáveis, a exemplo da fecundidade, mortalidade e migração, com objetivo de estimar e/ou prever a média da população em termos dos valores conhecidos em amostragens repetidas. Esse método tende a gerar equação do seguinte tipo:

$$Y = \alpha + b_1X_1 + \beta_2X_2 + \dots \quad (\text{Eq. 4.1})$$

em que Y é a variável explicada (população), e X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub> e X<sub>3</sub> são as variáveis explicativas (fecundidade, mortalidade e migração).

Essa regressão resulta no ajuste de uma reta que representa a estrutura dos dados coletados. O ajuste desta reta é resultado da imposição do condicionante em que os valores obtidos através das variáveis explicativas resultem em menor diferença possível à reta ajustada. Logo, a ideia do ajuste desses parâmetros é minimizar a soma dos quadrados dos resíduos.

O que se observa, no entanto, é que esse modelo de previsão retorna resultados mais acurados quando se tratam de tendências regressivas, ou seja, para o passado. Devido à dependência entre Y e X<sub>i</sub> imposta pela metodologia, se faz necessário conhecer comportamentos futuros das variáveis explicativas, incluso seus graus de correlação para com a variável explicada.

Para a projeção de população, a possibilidade de modificações da correlação entre esta e suas variáveis explicativas não são passíveis de se prever, de forma que, se utilizado esse método, os resultados poderão não corresponder à realidade da região. Para contornar essa dificuldade apresentada pelo método acima, propõe-se o Método AiBi, um dos mais utilizados atualmente para projetar populações.

Essa metodologia consiste em admitir que a população varia linearmente com população de área maior, a qual a primeira pertence. 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 das áreas maiores corresponderá às dos estados de Minas Gerais e Bahia, e das áreas menores, considerando as respectivas áreas de influência do aquífero para os ditos estados, irá prever as populações para cada zona.

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

$$P_i(t) = a_i P(t) + b_i \quad (\text{Eq. 4.2})$$

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:

$$P_i(t_0) = a_i P(t_0) + b_i \quad (\text{Eq. 4.3})$$

$$P_i(t_1) = a_i P(t_1) + b_i \quad (\text{Eq. 4.4})$$

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.

#### **10.4.2 Coeficiente de demanda por atividade usuária**

A determinação e estabelecimento dos fatores de demanda hídrica, como supracitado, basearam-se em dados populacionais, considerando a evolução histórica dos parâmetros utilizados por meio de taxas de crescimento estimadas. Nesse intuito, a demanda por água considerou os aspectos de abastecimento humano, dessedentação animal, irrigação e atividades industriais.

No que tange o *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.

Definido esse coeficiente para cada município, chegou-se nos valores de população urbana abastecida e população rural, através das seguintes considerações:

- População Urbana Abastecida = População Urbana Total (IBGE) x Coeficiente de Abastecimento
- População Rural = População Rural (IBGE) + (População Urbana (IBGE) – População Urbana Abastecida)

Uma vez de posse dos resultados das respectivas populações, a Tabela 10.9 apresenta coeficientes de retirada urbana per capita relacionada ao abastecimento humano, conforme o Estado considerado e a faixa de população do município.



**Tabela 10.9 – Coeficientes de retirada urbana per capita relacionada ao abastecimento humano.**

Estados	Faixa Populacional (Habitantes)	Consumo per capita (L/habxd)
AL, GO, PI, RR	<10.000	135
	10.000 a 100.000	160
	100.000 a 500.000	180
	>500.000	210
AC, CE, DF, ES, MA, MS, MT, PA, PB, PE, PR, RN, RO, SE, SC, TO	<10.000	200
	10.000 a 100.000	230
	100.000 a 500.000	265
	>500.000	310
AM,AP,BA,MG,RJ,RS,SP	<10.000	300
	10.000 a 100.000	350
	100.000 a 500.000	400
	>500.000	470

Não obstante, o abastecimento rural faz ponderação apenas ao Estado em que a área de estudo se encontra. Ambas, podem ser encontradas no documento “Base de Referência para o Plano Nacional de Recursos Hídricos” (ANA, 2003).

Na Tabela 4.10 tem-se o consumo per capita por estado.

**Tabela 4.10 – Consumo per capita**

Estados	Consumo per capita (L/hab.d)
AL, GO, PI	70
AC, BA CE, DF, ES, MA , MS, MT, PA, PB, PE, PR, RN, RO, SC, TO	100
AM, AP, MG, RJ, SP, RS, RR	125

Para a dessedentação animal, foi definida uma unidade de medida hipotética, denominada BEDA (Bovinos Equivalentes para Demanda de Água) – equação 4.5, 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.

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

Para estimativa da demanda industrial (Tabela 10.11), foi utilizada, como referência, a metodologia da ONS, que considera a demanda unitária (m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/USD, de forma a ser obtido a demanda total (m<sup>3</sup>/ano). No presente caso, essa demanda foi posteriormente multiplicada por 365 dias, resultando em demanda hídrica para indústria na unidade de m<sup>3</sup>/dia.

**Tabela 10.11 - Índice de consumo específico**

Código	Produto	Índice (m <sup>3</sup> /US\$)
100	Extrativa Mineral	0,13233
150	Produtos Alimentares	0,02708
159	Bebidas	0,00998
160	Fumo	0,00564
170	Têxtil	0,0306
180	Vestuários, Calçados e Artefatos de Tecidos	0,0305
190	Couros e Peles, Artefatos para Viagens	0,0147
201	Madeira	0,0504
210	Papel e Papelão	0,0855
220	Editorial e Gráfica	0,00001
245	Produtos Farmacêuticos e Veterinários	0,0056
247	Perfumaria, Sabões e Velas	0,0075
251	Borracha	0,0013
252	Produtos de Matérias Plásticas	0,0002
260	Transformação de não-metálicos	0,0049
270	Metalúrgica	0,0101
290	Mecânica	0,0113
310	Material Elétricos de Comunicações	0,00001
340	Material de Transporte	0,0055
360	Mobiliário	0,1227
900	Genérica	0,0271

### 10.4.3 Coeficiente Demanda Hídrica da Agricultura

A estimativa da 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 relacionadas aos subdomínios serão convertidas em demanda hídrica através do coeficiente de demanda unitária 0,4 L/s.ha.

#### 10.4.4 Demandas atuais (2010),

As demandas hídricas atuais apresentadas a seguir terão como ano base 2010, sendo este o mesmo ano-referência para análise dos dados socioeconômicos supracitada.

##### 10.4.4.1 População urbana e rural

O estudo da população é fundamental para podermos verificar a realidade quantitativa e qualitativa da mesma. No Brasil, é possível identificar um crescimento populacional, consequência do recente desenvolvimento e crescimento do país (Tabela 10.12).

**Tabela 10.12 - População urbana e rural total dos estados estudados.**

População Urbana			
Região	UF	2000	2010
Total dos Subdomínios	MG	2.488.206	2.868.821
Total dos Subdomínios	BA	914.027	1.041.264
TOTAL GERAL		3.402.233	3.910.085
População Rural			
Região	UF	2000	2010
Total dos Subdomínios	MG	698.551	638.365
Total dos Subdomínios	BA	718.308	697.678
TOTAL GERAL		1.416.859	1.336.043

Um levantamento populacional da área de estudo foi feita com objetivo de avaliar o resultado do comportamento deste crescimento. Foram coletados dados oficiais do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) dos anos de 2000 e 2010, e posteriormente calculou-se a taxa de crescimento anual entre esses anos. O intuito aqui é a realização de um estudo mais detalhado do comportamento da população urbana e rural das áreas de estudo para os dois estados avaliados.

Nos dois estados é possível observar que o crescimento populacional nos municípios sob análise foi positivo, o que segue o padrão do Brasil nos últimos anos. Observa-se que, na área de estudo, a influência no crescimento populacional de Minas Gerais e Bahia se deu pelo aumento na população urbana, visto que os dados comprovam o decréscimo da população rural.

É interessante observar como a população rural apresenta uma taxa de crescimento negativa enquanto que a urbana cresce com uma taxa consideravelmente elevada. Pode-se observar que o decréscimo populacional rural nos municípios de Minas Gerais em estudo foi cerca de 9% ao passo que o crescimento da população Urbana foi de 15%%.

O estudo constatou, para o estado da Bahia, que a taxa de crescimento populacional urbana é ligeiramente menor que a observada para o estado de Minas Gerais e o decréscimo populacional rural também foi menor.

#### 10.4.4.2 Dessedentação animal

A princípio não há dados do número efetivo de cabeças das espécies de animais no ano de 2010, dessa maneira foi feito uma projeção admitindo uma taxa de crescimento linear com base nos dados de 1996 e 2006.

Para o estado da Bahia verificou-se uma taxa de crescimento de 1,45%, já para Minas Gerais tem-se 0,13%, taxa consideravelmente menor quando comparada com a da Bahia.

**Tabela 10.13 - Números de cabeça, valor do BEDA e o consumo hídrico referentes ao ano de 2010.**

Dessedentação 2010				
Região	UF	Nº de cabeças	BEDA (nº de cabeças)	Consumo (m³/dia)
Total dos Subdomínios	MG	21.043.358	7.184.727	359.236
Total dos Subdomínios	BA	6.659.646	2.844.172	142.209
TOTAL GERAL		27.703.004	10.028.900	501.445

#### 10.4.4.3 Irrigação

Parece plausível que o crescimento econômico e demográfico resulte em aumento da demanda sobre as águas. Essa situação, quando associada à poluição indiscriminada, corrobora para escassez de água bem como perda da qualidade desta.

A necessidade de equilibrar as diversas atividades atreladas ao uso de água para garantia do bem-estar da população foi tida como base para criação de planos que promovessem a gestão adequada de recursos hídricos.

Para estimativa da demanda hídrica por irrigação foram utilizados como base a área irrigada total dos anos de 1996 e 2006, últimos dados fornecidos pelo IBGE através do Censo Agropecuário, e uma demanda unitária de 0,4 L/s.ha. Ocorre, no entanto, que devido à diferença na base territorial relativa aos municípios emancipados entre os anos de 1996 e 2006, bem como a falta de uniformidade quanto às metodologias de irrigação nesse período, optou-se por aplicar um procedimento estatístico de controle de distorções dos resultados.

Tal procedimento consiste em considerar taxas máximas de projeção em 5% a.a e -5% a.a., mesmo método adotado no Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Pandeiro, SF9, em seu item 4.5. Dessa forma, as dificuldades na uniformização dos dados relatadas anteriormente estariam sendo contornadas, buscando não comprometer os resultados da projeção no que diz respeito à obtenção de valores discrepantes.



**Tabela 10.14 - População urbana e rural total dos estados estudados.**

Região	UF	Área Irrigada 1996 (ha)	Área Irrigada 2006 (ha)
Total dos Subdomínios	MG	122.836	216.502
Total dos Subdomínios	BA	80.677	163.486
TOTAL GERAL		203.514	379.988

Tendo como base a área irrigada de 2006, foi aplicada a taxa de crescimento linear observada para cada subdomínio, com o propósito de obter as projeções das áreas irrigadas nos anos seguintes.

Os valores de demanda por irrigação foram obtidos a partir da multiplicação da área irrigada pelo coeficiente de demanda unitário de 0,4L/s.ha e posteriormente transformados na unidade de m<sup>3</sup>/dia.

#### 10.4.4.4 Indústria

O setor industrial, diretamente relacionado ao desenvolvimento econômico da região, é responsável por uma considerável parcela de consumo dos recursos hídricos mundiais, com demanda diretamente proporcional ao seu crescimento.

A metodologia para estimar o uso da água nas indústrias brasileiras se baseará na metodologia da ONS, como explicitado na seção de “Cálculo dos coeficientes de demanda”.

Realizou-se um levantamento de dados do PIB secundário 2012 e do PIB secundário 2002 dos municípios estudados, com o intuito de obter a taxa de crescimento anual durante esse período. Para que tais valores sejam passíveis de contraste, o valor do PIB 2012 foi trazido a valores de 2002 através da inflação acumulada no período de 1,766.

Posteriormente, os PIBs foram convertidos em dólar, considerando a paridade do poder de compra (PPC) de R\$/US\$ 0,802 para o ano de 2002, proposta pelo sítio da Quandl.

O valor do PIB em dólar foi multiplicado por um coeficiente de demanda unitário, conforme citado na seção anterior, equivalente a 0,02713 m<sup>3</sup>/US\$, através do qual pôde ser obtida a demanda hídrica industrial por ano.

**Tabela 10.15 - Valores de produção e consumo da indústria no ano de 2012.**

	Valor de produção 2012 (Inflação Corrigida)		Consumo Indústria
UF	R\$/ano	US\$/ano	m <sup>3</sup> /dia
BA	1.769.950,17	2.206.920,41	164
MG	6.878.011,89	8.576.074,68	637

### 10.5.5 Demandas futuras (2020, 2025, 2030)

As demandas hídricas futuras consistiram na projeção dos dados obtidos para o ano de 2010, expostos no item referente à demanda hídrica atual, de acordo com a metodologia para cada atividade consuntiva analisada.

#### 10.5.5.1 População urbana e rural

Seguindo a metodologia de projeção proposta, foi possível inferir a demanda hídrica relacionada ao abastecimento humano baseando-se no comportamento populacional no horizonte de estudo.

As projeções consideraram dinâmicas de crescimento diferentes para a população urbana e rural, onde a população urbana foi representada pela população urbana abastecida por rede geral, e à população rural foi agregado o quantitativo referente à população urbana não abastecida.

Através do Método A<sub>i</sub>B<sub>i</sub>, foram obtidas populações rurais e urbanas referentes aos anos de 2015, 2020, 2025 e 2030, por subdomínio Tabelas 10.16 a 10.18.

**Tabela 10.16 - Projeção de população urbana abastecida.**

População Urbana Abastecida					
Região	UF	2015	2020	2025	2030
Total dos Subdomínios	MG	2.656.980	2.777.040	2.868.688	2.930.270
Total dos Subdomínios	BA	911.871	958.147	989.955	1.007.589
TOTAL GERAL		3.568.851	3.735.187	3.858.643	3.937.859

**Tabela 10.17 - Projeção de população Urbana Não Abastecida**

População Urbana Não Abastecida					
Região	UF	2015	2020	2025	2030
Total dos Subdomínios	MG	354.688	347.887	342.695	339.207
Total dos Subdomínios	BA	173.778	159.998	150.526	145.274
TOTAL GERAL		528.466	507.885	493.221	484.481

**Tabela 10.18 - Projeção de população Rural**

População Rural					
Região	UF	2015	2020	2025	2030
Total dos Subdomínios	MG	615.777	597.867	584.196	575.010
Total dos Subdomínios	BA	690.481	685.213	681.591	679.583
TOTAL GERAL		1.306.258	1.283.080	1.265.787	1.254.593

**10.5.5.2 Dessedentação animal**

Devido à falta de dados mais recentes, como relatado no tópico das “Demandas Atuais”, foi necessário projetar o número de cabeças por espécie, admitindo a mesma taxa de crescimento linear obtida entre os anos de 1996 e 2006. Assim, foi possível estimar o número de cabeças por espécie para 2010.

Essa mesma aplicação foi feita para os anos de 2015, 2020, 2025 e 2030 (Tabelas 10.18 a 10.20). Uma vez aplicada a taxa de crescimento linear, estimou-se o número de cabeças por espécie para cada subdomínio.

**Tabela 10.19 - Projeção do número de cabeças de gado.**

Número de cabeças					
Região	UF	2015	2020	2025	2030
Total dos Subdomínios	MG	21.193.847,06	21.345.412,60	21.498.062,04	21.651.803,14
Total dos Subdomínios	BA	7.095.572,43	7.560.033,88	8.054.898,01	8.582.154,92
TOTAL GERAL		28.289.419,49	28.905.446,47	29.552.960,05	30.233.958,06

**Tabela 10.20 - Projeção da taxa BEDA.**

BEDA					
Região	UF	2015	2020	2025	2030
Total dos Subdomínios	MG	7.236.108,00	7.287.856,26	7.339.974,58	7.392.465,63
Total dos Subdomínios	BA	3.030.346,12	3.228.706,29	3.440.050,70	3.665.229,28
TOTAL GERAL		10.266.454,12	10.516.562,54	10.780.025,29	11.057.694,91

**Tabela 10.21 - Projeção da demanda hídrica para a dessedentação.**

Demanda					
Região	UF	2015	2020	2025	2030
Total dos Subdomínios	MG	361.805,40	364.392,81	366.998,73	369.623,28
Total dos Subdomínios	BA	151.517,31	161.435,31	172.002,54	183.261,46
TOTAL GERAL		513.322,71	525.828,13	539.001,26	552.884,75

### 10.5.5.3 Irrigação

Seguindo a metodologia de projeção apresentada anteriormente, foi possível inferir a demanda hídrica relacionada à irrigação, baseando-se no comportamento das áreas irrigadas e nos coeficientes citados.

Assim, depois de computadas as taxa de crescimento por subdomínio, elas foram aplicadas às áreas irrigadas de 2006, fornecendo assim, as projeções desejadas (Tabela 10.22).

**Tabela 10.22 - Projeção da área Irrigada.**

Região	UF	Área Irrigada 2015 (ha)	Área Irrigada 2020 (ha)	Área Irrigada 2025 (ha)	Área Irrigada 2030 (ha)
Total dos Subdomínios	MG	306.733	376.729	465.836	579.229
Total dos Subdomínios	BA	228.153	277.465	339.691	418.364
TOTAL GERAL		534.886	654.194	805.528	997.592

Não obstante, essas projeções foram multiplicadas pelo coeficiente de 34,6m<sup>3</sup>/dia.ha, através do qual foi obtida a demanda de recursos hídricos de irrigação por dia (Tabela 10.23).

**Tabela 10.23 - Projeção da demanda hídrica por área irrigada.**

Região	UF	Demanda Hídrica 2015 (m <sup>3</sup> /dia)	Demanda Hídrica 2020 (m <sup>3</sup> /dia)	Demanda Hídrica 2025 (m <sup>3</sup> /dia)	Demanda Hídrica 2030 (m <sup>3</sup> /dia)
Total dos Subdomínios	MG	10.600.684	13.019.741	16.099.309	20.018.143
Total dos Subdomínios	BA	7.884.979	9.589.189	11.739.730	14.458.651
TOTAL GERAL		18.485.664	22.608.929	27.839.039	34.476.794



#### 10.5.5.4 Indústria

Para demanda relacionada à indústria, de forma semelhante ao que foi feito no item “Demanda Atual”, projetou-se os PIBs secundários por subdomínio. Essa projeção teve como base uma taxa de crescimento linear obtida através da comparação entre os PIBs de 2002 e 2012.

Ainda, segundo a metodologia já descrita, se fez necessária conversão do PIB para moeda americana (US\$) através das taxas de câmbio de 2002 e 2012, fornecidas pelo Banco Central do Brasil.

De posse do PIB 2012 a valores de 2002, observou-se a tendência de crescimento linear entre este e o PIB 2002, determinando assim a taxa de crescimento linear para cada subdomínio. Essa mesma taxa foi aplicada para o horizonte de estudo, de forma a serem obtidos valores do PIB secundário por subdomínio. Ao aplicar o coeficiente de consumo específico para classe 900 (genérica), equivalente a 0,02713 m<sup>3</sup>/US\$, como definido na metodologia, inferiram-se as demandas industriais para os anos de 2015, 2020, 2025 e 2030 (Tabela 10.24).

**Tabela 10.24 - Projeção da demanda hídrica industrial.**

Região	UF	2015	2020	2025	2030
Total dos Subdomínios	MG	705,77	767,20	801,15	822,69
Total dos Subdomínios	BA	192,20	218,85	234,11	243,98
TOTAL GERAL		897,97	986,05	1.035,26	1.066,67

#### 10.5.6 Síntese das Demandas Hídricas

A partir dos resultados das demandas setoriais na região de interesse, foi possível obter a demanda hídrica total para o horizonte de estudo.

**Tabela 10.25 - Síntese da Demanda Hídrica por estado.**

Subdomínio	UF	Demanda Hídrica			
		2015	2020	2025	2030
Total	MG	18.919.356,01	21.430.232,09	24.592.509,57	28.584.916,89
Total	BA	11.343.825,23	13.262.108,62	15.633.975,65	18.583.338,41
TOTAL GERAL		163.975.325,62	193.104.460,01	232.302.006,82	283.907.808,96

Nota-se que, conforme mencionado na análise socioeconômica, há um reflexo direto do maior nível de desenvolvimento observado para os municípios de Minas Gerais em sua maior demanda hídrica, chegando a ser superior em 50% a demanda hídrica da região baiana.

Nesse sentido, para que haja uma gestão de Recursos Hídricos eficiente, devem ser ponderadas as diferenças de demanda entre as duas regiões, uma vez que a área do aquífero abrange os dois estados.

Ainda, Ressalta-se que, devido à utilização de dados sem atualização recente como o Censo Agropecuário (2006) e o Censo Demográfico (2010) para uma projeção de longo prazo, (15 anos), a precisão das projeções é prejudicada. Ainda assim, a previsão compilada acima deve servir ao direcionamento do uso dos recursos hídricos na área de estudo já que, no nível de precisão utilizado, é capaz de orientar o planejamento a partir da identificação das principais tendências.

Nesse sentido, à medida que sejam divulgados dados para anos mais recentes, a projeção deve ser revisada no intuito de absorver novas perspectivas, permitindo a atualização do planejamento em tempo hábil de execução.

## 11 Referências bibliográficas

Alkmim F.F.; Brito Neves B. B.; Alves J. A. C., 1993. Arcabouço tectônico do Cráton do São Francisco - uma revisão. In: J.M. Dominguez & A. Misi (eds.) O Cráton do São Francisco. Reunião Preparatória do II Simpósio sobre o Cráton do São Francisco. Salvador, SBG/ Núcleo BA/SE/SGM/CNPq, p. 45-62.

Alkmim F.F.; Chemale Jr, F.; Endo, I., 1996. A deformação das coberturas proterozoicas do Cráton do São Francisco e seu significado tectônico. Revista da Escola de Minas 49(1): 22-38.

Alkmim, F.F.; Soares, A.C.P.; Noce, C.M.; Cruz, S.C.P., 2007. Sobre a Evolução Tectônica do Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental. GEONOMOS 15(1): 25 – 43.

Allen, J.R.L., 1870. Notes on the Geological Character of the Country Between Xique-Xique on the Rio São Francisco and Bahia, Brazil. In: Hartt's Geology and Physical Geography of Brazil, p. 303-308.

Almeida Abreu, P.A., 1993. A evolução geodinâmica da Serra do Espinhaço Meridional, Minas Gerais, Brasil. Tese de Doutorado apresentada à Univ. Freiburg, 150 pp.

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 - Agência Nacional de Águas, 2015. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: regiões hidrográficas brasileiras – Edição Especial. Brasília – DF

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.

ANJOS, L. A.; BARROS, A. A.; FERREIRA, J. A.; OLIVEIRA, T. C. E.; SEVERINO, K. C.; SILVA, M. O. & WAISSMANN, W., 1995. Gasto Energético e Carga Fisiológica de Trabalho em Coletores de Lixo Domiciliar no Rio de Janeiro: Um Estudo Piloto. Relatório de Pesquisa. Rio de Janeiro: Centro de Estudos da Saúde do Trabalhador e Ecologia Humana, Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz

Auler, A.S.; Smart, P.L.; Wang, X.; Cristalli, P.; Edwards, R.L., 2003. O Calcário Caatinga e os Carbonatos Secundários Superficiais do Norte da Bahia: Geocronologia e Significado Paleoambiental. IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Recife.

Auler, S. & Smart, P.L., (s/data). Toca da Boa Vista (Campo Formoso), BA - A maior caverna do hemisfério sul. Sigep-19.

Babinski, M. & Kaufman, A.J., 2003. First direct dating of a Neoproterozoic post-glacial cap carbonate. In: South American Symposium on isotope geology, 4, Short papers, Salvador, v.1, p.321-323.

Babinski, M. 2005. A idade do Supergrupo São Francisco: revisão e implicações nas glaciações neoproterozoicas. In: Simpósio sobre o Cráton do São Francisco, 3, Short papers, Salvador, p.135-138.

Barbosa, J.S.F.; Sabaté, P.; Marinho, M.M., 2003. O Cráton do São Francisco na Bahia: Uma Síntese. Revista Brasileira de Geociências 33(1):3-6.

Barleto, E. A.; Souza, H. N. de; Lessa, G. 2007. Anais do XXIX Congresso Brasileiro de Espeleologia. Ouro Preto, Minas Gerais, 8 pags.

Beraldo, V.J., 2006. Avaliação Macroscópica das Feições Cársticas da Formação Salitre na Folha Irecê ( SC.24-Y-C-I ) como Reservatórios para Água Subterrânea. XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, ABAS, São Paulo.

Bomfim, L.F. & Pedreira, A.J., 1990. Geologia da Chapada Diamantina Oriental, Bahia (Folha Lençóis). In: Bomfim, L.F. & Pedreira, A.J., Orgs, - Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Lençóis (Folha SD.24-V-A-V) Estado da Bahia, Texto Explicativo. Brasília, DNPM/CPRM, p.25-73.

Branner, J.C., 1910. The Tombador escarpment in the State of Bahia, Brazil. Am. J. Sci. 30:335-343.

Branner, J.C., 1919. Outlines of the geology of Brazil to accompany the geological map of Brazil. Bull. Geol. Soc. Amer. 30 (2): 189-338.

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. 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/MMA, 2011. Diagnóstico do macrozoneamento ecológico-econômico da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Brasília.

Brito Neves, B.B. & Silva, A.J.C.L.P., 2008. Diamictitos e “Cap Dolomites” Sturtianos Sobre o Grupo Jacobina - Araras, Norte de Campo Formoso – Bahia. Geol. USP Sér. Cient., São Paulo, v. 8, n. 2, p. 11-27.

Brito Neves, B.B., 1967. Geologia das Folhas de Upamirim e Morro do Chapéu – BA. Relatório Técnico N. 17, SUDENE/CONESP. Recife.

Brito Neves, B.B., 1968. A Formação Samburá na Bahia. Boletim de Estudos SUDENE, n.4, p.7- 15.

Brito Neves, B.B.; Santos, R.A.; Campanha, G.A.C., 2012. A discordância angular e erosiva entre os grupos Chapada Diamantina e Bambuí (Una) na folha Mirangaba-Bahia. Geol. USP, Sér. cient., São Paulo, v. 12, n. 2, p. 9-114.

Brito, A.A.; Cardoso, A.C.; Oliveira, C.E.S.; Oliveira, C.E.; Cunha, F.L.; Negrão, F.I.; Oliveira Filho, I.B.; Gusmão de Oliveira, R., 2013. Ação Emergencial na Cidade de Lapão – BA - Relatório Final Integrado (Levantamento Geofísico, Levantamento Hidrogeológico, Análise De Risco). CPRM/DGM/Superintendência de Salvador.

Brito, A.A.; Oliveira, C.E.S.; Gusmão de Oliveira, R.; Santiago, R.C., 2013. Levantamento Geofísico de Eletroresistividade para Investigação do Substrato Calcário de Áreas Colapsadas e de Novas Áreas para Expansão Urbana da Cidade de Lapão-BA. CPRM/DGM/Superintendência de Salvador.

Câmara, G.; Davis, C.; Monteiro, A. M.; D'Alge, J. C. Introdução à Ciência da Geoinformação. São José dos Campos: INPE, 2001.

Caxito, F.A.; Uhlein, A.; Dos Santos, Y.L.O.P.; Pedreira, A.J.; Faulstich, F.R.L., 2008. A Geologia Entre Macaúbas e Canatiba (Bahia) e a Evolução do Supergrupo Espinhaço no Brasil Oriental. GEONOMOS 16(1): 11 - 20, IGC/UFMG.

CBHSF – Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Plano de Recursos Hídricos da Bacia hidrográfica do Rio São Francisco – Resumo Executivo. Salvador-BA, 2004.

CBHSF – Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Plano de Recursos Hídricos da Bacia hidrográfica do Rio São Francisco 2016-2025. Salvador-BA, 2017.

Censo demográfico 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.

Chaves, M.L.S.C. & Brandão, P.R.G., 2004. Diamante variedade carbonado na serra do Espinhaço (MG/BA) e sua enigmática gênese. Rev. Esc. Minas vol.57 no.1 Ouro Preto.

Chaves, M.L.S.C.; Andrade, K.W.; Benitez, L., 2011. Geologia integrada das Folhas Jequitaiá, Bocaiúva e Montes Claros (1:100.000), norte de Minas Gerais. GEONOMOS, 19(2), 1-7, IG/UFMG.

Chaves, M.L.S.C.; Benitez, L.; Andrade, K.W.; Queiroga, G.N., 2007. Estratigrafia e Evolução Geomorfológica do Grupo Bambuí na Região de Morro da Garça (MG). GEONOMOS 15(2): 43 - 52, 43.

Chiavegatto, J.R.S., 1992. Análise estratigráfica das seqüências tempestíticas da Formação Três Marias (Proterozoico Superior), na porção meridional da Bacia do São Francisco. Dissertação de Mestrado apresentada ao Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 216p.

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.

CONSÓRCIO ENGECORPS/WALM. Estudos Hidrológicos e de Vulnerabilidade do Sistema Aquífero Urucuia e Proposição de Modelo de Gestão Integrada e Compartilhada. Brasília: ANA, SIP, 2011.

CPRM, 2003. Mapa Geológico do Brasil .Escala 1:2.500.000. CD-ROM.

CPRM/CBPM, 2003. Mapa Geológico do Estado da Bahia – Escala 1:1.000.000. Versão 1.1

CPRM/COMIG, 2003. Mapa geológico do estado de Minas gerais, 1:1.000.000.

Cruz, S.C.P. & Alkmim, F.F., 2007. A história de inversão do aulacógeno do Paramirim contada pela sinclinal de Ituaçu, extremo sul da Chapada Diamantina (BA). Revista Brasileira de Geociências, 37(4 - suplemento): 92-110.

Cruz, S.C.P.; Dias, V.M.; Alkmim, F.F., 2007. A interação tectônica embasamento/cobertura em aulacógenos invertidos: um exemplo da Chapada Diamantina Ocidental. Revista Brasileira de Geociências, 37(4 - suplemento): 111-127.

Danderfer, A., 2000. Geologia sedimentar e evolução tectônica do Espinhaço Setentrional, Estado da Bahia. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 494 p.

Dardenne, M.A., 1978. Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 30, Recife, Anais, v. 2, p. 597-610.

Dardenne, M.A., 1981. Os Grupos Paranoá e Bambuí na Faixa Dobrada Brasília. An. I Simp. sobre o Cráton do São Francisco e suas faixas marginais. SBG - Núcleo BA, CPM/SME: 140-157.

Derby, O.A., 1905. Notas geológicas sobre o Estado da Bahia. Secr. Agric. Viação Ind. Obr. Publ. Boletim, 7:12-31.

Derby, O.A., 1906. The Serra do Espinhaço, Brazil. J. Geol., 14:374-401

DNPM/CPRM, 1977. Projeto Hidrogeologia do Nordeste de Minas Gerais e Sul da Bahia. – Relatório Técnico, 8 volumes, Belo Horizonte.

Dossin, I.A.; Dossin, T.M., 1995. Supergrupo Espinhaço: modelo de evolução geodinâmica. GEONOMOS, Belo Horizonte, v. 3, n. 1, p. 19-26.

Dossin, I.A.; Dossin, T.M.; Chaves, M.L.S.C., 1990. Compartimentação Estratigráfica do Supergrupo Espinhaço em Minas Gerais - Os Grupos Diamantina e Conselheiro Mata. Revista Brasileira de Geociências 20(1-4):178-186.

Drumond, J.B.; Raposo, F.O.; Sperling, E.von., 1980. Relatório final. In: Projeto Porteirinha - Monte Azul, escala 1:50.000. DNPM/CPRM, v.1, 559 p. Belo Horizonte.

Ecology Brasil. Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional – Relatório de Impacto Ambiental. MI -Ministério da integração Nacional. Julho, 2004.

Egydio-Silva, M.E., (1987). O sistema de dobramentos Rio Preto e suas relações com o cráton do São Francisco. São Paulo, 141p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências/USP)

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. 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. 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. Subsídios Técnicos para a Indicação Geográfica de Procedência do Vale do Submédio São Francisco: Uva de Mesa e Manga. PETROLINA, PE: [s.n.].

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

Faria, J. A., 1997. Levantamento de dados para avaliação das emissões de gases de efeito estufa devido às mudanças nos estoques de florestas. ABRACAVE, Belo Horizonte.

Feitosa, E.C., 1975. Reconhecimento geofísico por eletrorresistividade da faixa marginal do Grupo Bambuí na região de Lages do Batata/Morro do Chapéu/Seabra – Bahia (Área D do contrato CONESP/OESA). Relatório inédito.

Feitosa, E.C., 1993. Água Subterrânea na Chapada do Araripe entre Araripina e Feitoria/PE: Investigação Preliminar. Volume 2 – Geofísica. ATEPE/LABHID – INAD, Recife.

Feitosa, E.C., 2004. O Aquífero Jandaíra no Município de Baraúna/RN – Atualização dos Conhecimentos. ANA/PróÁgua Semiárido/SERHID RN – FADE/LABHID/UFPE. Recife, relatório inédito. (Zoneamento dos calcários aquíferos e mapeamento das áreas de maior índice de carstificação através do método geofísico de eletrorresistividade).

Feitosa, E.C., 2004. O Calcário Jandaíra na Área da Baixa do Felix – Município de Quixeré – Ceará: Estudo por Eletrorresistividade da Área do Bessa. LABHID-FADE-UFPE/Delmonte Fresh Produce Brasil Ltda, Recife, relatório inédito.

Figueiredo, F.T., 2008. Fácies sedimentares e proveniência da Formação Bebedouro, Neoproterozoico (BA). Dissertação de mestrado apresentada ao IG/USP.

Fragoso, D.G.C.; Reis, H.L.S.; Kuchenbecker, M., 2008. Mapeamento Geológico da região de Irecê-Lapão (BA): Registros de uma rampa carbonática neoproterozoica. Trabalho de Graduação. Universidade Federal de Minas Gerais. 109p

Fragoso, D.G.C.; Uhlein, A.; Sanglard, J.C.D.; Suckau, G.L.; Guerzoni, H.T.G.; Faria, P.H., 2011. Geologia dos Grupos Bambuí, Areado e Mata da Corda na Folha Presidente Olegário (1:100.000), MG: Registro Depositional



do Neoproterozoico ao Neocretáceo da Bacia do São Francisco. GEONOMOS 19(1): 28 – 38, IGC/UFMG.

Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. 1ª edição. Rio de Janeiro, 1992.

Gaspar, M.T.P., 2006. Sistema Aquífero Urucuia: Caracterização Regional e Propostas de Gestão. Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências/UNB.

GDF/SEDUMA, 2010. Zoneamento Ecológico-Econômico do DF: Subproduto 3.1 – Relatório do Meio Físico e Biótico.

Gradstein, F.M.; Ogg, J.G.; Smith, A.G., 2005. A Geologic Time Scale 2004. Cambridge University Press, New York, USA.

Guimarães, J.T. & Pedreira, A.J., 1990. Geologia da Chapada Diamantina Oriental, Bahia. (Folha Utinga). In: Guimarães, J.T. & Pedreira, A.J., orgs. - Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Utinga (Folha SD.24-V-A-II) Estado da Bahia, Texto Explicativo. Brasília, DNPM/CPRM p.19-92.

Guimarães, J.T., 1996. A Formação Bebedouro no Estado da Bahia: Faciologia, Estratigrafia e Ambientes de Sedimentação. Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Geologia da UFBA.

Guimarães, M.L.V.; Crocco-Rodrigues, F.A.; Abreu, F.R.; Oliveira, O.A.B.; Greco, F.M., 1993. Geologia do Bloco Itacambira – Monte Azul entre Barroco e Porteirinha (MG). In: Anais do VII Simpósio de Geologia de Minas Gerais, SBG Núcleo MG, Bol. 12: 74-78.

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.

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Manual técnico da vegetação brasileira. Rio de Janeiro: 1992. 92 p. (Manuais Técnicos de Geociências, n.1).

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Resolução do Presidente do IBGE Nº 1/2005. Disponível em: [http://www1.ibge.gov.br/home/geociencias/noticia\\_sirgas.shtm](http://www1.ibge.gov.br/home/geociencias/noticia_sirgas.shtm).

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malha Municipal Digital 2007. Brasil, 2007. Escala: 1:2.500.000. Disponível em: <ftp://geoftp.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. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. 2ª edição. Rio de Janeiro, 2012.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual Técnico de Uso da Terra. 3ª edição. Rio de Janeiro, 2013.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Base Cartográfica Contínua do Brasil na escala 1:250.000 (versão 1.0). Brasil, 2013. Escala 1.250.000. Disponíveis em:  
<ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapeamento\_sistemico/base\_vetorial\_continua\_e\_scala\_250mil/Hidrografia.zip> e  
<ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapeamento\_sistemico/base\_vetorial\_continua\_e\_scala\_250mil/Hidrografia\_2.zip>.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Base Cartográfica Contínua do Brasil, ao milionésimo (1:1.000.000) (versão 4.0). Brasil, 2014. Disponível em:  
<ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapeamento\_sistemico/base\_continua\_ao\_milion\_esimo/>

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapa Temático - Mapa de Vegetação do Brasil. Brasil, 2004. Escala: 1:5.000.000. Disponível em:  
<ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas\_tematicos/mapas\_murais/shapes/vegetacao/>. Acesso em: 19 ago. 2014.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual Técnico de Pedologia. 3ª edição. Rio de Janeiro, 2015.

Iglesias, M., 2007. Estratigrafia e tectônica do Grupo Bambuí no norte do Estado de Minas Gerais. Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências, UFMG, Belo Horizonte, 121p.

Iglesias, M. & Uhlein, A., 2008. Estratigrafia do Grupo Bambuí na Serra do Jaíba, Norte de Minas Gerais. GEONOMOS 16(1): 21 - 27, 20. UFMG, Belo Horizonte.

Iglesias, M. & Uhlein, A., 2009. Estratigrafia do Grupo Bambuí e coberturas fanerozoicas no vale do Rio São Francisco, norte de Minas Gerais. Rev. bras. geociênc. v.39 n.2, 256-266, São Paulo.

Inda, H.A.V. & Barbosa, J.F., 1978. Texto explicativo para o mapa geológico do estado da Bahia, escala 1:1.000.000. COM, Salvador.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Normais climatológicas do Brasil, 1961-1990. Disponíveis em:  
<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>

Karfunkel B. & Karfunkel J. 1976. Estudos petro-faciológicos do Grupo Macaúbas na porção mediana da Serra do Espinhaço – MG. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 29, Belo Horizonte, Anais, p.179-188

Kegel, W., 1959. Estudos Geológicos na Zona Central da Bahia - Bol. 198 do DGM-DNPM, Rio.

King, L.C., 1956. A geomorfologia do Brasil Oriental. Revista Brasileira de Geografia, 18:147-265.

Knauer, L.G., 1990. Evolução geológica do Precambriano da porção centro leste da Serra do Espinhaço Meridional e metalogênese associada. Dissertação de Mestrado, UNICAMP, 298p. Campinas.

Knauer, L.G.; Silva, L.L.; Souza, F.B.; Silva, L.R.; Carmo, R.B., 2006. Folha Monte Azul 1:100.000 – Relatório Final. Convenio UFMG/CPRM, Programa Geologia do Brasil, 87 pp., Brasília.

Knauer, L.G., 2007. O Supergrupo Espinhaço em Minas Gerais: Considerações Sobre Sua Estratigrafia e seu Arranjo Estrutural. GEONOMOS 15(1): 81 – 90.

Kuchenbecker, M; Reis, H.L.S.; Fragoso, D.G.C., 2011. Caracterização estrutural e considerações sobre a evolução tectônica da Formação Salitre na porção central da Bacia de Irecê, norte do Cráton do São Francisco (BA). GEONOMOS, 19(2), 42-49. IG/UFMG.

Lagoeiro, L.E., 1990. Estudo da deformação nas seqüências carbonáticas do Grupo Una, na região de Irecê, Bahia. Dissertação de Mestrado, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 105 p.

Leal, A.S. & Brito Neves, B.B. 1968. Elementos de estratigrafia do Médio São Francisco. In: Simpósio de Geologia do Nordeste 4, Recife, 1968. Resumo das Comunicações. Recife, SBG, p.17-19.

Levantamento de recursos naturais. Rio de Janeiro: Projeto RADAMBRASIL, 1973.

Lima, J.E.S., 1994. Monte Azul Folha SD.23-Z-D-II – Hidrogeologia. In: Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Brasília: CPRM, 1994. 96 p.

Lima, L.G.L.M. & Rocha, W.J.S.F., 2011. Caracterização espectrorradiométrica dos litotipos do Grupo Una na sub-bacia de Una-Utinga no Estado da Bahia. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil. INPE p.8544.

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 Semi-Árida 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 paleo-ambiental. Tese de doutorado apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade de Brasília.

Machado, N.; Schrank, A.; Abreu, F.R.; Knauer, L.G.; Almeida Abreu, P.A., 1989. Resultados preliminares da geocronologia U/Pb na Serra do Espinhaço Meridional. V Simpósio Geol. Minas Gerais, Anais, pp. 171-174, Belo Horizonte.

Manual técnico da vegetação brasileira. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

Martínez, M.I., 2007. Estratigrafia e Tectônica do Grupo Bambuí no Norte do Estado de Minas Gerais. Dissertação de mestrado apresentada à UFMG, Belo Horizonte.

Martins, M.; Babinski, M.; Noce, C.M.; Queiroga, G.N.; Pedrosa Soares, A.C.; Trindade, R.; Liu, D., 2011. A Suíte Córrego Taquari no Anticlinal de Itacambira, Bacia do Rio Macaúbas (MG): magmatismo básico tardi-ediocarano (ca. 560 Ma) no domínio externo do Orógeno Araçuaí. GEONOMOSUFMG, 19(2), 78-89.

Misi, A. & Souto, P., 1975. Controle Estratigráfico das Mineralizações de Chumbo, Zinco, Flúor e Bário no Grupo Bambuí – Parte Leste da Chapada de Irecê (Bahia). Revista Brasileira de Geociências, São Paulo.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional de Recursos Hídricos – Caderno da Região Hidrográfica do Rio São Francisco. Brasília, 2006.

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](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.

Montes, A.L.S., 1977. O Contexto Estratigráfico e Sedimentológico da Formação Bebedouro na Bahia: Um Possível Portador de Diamantes. Brasília, UnB, Depto. de Geociências. Dissertação de Mestrado, 110p. (inédita).

Moraes, L.J. & Guimarães D., 1930. Geologia da região diamantífera do Norte de Minas Gerais – An. Acad. Bras. Cienc., 2:153-186.

Mourão, M.A.A., 1995. A unidade fosfática da Formação Sopa Brumadinho, Supergrupo Espinhaço, Região de Conceição do Mato Dentro, Minas Gerais. Dissertação de mestrado apresentada à UNB, 138p. Brasília.

Mourão, M.A.A.; Soares, A.G.; Simões, E.J.M; Oliveira, E.L.; Brito, R.M.D.A.; Beato, D.A.C.; Viana, H.S., 2000. Caracterização Hidroquímica e Avaliação de Uso das Águas Subterrâneas na Microrregião de Unaí, Bacia do São Francisco, NW de Minas Gerais - Brasil. In: 1st Joint World Congress on Groundwater, Fortaleza, CE.



Nunes, A. de B., Lima, R. F. da F., Negreiros B. Filho, C. *et al.* Geologia. In: Brasil. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto Radam. Folhas SC.23 Rio São Francisco e SC.24 Aracaju. Rio de Janeiro, 1973. (Levantamento de Recursos Naturais, 1)

Oliveira, A.I. & Leonardos, O.H., 1940. Geologia do Brasil. Com. Bras. Centenários. Portugal.

Oliveira, A.I. & Leonardos, O.H., 1943. Geologia do Brasil. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, 783p.

Oliveira, A. M. Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades Desenvolvidas em Terra na Bacia do São Francisco: Subprojeto 1.1.A – Estudo Hidrodinâmico-Sedimentológico do Baixo São Francisco, Estuário e Zona Costeira Adjacente-AL/SE. UFAL, Maceió, 2003.

Pedreira da Silva, A.J.C.L., 1994. O Supergrupo Espinhaço na Chapada Diamantina Centro-Oriental, Bahia: Sedimentologia, Estratigrafia e Tectônica. Tese de doutoramento apresentada ao IG/USP, São Paulo.

Pedreira, A.J. & Mascarenhas, J.F., 1974. A Sequencia Estratigráfica da Chapada Diamantina NE, Bahia, Brasil. In: Congresso Brasileiro de Geologia 28, Anais. Porto Alegre, SBG, v.4.p.19-26.

Pedreira, A.J.; Filho, V.M.C.; Monteiro, M.D.; Carvalho, M.P.; Souza, W.S.T., 1993. Geologia e potencialidade para mineralizações de cobre, chumbo, zinco e prata da borda norte da Chapada Diamantina, Bahia. CBPM, Série Arquivos Abertos 1, Salvador.

Pedreira, A.J.; Souza, S.L.; Brito, P.C.R.; Silva, R.W.S., 1993. Estratigrafia, sedimentologia e recursos minerais da Formação Salitre na Bacia de Irecê, Bahia. CBPM, Série Arquivos Abertos 2, Salvador.

Pedrosa Soares, A.C., 1995. Potencial aurífero do Vale do Araçuaí, Minas Gerais: história da exploração, geologia e controle tectono-metamórfico. Tese de Doutorado, IG-UnB, 177 p.

Pedrosa Soares, A.C., 1996. O setor setentrional da Faixa Araçuaí. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 39, SBG, Excursão E-12, p. 13-49, Salvador.

Pedrosa Soares, A.C.; Noce, C.M.; Vidal, P.; Monteiro, R.L.B.P.; Leonardos, O.H., 1992. Toward a new tectonic model for the Late Proterozoic Araçuaí (SE Brazil) – West Congolian (SW Africa) belt. J. South Am. Earth Sci. 6: 33-47.

Pedrosa Soares, A.C.; Noce, C.M.; Wiedmann, C.M.; Pinto, C.P., 2001. The Araçuaí – West Congo Orogen in Brazil: an overview of a confined orogen formed during Gondwanaland assembly. Precambrian Research 110: 307 – 323.

Pedrosa Soares, A.C.; Vidal, P.; Leonardos, O.H.; Brito Neves, B.B., 1998. Neoproterozoic oceanic remnants in eastern Brazil: further evidence and refutation of an exclusively ensialic evolution for the Araçuaí – West Congo Orogen. *Geology* 26: 519 – 522.

Pflug, R. & Renger, F., 1973. Estratigrafia e evolução geológica da margem sudeste do Craton Sanfranciscano. An. XXVII Congresso Bras. Geol., Aracaju, 2:5-19.

Pflug, R., 1968. Observações sobre a estratigrafia da Série Minas na região de Diamantina, Minas Gerais . DNPM/DGM, Est. 142: 1-20, Rio de Janeiro.

PLANO DE RECURSOS HIDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO. CBHSF, Módulo 1, Resumo Executivo, 2004.

Porto Lira, H.M., 2001. O Efeito Elétrico das Argilas nos Arenitos - Contribuição ao estudo da correlação resistência transversal x transmissividade hidráulica. Dissertação de mestrado apresentada à UFPE.

Reis, A.D., 2012. Reconhecimento de discordâncias em sistemas aluviais do Mesoproterozoico: Exemplo da Formação Tombador, Chapada Diamantina, Brasil. Trabalho de conclusão do Curso de Geologia, apresentado ao IG/UFRS.

REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA DOS SOLOS, 1., 1979, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro : EMBRAPA-SNLCS/Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1979a. 276p.

Ribeiro, S.H.S., 2005. Caracterização Geológica e Hidrogeológica da Bacia do Rio Salitre, Centro-Norte do Estado da Bahia. Trabalho Final de Graduação apresentado ao Curso de Graduação em Geologia da UFBA.

Romeiro Silva, P.C. & Zalán, P.V., 2005. Contribuição da sísmica de reflexão na determinação do limite oeste do Cráton do São Francisco. In: III Simpósio sobre o Cráton do São Francisco, short papers, p. 44-47.

Saadi, A., s/data. A Geomorfologia da Serra do Espinhaço em Minas Gerais e de suas Margens. *Geonomos* 3(1):41-63

Santos, E.S.M.; Silva, R.W.S.; Sampaio, E.E.S., 2012. Analysis of the Risk of Karst Collapse in Lapão, Bahia, Brazil. *Exploration Geophysics*, published online.

Santos, H. G. dos; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C. dos; Lumbreras, J. F.; Oliveira, J. B. de; Oliveira, V. A. de; Coelho, M. R.; Almeida, J. A. de; Cunha, T. J. F. da. Proposta de atualização da segunda edição do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Embrapa Solos. Rio de Janeiro, 2009.

Schobbenhaus Filho, C.; Campos, D.A.; Derze, G.R.; Asmus, H.E., 1984. Geologia do Brasil: Texto Explicativo do Mapa Geológico do Brasil e da Área Oceânica Adjacente Incluindo Depósitos Mineraiis. Brasília, DNPM, 501 p.

Schobbenhaus, C., 1972b. Geologia da Serra do Espinhaço entre Porteirinha e Monte Azul, norte de Minas Gerais. SUDENE, Recife, 19 p. (inédito).

Schobbenhaus, C., 1972c. Estudo geoeconômico preliminar do depósito de ferro do Rio Peixe Bravo, norte de Minas Gerais. SUDENE, Recife, 36 p. (Série Geologia Econômica 8).

Schobbenhaus, C., 1996. As tafrogêneses superpostas Espinhaço e Santo Onofre, Estado da Bahia: revisão e novas propostas. Revista Brasileira de Geociências, 26:265-276

Schobbenhaus, C.E. & Kaul. P.F.T., 1971. Contribuição à Estratigrafia da Chapada Diamantina – Bahia Central. Min. Met. 53 (315): 116-129.

Scholl, W.U. & Fogaça, A.C.C., 1979. Estratigrafia da Serra do Espinhaço na região de Diamantina. I Simp. Geol. Minas Gerais, Anais, pp. 55-73, Diamantina/MG.

Silva, A.B. *et al.* (Coord), 1981. Pesquisa e avaliação de recursos hídricos subterrâneos em “karsts” por sensores remotos – Relatório Final. CETEC/CNPq, Belo Horizonte/MG.

Silva, A.B., 1984. Análise morfoestrutural, hidrogeológica e hidroquímica no estudo do aquífero cárstico do Jaíba, norte de Minas Gerais. Tese de doutoramento apresentada ao IG/USP, São Paulo.

Silva, A.B., 2006. Recursos hídricos subterrâneos da bacia do rio Salitre, Bahia: uso sustentável na indústria do mármore Bege Bahia. CBPM, Série Arquivos Abertos 24, Salvador/BA.

Silva, H.P. (coordenador), 2013. Impacto da agricultura nos recursos hídricos subterrâneos da Bacia do rio Verde/Jacaré – BA (Resumo Executivo do Relatório Final). ANA/GEF/PNUMA/OEA/UFBA, Salvador/BA.

Silverman, B. W. Density Estimation for Statistics and Data Analysis. New York: Chapman and Hall, 1986.

Souza, S.L.; Brito, P.C.R.; Silva, R.W.S., 1993. Estratigrafia, Sedimentologia e Recursos Mineraiis da Formação Salitre na Bacia de Irecê, Bahia. Salvador, CBPM, Série Arquivos Abertos 2: 36.

Summerfield, M. A. Geomorphology and global tectonic. Inglaterra: John Willey & Sons, 2000.

Thomaz Filho, A.; Kawashita K.; Cordani, U.G., 1998. A origem do Grupo Bambuí no contexto da evolução geotectônica e de idades radiométricas. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 70:527-548.

Uhlein A.; Lima O.N.B.; Fantine L.L.M.; Baptista, M.C., 2004. Estratigrafia e evolução geológica do Grupo Bambuí, Minas Gerais. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 42, Roteiro Geológico, Excursão 2, CD-ROM, p. 30-51.

Uhlein, A. & Quemeneur, J.J., 2000. Estrutura e Deformação Brasileira nos Diques Máficos da Serra do Espinhaço Meridional. *GEONOMOS* 8 (2): 19-25.

Uhlein, A., 1991. Transição Cráton-Faixa Araçuaí (Ciclo Brasileiro) no estado de Minas Gerais. Aspectos estratigráficos e estruturais. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 259 p.

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 e tectônica das faixas neoproterozoicas da porção norte do Craton do São Francisco. *GEONOMOS*, 19(2), 8-31. IG/UFMG.

Uhlein, A.; Dardenne, M.A.; Seer, H.J.; Moraes, L.C.; Baptista, M.C.; Noce, C.M.; Fragoso, D.G.C.; Dias, P.H.A.; Moreira, G.C., 2010. A Formação Lagoa Formosa e a estratigrafia do Grupo Bambuí em Minas Gerais. In: XLV Congresso Brasileiro de Geologia, Belém. Anais do XLV Congresso Brasileiro de Geologia.

Uhlein, A.; Suckau, G.L.; Sanglard, J.C.D.; Caxito, F.A., 2011. Estratigrafia e Evolução Sedimentar de Diamictitos e Carbonatos Neoproterozoicos no Domínio Vaza-Barris, Faixa de Dobramentos Sergipana, Nordeste do Brasil. *GEONOMOS* 19(1): 01 – 09.

Uhlein, A.; Trompette, R.; Egydio-Silva, M.; Vauchez, A., 2007. A Glaciação Sturtiana (~750 Ma), a Estrutura do Rife Macaúbas-Santo Onofre e a Estratigrafia do Grupo Macaúbas, Faixa Araçuaí. *GEONOMOS*, 15.

Vieira, L.V., 2007. A Formação Sete Lagoas (Grupo Bambuí) e as variações paleoambientais no final do proterozoico. Tese de doutorado apresentada ao IG/USP, São Paulo.

Viveiros, J.F.M., Sá, E.L., Vilela, O.V., Santos, O.M., Moreira, J.M.P., Holder-Neto, F. & Vieira, V.S. 1978. Geologia dos vales dos rios Peixe Bravo e Alto Vacaria, norte de Minas Gerais. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 30, Recife. SBG, Anais, v. 1, p. 243-254.





**MINISTÉRIO DO  
MEIO AMBIENTE**

**GOVERNO  
FEDERAL**

