

# HIDROGEOLOGIA DOS AMBIENTES CÁRSTICOS DA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO PARA A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

---

RESUMO EXECUTIVO  
2018



AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

## **República Federativa do Brasil:**

Michel Temer  
(Presidente)

## **Ministério do Meio Ambiente:**

Sarney Filho  
(Ministro)

## **Agência Nacional de Águas - Diretoria Colegiada:**

Christianne Dias Ferreira  
(Diretora-Presidente)

Ney Maranhão

Ricardo Medeiros de Andrade

Marcelo Cruz

Oscar de Moraes Cordeiro Netto

## **Superintendência de Implementação de Programas e Projetos:**

Tibério Magalhães Pinheiro

Victor Sucupira

## **Coordenação de Águas Subterrâneas:**

Fernando Roberto de Oliveira  
(Coordenador)

Leonardo de Almeida  
(Gestor do Contrato)

Márcia Tereza Pantoja Gaspar  
(Gestora Substituta do Contrato)

Adriana Niemeyer Pires Ferreira

Fabrcio Bueno da Fonseca Cardoso

Letícia Lemos de Moraes

## **Consórcio TPF/TECHNE – Diretoria:**

João Joaquim Guimarães Recena

Luiz Alberto Teixeira

Antonio Carlos de Almeida Vidon

Maria Ângela Capdeville Duarte Ulmann

Fabio Chaffin Barbosa

## **Gerência do Contrato:**

Roberta Alcoforado  
(Coordenação Geral)

Marcelo Casiuch  
(Coordenação Adjunta)

## **Membros da Equipe Chave:**

Edilton Feitosa  
(Coordenador Técnico)

João Manoel Filho

Natalina Tinôco

Paula Stein

Paulo Fernando P. Pessoa

## **Membros da Equipe Técnica Executora:**

Alerson Falieri Suarez

Alípio Agra

Ana Nery Cadete

Bruno Marcionilo

Daniel Quintino

Dora Atman

Fabianny Bezerra

Flávia Azevedo Pedrosa

Ginaldo A. da Cruz Campanha

Giseli Kimura

Gustavo Grillo

Gustavo Sobral

Joanderson J. O. Moraes

José Augusto Vieira Filho

Ludmilla de Oliveira Calado

Marcondes Assis

Marcos A. Barbosa S. Jr.

Mário Nascimento S. Filho

Nelson da Franca dos Anjos

Patrícia Celeste L. Jesuíno

Paulo de M. da Cunha Pedrosa

Rinaldo Fernandes

Sandro Barbosa Figueira

Thiago Franklin S. de Almeida

Vanessa Costa

Walter Lucena

Bruna Duarte (estagiária)

Gadadhara Figueiredo (estagiária)

Geraldo M. Junior (estagiário)



**HIDROGEOLOGIA DOS AMBIENTES CÁRSTICOS  
DA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO PARA  
A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS**

**RESUMO EXECUTIVO**

**2018**

## **Agência Nacional de Águas – ANA**

Setor Policial, Área 5, Quadra 3, Blocos B, L, M, N, O e T CEP: 70610- 00, Brasília - DF PABX: 2109-5400 / 2109-5252

Endereço eletrônico: <http://www.ana.gov.br>

## **Agência Nacional de Águas – ANA**

Superintendência de Implementação de Programas e Projetos – SIP

### **Elaboração e execução:**

CONSÓRCIO TPF - Techne

Fotografia - Daniel Menin

Local da Foto - Caverna São Vicente/GO Sistema Aquífero Bambuí

Todos os direitos reservados.

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

**A265h** Agência Nacional de Águas (Brasil).  
Hidrogeologia dos ambientes cársticos da Bacia do Rio São Francisco  
para a gestão de recursos hídricos: resumo executivo / Agência Nacional de Águas;  
Elaboração e execução : TPF - Techne. – Brasília : ANA, 2018.

71 p. il.

1. Hidrogeologia. 2. Bacias Hidrográficas. 3. São Francisco, Rio.

I. Título

CDU 556.51

# Sumário

## 13 Introdução

Objetivos

Localização e Dimensões da Área

## 16 Hidrografia da Bacia do Rio São Francisco

Clima e Pluviometria

Geomorfologia

Uso e Ocupação do Solo

Geologia

Espeologia

## 36 Recursos Hídricos

Unidades de Gestão das Águas - UGAS

Uso da Água Subterrânea

Saldos Explotáveis Regionais

Saldos Explotáveis nas Áreas Piloto

Demandas Regionais

Demandas das Áreas Piloto

Prognósticos de Saldos Futuros para Exploração

## 63 Ações de Gestão

Ações de Gestão Integrada e Compartilhada

Propostas de Gestão para as Áreas Piloto

## 70 Comentários Finais

## APRESENTAÇÃO

*Este Resumo Executivo apresenta uma síntese do estudo intitulado Hidrogeologia dos Ambientes Cársticos da Bacia do São Francisco para a Gestão de Recursos Hídricos, elaborado pela Agência Nacional de Águas - ANA. Com este resumo almeja-se apresentar de forma objetiva os resultados alcançados com o estudo, de modo a facilitar consultas e tomadas de decisão. Assim, são intencionalmente simplificados detalhes de ordem técnica e para maiores detalhes deve-se consultar os relatórios finais completos disponíveis no Portal de Metadados da ANA, os quais estão estruturados em quatro volumes: Volume I - Diagnóstico dos Meios Físico e Socioeconômico; Volume II - Hidrogeologia; Volume III - Áreas Piloto (Tomo 1 - São Desidério/BA, Tomo 2 - Montes Claros/MG, Tomo 3 - Lapão/BA) e Volume IV - Gestão Integrada de Recursos Hídricos (Tomo 1 - Balanço Hídrico e Tomo 2 - Cenários e Propostas de Gestão). É possível ainda uma consulta mais detalhada aos temas técnicos específicos nos Relatórios Técnicos Temáticos de Hidroquímica, Domínios e Subdomínios Hidrogeológicos e Cartografia/SIG.*

*O estudo abrangeu uma área de cerca de 110.951,00 km<sup>2</sup> que ocupa nos estados da Bahia e de Minas Gerais regiões de ocorrência dos sistemas aquíferos cársticos e fissuro-cársticos. Foi desenvolvido na escala de 1:250.000, com detalhamento em três áreas piloto, nas escalas de 1:100.000 (Área Piloto de São Desidério/BA) e 1:50.000 (áreas piloto de Lapão/BA e Montes Claros/MG). O objetivo geral do estudo foi ampliar o conhecimento hidrogeológico da região com vistas à subsidiar a gestão integrada e compartilhada dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, como previsto na Agenda de Ações para a gestão Integrada de Recursos Hídricos Superficiais e Subterrâneos da ANA, a qual integra as atribuições da Agência indicadas no Programa Nacional de Águas Subterrâneas (PNAS), do Plano Nacional de Recursos Hídricos.*

*Os trabalhos foram acompanhados por representantes técnicos dos estados de Minas Gerais e Bahia, que integraram a Comissão Técnica de Acompanhamento e Fiscalização (CTAF), constituída para avaliar e acompanhar o desenvolvimento dos estudos juntamente com a ANA.*



*Bacia do Rio São Francisco*



# 1. INTRODUÇÃO

Na região hidrográfica do rio São Francisco uma ampla superfície é constituída por rochas carbonáticas que configuram importantes reservatórios subterrâneos de água. Dadas as suas propriedades naturais e seu papel como recurso estratégico para abastecimento rural e urbano na bacia, o conhecimento sobre os aquíferos cársticos é fundamental como subsídio para a implementação da gestão dos recursos hídricos. Dentre os diversos aspectos delineados nestes estudos estão a estimativa da recarga dos aquíferos, a delimitação das áreas dos aquíferos que contribuem para os fluxos hídricos superficiais, o montante dessa contribuição e a relação entre a oferta e a demanda dos recursos hídricos subterrâneos nas área piloto.

Conhecer as reservas de água e os processos que comandam a transferência hídrica no meio natural representa o desafio de integrar o conhecimento produzido para a caracterização do clima, do espaço geográfico, da constituição do subsolo e das distintas propriedades hidráulicas das rochas e das coberturas sedimentares.

Um sistema hídrico das dimensões da bacia do rio São Francisco revela, através de suas características hidrográficas e morfológicas, uma multiplicidade de interações entre as dinâmicas climáticas e as rochas e solos com propriedades distintas que compõem a superfície e a subsuperfície da bacia.

Dados históricos de precipitação e de vazões de rios foram analisados para estimar as parcelas que compõem o ciclo hidrológico nos terrenos cársticos e físsuro-cársticos e seu entorno. Associou-se os dados hidrológicos à caracterização hidrogeológica e morfoestrutural, possibilitando o entendimento da bacia do rio São Francisco como um conjunto de interações hidráulicas, onde é possível definir setores hidrogeologicamente homogêneos e ao mesmo tempo distintos entre si, e que expressam potencialidades e restrições próprias que devem ser compreendidos para o sucesso da gestão dos recursos hídricos.

Esse conhecimento é fundamental para a gestão de recursos hídricos, tendo em vista que os aquíferos existentes nos ambientes de rochas carbonáticas apresentam-se ao longo da bacia do São Francisco, não raras vezes, como a única forma de exploração de água para todos os tipos de abastecimento: público, industrial e rural. Os sistemas de abastecimento na região são constituídos, predominantemente, por poços tubulares, ou mesmo, por captações em nascentes ou em surgências cársticas.

O crescimento populacional e as formas de uso e ocupação inadequadas elevam o grau de incerteza sobre o que os efeitos ao atendimento desta demanda, em escala regional, representam em termos de comprometimento ao equilíbrio do sistema hídrico cárstico. Essa incerteza é a principal motivação em buscar uma avaliação qualitativa e quantitativa que possa auxiliar no entendimento da dinâmica hídrica subterrânea, ressaltando-se suas características peculiares de escoamento por condutos de dissolução do material carbonático e a sua intrínseca vulnerabilidade natural.

## 1.1. Objetivos

O objetivo principal do estudo foi obter um melhor entendimento dos sistemas aquíferos cársticos da região hidrográfica do São Francisco com ênfase nos seguintes aspectos:

- Geologia dos aquíferos cársticos e físsuro-cársticos;
- Recarga dos aquíferos e balanço hídrico;
- Reservas hídricas e avaliação da disponibilidade hídrica;
- Relação dos aquíferos cársticos com o Sistema Aquífero Urucuia;
- Contribuição dos aquíferos para o rio São Francisco. Características hidroquímicas e vulnerabilidade dos aquíferos;
- Avaliação da relação entre a disponibilidade e a demanda nas áreas piloto

## Atividades desenvolvidas

- Estado da arte de (geologia, hidrogeologia, geomorfologia, solos, vegetação, hidrologia, uso e ocupação da terra, dados de poços);
- Cadastramento de pontos d'água (21.443), sendo cadastrados 351 novos poços e de fontes de contaminação;
- Coletas de amostras de águas subterrâneas para análise química em duas campanhas (206 poços amostrados)
- Levantamentos nas áreas piloto: mapeamento geológico, estudos geofísicos, ensaios de traçadores, testes de aquífero, levantamentos geofísicos (método gravimétrico, eletrorresistividade e perfilagem ótica e geofísica em poços)
- Integração e análise dos dados, elaboração do relatório final, formatação de banco de dados.

## 1.2. Localização e Dimensões da Área

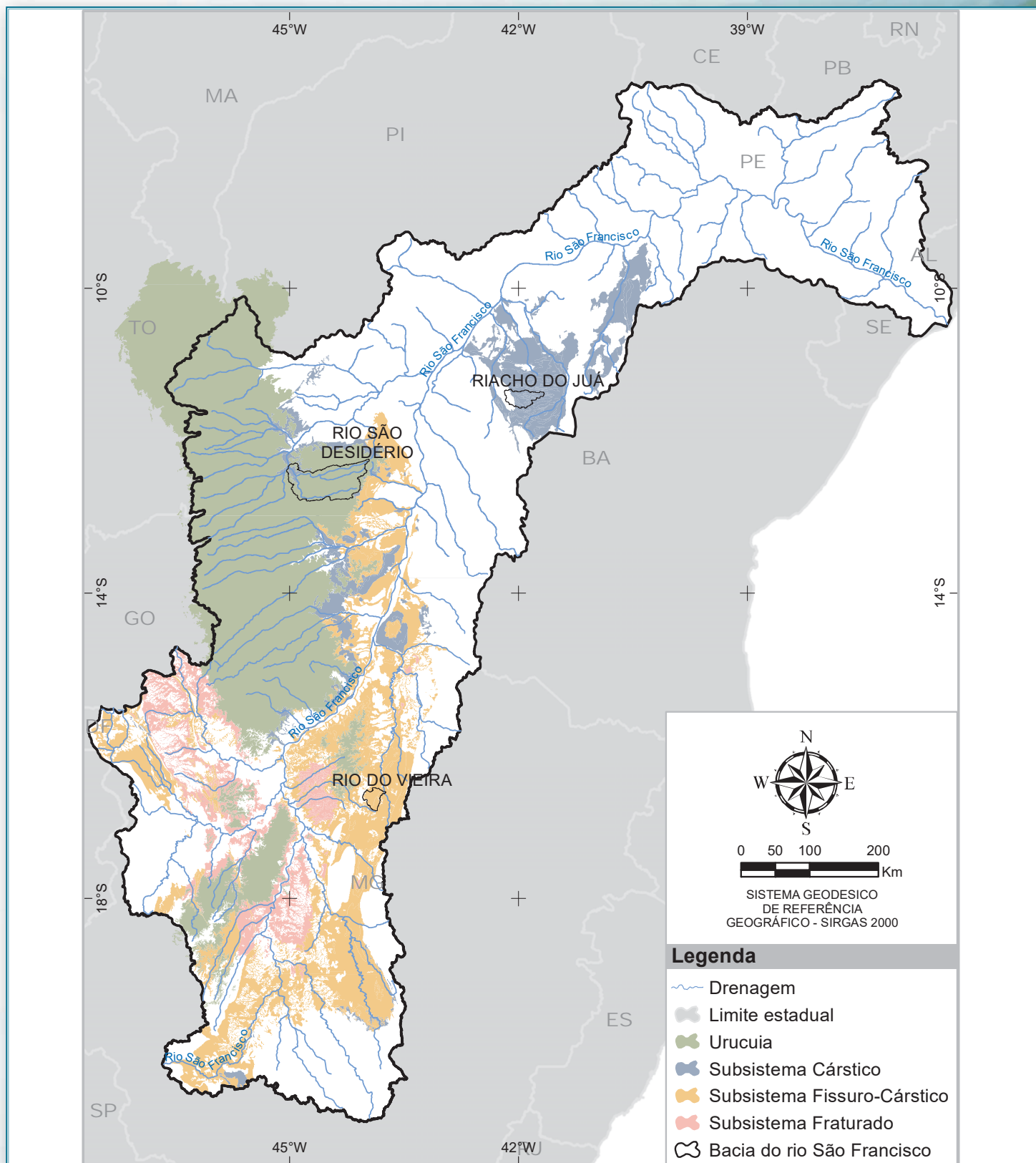
As rochas que compõem os sistemas aquíferos estudados afloram em superfície de forma descontínua na bacia hidrográfica do rio São Francisco. Um conjunto de rochas do Neoproterozoico engloba três subsistemas hidrogeológicos assim designados: Subsistema Cárstico (34.218 km<sup>2</sup>), Subsistema Fissuro-Cárstico (76.733 km<sup>2</sup>) e Subsistema Fraturado (22.533 km<sup>2</sup>).

Dentro dessa área foram estudadas em detalhes três áreas pilotos:

- Bacia Hidrográfica do Rio do Vieira, com área aproximada de 600 km<sup>2</sup>, na região de Montes Claros – MG. Essa área foi selecionada devido à intensa exploração de águas subterrâneas na região com vistas a atender à crescente demanda decorrente da concentração demográfica e do desenvolvimento econômico da região.



- Bacia Hidrográfica do Riacho do Juá, na região de Irecê – BA, cuja área é da ordem de 900 km<sup>2</sup> onde se situa a cidade de Lapão. Foi selecionada como área piloto devido à intensa exploração de águas subterrâneas em virtude da crescente demanda da agricultura irrigada, além dos problemas relacionados aos abatimentos do terreno causando danos nas estruturas de residências e espaços públicos.
- Bacia Hidrográfica do Rio São Desidério, com superfície aproximada de 4.500 km<sup>2</sup>, ao sul da cidade de Barreiras, região oeste da Bahia. Abrange os municípios de São Desidério, Baianópolis e Tabocas do Brejo Velho. Essa área foi selecionada devido às suas características geológicas e hidrogeológicas peculiares, dentre as quais se destacam a interação entre os sistemas aquíferos Urucuia e Bambuí.



## 2. HIDROGRAFIA DA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO

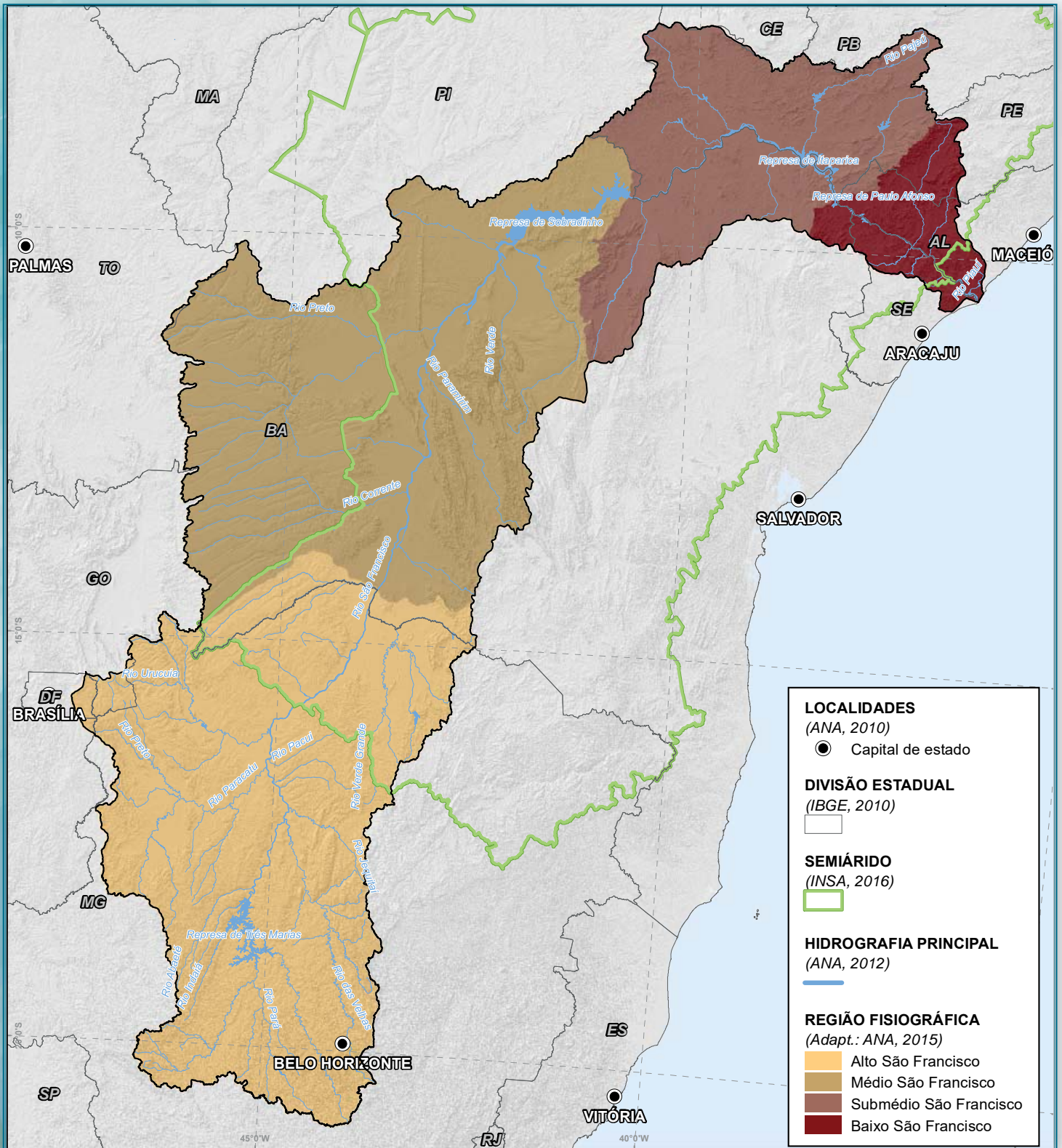
A bacia do rio São Francisco ocupa uma área de cerca de 640 mil km<sup>2</sup> e abrange sete unidades da federação e 503 municípios. A mais importante nascente localiza-se na serra da Canastra, no município de São Roque de Minas, centro-oeste de Minas Gerais. O rio atravessa o estado de Minas Gerais e Bahia, delimita a divisa sul do estado de Pernambuco e os limites entre os estados de Sergipe e Alagoas, desaguando no oceano Atlântico, após percorrer aproximadamente 2.800 km de extensão.

O rio da Integração Nacional atravessa distintos biomas e suas transições, como a Mata Atlântica, o Cerrado e a Caatinga, e representa a principal drenagem do semiárido nordestino. O território do semiárido abrange 65% da bacia, segundo os novos limites do polígono do semiárido definidos pela SUDENE em 2017.

A bacia é subdividida em quatro zonas ou regiões fisiográficas e 34 sub-bacias (CBHSF, 2016). Destacam-se na margem direita os rios Paraopeba, das Velhas e Verde Grande e, na margem esquerda, os rios Paracatu, Urucuia, Carinhanha, Corrente e Grande







Fonte: Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, Setembro 2016

## 2.1. Clima e Pluviometria

O clima da Bacia é influenciado por diferentes massas de ar, apresentando baixo índice de nebulosidade e, por conseqüência, uma grande incidência de radiação solar. Em função das elevadas temperaturas médias anuais, da localização geográfica intertropical e da limpidez atmosférica na maior parte do ano, a evapotranspiração potencial é muito alta, sobretudo na parte norte.

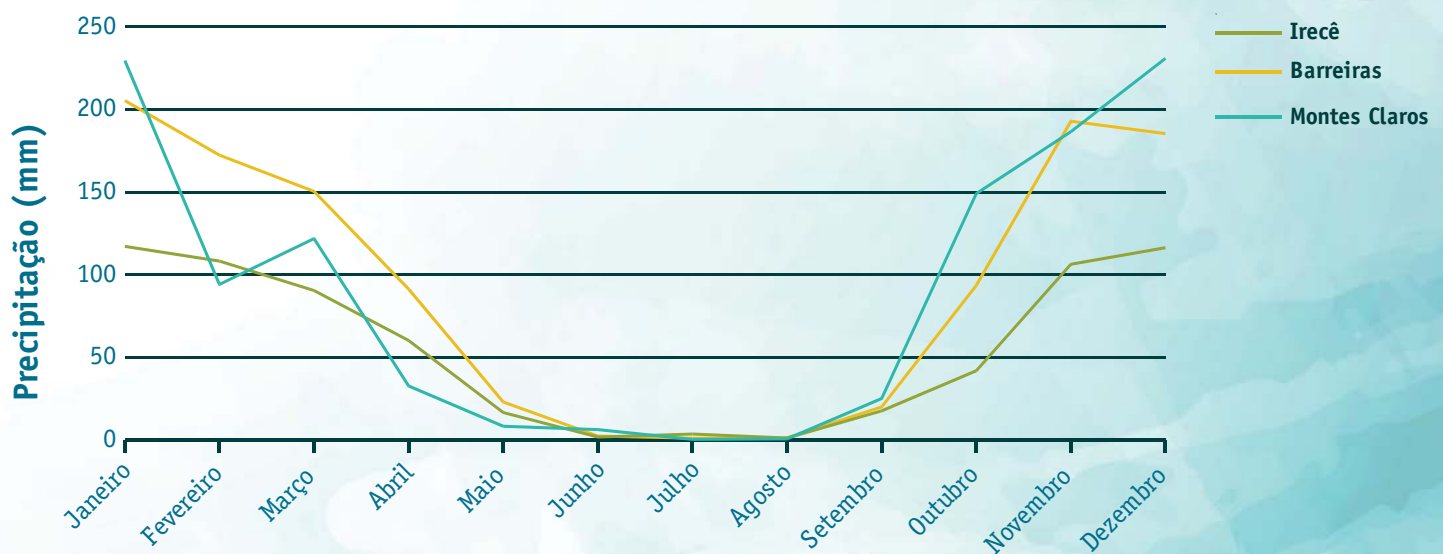
O elemento que mais caracteriza o clima da Bacia é a pluviosidade. A conformação das isoietas segue de perto a da topografia: de um modo geral, os seus valores diminuem em direção ao leito do rio São Francisco. Ao longo da calha do rio o volume precipitado diminui de montante para jusante até Pão de Açúcar onde começam a aumentar na direção da foz.

Em toda a Bacia há um período seco bem marcado, entre os meses de junho e agosto. Os mais altos valores de precipitação anual, da ordem de 1.500 mm, ocorrem na nascente do rio e os mais baixos, cerca de 350 mm, entre Sento Sé e Paulo Afonso (Codevasf, 2012).

### Resumo das Principais Características Hidroclimáticas.

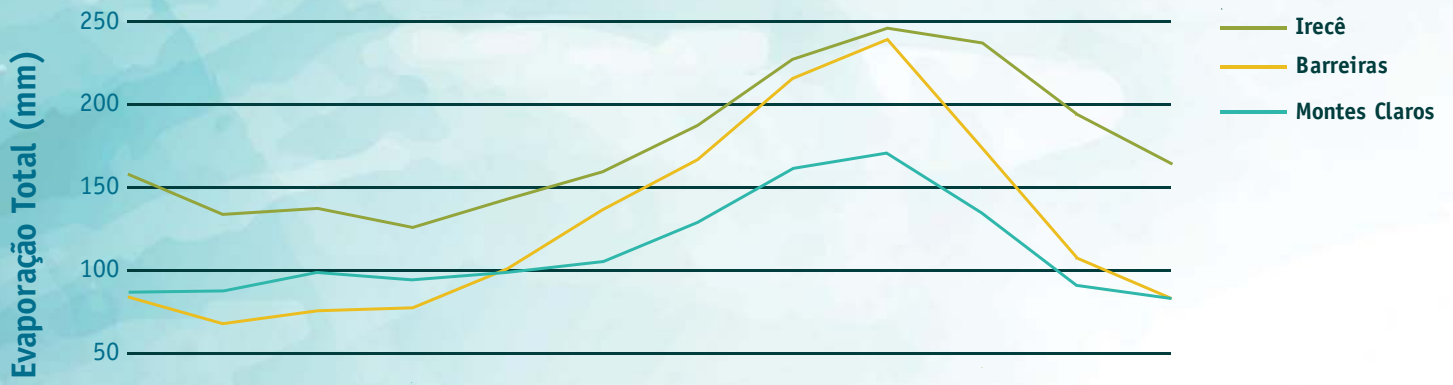
Características	Subáreas regionais:		
	Irecê	São Desidério	Montes Claros
Clima Predominante	Subúmido Seco e Semi - árido	Semi - árido	Semi - árido
Precipitação Média Anual (mm)	1.400 a 600 (1.052)	800 a 359 (963)	800 a 359 (963)
Temperatura Média (°C)	24	27	27
Insolação Média Anual (h)	2.600 a 3.300	2.800	2.800
Evapotranspiração Média Anual (mm)	1.300	1.550	1.550

*Fonte: Normais Climatológicas - INMET e CODEVASF.*



Pluviometria mensal nas três subáreas regionais

A evaporação total apresenta a mesma tendência para todas as subáreas regionais, enquanto a evapotranspiração potencial média apresenta valores elevados em todas as subáreas, entre 1.400 mm e 840 mm anuais.



Evaporação mensal nas três subáreas regionais



Leito do Rio Verde Grande



## 2.2. Geomorfologia

Brasil/MMA/ANA (2011) apresenta uma descrição sumária da geomorfologia da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco por região hidrográfica, tais informações foram complementadas no Plano de Recursos Hídricos da Bacia do São Francisco (2016) e estão resumidas abaixo.

Na região do Alto São Francisco a Serra do Espinhaço se configura como a principal feição de relevo, representando a área de divisor hidrográfico entre a bacia do São Francisco e a do rio Grande, a sul. Caracterizada por serranias estreitas e alongadas que se dispõem segundo a direção Norte-Sul, as altitudes variam entre 450 e 1.850m.

No limite oeste, ocorre o Chapadão do Urucuaia ou a Serra Geral de Goiás, com altitudes que oscilam entre 800 e 1.200 m e que separa a região hidrográfica do São Francisco do Tocantins-Araguaia.

No Médio São Francisco, entre Carinhanha até a barragem de Sobradinho encontram-se as planícies elúvio-colúvio-aluviais da Depressão Sanfranciscana. Nessa parte, o relevo ganha altitudes mais elevadas no mesmo alinhamento do divisor leste de águas, variando entre 350 e 2.050 m, com recortes de profundos vales. Nessa região se situa a Chapada Diamantina.

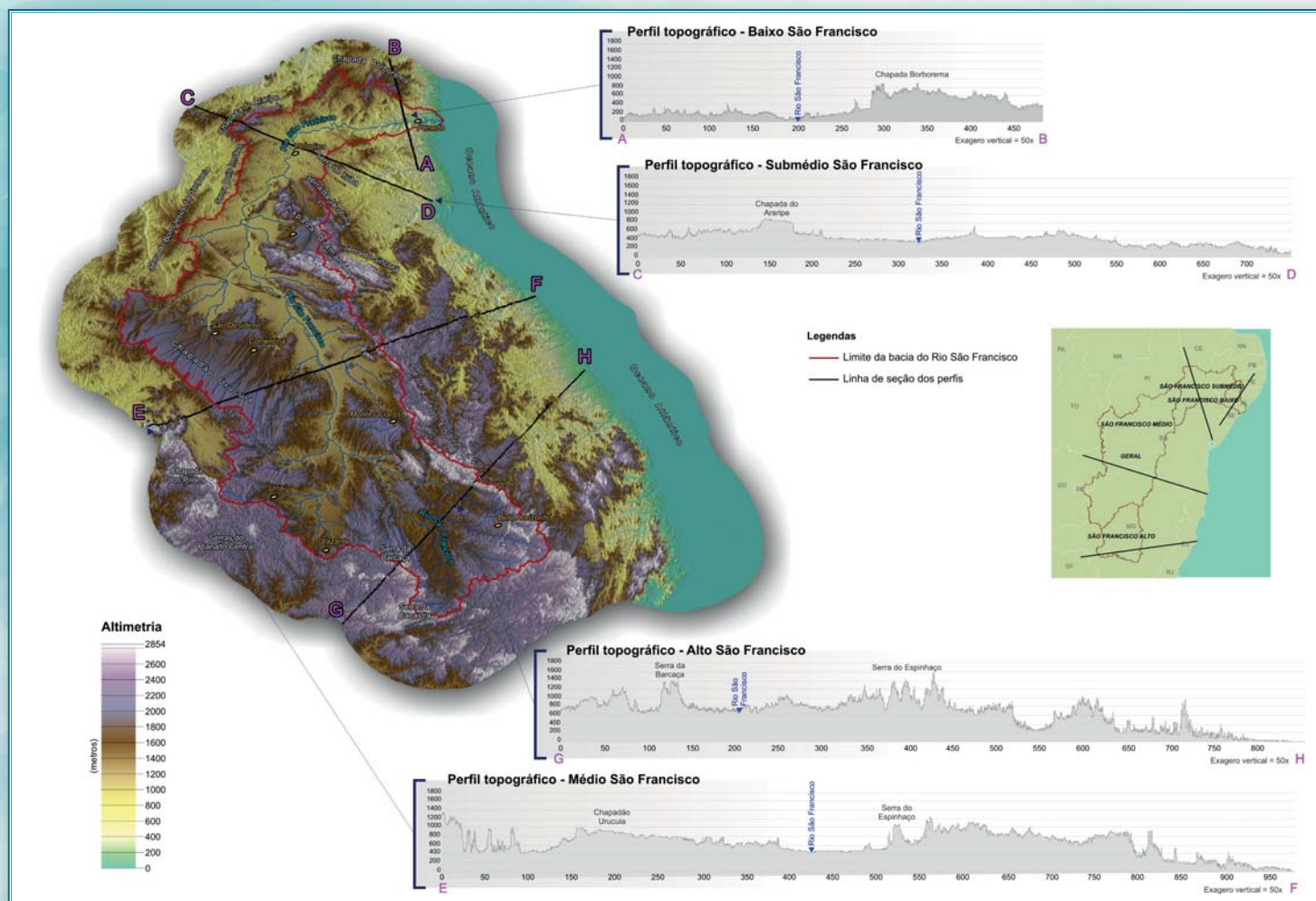
Na metade norte da região hidrográfica é a Serra da Tabatinga que constitui o divisor de águas entre as bacias dos rios São Francisco e Parnaíba, com cotas que variam entre 800 e 1.000 m.

No Submédio São Francisco, entre Sobradinho e a Cachoeira de Paulo Afonso, a topografia é ondulada com vales muito abertos em razão da baixa resistência à erosão. Nesse contexto está situada a Chapada do Araripe, com cerca de 800 m de altitude, que se prolonga para leste através da Serra dos Cariris.

No Baixo São Francisco, que vai de Paulo Afonso até a foz do rio no estado de Alagoas (32.013 km<sup>2</sup>), fazem-se presentes os tabuleiros do grupo Barreiras, com altitude entre 100 e 200 m, além da planície costeira, com altitudes inferiores a 100 m.

O relevo e o contexto geológico são determinantes para a configuração das velocidades de trânsito da água, função do gradiente hidráulico, condutividade hidráulica do meio e de sua porosidade efetiva. Observou-se na bacia, condições de importação e exportação de água além dos limites da bacia hidrográfica, mostrando que os reservatórios subterrâneos extrapolam esses limites com transferência de água entre diferentes bacias. Essas condições estão presentes nas regiões limítrofes da bacia onde existem condições topográficas elevadas também na porção exterior da bacia ou desníveis abruptos nessas regiões.





O contexto de importação de água é evidenciado no primeiro perfil da figura das condições de exportação e importação de água nas bordas da bacia do rio São Francisco, no limite hidrográfico entre as bacias dos rios Grande e São Francisco (Alto São Francisco). Nessa região, embora não haja contribuição no sistema de drenagens superficiais, devido ao limite hidrográfico da bacia, as condições de gradiente topográfico associadas a um arcabouço rochoso relativamente permeável permitem um aporte de água subterrânea das zonas aquíferas posicionadas fora da bacia (na Bacia do rio Grande) para aquelas no interior da bacia, o que aumenta a produção de água nesse sistema, observada pelos altos valores da componente do escoamento de base.

Numa situação contrária, ocorre a exportação de água da bacia do rio São Francisco, no limite oeste do Chapadão do Urucuia (Serra Geral de Goiás), onde o fluxo subterrâneo inverte para oeste e alimenta as cabeceiras dos afluentes da margem direita do Alto Tocantins. Essa situação favorece a perda de água subterrânea para fora dos limites da bacia hidrográfica, ocasionada por um desnível topográfico negativo acentuado, onde há uma brusca diminuição das cotas das bordas para o exterior da bacia. Essa condição de “perda” depende, naturalmente, da disposição dos tipos rochosos e de sua permeabilidade.

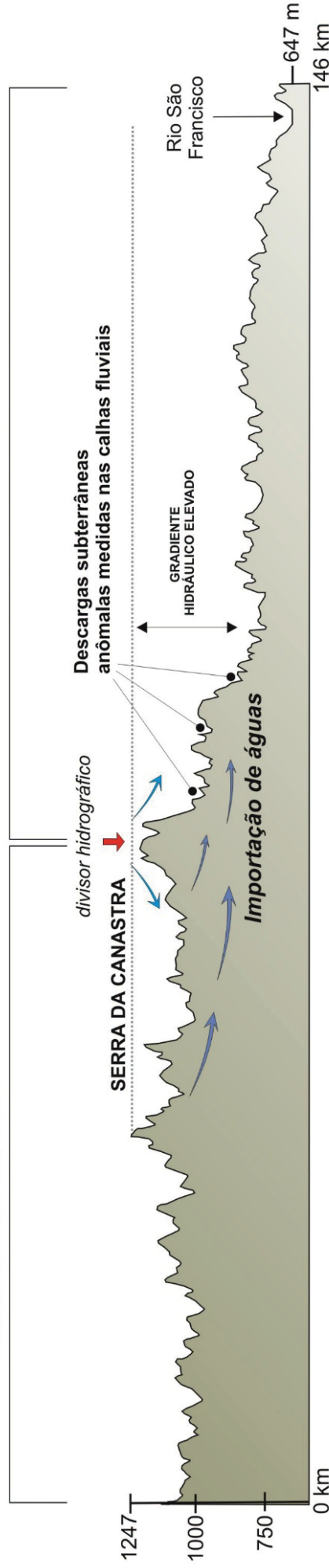
Avaliando inicialmente essas relações entre o relevo na borda interna e o relevo no entorno dos limites da bacia, ainda sem considerar a constituição dos aquíferos, percebe-se que as características da região do Alto São Francisco favorecem a chegada de água subterrânea de terrenos contíguos, mas externos aos limites da bacia hidrográfica. Por outro lado, conforme ocorre ao longo da margem oeste do Chapadão Urucuia no Médio São Francisco, o desnível abrupto que se forma em direção da bacia do rio Tocantins favorece a saída de água dos limites da bacia. O escoamento de base medido nas calhas fluviais nas condições de fronteira pode ser, portanto, anômalo quando comparado aos valores típicos esperados para as unidades hidrogeológicas constituintes da bacia fora desse contexto.

Esses são exemplos de condições geomorfológicas que favorecem a importação e a exportação de águas subterrâneas. Nesses casos existe uma diferença importante entre os limites da bacia hidrogeológica e os limites da bacia hidrográfica. Esses dois casos refletem, em macro escala, situações que precisam ser analisadas também dentro das sub-bacias e micro bacias, especialmente para interpretar os valores de descarga superficial e recarga em domínios litológicos dentro desses limites.

CONDIÇÕES DE EXPORTAÇÃO E IMPORTAÇÃO DE ÁGUA NAS BORDAS DA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO

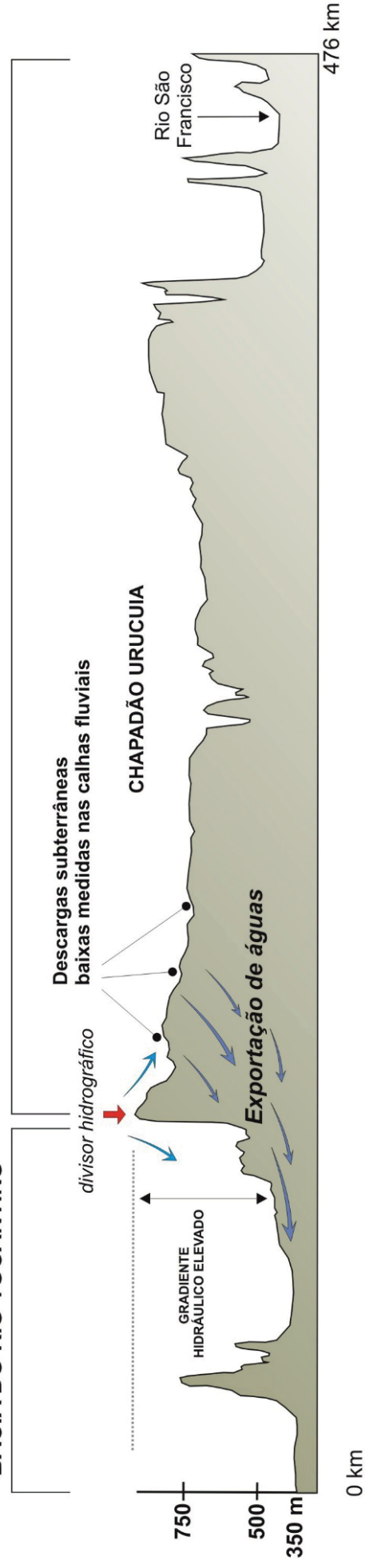
BACIA DO RIO GRANDE

BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO



BACIA DO RIO TOCANTINS

BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO



## 2.3. Uso e Ocupação do Solo

Classes de uso e ocupação do solo identificadas:

**Áreas antrópicas não agrícolas:** Uso da terra de natureza não agrícola, florestal ou aquática, Admitindo duas categorias: áreas urbanizadas e áreas de mineração.

**Áreas antrópicas agrícolas:** São as áreas utilizadas para a produção agrícola. Inclui as lavouras temporárias, permanentes, pastagens plantadas, silvicultura, além de áreas comprovadamente agrícolas cujo uso não foi identificado no período do mapeamento.

**Áreas de vegetação natural:** Abrange desde florestas e campos originais (primários) e alterados até formações florestais espontâneas secundárias, arbustivas, herbáceas e/ou gramíneo-lenhosas, em diversos estágios de desenvolvimento, distribuídos nos diferentes biomas.



*Canal de irrigação, Jaíba (MG)*

**Corpos de Água:** Cursos de água e canais, 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).

Merecem destaque na região as seguintes atividades antrópicas:

- 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.
- Produção de papel e celulose.
- Desmatamento e as queimadas visando à expansão das atividades agrossilvopastoris.
- As atividades mineradoras e de garimpo, no Alto São Francisco.
- O extrativismo vegetal, praticado de forma difusa para atendimento das necessidades domésticas (lenha, madeira, fibras).
- A remoção da cobertura vegetal e o uso do solo para agricultura.
- A intensa ocupação das chapadas tem provocado a compactação subsuperficial de extensas áreas, seja pela utilização intensiva de motomecanização, seja pelo pastoreio.

As classes de uso e ocupação do solo consideradas são aqui listadas:

### **Áreas antrópicas não agrícolas**

Todos os tipos de uso da terra de natureza não agrícola, florestal ou aquática, Admitindo duas categorias: áreas urbanizadas e áreas de mineração.

### **Áreas antrópicas agrícolas**

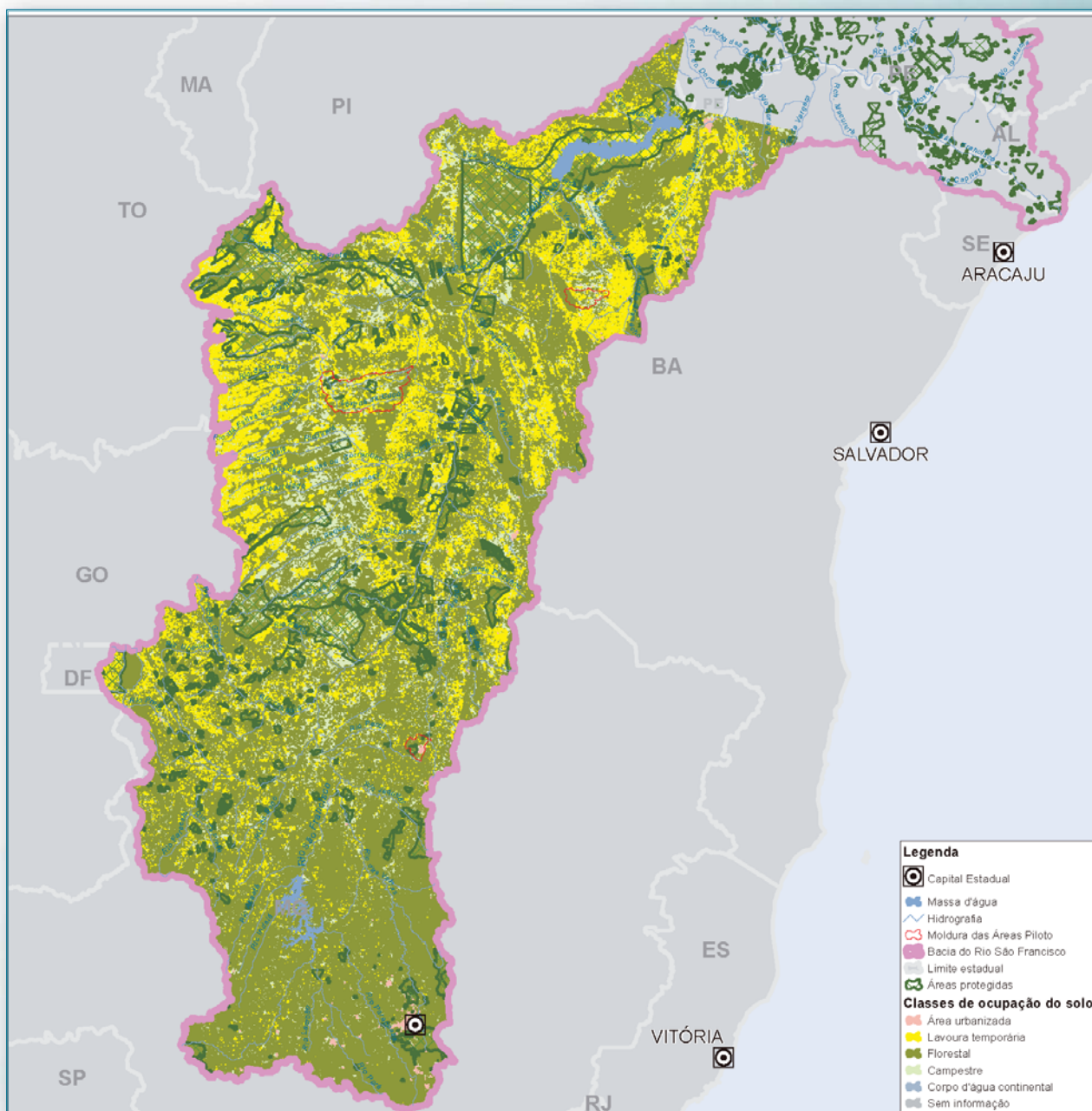
São as áreas utilizadas para a produção de alimentos, fibras e commodities do agronegócio. Inclui as lavouras temporárias, lavouras permanentes, pastagens plantadas, silvicultura e áreas comprovadamente agrícolas cujo uso não foi identificado no período do mapeamento.

### **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 de desenvolvimento, distribuídos por diferentes ambientes e situações geográficas.

### **Corpos de Água**

Incluem todas as classes de águas interiores e costeiras, como cursos de água e canais, 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.



Mapa de uso e ocupação do solo da área regional.

## 2.4. Geologia



*Irrigação por pivô central*

A Bacia do São Francisco está localizada na porção sul do cráton do São Francisco. Suas rochas estão organizadas em quatro unidades litoestratigráficas principais: o Supergrupo Espinhaço de idade paleo/mesoproterozoica, o Supergrupo São Francisco de idade neoproterozoica, os sedimentos paleozoicos do Grupo Santa Fé e as unidades cretáceas dos Grupos Areado, Mata da Corda e Urucuia; além das coberturas cenozoicas, representadas os depósitos eluvio-coluvionares e os aluviões.

Na porção central da Bahia, afloram unidades do embasamento de idade arqueana a paleoproterozóica, rochas intrusivas do Complexo Lagoa Real, o Supergrupo Espinhaço e o Supergrupo São Francisco.



*Calcário Bambuí*

Na porção centro-leste da Bahia e sul de Pernambuco estão localizadas as bacias sedimentares do Recôncavo, Tucano e Jatobá, que se desenvolveram durante a abertura do oceano atlântico Sul, durante o Cretáceo inferior.

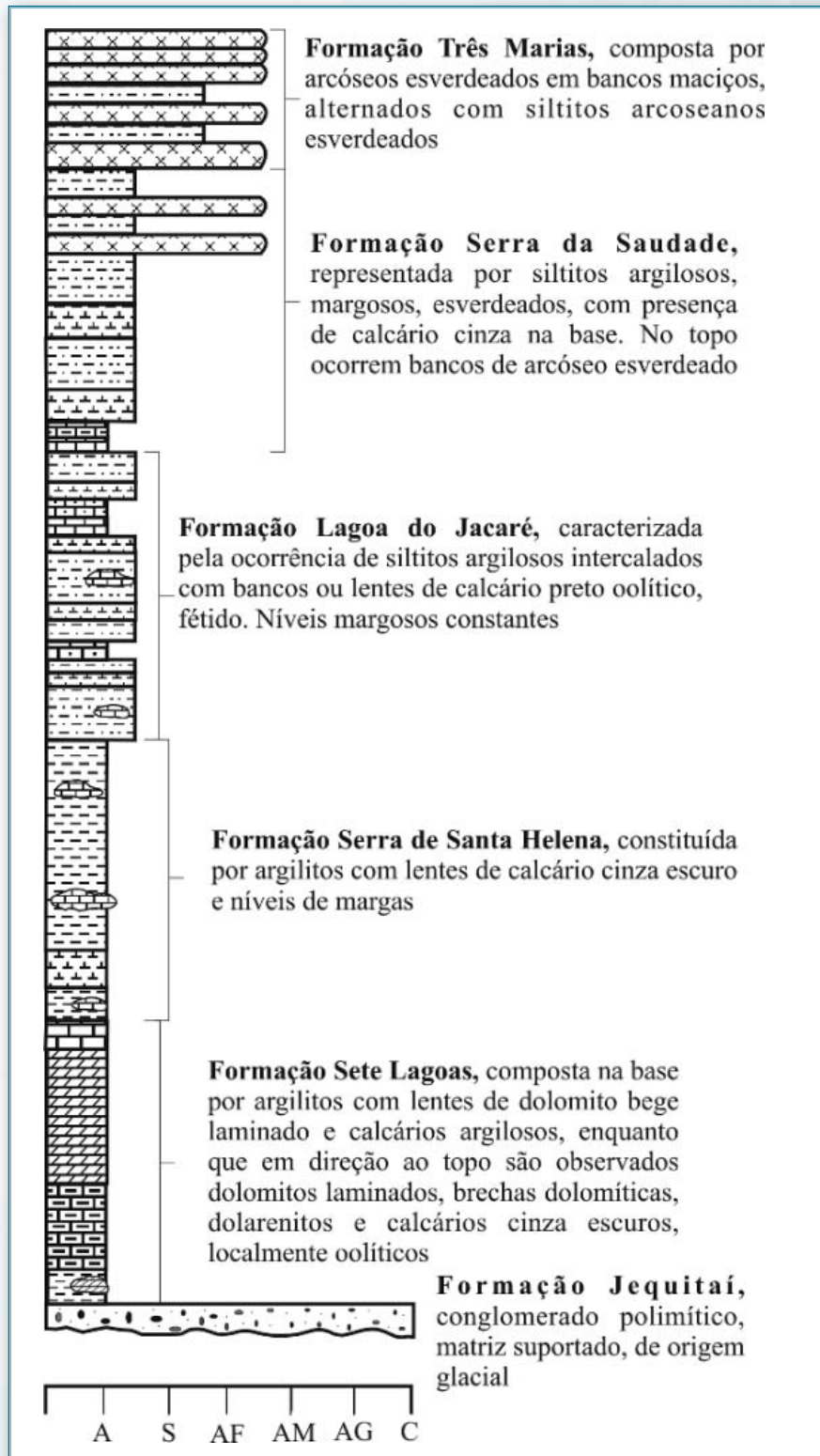
Afloram ainda ao longo da bacia hidrográfica do São Francisco um grande número de unidades geológicas que compõem as faixas dobradas marginais ao cráton do São Francisco, bacias muito antigas arqueanas a paleoproterozoicas e conjuntos ígneos intrusivos e vulcânicos. Ocorrem também coberturas sedimentares pós-cretáceas, dentre as quais se destaca a Formação Barreiras (Neogeno).

As rochas que compõem os sistemas aquíferos estudados pertencem ao Supergrupo São Francisco, com idades superiores a 1 bilhão de anos (Neoproterozóico), mais especificamente são rochas dos grupos Bambuí e Grupo Una.

O Grupo Una constitui a bacia de Irecê, na região de Irecê/Lapão, área piloto deste estudo, enquanto que o Grupo Bambuí constitui as demais áreas de ocorrência dos sistemas aquíferos.

Na Bacia de Irecê, a Formação Salitre predomina e é constituída de uma espessa sucessão carbonática com raras intercalações terrígenas. 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).

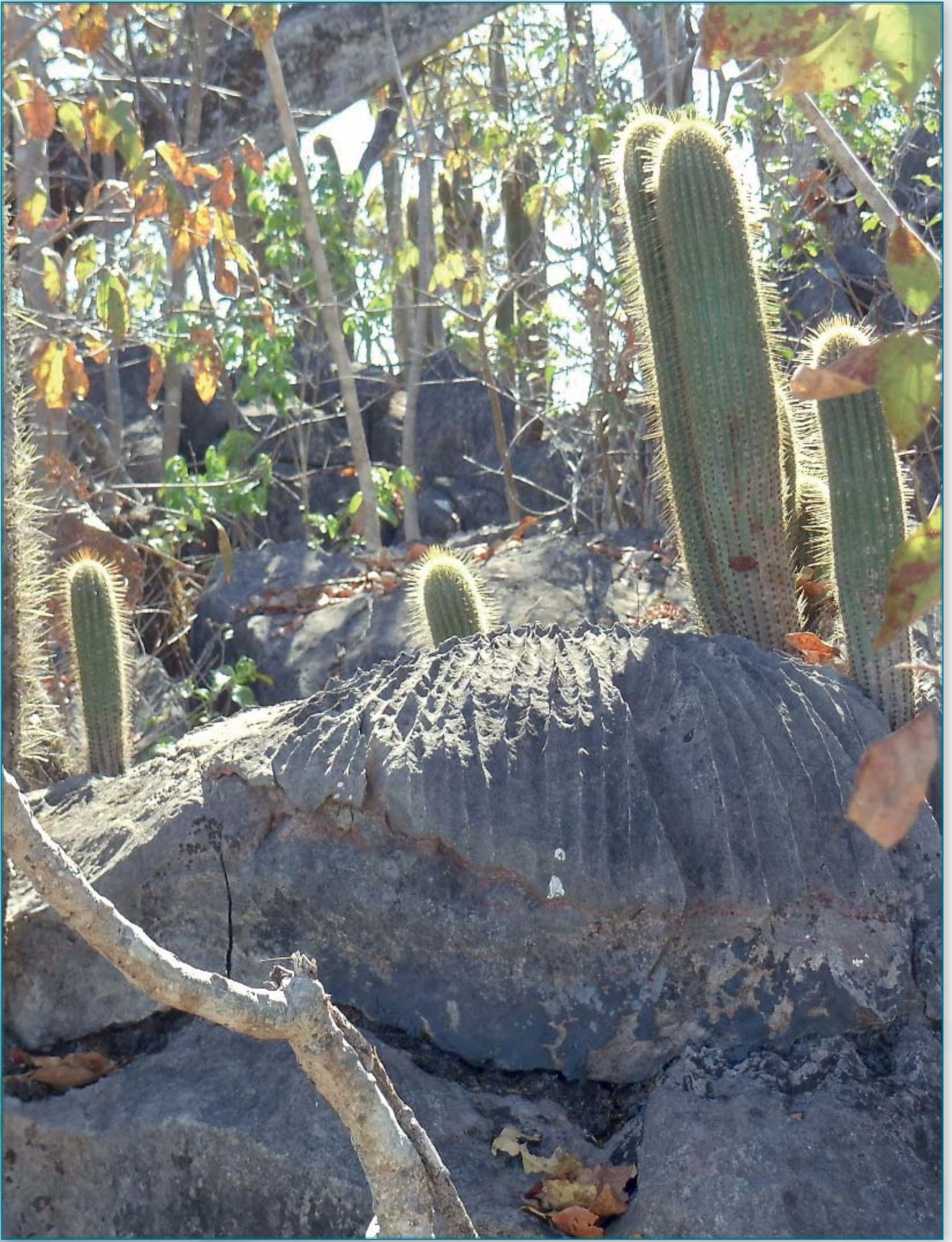
A intensidade de carstificação, nos calcários da Formação Salitre, nessa região é alta, de tal forma que Auler & Smart (2002) a consideram como Província Espeleológica Una, na qual ocorrem as duas cavernas mais extensas do Brasil: a Toca da Boa Vista, com 102 km de galerias mapeadas, e a Toca da Barriguda com aproximadamente 28 km, ambas no município de Rio Formoso, na 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, além de inúmeras feições cársticas no terreno.



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. Em segundo lugar, exibe uma estratigrafia mais simples, com apenas as formações Bebedouro e Salitre. O Grupo Bambuí, por sua vez, aflora numa vasta área, ocupando toda a região oeste da Bahia e a região oeste de Minas Gerais, exibindo uma estratigrafia mais rica com cinco formações bem diferenciadas. Apenas no extremo oeste Baiano e no norte de Minas Gerais o Grupo Bambuí é extensivamente recoberto por sedimentos Cretácicos do Grupo Urucuaia.

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

De forma geral, as rochas da bacia do rio São Francisco podem ser classificadas em quatro grandes sistemas aquíferos, considerando o quesito porosidade da rocha: poroso, fissural, cárstico e cárstico fissural.



*Calcário Bambuí*

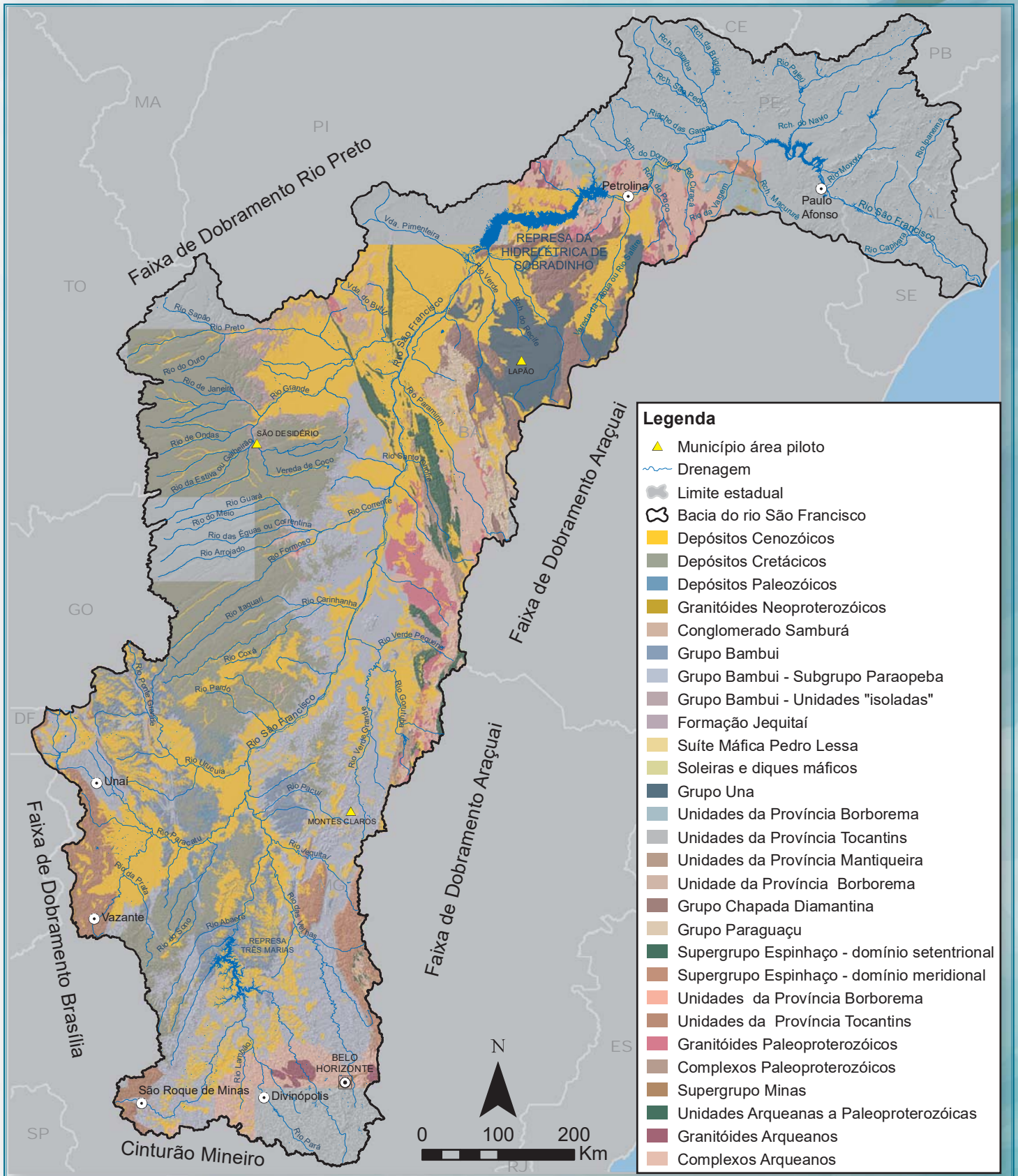




*Metassedimentos Subgrupo Paraopeba*



*Calcário região de São Desidério*

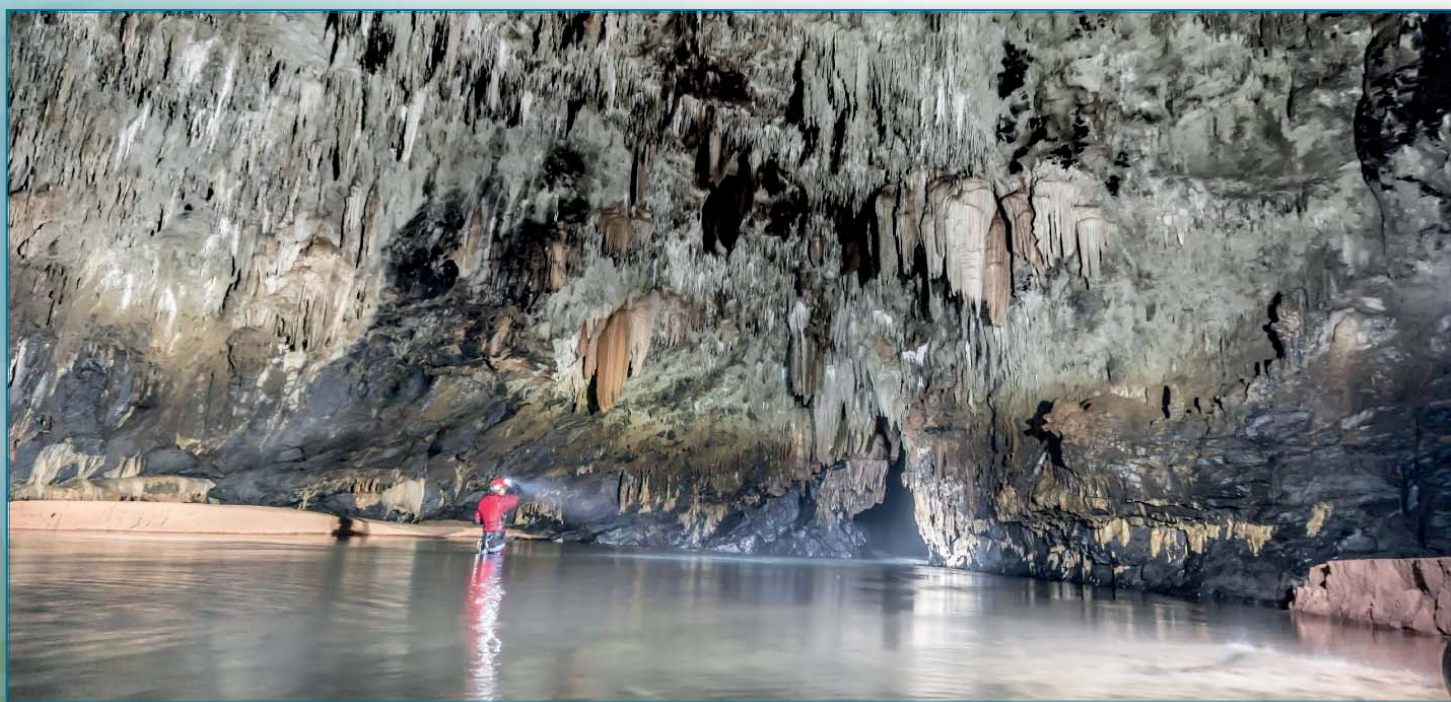


Geologia

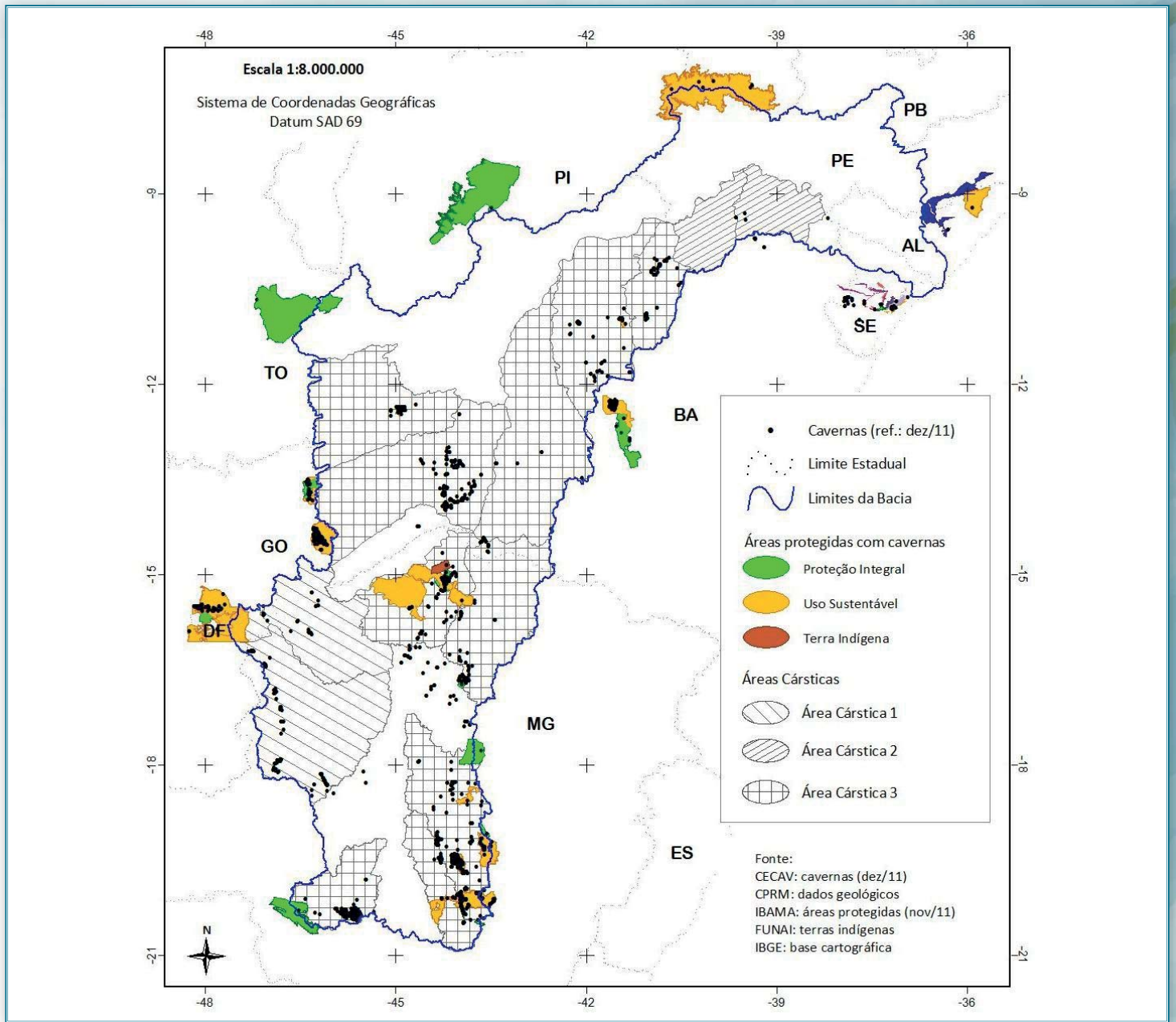
- Sistema de porosidade granular: capazes de armazenar e transmitir água por meio dos vazios entre os grãos originados durante o processo de formação do depósito sedimentar inconsolidado ou da rocha sedimentar. Reúne principalmente as unidades cenozoicas (coberturas detríticas indiferenciadas e a Formação Barreiras), as unidades da bacia fanerozoica do Recôncavo-Tucano, e os depósitos sedimentares do Cretáceo (Grupos Areado e Urucuia).
- Sistema de porosidade fissural: tipos rochosos cuja permeabilidade e porosidade primárias são extremamente reduzidas e o armazenamento e circulação da água se torna possível pela presença de feições de ruptura desenvolvidas após a formação da rocha, ou seja, fissuras, fraturas e falhas. Representados principalmente pelas rochas ígneas e metamórficas pertencentes ao embasamento da bacia. Podem ser citados como exemplos de sistemas aquíferos de porosidade fissural os quartzitos do Supergrupo Minas, os quartzitos do Supergrupo Espinhaço, e a Formação Três Marias, do Grupo Bambuí.
- Sistema de porosidade cárstica: constituído por rochas sedimentares químicas cuja evolução da porosidade ocorre pela dissolução ao longo da circulação da água em vazios pré-existentes. Destacam-se nesse grupo as rochas carbonáticas, onde são formados condutos, fendas e cavidades. Na bacia do rio São Francisco tais rochas ocorrem principalmente como coberturas cratônicas neoproterozoicas (especialmente as formações Sete Lagoas e Lagoa do Jacaré, do Grupo Bambuí, e a Formação Salitre, do Grupo Una). De forma mais restrita, ocorrem rochas carbonáticas no contexto da Faixa de Dobramento Brasília, onde afloram unidades carbonáticas carstificadas, de idade meso-a-neoproterozoicas, do Grupo Vazante.
- Sistema de porosidade cárstico-fissural: define um conjunto de rochas sedimentares que reúne rochas carbonáticas alternadas com camadas de rochas siliciclásticas, onde a água flui em um sistema de condutos interconectados gerados por dissolução (porosidade cárstica) e planos de descontinuidade típicos dos sistemas de porosidade fissural. Como exemplos podem ser citadas as unidades do Grupo Bambuí: Formação Serra da Saudade e o Subgrupo Paraopeba.

Em geral, os sistemas porosos e cársticos são os sistemas mais promissores para aproveitamento da água subterrânea, já que ocorrem em terrenos onde a água da chuva pode infiltrar e ser armazenada, fluindo com velocidade mais elevada ao longo do maciço rochoso, participando dos processos de alimentação dos sistemas fluviais e recarga dos aquíferos mais profundos.

## 2.5. Espeleologia



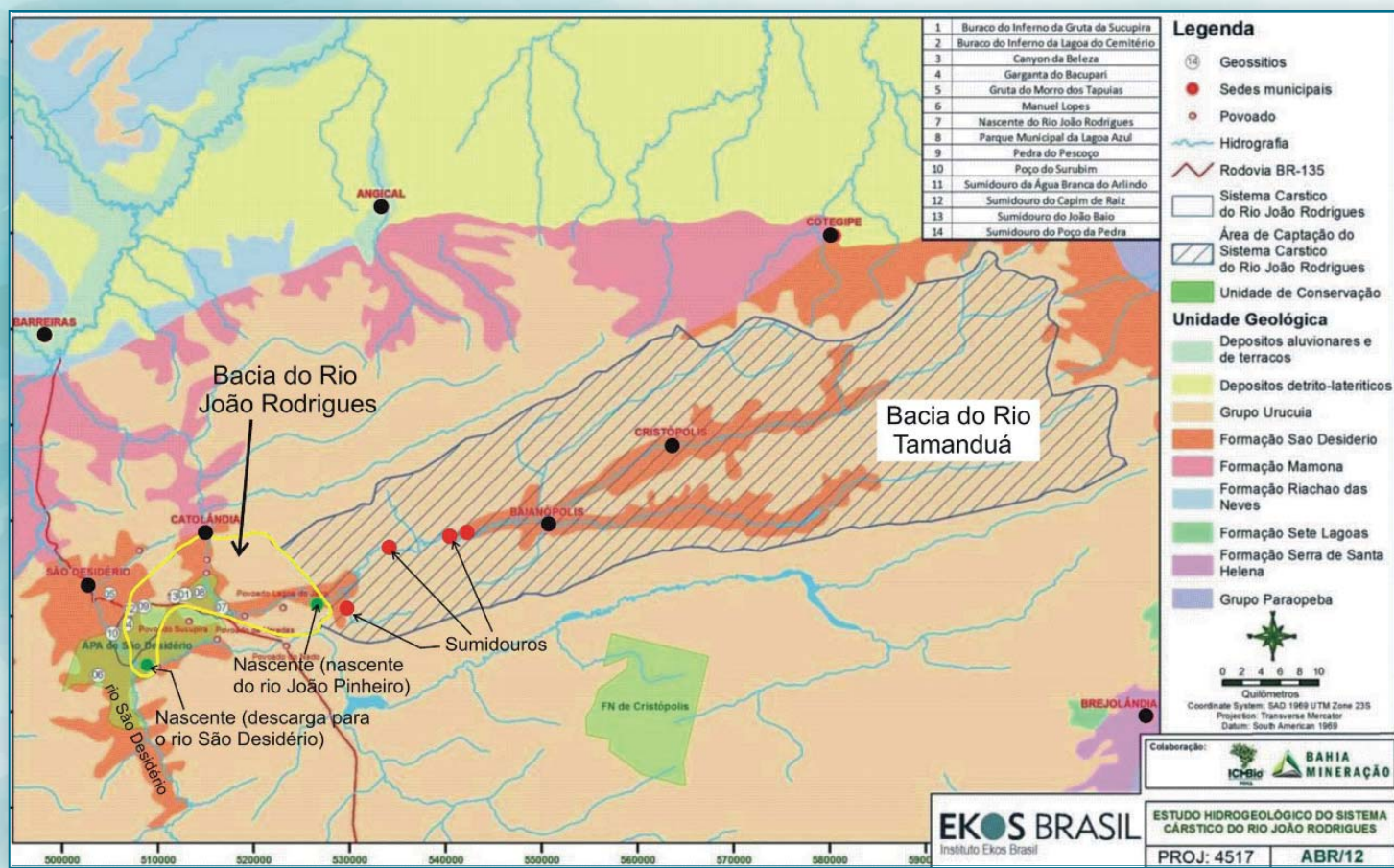
Segundo levantamento realizado pelo Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV), em novembro de 2011, existem 4.318 cavernas e 307 áreas protegidas na região de abrangência do Plano de Ação Nacional (PAN) Cavernas do São Francisco, das quais 69 são federais (19 de proteção integral, 18 de uso sustentável e 32 terras indígenas), 89 distritais, 85 estaduais e 64 municipais.



PAN Cavernas do São Francisco Fonte: ICMBio

### Áreas no Carste São Francisco detentoras de acervos espeleológicos importantes:

- Região do Alto São Francisco – destacam-se os relevos cársticos carbonáticos (Grupo Bambuí) dos municípios de Pains, Arcos, Doresópolis e Iguatama (MG), onde a maior parte da paisagem é composta por dolinas, uvalas, rios subterrâneos e inúmeras cavernas com grandes riquezas minerais e fossilíferas. Destaca-se também o Patrimônio Espeleológico da APA Carste de Lagoa Santa, devido à quantidade de cavernas e ao significado histórico do local.
- Região do Médio São Francisco - destaca-se a região norte de Minas/MG (Grupo Bambuí), com grande valor espeleológico e cavernas de grandes tamanhos e dimensões, do Patrimônio Espeleológico Brasileiro (Cavernas do Peruaçu e entorno), a exemplo das grutas Olhos d'água e do Janelão. Nessa região também ocorre o carste da Serra do Ramalho/BA (Grupo Bambuí), com muitas cavernas de grande extensão e beleza, além de destacado valor científico devido à ocorrência de registros paleontológicos e geomorfológicos. O acervo espeleológico do Médio São Francisco inclui ainda a APA Estadual de São Desidério/BA, que abriga a caverna Garganta do Bacupari, que possui o maior salão subterrâneo do país.
- Sistema Cárstico João Rodrigues – situado na região de São Desidério/BA (Médio São Francisco). Seu principal exutório conhecido é a ressurgência Surubim ou poço Surubim, nas proximidades da sua confluência com o rio São Desidério, mas tem sua nascente numa surgência a montante. É também conhecido pela designação de Carste da Região de São Desidério e representa uma captura das águas superficiais da Bacia do Tamanduá que “desaparecem” em sumidouros, “tornam-se” subterrâneas em curto trecho, para ressurgirem a montante da Bacia do rio João Rodrigues. No carste da região de São Desidério, a água flui ora superficial, ora subterrânea, num sistema interconectado por condutos subterrâneos e cavernas, intercalados por enormes dolinas, nos trechos onde os tetos das cavidades subterrâneas já desabaram. Já foram registradas 146 cavidades naturais subterrâneas ao longo do eixo principal do sistema. Ao longo desse eixo principal, mais de 12 km lineares de cavernas já foram mapeados.



Sistema Cárstico do Rio João Rodrigues, Fonte: adaptado de Lobo et al. (2013)

- Região do Submédio São Francisco –região de ocorrência da Formação Salitre, constituída predominantemente de calcários escuros muito carstificados. Sua maior área de ocorrência corresponde às chamadas bacias de Irecê e do Salitre. Inclui as duas cavernas mais extensas do Brasil: 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. 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.

As áreas cársticas principais na Bacia do São Francisco, de interesse espeleológico, são mostradas a seguir:



Gruta do Janelão, Minas Gerais/MG. | Fonte: Adriano Gambarini.



*Cones no interior da caverna Garganta do Bacupari São Desidério/BA. | Fonte: ICMBio*



*Gruta da Lapinha, Lagoa Santa/MG. | Fonte: Acervo Prefeitura de Lagoa Santa/MG*

### 3. RECURSOS HÍDRICOS



*Rio Formoso em Jaborandi*

O conhecimento do armazenamento da água em seus distintos reservatórios e os processos que comandam a transferência hídrica no meio natural representa o desafio de integrar o conhecimento produzido para a caracterização do clima, do espaço geográfico, da constituição do subsolo e das distintas propriedades hidráulicas das rochas e dos solos. Na análise da dinâmica da água em um sistema hidrogeodinâmico das dimensões da bacia do rio São Francisco é ainda mais importante compreender as diferenças naturais que regulam o volume hídrico dos reservatórios dentro da bacia. Essas diferenças naturais se manifestam na própria distribuição das parcelas hídricas no meio em estudo, tendo em vista o movimento contínuo da água no ciclo hidrológico.

Nesse contexto, as águas subterrâneas têm um fluxo mais lento quando comparado aos fluxos superficiais. Devido à porosidade e permeabilidade dos solos e rochas, a água é parcialmente retida por forças capilares, diminuindo a velocidade de retorno para as águas continentais de superfície e para os oceanos, fluxo que se processa em um período de tempo muito mais longo do que o fluxo de retorno das águas fluviais. A velocidade desse processo relaciona-se diretamente à capacidade de infiltração dos solos e ao gradiente hidráulico no aquífero, já que as águas se movem lentamente no sistema de poros, fraturas e/ou condutos saturados do maciço rochoso. De modo geral, esse movimento é anisotrópico e heterogêneo, sujeito à força gravitacional, na maior parte dos trechos.

As rotas de fluxos subterrâneos com percursos menores têm papel extremamente importante no sistema fluvial, uma vez que muitos rios, assim como o rio São Francisco e seus afluentes, recebem em suas calhas um montante de água subterrânea significativo. A descarga subterrânea mantém a perenidade dos rios, mesmo em zonas climáticas de aporte pluviométrico reduzido, fazendo com que mesmo nos períodos de estiagem as principais calhas fluviais permaneçam ativas.

Todo o ciclo hidrológico em nível continental pode ser entendido como o resultado da dispersão das parcelas do ciclo hidrológico em sistemas menores interligados ao longo do tempo e do espaço. Por seu caráter dinâmico, os ganhos e perdas nos reservatórios hídricos variam muito ao longo da história da bacia, já que dependem primariamente das variações climáticas.

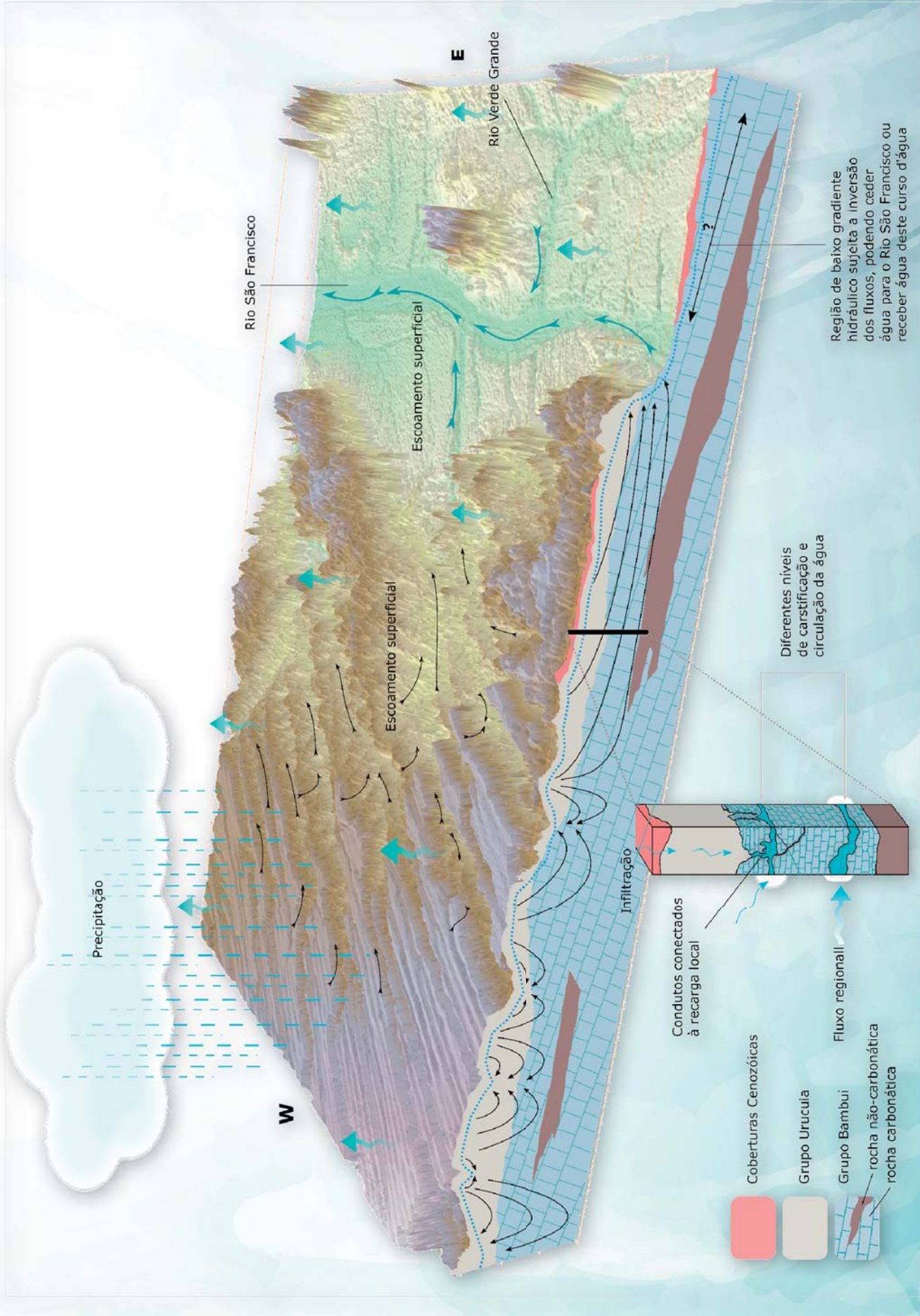
O balanço hídrico decorre das variações sazonais dos volumes de água contidos em suas parcelas integrantes, distribuídas espacialmente de acordo com as condições geográficas e climáticas preponderantes no globo terrestre. Contudo, existem grandes diferenças entre as condições em que se encontram armazenados e disponibilizados os volumes de água doce: as águas subterrâneas do subsolo e as águas superficiais nos rios e lagos.

O desenho esquemático mostra a dinâmica hídrica na bacia do rio São Francisco na região norte de Minas Gerais/sudoeste da Bahia, onde na porção oeste o contexto hidrogeológico inclui o Sistema Aquífero Urucuia aflorante, sobrejacente aos Sistemas Aquíferos Cársticos. No esquema representa-se as formas de circulação da água entre os reservatórios superficiais e subterrâneos.

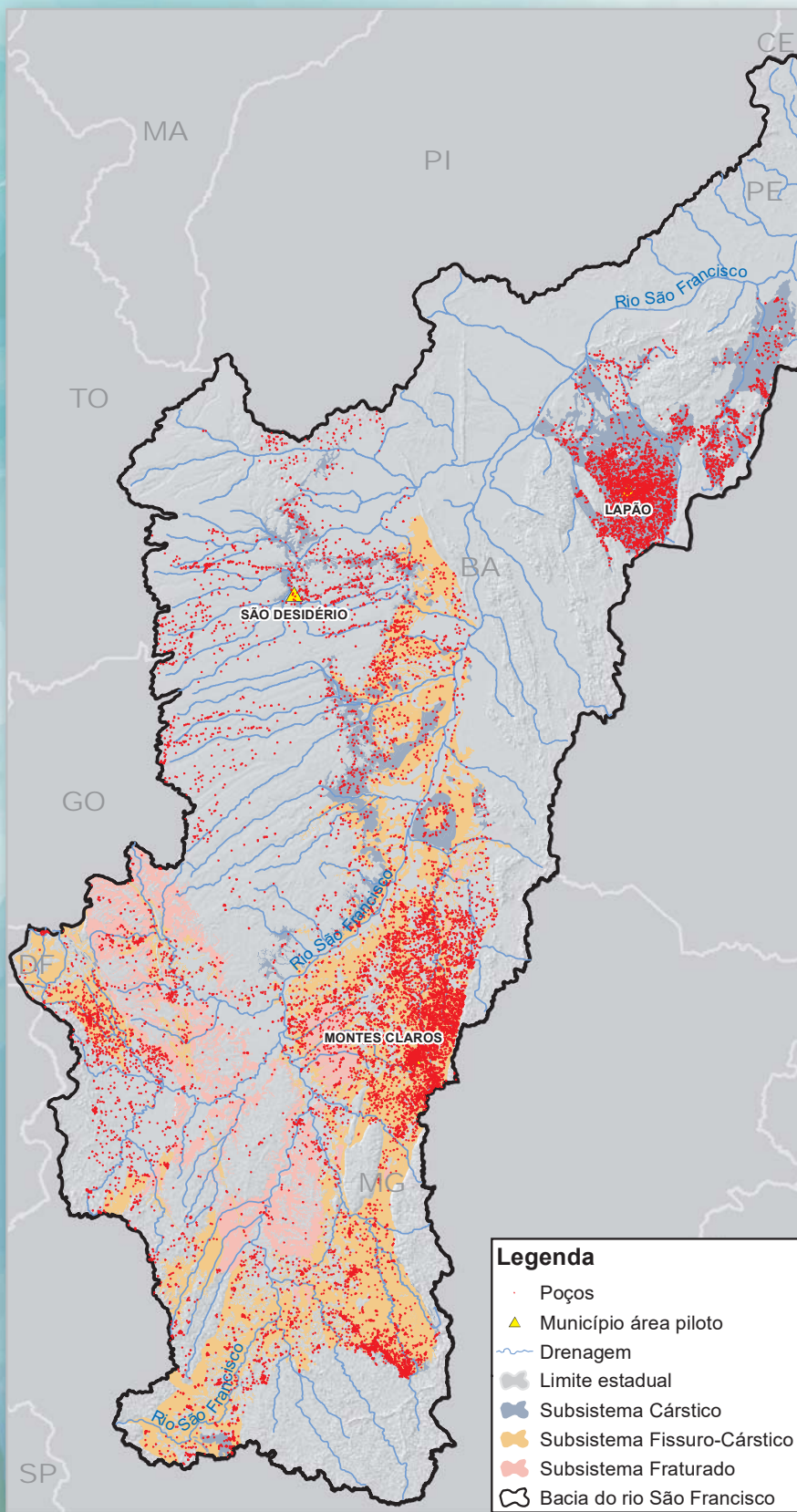
Parte das águas que precipitam sobre a bacia retorna à atmosfera pela evapotranspiração. As águas restantes abastecem as calhas fluviais, através do escoamento superficial, e os aquíferos por meio da infiltração nos solos.

O Sistema Aquífero Urucuia e o Bambuí contribuem para a manutenção do fluxo na calha do Rio São Francisco, a partir da contribuição indireta dos seus afluentes, como diretamente por linhas de fluxos subterrâneos regionais.





Esquema ilustrativo da dinâmica hídrica na bacia do Rio São Francisco na porção norte de Minas Gerais/sudoeste da Bahia



Apesar de ser uma seção geológica hipotética, estão representados elementos geológicos que, de fato, contribuem para a complexidade dos fluxos subterrâneos em grande parte dos aquíferos cársticos e cárstico-fissurais na bacia do Rio São Francisco. Dentre esses elementos podem ser destacadas as variações composicionais das rochas aquíferas, espessura da seção aquífera, diferentes níveis de carstificação nos calcários, presença das coberturas granulares e espessura variável dessas coberturas.

Nesse edifício geológico heterogêneo as águas infiltram e podem seguir caminhos distintos. Existem fluxos superficiais, intermediários e profundos, que desaguam em pontos específicos dependendo do entalhamento do relevo, do gradiente hidráulico e das variações geológicas que podem materializar divisores de fluxo subterrâneo.

Na superfície as águas da bacia circulam por diferentes trechos fluviais até chegarem à calha do rio São Francisco, que constitui o nível de base regional. Embora também seja este o destino da maior parte das águas que circulam em subsuperfície, existem fluxos que seguem para fora dos limites da bacia hidrográfica do rio São Francisco, como ilustrado esquematicamente na porção oeste da seção, onde o Sistema Aquífero Urucuia contribui para os afluentes da margem direita do Alto Tocantins.

Na seção é marcante a variação do relevo na margem esquerda e na margem direita do rio São Francisco. Na margem esquerda as unidades aquíferas do Urucuia estão alçadas em superfície, permitindo que exista energia potenciométrica para que as águas se movam em direção ao vale do rio São Francisco. Por outro lado, a diferença entre a cota do rio São Francisco e as cotas de superfície em sua margem direita é muito pequena, o que configura um gradiente hidráulico baixo.

de recarga que estão associadas aos arenitos do Grupo Urucuia na margem esquerda e a recarga reduzida ocasionada principalmente pelo aumento da aridez e baixo gradiente topográfico na margem direita, permite que o rio São Francisco possa perder água, ainda que sazonalmente, para o aquífero Bambuí na margem direita.

Os sistemas aquíferos cársticos e fissuro-cársticos ocupam uma área mapeada de aproximadamente 13% da bacia do rio São Francisco e estão distribuídos em contextos fisiográficos, climáticos e geo-estruturais distintos. Esses contextos diferentes estabelecem um potencial de produção de água também distinto. Nos aquíferos cársticos a evolução da porosidade cárstica depende dos atributos composicionais e estruturais da rocha carbonática e das zonas de recarga, muitas vezes posicionadas sobre as rochas não cársticas.

## **CADASTRO DE POÇOS Total: 21.443 poços (351 novos)**

- Áreas piloto (Irecê, São Desidério e Montes Claros): 172 pontos d'água cadastrados, sendo 147 poços tubulares e 25 pontos englobando poços amazonas, nascentes e surgências.
- Área regional: 179 pontos d'água cadastrados, sendo 135 poços tubulares e 44 pontos englobando poços amazonas, nascentes e surgências.

Dessa forma foi cadastrado um total de 351 novos pontos d'água, sendo 282 poços tubulares (80,3%) e 69 pontos englobando poços amazonas, nascentes e surgências (19,7%).

Poços novos cadastrados em campo e compilados de diversos órgãos: CERB - Companhia de Engenharia Ambiental e de Recursos Hídricos da Bahia, COPASA - Companhia de Saneamento de Minas Gerais, CODEVASF - Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba, INEMA - Instituto Estadual do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos da Bahia, IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas e CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/SIAGAS - Sistema de Informações de Águas Subterrâneas

## **DESCARGA SUBTERRÂNEA**

A dinâmica hídrica na bacia do rio São Francisco reflete a interação de compartimentos morfoclimáticos e hidrogeológicos distintos que apresentam, em função de seus atributos específicos, potenciais de produção de água muito heterogêneos. A abundância de água na bacia do rio São Francisco, seja ela superficial ou subterrânea pode ser expressa satisfatoriamente pelo cômputo das vazões subterrâneas específicas médias avaliadas a partir de dados históricos de vazão.

De forma geral, quando os valores de descarga subterrânea específica de uma determinada bacia são elevados, tende a existir uma forte interação entre os fluxos subterrâneos e as calhas fluviais, sendo as águas subterrâneas mantenedoras dos corpos hídricos ao longo do ano. Em situações onde a descarga subterrânea específica é muito baixa é muito difícil ocorrer situações onde as vazões dos corpos hídricos são elevadas e cujo fluxo se mantém perene ao longo dos períodos de estiagem.

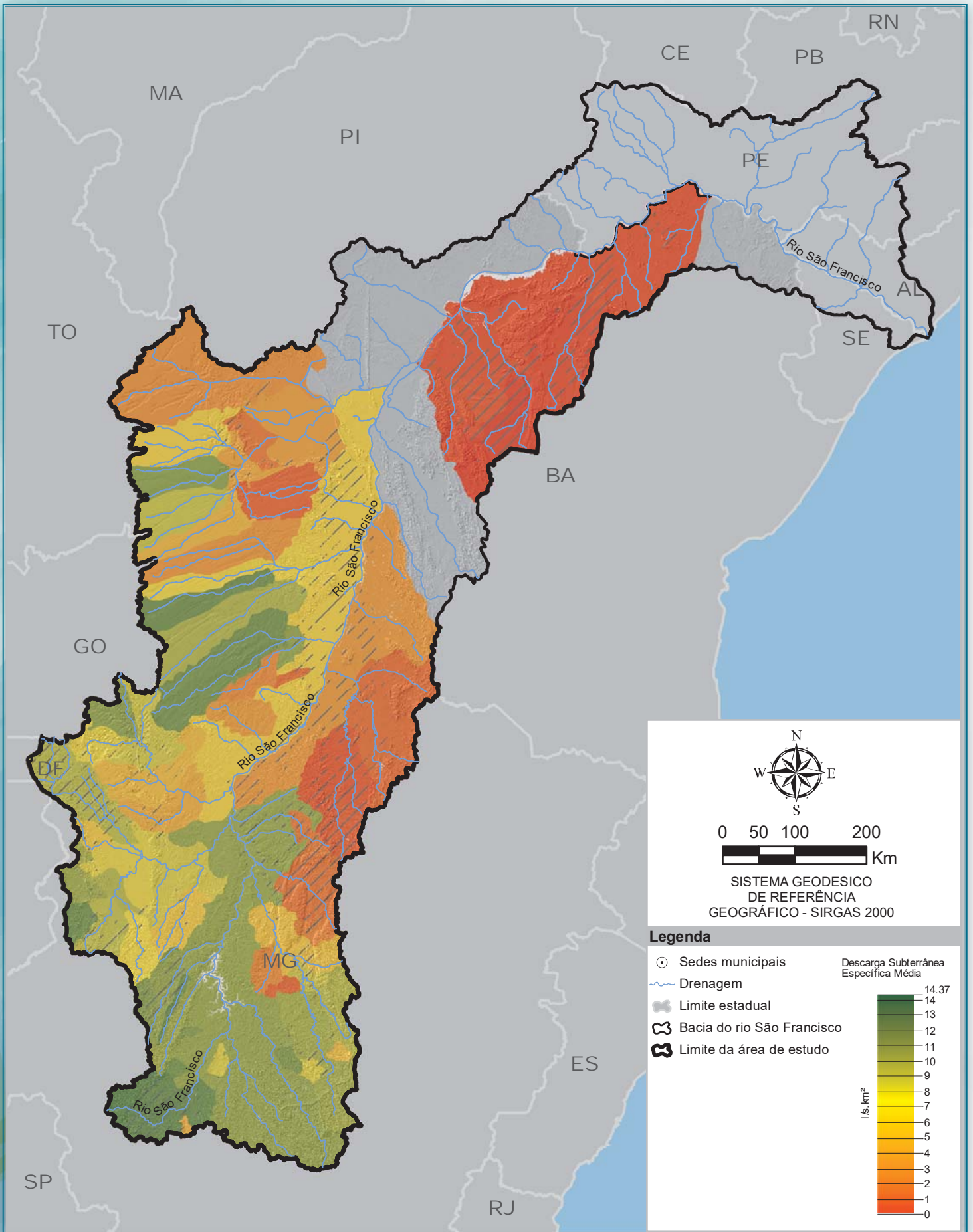
A descarga subterrânea específica média tende a ser um excelente indicador de capacidade de produção de água de uma determinada bacia porque representa o extrato das interações das variáveis climáticas, morfológicas e hidrogeológicas, apontando de forma realista o resultado da interação das propriedades intrínsecas do sistema natural quando submetido a diferentes índices pluviométricos. É possível ainda inferir cenários de trocas hídricas entre aquíferos que ultrapassam as fronteiras das bacias hidrográficas.

As vazões subterrâneas específicas médias são também bastante elucidativas para o conhecimento dos valores de referência da recarga dos sistemas aquíferos, uma vez que esses valores são medidos a partir do monitoramento das vazões nos rios e mostram as oscilações naturais ao longo do período de chuva e do período de seca.

Na espacialização as áreas de maior descarga subterrânea específica observa-se uma diminuição de sul para norte e de oeste para leste. Os menores valores predominam na região do Baixo velhas-Verde Grande e na região de Irecê. Nesse mesmo sentido, ocorre a diminuição das precipitações pluviométricas e do gradiente topográfico.

Ressalta-se também a evidência de valores anômalos de descargas específicas no interior de sistemas aquíferos, o que atesta as relações de trocas hídricas entre aquíferos que se encontram interconectados além das fronteiras hidrográficas. Os valores de descarga subterrânea encontrados em diversas bacias evidenciam condições extremas, tanto pela presença de valores muito elevados para ambientes de baixo potencial hidrogeológico (importação de água), como de valores baixos para ambientes de elevado potencial hidrogeológico (exportação de água).

Uma das principais características dos sistemas aquíferos cársticos, enquanto parte integrante de um sistema mais amplo que se integra aos outros domínios não cársticos, revela-se por dois tipos de associações possíveis, quais sejam: os ambientes aquíferos cársticos cobertos e aqueles que se encontram expostos em superfície.



*Descarga subterrânea específica média (l/s.km<sup>2</sup>)*



A qualidade das águas na área de estudo foi identificada com a realização de análise hidroquímica, elaborada a partir de amostras coletadas em duas campanhas distintas, perfazendo um total de 203 poços na primeira campanha, e 206 na segunda.

Na região de Irecê a água é governada principalmente por processos naturais de interação água-rocha em ambiente carbonático e fatores climáticos. Secundariamente observa-se a interferência dos fatores antrópicos, que se refletem na presença de teores elevados de nitrato nessas águas, relacionados ausência de esgotamento sanitário e tratamento adequado e/ou decorrentes das atividades agrícolas empregadas na área.

Os processos naturais de interação água-rocha dão origem a águas preferencialmente bicarbonatadas cálcicas, predominantemente doces (<1000 mg/L de STD) e com dureza inferior a 600 mg/L. Especialmente, esses setores correspondem à porção leste da área piloto, onde a quantidade significativa de zonas preferenciais de carstificações existentes proporcionam uma recarga expressiva e rápida circulação de água, e nos setores próximos aos afloramentos de rochas (Formação Morro do Chapéu) e sedimentos (coberturas Cenozoicas) siliciclásticos que propiciam maior aporte e diluição das águas carbonáticas.

Nos setores em que o calcário apresenta-se mais compacto (menos carstificado) e, conseqüentemente as águas no meio aquífero experimentam uma menor circulação e renovação, predominam as fácies cloretadas cálcicas, com a maior salinidade do conjunto amostral (entre 1000 a 5000 mg/L) e dureza superior a 600 mg/L. Aliado a esse cenário hidrogeológico e estrutural exposto, é provável também a influência do fator climático – no âmbito semiárido – que propicia uma concentração iônica progressiva dessas águas em resposta às elevadas taxas de evaporação.

Em São Desidério foram agrupadas de acordo com as suas características geológicas/hidrogeológicas obtidas dos perfis litológicos dos poços, de forma a permitir uma avaliação pormenorizada da influência do aquífero Urucuia nas águas do aquífero Bambuí. A seguir são apresentados os dois grupos individualizados e as principais características observadas:



*Estação Fluviométrica*

### **Aquífero Bambuí aflorante:**

- Águas doces (STD < 500 mg/L), com casos isolados de águas ligeiramente salobras (STD entre 1000 e 3000 mg/L). As águas mais enriquecidas (> 800 mg/L) concentram-se na faixa leste da área, isto é, mais distantes geograficamente das áreas de exposição dos arenitos do Grupo Urucuiá. Na faixa central e oeste a menor salinidade das águas do aquífero Bambuí aflorante pode denotar a influência do aquífero Urucuiá, inclusive por diluição advinda do fluxo regional a partir dos setores em que localmente ambas as unidades hidrogeológicas estão hidráulicamente conectadas. Ainda, localmente a presença de calcarenitos intercalados nos calcários e a proximidade com as drenagens superficiais podem explicar essa diminuição na salinidade.
- Águas duras (entre 100 a 200 mg/L) a muito duras (> 200 mg/L). As águas de dureza mais elevada, de forma similar ao observado para a salinidade, estão localizadas na faixa leste da área. Esse setor está mais distante da área de afloramento das rochas siliciclásticas do Grupo Urucuiá, que propiciam o abrandamento das águas, pelos mesmos motivos expostos para a salinidade das águas.

- Águas predominantemente bicarbonatadas cálcicas e em menor proporção sulfatadas cálcicas e bicarbonatadas sódicas. O conjunto de águas bicarbonatadas cálcicas apresenta baixo conteúdo iônico (geralmente com STD < 600 mg/L). As águas com fácies sulfatadas cálcicas apresentam maior enriquecimento iônico do conjunto avaliado (STD > 1000 mg/L).

### **Aquífero Bambuí recoberto:**

- Águas doces, sendo a maioria das amostras com salinidade inferior a 500 mg/L. Fica claro que as coberturas de arenitos Urucuiá sobrepostas aos calcários do Grupo Bambuí contribuem para uma queda nos teores de STD nas águas do aquífero Bambuí. Esse comportamento pode estar relacionado a alta permeabilidade vertical e horizontal do Urucuiá, que favorece a entrada e circulação da água de recarga (chuva) e, por conseguinte, a rápida renovação de água no aquífero Bambuí, principalmente nas partes mais carstificadas e fraturadas do pacote calcário sotoposto.
- Águas duras (entre 100 a 200 mg/L) a muito duras (> 200 mg/L), com todos os valores inferiores a 400 mg/L, portanto significativamente de menor dureza que as águas do Bambuí aflorante, cujo resultado atinge valores da ordem de 1000 mg/L. O abrandamento dessas águas provavelmente se dá pelos mesmos motivos expostos para a salinidade das águas.
- Águas neutras a alcalinas e predominantemente bicarbonatadas cálcicas.

Em Montes Claros predominam águas doces, com teor de STD inferior a 400 mg/L. Esses setores coincidem com a presença das rochas siliciclásticas de natureza quartzosa (correlacionadas ao Urucuiá e/ou Areado) que recobrem o Bambuí, cuja ocorrência mais expressiva se dá na faixa oeste e centro-sul da área.

Os valores mais elevados de STD (entre 400 até pouco mais de 1000 mg/L) ocorrem no setor nordeste da área e correspondem aos locais de afloramentos de rochas calcárias mais puras. A dureza apresenta configuração semelhante, na medida em que as águas mais duras (> 400 mg/L) ocorrem também no setor nordeste da área. Fica claro que as referidas coberturas influenciam na diluição e abrandamento das águas do aquífero Bambuí no setor estudado.

Essas águas de menor salinidade são predominantemente bicarbonatadas cálcicas a bicarbonatadas mistas (cálcicas e magnesianas), em consonância com a natureza carbonática do aquífero estudado.

Novamente o setor nordeste da área se destaca por apresentar padrão hidroquímico que difere dos demais setores, já que se observa a ocorrência de águas Sulfatadas, provavelmente correlacionadas a sulfetos da Formação Lagoa do Jacaré que ocorre nas proximidades da área piloto; além de águas Cloretadas na região de Jaíba. As referidas fácies contribuem para o aumento da salinidade das águas do aquífero Bambuí nessa porção.

## VULNERABILIDADE

A avaliação da vulnerabilidade em aquíferos permite conhecer os fatores que comprometem a qualidade da água e os riscos de contaminação. Isso porque está relacionada à maior ou menor suscetibilidade de um aquífero ser atingido por carga poluidora.

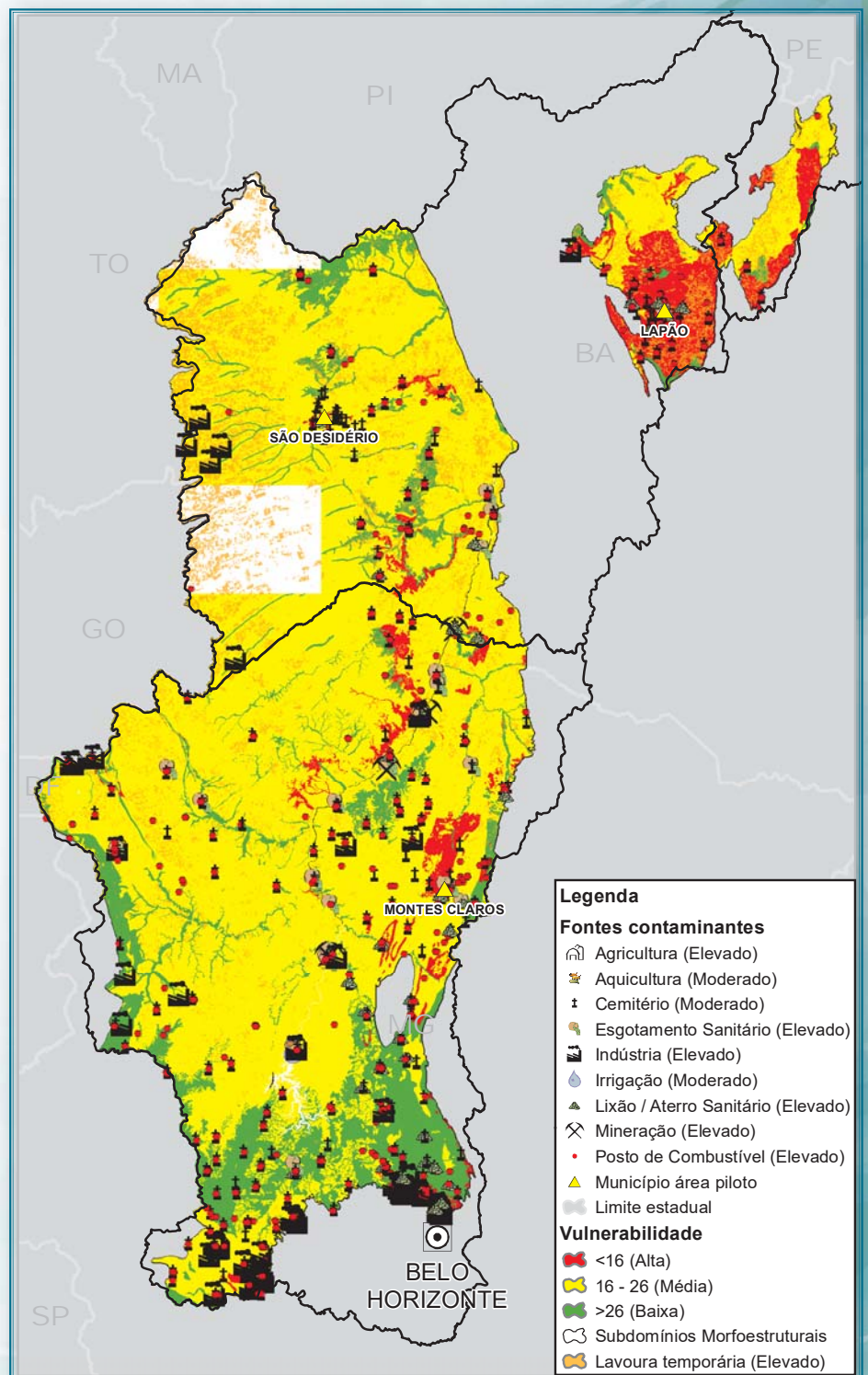
A vulnerabilidade de uma fonte de água subterrânea para os impactos humanos depende da capacidade de purificação do aquífero e do tempo de percolação das águas subterrâneas. Portanto, devido ao comportamento hidrológico heterogêneo de fluxo subterrâneo em aquíferos cársticos, a água ao atingir uma fonte de poluição representa a mistura de diferentes componentes ao aquífero (Santos et al., 2010 apud Tripet et al., 2000).

Para Frantz (2005), a alta vulnerabilidade natural dos cársticos se atribui a velocidade de circulação da água subterrânea relativamente alta e sua escassa interação contaminante-rocha, o que provoca uma elevada capacidade de propagação neste meio.

O método utilizado para a avaliação da vulnerabilidade é o EPIK (Doerfliger & Zwahlen, 1998), utilizado para avaliar a vulnerabilidade à contaminação em aquíferos cársticos. O nome deriva de: Epicarste (E), Cobertura de Proteção (P), Condições de Infiltração (I) e Sistema de Carstificação (K), que são as características relacionadas ao fluxo e ao transporte através de sistemas cársticos.

Na escala do presente projeto (1:250.000) não se pode, entretanto, identificar, de modo detalhado, diversas feições exigidas pelo método, tais como, sumidouros, cavidades, vales secos nem, tão pouco, o reconhecimento preciso das variações de espessura dos mantos de cobertura e da zona epicárstica sobre os aquíferos cársticos. Assim sendo, foi utilizada uma versão do EPIK adaptada para as condições regionais.

O perigo de contaminação de um aquífero pode ser determinado considerando a interação entre a carga contaminante a ser aplicada ao subsolo como resultado de atividades humanas e a vulnerabilidade do aquífero à contaminação, o que depende das características naturais dos estratos que o separam da superfície do solo.



### 3.1. Unidades de Gestão das Águas - UGAS

As Unidades de Gestão das Águas - UGAs foram criadas em função da necessidade de se estabelecer um espaço físico cujos atributos responsáveis pelo regime de circulação dos fluxos e pelo comportamento hidrológico fossem expressos pela equivalência e similaridade de sua assinatura hidrodinâmica. Tal domínio caracteriza-se por uma condição de contorno coincidente ao traçado de bacias hidrográficas.

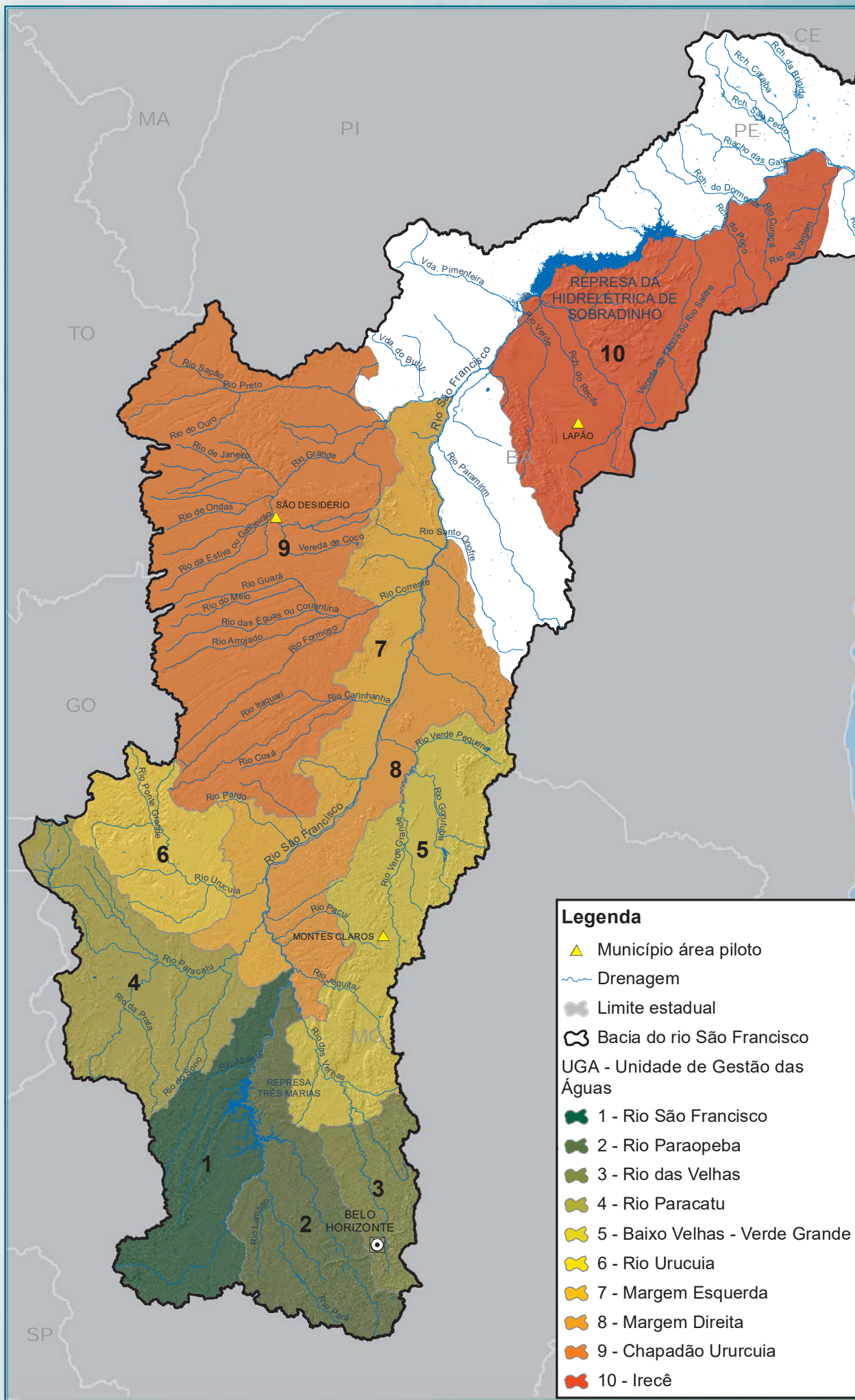
Para o traçado das UGAs levou-se em consideração pelos menos três atributos de interesse:

- As variações normais da intensidade de distribuição das chuvas;
- O relevo e sua distribuição geográfica diante de seus desníveis altimétricos, implicando em um padrão geomorfológico com suas distintas configurações topográficas;
- As condicionantes geológicas e estruturais, enquanto materiais responsáveis pela capacidade natural do meio em permitir o armazenamento e a circulação da água.

Foram definidas 10 UGAs como a seguir indicado:

- UGA 1 – Rio São Francisco (30.856,29 km<sup>2</sup>): Inclui a região da Serra da Canastra. Predominam nessa região rochas vulcano-sedimentares do Grupo Mata da Corda, siltitos e pelitos do Grupo Paraopeba Indiviso ou os metassiltitos da Formação Serra da Saudade.
- UGA 2 – Rio Paraopeba (32.765 km<sup>2</sup>): Inclui a Região Metropolitana de Belo Horizonte. Predominam rochas cristalinas metabásicas e metaultramáficas arqueanas, e rochas metassedimentares argilosas da Formação Serra de Santa Helena. Ocorrem também calcários da Formação Lagoa do Jacaré e coberturas detrito-lateríticas ferruginosas em cotas elevadas.
- UGA 3 – Rio das Velhas (14.563,82 km<sup>2</sup>): Inclui os municípios de Belo Horizonte e Sete Lagoas. Ocorrem, predominantemente, rochas cristalinas e quartzíticas, formações ferríferas, coberturas concrecionárias e metassiltitos da Formação Serra de Santa Helena.
- UGA 4 – Rio Paracatu (40.939,75 km<sup>2</sup>): Inclui a região oeste de Minas Gerais, entorno do Distrito Federal e municípios de Unaí e Paracatu. Afloram carbonatos do Grupo Vazante e rochas sedimentares do Grupo Areado, tais como os filitos carbonosos da Unidade Paracatu.
- UGA 5 – Baixo Velhas – Verde Grande (49.259,37 km<sup>2</sup>): Ocorrem rochas pelíticas, seja da Formação Serra de Santa Helena, seja da Formação Lagoa do Jacaré. Encontram-se, nesta UGA, sistemas cárstico-fissurais do Grupo Paraopeba Indiviso, muito ricos em feições cársticas de superfície, principalmente na região de Montes Claros e Jaíba.
- UGA 6 – Rio Urucuia (23.758,78 km<sup>2</sup>): Inclui os municípios de Buritis e Arinos. Ocorrem sedimentos da Formação Três Marias, além de rochas carbonáticas do Subgrupo Paraopeba Indiviso e também, expressivamente, materiais de cobertura detrito-laterítica com concreções ferruginosas.
- UGA 7 – Margem Esquerda SF (43.987,52 km<sup>2</sup>): Ocorrem calcarenitos do Subgrupo Paraopeba indiviso, rochas argilosas da Formação Serra de Santa Helena e rochas dos grupos Areado e Urucuia. Registra-se a presença de uma área cárstica notável denominada de Parque Cavernas do Peruaçu, nas cercanias o município de Itacarambi.
- UGA 8 – Margem Direita SF (36.055,85 km<sup>2</sup>): Inclui o município de Bom Jesus da Lapa. Ocorrem carbonatos e pelitos da Formação Lagoa do Jacaré e rochas pelito carbonáticas do Subgrupo Paraopeba Indiviso, além de coberturas detrito-lateríticas ferruginosas e depósitos aluvionares antigos. Sedimentos da Formação Serra de Santa Helena encontram-se em zonas mais elevadas, situadas logo abaixo das coberturas sedimentares cretáceas do Grupo Urucuia, as quais ocupam invariavelmente os topos residuais, na forma de pequenos platôs.
- UGA 9 – Chapadão Urucuia (120.450 km<sup>2</sup>): Ocorrem predominantemente arenitos do Grupo Urucuia que constituem o conhecido Chapadão do Urucuia na região do Oeste Baiano, incluindo os municípios de Barreiras e Luiz Eduardo Magalhães.
- UGA 10 – Irecê (70.235,81 km<sup>2</sup>): Incluindo os municípios de Irecê e Lapão e entorno da UHE Sobradinho. É constituída por rochas carbonáticas da Formação Salitre (Grupo Una), Formações e da Formação Caatinga, ocorrendo também, em pequena parte, rochas quartzíticas da Formação Morro do Chapéu (Grupo Chapada Diamantina).





## 3.2. USO DA ÁGUA SUBTERRANEA

Nos últimos anos a escassez das chuvas levou a população buscar outras fontes de uso da água, encontrando na água subterrânea uma alternativa. Com o objetivo de entender e quantificar a evolução desse uso foi avaliada a evolução temporal da descarga regional global de água subterrânea com o objetivo de aferir o crescimento anual da exploração. Para tanto, os poços disponíveis no cadastro foram inicialmente ordenados dos mais antigos para os mais recentes, relacionando para cada ano o número de poços cadastrados e a vazão explorada.



Poço Tubular

Utilizou-se 21.443 poços para toda a área do Carste São Francisco, sendo 431 poços para a área piloto da Bacia do Riacho do Juá, 168 poços para a área piloto da Bacia Rio São Desidério, e 1062 poços para a área piloto da Bacia do Rio do Vieira.

Na evolução das descargas exploradas, algumas feições relevantes chamam a atenção. São elas:

- Até 1970 as descargas exploradas de água subterrânea são insignificantes, quase nulas. Isso significa que poderiam existir poços, mas, que estes não eram cadastrados porque não havia instituições que realizassem esse tipo de cadastro, ou então o uso de água subterrânea ainda era incipiente. Em 1970, a Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste – Sudene, iniciou os trabalhos de cadastramento dos poços o que se reflete na curva de evolução das descargas;
- A partir de 1997 a evolução das explorações anuais sofre uma deflexão e passa a subir a uma taxa maior. Essa mudança de comportamento pode ser atribuída à entrada em operação do banco de dados Siagas da CPRM;
- As taxas de evolução das descargas anuais sofrem uma atenuação a partir de 2010. Como este ano marca uma acentuação da crise climática que vem afligindo a região, seria de se esperar uma intensificação das perfurações e não o contrário.
- Uma análise dessa questão, com base na experiência de campo, sugere que, efetivamente, a taxa de perfuração se manteve alta, mas, através da informalidade.

Verifica-se, que o período compreendido entre 1997 e 2010 representa mais realisticamente a evolução da solicitação dos aquíferos do Carste São Francisco como um todo.

Considerando as observações acima, foi construída uma série histórica de descargas anuais de água subterrânea, a partir dos bancos de poços disponíveis, para o trecho considerado mais representativo da evolução real das descargas. Foi ajustada uma equação exponencial aos dados, considerando, tanto o comportamento dos pontos amostrais, quanto a tendência regional de aumento populacional (IBGE 2010).

Os prognósticos de descargas futuras de água subterrânea em 2020 e 2030, para toda região de estudo, são mostrados na tabela de projeção da produção de água subterrânea para todo o carste. Para essa região, vamos considerar que existem 2,5 vezes mais poços que o número conhecido. É claro que a consideração desses fatores de correção leva ainda a números aproximados, mas o erro cometido é menor que aquele a que chegaríamos não os considerando.

Os números, representam tendências avaliadas a partir da evolução das descargas amostradas. No que diz respeito a restrições atuais à captação de água subterrânea, utilizou-se do Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do São Francisco (CBHSF, 2016). Este documento, entretanto, apenas tece considerações gerais sobre essa questão e a repassa aos órgãos gestores estaduais, enfatizando sua importância e recomendando sua abordagem futura. No presente estudo as restrições à captação de água subterrânea são, de certo modo, consideradas quando da

## Projeção da produção de água subterrânea para todo o carste.

Carste Todo	Descarga em 2020 (hm <sup>2</sup> /ano)			Descarga em 2030 (hm <sup>2</sup> /ano)		
	Lei Exponencial	C	Q Corrigida	Lei exponencial	C	Q Corrigida
	2.580,0	2,5	6.450,0	5.350,0	2,5	13,375,0

avaliação dos saldos explotáveis. Esta avaliação permitiu, inclusive, o zoneamento de áreas sobre-explotadas onde não são recomendáveis incrementos na descarga bombeada. Esses resultados não configuram, naturalmente, marcos regulatórios, mas fornecem elementos orientadores para que os órgãos gestores estaduais.

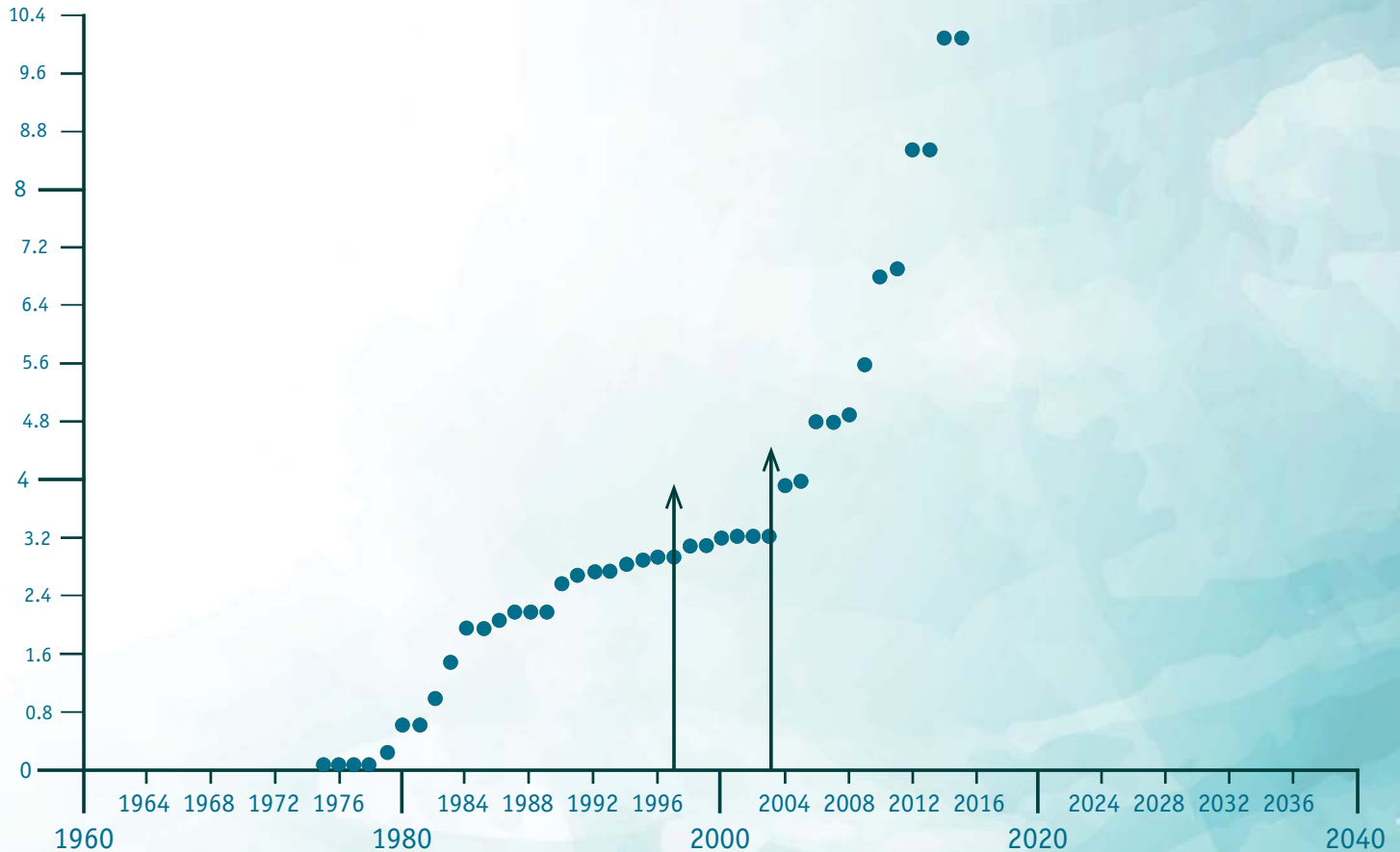
### Evolução Temporal da Exploração nas Áreas Piloto.

Os prognósticos de produção futura de água subterrânea nas áreas piloto foram feitos para 2020 e 2030.

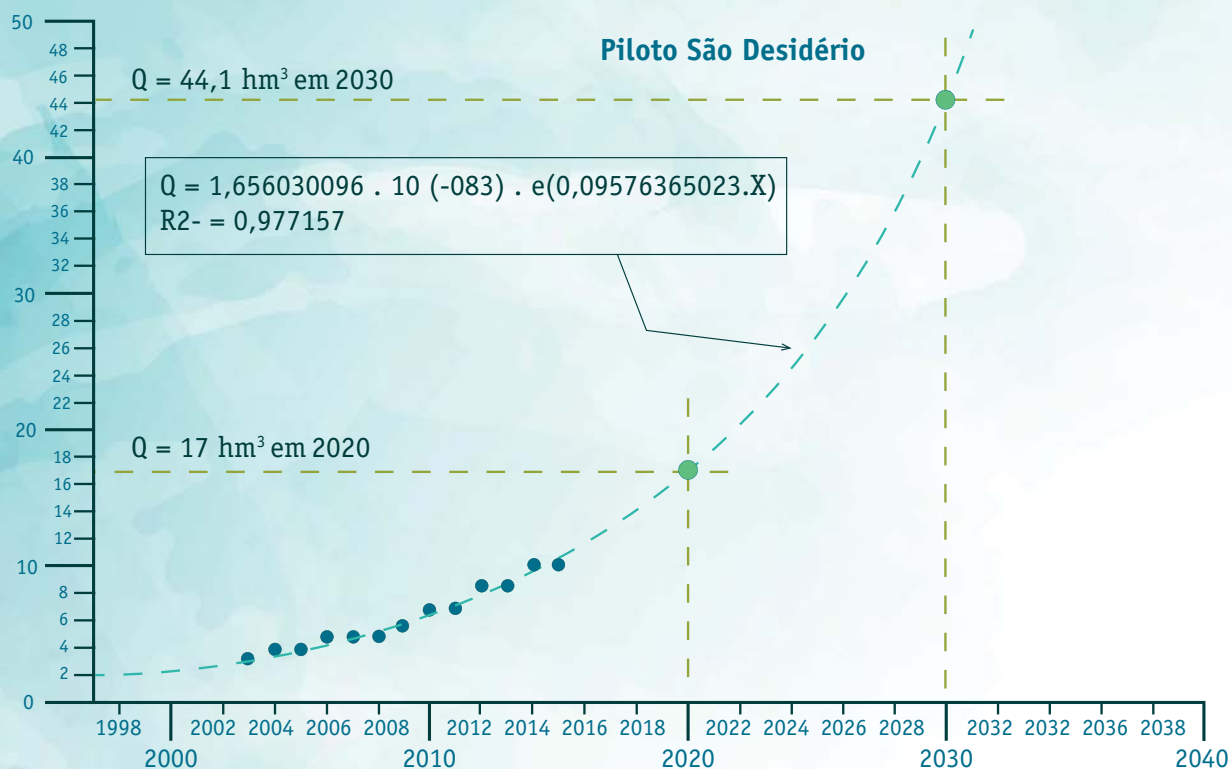
#### Área piloto da Bacia do Rio São Desidério

No gráfico de evolução das descargas de água subterrânea na área piloto da Bacia do Rio São Desidério observa-se que o ano de 2003 marca um ponto de inflexão muito bem definido. A partir desse ano, o crescimento das descargas anuais assume uma taxa bem mais acentuada, decorrente do início do cadastramento de poços do Siagas e, mais nitidamente, do início dos cadastramentos da CERB/BA. A evolução das descargas de água subterrânea, entre 2003 e 2015, afigura-se como mais representativa da realidade.

No gráfico é mostrado a evolução das descargas globais de água subterrânea na área piloto da Bacia do Rio São Desidério para o período de 2003 a 2015. Essa evolução das descargas anuais admite o ajuste de uma lei exponencial conforme justificado acima e mostrado também no gráfico.



*Evolução das descargas anuais de água subterrânea na área piloto da Bacia do Rio São Desidério (regime de 12/24 horas).*



*Evolução das descargas anuais de água subterrânea na área piloto da Bacia do Rio São Desidério para o período de 2003 a 2015 (regime de 12/24 horas).*

### Área piloto da Bacia do Rio do Vieira

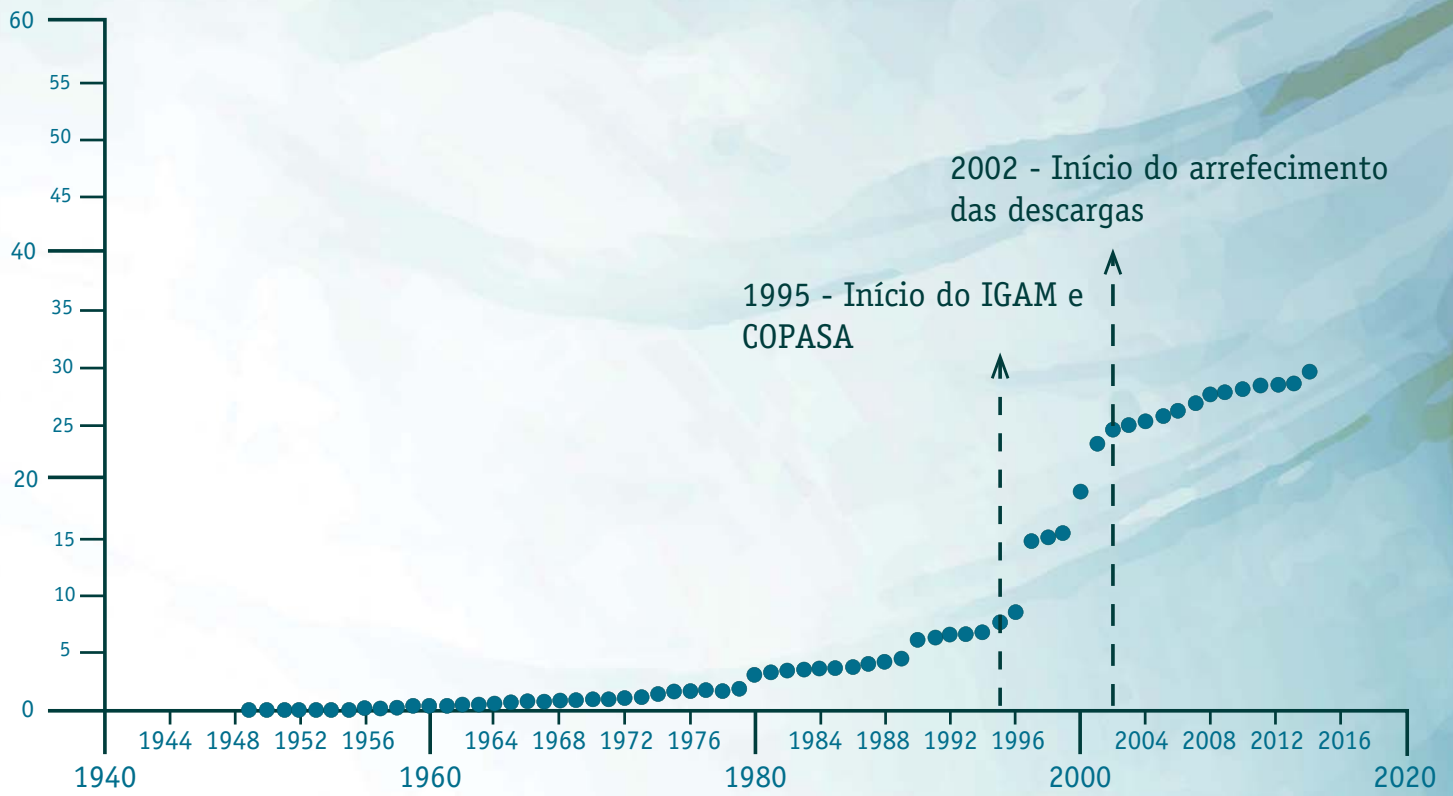
A evolução mais verossímil da descarga de água subterrânea na Bacia do Rio Vieira se inicia no ano de 1995 com os cadastramentos dos poços do IGAM e da COPASA. O arrefecimento da taxa de crescimento das descargas, aqui, não deve ser atribuído unicamente à informalidade. A área piloto do Rio do Vieira, apresenta um comportamento atípico no que diz respeito à evolução das demandas, o que pode ser explicado pelo desenvolvimento econômico do município de Montes Claros. As demandas para agricultura têm, geralmente, uma participação muito significativa nas demandas totais. No caso de Montes Claros, áreas anteriormente destinadas à atividade agrícola foram aos poucos sendo tomadas pela urbanização descentralizada que ocorreu no município. Em consequência, as demandas de água para fins agrícolas foram caindo rapidamente na medida em que o desenvolvimento da região foi sendo cada vez mais atrelado aos setores secundários e terciários.

Não obstante o crescimento das demandas para os demais usos consuntivos, a desaceleração da agricultura irrigada foi de tal monta que seu efeito resultou, após análise econômica da área, na redução da demanda global projetada.

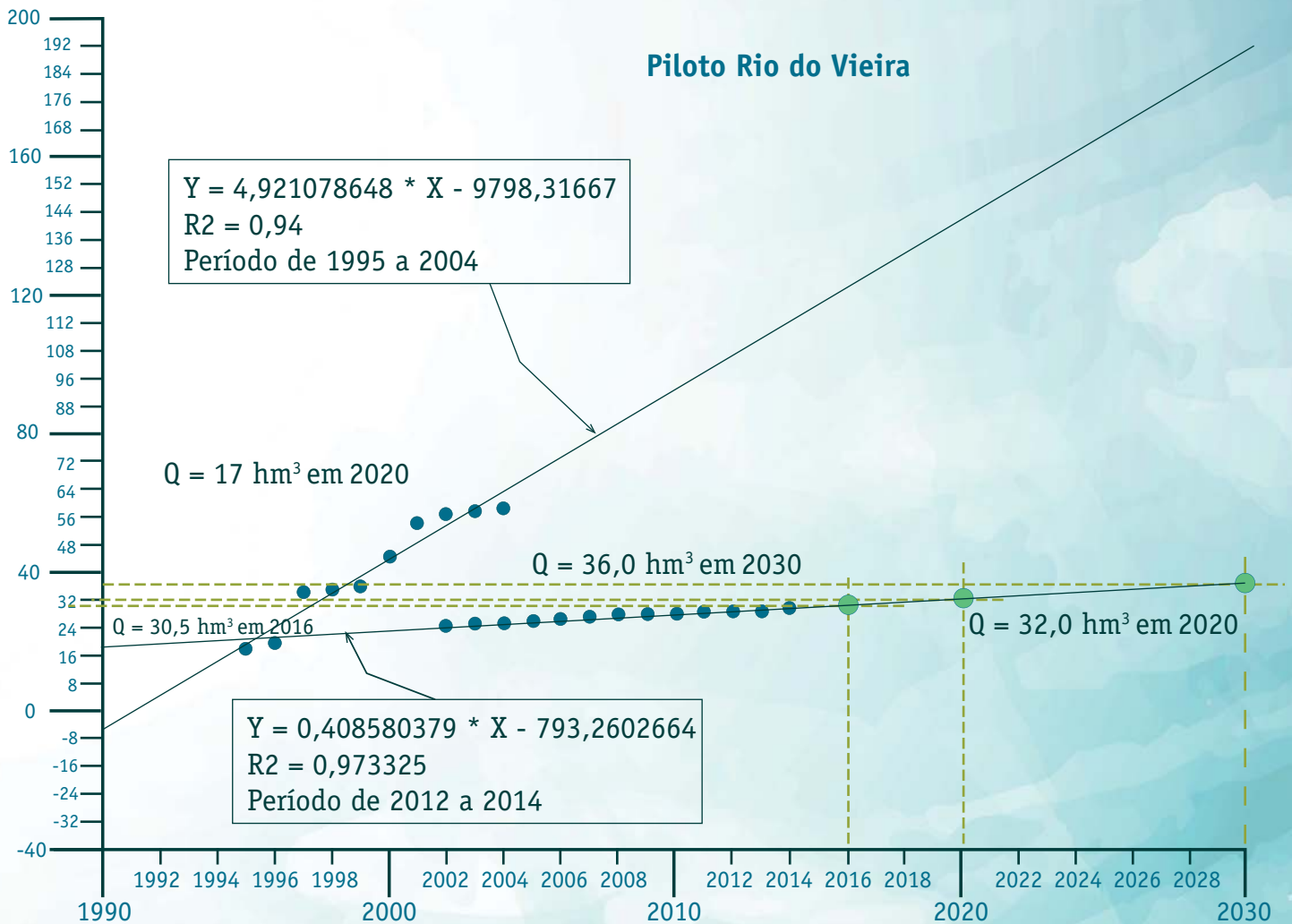
Considera-se mais admissível, portanto, que o arrefecimento da taxa de crescimento das descargas globais de água subterrânea, a partir de 2002, tenha suas causas preponderantemente na desaceleração da agricultura irrigada. Foi, assim, utilizado como trecho representativo da realidade o intervalo entre 2002 e 2014.



*Poço tubular submerso em área de surgência, Jaíba (MG)*

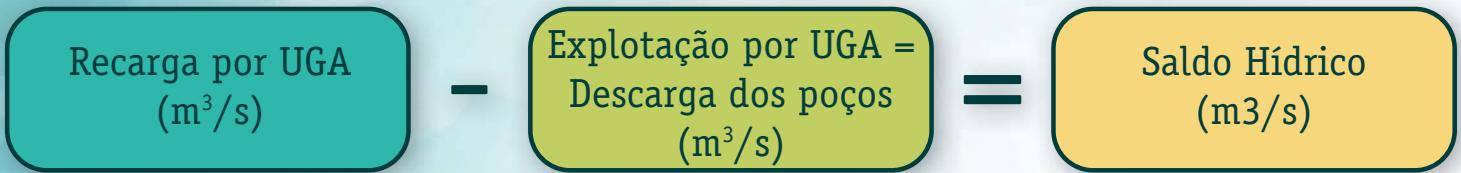


Evolução das descargas globais de água subterrânea na área piloto da Bacia do Rio do Vieira (regime 5,2/24 horas).



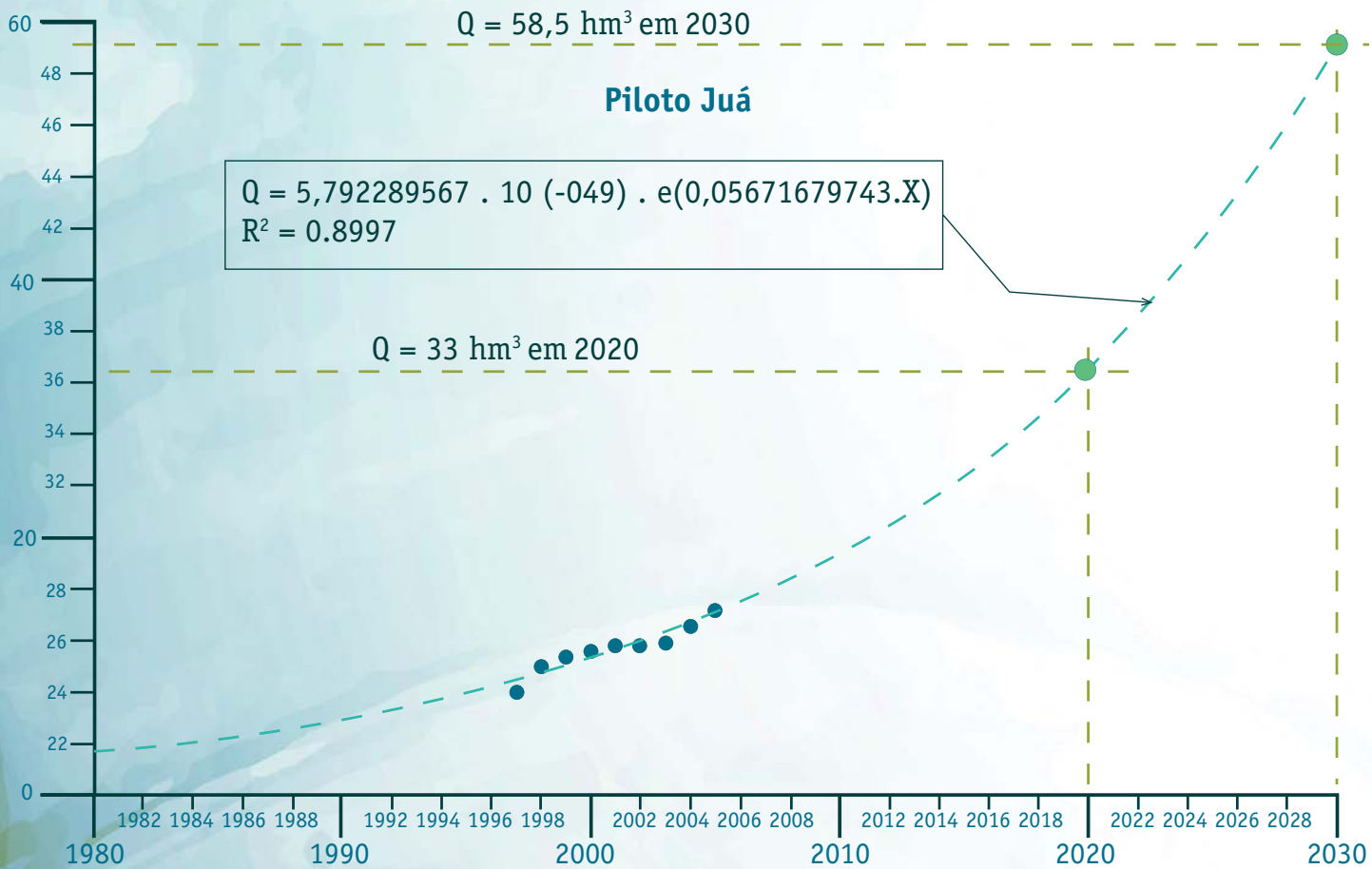
Evolução das descargas globais de água subterrânea na área piloto da Bacia do Rio do Vieira entre 2002 e 2014 (regime de 5,2/24 horas).

A evolução das descargas anuais de água subterrânea exploradas na área piloto da Bacia do Rio do Vieira para o período de 2002 a 2014 é mostrada o gráfico. O total de poços utilizados foi 931 em 2014. Diferentemente das áreas piloto do Juá e do rio São Desidério, os dados amostrais de Montes Claros não sugerem uma evolução exponencial. A evolução das descargas anuais admite, antes, o ajuste linear conforme mostrado no gráfico. O regime de bombeamento, por outro lado, não pode ser 12/24 como nas demais áreas piloto. Considerando o histórico do abastecimento público de Montes Claros, admite-se que os poços da Bacia do Rio do Vieira devem funcionar num regime máximo de 5,2/24 horas



### Área piloto da Bacia do Riacho do Juá

Na área piloto da Bacia do Riacho do Juá a intensificação da informalidade se percebe já no ano de 2005, pois, a partir desse ano, as descargas informadas nos bancos de poços já se atenuam significativamente. Assim, utilizou-se como trecho representativo da realidade o intervalo entre 1997 e 2005. A evolução das descargas anuais exploradas admite o ajuste de uma lei exponencial.



Evolução das descargas globais de água subterrânea na área piloto da Bacia do Riacho do Juá entre 1997 e 2005 (regime de 12/24 horas).

### 3.3. Saldos explotáveis Regionais

A situação da exploração dos sistemas aquíferos Cársticos e Físsuro-Cársticos na bacia hidrográfica do São Francisco foi especializada através de um balanço hídrico tendo como variável de entrada a recarga (calculada a partir das análises das curvas de recessão dos hidrogramas) e como variável de saída a exploração (produção global de água avaliada com base na vazão informada no cadastro de poços existentes em condições de funcionamento), resultando num saldo hídrico em cada Unidade de Gestão das Águas.

Os saldos hídricos regionais, mostram que a situação da exploração é crítica na UGA 10 (região de Irecê e Lapão) onde ocorre um déficit de -932.643 m<sup>3</sup>/dia (10,8 m<sup>3</sup>/s). Nas UGAs de 1 a 9 os saldos do balanço são positivos.

Portanto, no que se refere às condições de exploração, conclui-se que das 10 (dez) Unidades de Gestão das Águas 80% se encontram em situação confortável, apresentando superávit hídrico em todos os setores. Registra-se, todavia, a ocorrência de superexploração, na totalidade da UGA 10 (-10,8 m<sup>3</sup>/s) e em setores da UGA 5 (Baixo Velhas/Verde Grande) (-8,04 m<sup>3</sup>/s) e da UGA 3 (Rio das Velhas) (0,61 m<sup>3</sup>/s).

Para a realização do balanço a área de estudo foi discretizada numa malha de 26 linhas (A a Z) por 18 colunas (1 a 18,) totalizando 468 células quadradas ou quadrículas de 30' de lado (cerca de 55 km de lado), cada uma delas medindo aproximadamente 3.025 km<sup>2</sup>.

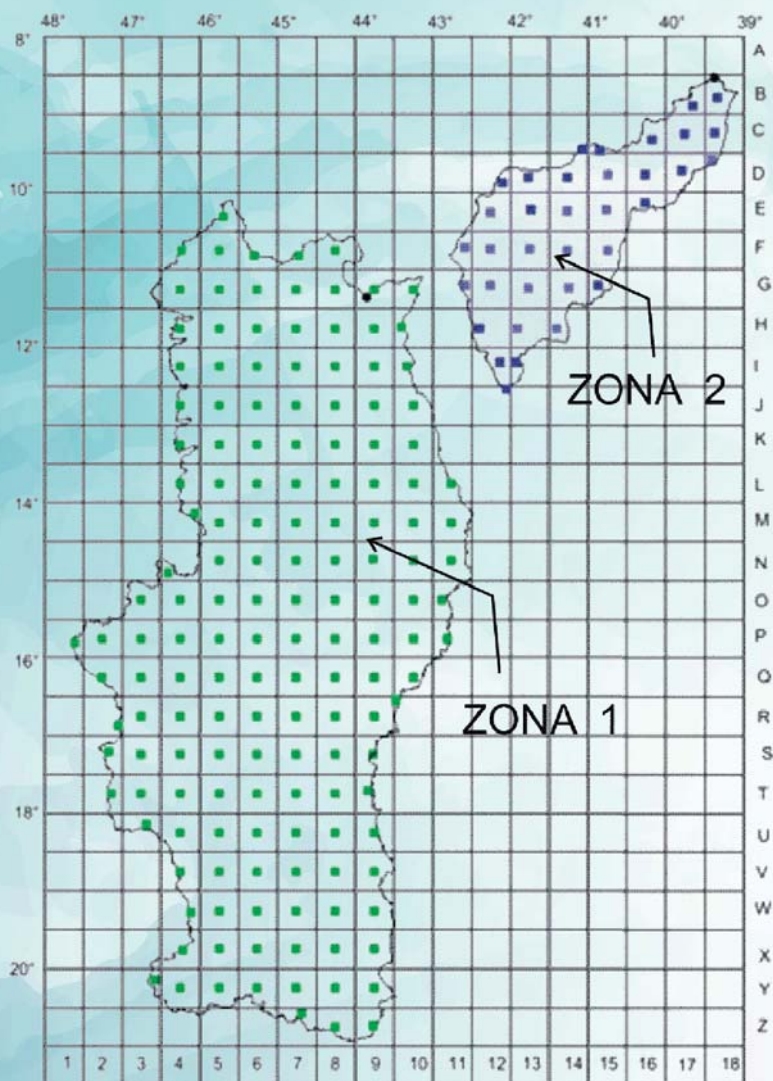
Os saldos obtidos por célula foram zoneados para se obter uma ideia da distribuição das disponibilidades hídricas, como subsídio para a gestão. O zoneamento é feito em duas grandes zonas:

- Zona I - Corresponde à área das UGAs 1 a 9, discretizada. Trata-se aqui do Sistema Aquífero Bambuí e Urucuia;
- Zona II - Corresponde à área da UGA 10, discretizada. Trata-se aqui do Sistema Aquífero Salitre.

#### Síntese do balanço da exploração dos grupos Bambuí, Una e Urucuia por Unidade de Gestão (UGA).

Zona	Unidade de Gestão	Nome	Área (km <sup>2</sup> )	Recarga (m <sup>3</sup> /dia)	Número de poços	Explotação (m <sup>3</sup> /dia)	Saldo (m <sup>3</sup> /dia)	Saldo (m <sup>3</sup> /s)
I	UGA 1	Rio São Francisco	30.368	22.136.215	812	244.179	21.892.036	253,38
	UGA 2	Rio Paraopeba	32.362	13.835.870	802	241.518	13.594.352	157,34
	UGA 3	Rio das Velhas	14.556	7.869.299	1.260	829.474	7.039.825	81,48
	UGA 4	Rio Paracatu	40.927	21.729.199	1.255	321.032	21.048.167	247,78
	UGA 5	Baixo Velhas/Verde Grande	49.211	8.711.396	6.773	2.613.879	6.097.516	70,57
	UGA 6	Rio Urucuia	23.758	11.222.040	456	90.863	11.131.177	128,83
	UGA 7	Margem Esquerda	43.765	4.677.426	1.048	236.780	4.440.646	51,40
	UGA 8	Margem Direita	35.605	5.118.122	1.660	498.710	4.619.412	53,47
	UGA 9	Chapadão Urucuia	120.430	48.519.716	1.819	771.709	47.748.007	552,64
II	UGA 10	Una	68.867	105.175	4.638	1.037.818	-932.643	-10,79

<b>Subtotal Zona I (UGAS 1 a 9)</b>	-	390.982	143.819.283	15.885	5.848.144	137.971.139	1.596,89
<b>Subtotal Zona II (UGA 10)</b>	Una	68.867	105.175	4.638	1.037.818	-932.643	-10,79
<b>TOTAL</b>		<b>459.849</b>	<b>143.924.458</b>	<b>20.523</b>	<b>6.885.962</b>	<b>137.038.496</b>	<b>1.586,09</b>



*Discretização da área de estudo para fins do balanço*

### 3.3.1. Saldos explotáveis na Zona I – SAB

Esta zona cobre uma superfície de 390.982 km<sup>2</sup>. Corresponde à área das UGAs 1 a 9 discretizada e nela o balanço sugere que existe um déficit hídrico de -8,65 m<sup>3</sup>/s que afeta a UGA 5 (Baixo Velhas/Verde Grande), nas quadrículas Q10 (-0,66 m<sup>3</sup>/s); R09 (-5,16 m<sup>3</sup>/s), S09 (-2,21 m<sup>3</sup>/s) e a UGA 3 (Rio das Velhas), na quadrícula X09 (-0,61 m<sup>3</sup>/s).

#### Déficits hídricos localizados na Zona I.

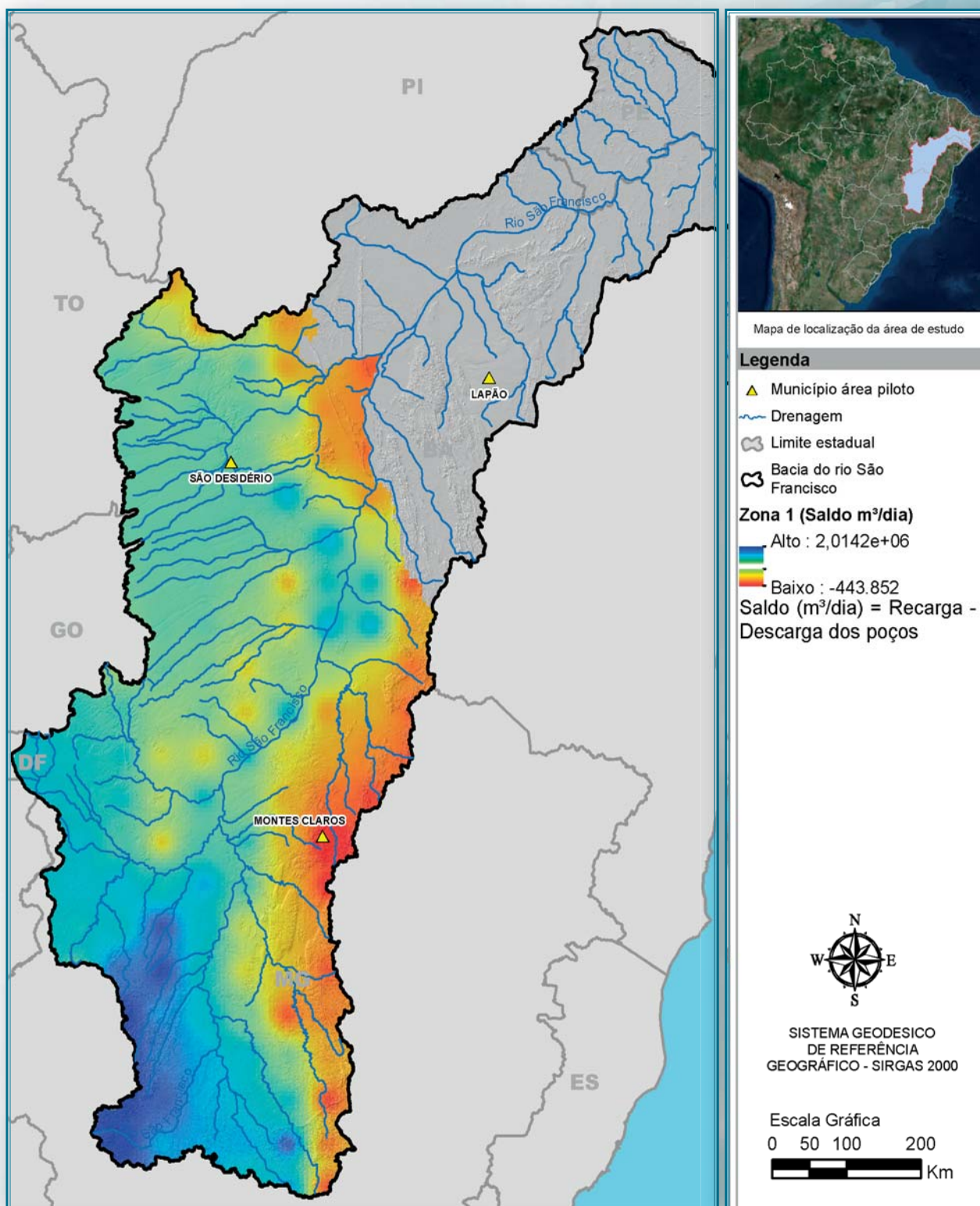
Quadrícula	m <sup>3</sup> /dia	m <sup>3</sup> /s	UGA
Q10	-57.384	-0,66	UGA 5
R09	-446.072	-5,16	
S09	-191.366	-2,21	
X09	-52.411	-0,61	UGA 3
<b>Soma</b>	<b>-747.233</b>	<b>-8,65</b>	

Globalmente, entretanto, os resultados indicam na Zona I um superávit de 138,00 hm<sup>3</sup>/dia (1.597 m<sup>3</sup>/s) pois a recarga global alcança 143,82 hm<sup>3</sup>/dia (1.665 m<sup>3</sup>/s) e a exploração global é de apenas 3% (68 m<sup>3</sup>/s) através de 16.743 poços.



## Déficits hídricos globais na Zona I.

Número de poços	Unidade	Recarga	Exploração	Saldo
15.885	hm <sup>3</sup> /ano	52.494,0368	2.134,5733	50.359,4635
	hm <sup>3</sup> /dia	143,8193	5,8481	137,9711
	m <sup>3</sup> /dia	143.819.279	5.848.146	137.971.133
	hm <sup>3</sup> /s	0,0017	0,0001	0,0016
	m <sup>3</sup> /s	1.664,5750	67,6869	1.596,8881



Zoneamento da exploração do Sistema Aquífero Bambuí - Zona 1.

### 3.3.2. Saldos explotáveis na Zona II – Aquífero Salitre

Esta zona possui área de 68.867 km<sup>2</sup> incluindo as bacias carbonatadas de Irecê e do Salitre. Foi definida como a unidade de gestão 10 (UGA10) e nela os resultados do balanço para 4.699 poços em exploração revelam um déficit de -5,25 m<sup>3</sup>/s (-453.683 m<sup>3</sup>/dia) distribuído por 16 células. Todavia, na escala global desta zona o déficit é igual a -409.162 m<sup>3</sup>/dia ou -4,73 m<sup>3</sup>/s.

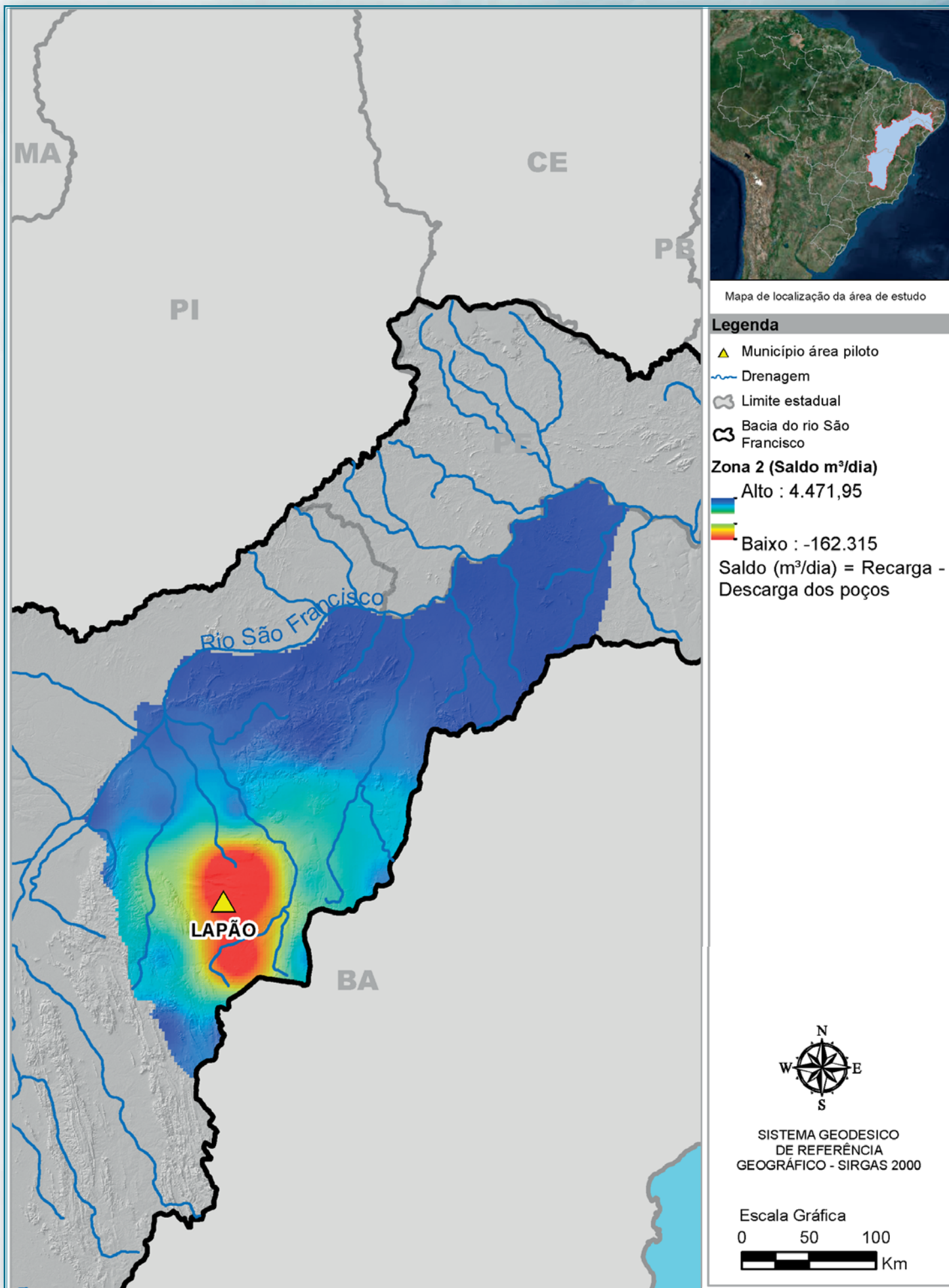
#### Déficit hídrico da exploração em 16 (dezesseis) quadrículas da Zona II (Bacias de Irecê e Salitre).

Célula	m <sup>3</sup> /dia	m <sup>3</sup> /s
G12	-275.409	-3,19
G13	-161.389	-1,87
H12	-144.254	-1,67
H13	-91.617	-1,06
G11	-64.050	-0,74
F14	-57.847	-0,67
F12	-35.192	-0,41
G14	-33.125	-0,38
F13	-32.019	-0,37
F11	-24.875	-0,29
E12	-19.252	-0,22
E15	-13.881	-0,16
D15	-7.011	-0,08
F15	-5.016	-0,06
D18	-3.279	-0,04
E14	-2.331	-0,03
<b>Soma</b>	<b>-970.546</b>	<b>-11,23</b>

Globalmente, os resultados indicam também na Zona II um significativo déficit de -0,93 hm<sup>3</sup>/dia (-10,79 m<sup>3</sup>/s,) pois a recarga global alcança 0,105 hm<sup>3</sup>/dia (1,217 m<sup>3</sup>/s,) enquanto que a exploração global a excede significativamente (12,01 m<sup>3</sup>/s) através de 4.638 poços.

#### Déficits hídricos globais na Zona II.

Nº de poços	Unidade	Recarga	Explotação	Saldo
4.638	hm <sup>3</sup> /ano	38,38887500	378,80357000	-340,41469500
	hm <sup>3</sup> /dia	0,10517500	1,03781800	-0,93264300
	m <sup>3</sup> /dia	105175	1037818	-932643
	hm <sup>3</sup> /s	0,00000122	0,00001201	-0,00001079
	m <sup>3</sup> /s	1,21730324	12,01178241	-10,79447917



Zoneamento da exploração do Sistema Aquífero Bambuí - Zona II.

### 3.4. Saldos explotáveis nas áreas piloto

Da mesma forma que nas áreas regionais, a realimentação dos aquíferos cársticos, ou a recarga, nas áreas piloto, foi avaliada através da análise dos seguintes dados:

- Séries de fluxo de base obtidas de hidrogramas selecionados, registrados em estações de medição das vazões dos rios (estações fluviométricas).
- Séries pluviométricas obtidas de estações selecionadas.

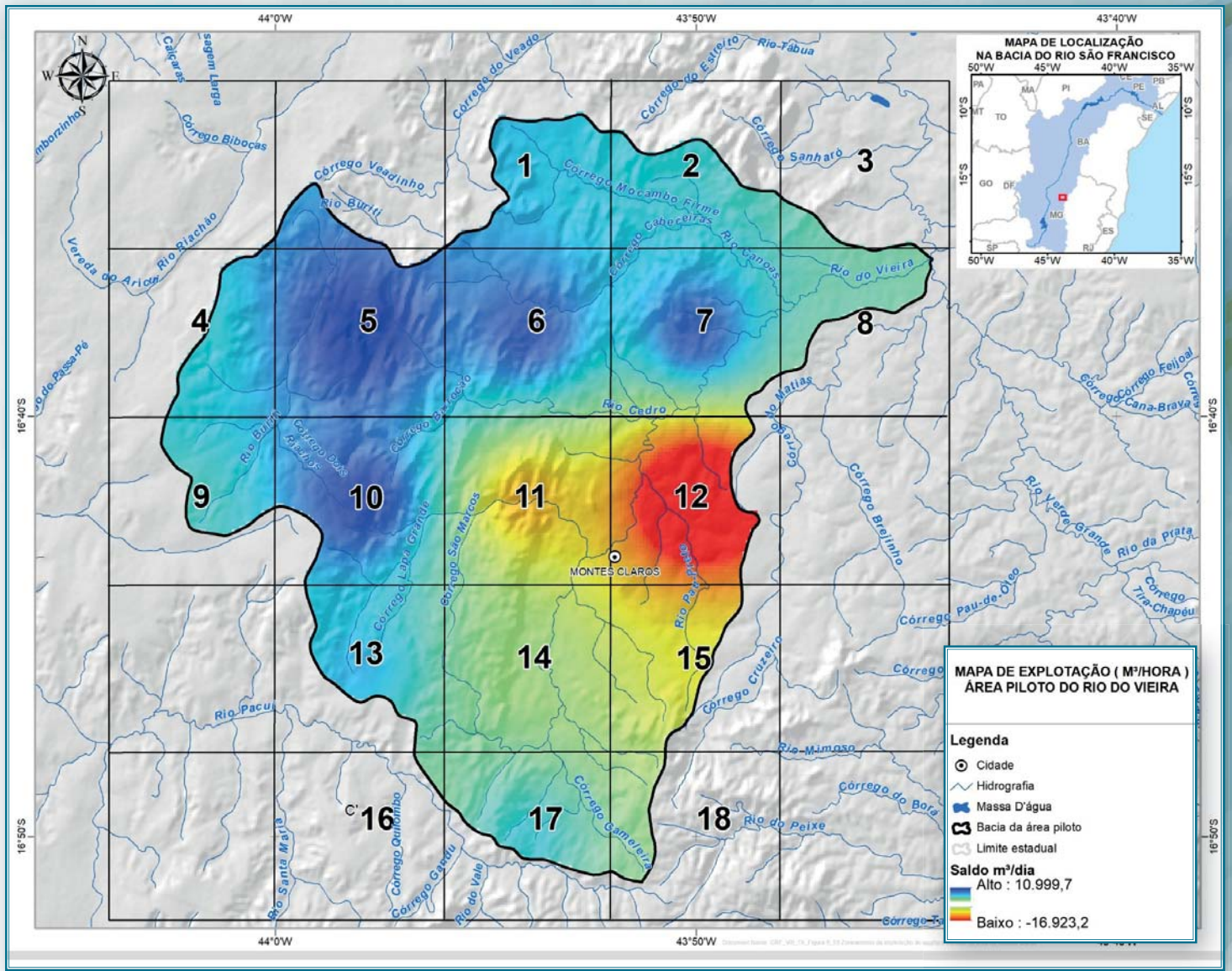
Os valores das recargas nas áreas piloto, das explorações de água subterrânea e dos saldos a explorar são indicados no presente tópico. Nas avaliações dos saldos a explorar, as reservas permanentes são deixadas intocadas.

Os saldos explotáveis foram avaliados mediante balanço entre a recarga e a exploração, fazendo-se a discretização das áreas piloto de forma semelhante à que foi feita para a área regional.

#### 3.4.1. Área Piloto Bacia do Rio do Vieira

A área piloto Bacia do Rio do Vieira, na região de Montes Claros/MG, está inserida na Unidade 5 (cinco) de Gestão das Águas (UGA 5) denominada Baixo Velhas – Verde. O balanço é apresentado na tabela de Balanço Recarga x Exploração do aquífero Bambuí na Área Piloto Rio do Vieira – Montes Claros/MG. Verifica-se que existe excedente hídrico significativo na maioria das células. Ocorrem, entretanto, déficits localizados nas células 11,12 e 15 que incluem a zona urbana de Montes Claros.

Célula	x	y	Número de poços	Área km <sup>2</sup>	Recarga (m <sup>3</sup> /dia)	Exploração (m <sup>3</sup> /dia)	Saldo (m <sup>3</sup> /dia)
1	- 16,57	- 43,90	3	29,10	6.315	293	6.023
2	- 16,57	- 43,83	9	28,00	6.074	878	5.196
3	- 16,57	- 43,77	2	3,80	833	195	638
4	- 16,63	- 44,03	1	22,80	4.956	98	4.858
5	- 16,63	- 43,97	3	52,00	11.293	293	11.000
6	- 16,63	- 43,90	26	53,00	11.491	2.537	8.954
7	- 16,63	- 43,83	25	51,60	11.205	2.439	8.766
8	- 16,63	- 43,77	13	20,80	4.517	1.268	3.249
9	- 16,70	- 44,03	3	20,30	4.408	293	4.115
10	- 16,70	- 43,97	3	47,60	10.328	293	10.036
11	- 16,70	- 43,90	158	53,00	11.491	15.416	-3.926
12	- 16,70	- 43,83	265	41,10	8.925	25.857	-16.932
13	- 16,77	- 43,97	3	30,50	6.622	293	6.330
14	- 16,77	- 43,90	107	53,00	11.491	10.440	1.050
15	- 16,77	- 43,83	85	30,20	6.557	8.294	-1.737
16	- 16,83	- 43,97	1	1,40	307	98	209
17	- 16,83	- 43,90	19	30,80	6.688	1.854	4.834
18	- 16,83	- 43,83	5	10,00	2.171	488	1.683
			<b>731</b>	<b>579</b>	<b>125.672</b>	<b>71.327</b>	<b>54.346</b>

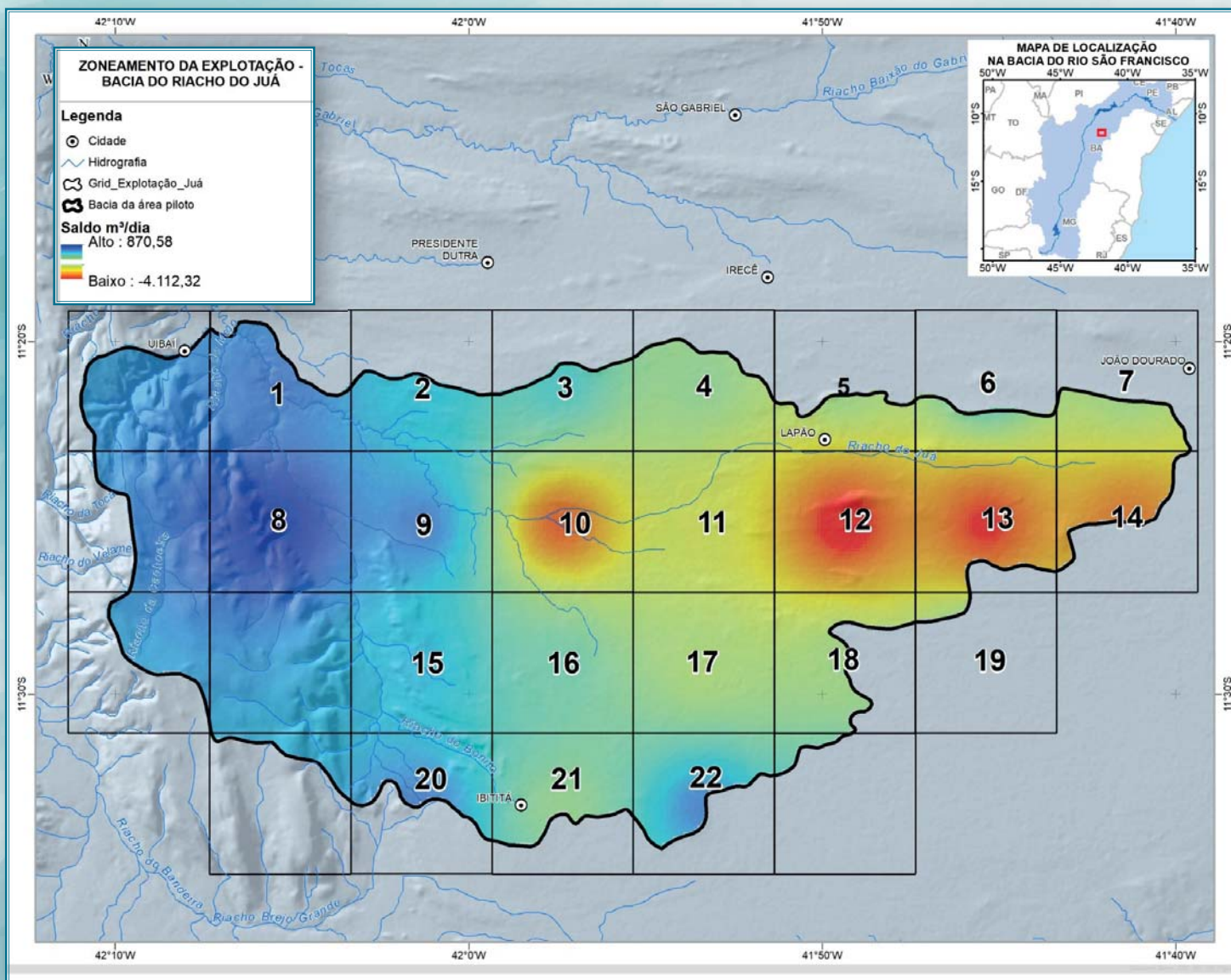


Zoneamento da exploração do aquífero Bambuí na área pilotada Bacia do Rio do Vieira

### 3.4.2. Área Piloto Bacia do Riacho do Juá

A área piloto Bacia do Riacho do Juá (na região de Irecê – BA) está inserida na Unidade de Gestão 10 (UGA 10). O Aquífero Salitre, nessa área, se encontra em regime de superexploração. Verifica-se que em 74% das células existe déficit hídrico, havendo excedente apenas em 06 células

A situação mais crítica ocorre nas células: 10 (-0,040 m<sup>3</sup>/s), 11 (-0,023 m<sup>3</sup>/s), 12 (-0,048 m<sup>3</sup>/s), 13 (-0,044 m<sup>3</sup>/s) e 14 (-0,037 m<sup>3</sup>/s). O déficit total encontrado na área é de 324 L/s ou 28.003,00 m<sup>3</sup>/dia, para uma recarga de 7,4 mm/ano equivalente a cerca de 20 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>.dia.



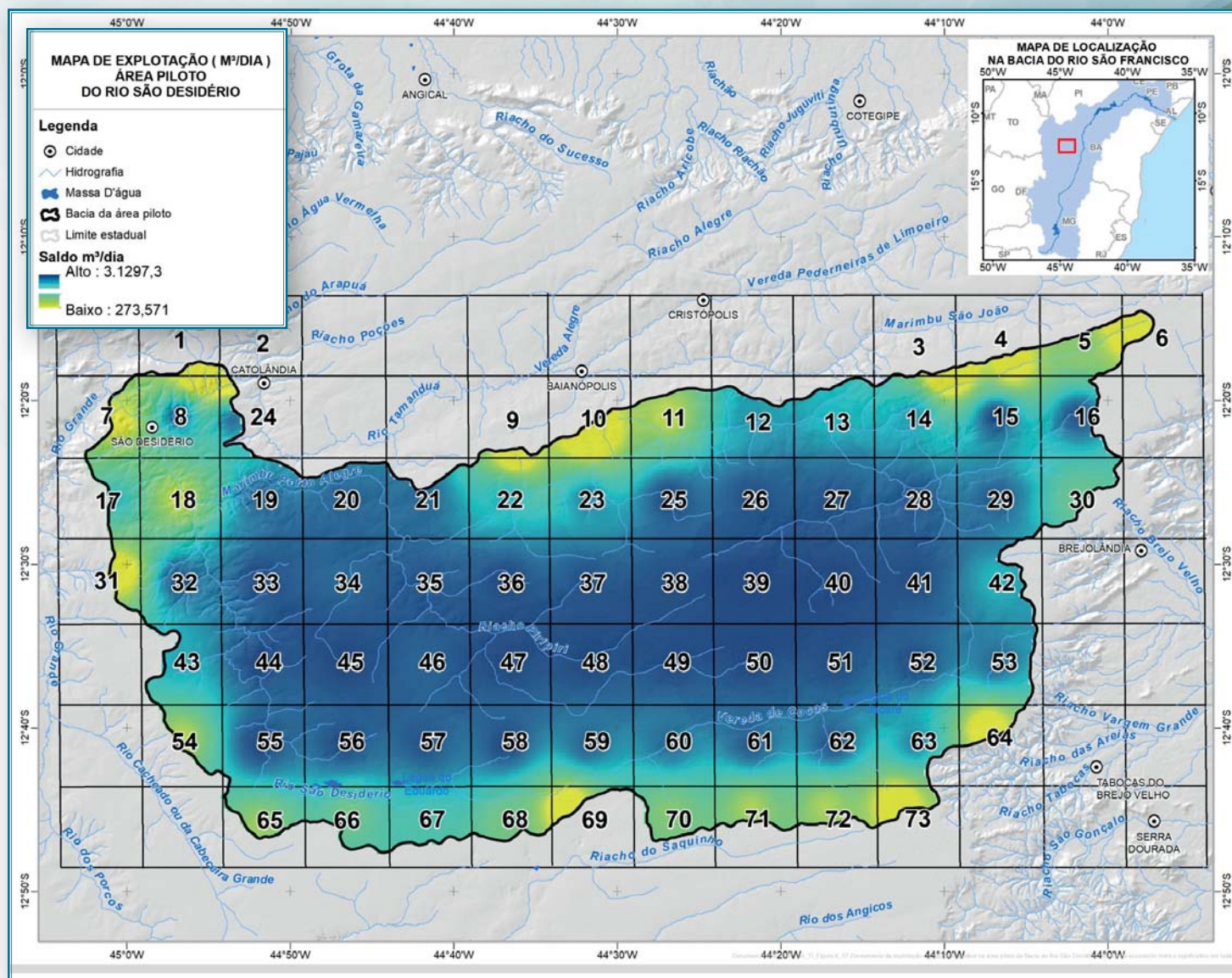
*Zoneamento da exploração do aquífero Bambuí na área piloto da Bacia do Riacho do Juá*

### 3.4.3. Área Piloto Bacia do Rio São Desidério

A área piloto Bacia do Rio São Desidério na região oeste da Bahia está inserida na Unidade 9 (nove) de Gestão das Águas (UGA 9) denominada Chapadão do Urucuia. Verifica-se que existe excedente hídrico significativo em todas as células, que varia de 371 a 399 m<sup>3</sup>/dia.km<sup>2</sup>.

Verifica-se que, diferentemente das áreas piloto do Vieira e do Juá, a área piloto de São Desidério não apresenta sinais de superexploração de água subterrânea. A participação da água subterrânea no atendimento das demandas é, com efeito, de apenas 4,4%.

A área piloto de São Desidério apresenta a condição particular de ser extensivamente recoberta por sedimentos arenosos saturados do Sistema Aquífero Urucuia (SAU). Os metassedimentos carbonatados do Grupo Bambuí, entretanto, não devem receber recarga por infiltração vertical direta a partir do SAU, pelo fato de já estarem permanentemente saturados.



Zoneamento da exploração do SAB e do SAU na área piloto Bacia do Rio São Desidério.

### 3.5. Demandas Regionais

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 a seguir reúne as categorias de atividades que representam as demandas consuntivas e não consuntivas.

#### 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

## **Demandas para abastecimento urbano e rural**

As demandas, por UGA, foram projetadas para 2015, 2020, 2025 e 2030 a partir de informações do IBGE referentes aos anos de 2000 e 2010. Os valores assim obtidos são indicados a seguir:

## **Demandas para dessedentação animal**

Em cada UGA o número de cabeças de cada espécie (bubalinos, equinos, asininos, muares, caprinos, ovinos, suínos e aves) foi expresso utilizando-se a unidade BEDA (Bovinos Equivalentes para Demanda de Água). Esta unidade expressa, em bovinos equivalentes, o número de cabeças das diferentes espécies de gado. Como existe uma demanda já estabelecida para bovinos da ordem de 50 L/cab/dia, foi possível projetar as demandas para os anos de 2015, 2020, 2025 e 2030.

## **Demandas para irrigação**

Tendo como base a área irrigada de 2006, foi aplicada a taxa de crescimento linear observada para cada UGA, com o propósito de obter as projeções das áreas irrigadas em 2015, 2020, 2025 e 2030. m<sup>3</sup>/dia.ha para a obtenção das demandas diárias para irrigação, em m<sup>3</sup>/dia.

## **Demandas para indústria**

As demandas da indústria, por UGA, para os anos de 2013, 2015, 2020, 2025 e 2030 foram projetadas com base numa taxa de crescimento linear obtida através da comparação entre os PIB's de 2002 e 2013.

## **Síntese das demandas regionais**

A partir dos resultados acima mostrados, apresenta-se, uma síntese das demandas regionais.

A demanda hídrica da irrigação constitui-se na mais representativa, sendo responsável por até 90% da demanda total no ano de 2030. Não obstante, a Política Nacional de Recursos Hídricos determina que os planos de gestão de recursos hídricos devem sempre priorizar o abastecimento humano.

## **Projeção total das demandas hídricas.**

<b>Demanda Total (m<sup>3</sup>/dia)</b>					
<b>Ano</b>	<b>Abastecimento Humano</b>	<b>Dessedentação Animal</b>	<b>Irrigação</b>	<b>Indústria</b>	<b>Total</b>
2015	2.799.810,75	555.925,00	18.429.058,36	2.832,44	21.787.626,55
2020	2.951.798,05	574.670,00	22.542.206,66	3.298,25	26.071.972,95
2025	3.257.214,23	595.015,00	27.709.920,56	3.589,59	31.565.739,37
2030	3.132.574,72	617.211,00	34.211.014,35	3.788,93	37.964.589,00



### 3.6. Demandas das áreas piloto

#### Área Piloto do rio São Desidério

As demandas hídricas globais da área piloto do rio São Desidério, envolvendo abastecimento humano, consumo industrial, dessedentação animal e irrigação são mostradas na tabela abaixo:

Área Piloto de São Desidério (m <sup>3</sup> /dia)							
Usos Consuntivos	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Abastecimento Humano	57.743	60.861	63.492	65.497	66.965	67.974	68.534
Industrial	15	14	21	33	50	79	129
Dessedentação Animal	18.878	20.762	22.121	23.945	25.921	28.058	30.373
Agricultura	1.551.266	1.773.861	1.968.626	2.278.208	2.679.796	3.198.492	3.866.376
<b>TOTAL</b>	<b>1.627.902</b>	<b>1.855.498</b>	<b>2.054.259</b>	<b>2.367.683</b>	<b>2.772.732</b>	<b>3.294.603</b>	<b>3.965.411</b>

#### Área Piloto do Rio do Vieira (Montes Claros - MG)

As demandas hídricas globais da área piloto do rio do Vieira, envolvendo abastecimento humano, consumo industrial, dessedentação animal e irrigação são mostradas na tabela a seguir:

#### Demanda Hídrica da área piloto do Rio do Vieira (m<sup>3</sup>/dia).

Usos Consuntivos	2015	2020	2025	2030
Abastecimento Humano	139.147,00	145.007,00	149.480,00	152.486,00
Industrial	63,00	75,00	90,00	108,00
Dessedentação Animal	6.589,00	6.637,00	6.684,00	6.732,00
Agricultura	42.376,00	34.525,00	28.129,00	22.918,00
<b>TOTAL</b>	<b>188.175,00</b>	<b>186.244,00</b>	<b>184.383,00</b>	<b>182.244,00</b>

#### Área Piloto do riacho do Juá (Irecê/Lapão - BA)

As demandas hídricas globais da área piloto do riacho do Juá, envolvendo abastecimento humano, consumo industrial, dessedentação animal e irrigação são mostradas na tabela a seguir:

#### Demanda Hídrica da área piloto do riacho do Juá (m<sup>3</sup>/dia).

Área Piloto Riacho do Juá (m <sup>3</sup> /dia)							
Usos Consuntivos	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Abastecimento Humano	41.600	45.731	49.081	52.027	54.378	55.658	56.368
Industrial	2,39	5,29	6,85	10,92	16,23	24,55	37,73
Dessedentação Animal	3.585	3.942	4.200	4.547	4.922	5.328	5.767
Agricultura	181.659	237.738	285.297	359.248	453.346	573.019	725.172
<b>TOTAL</b>	<b>226.846</b>	<b>287.416</b>	<b>338.584</b>	<b>415.833</b>	<b>512.661</b>	<b>634.030</b>	<b>787.345</b>

### 3.7. Prognósticos de saldos futuros para exploração

Na Tabela a seguir são apresentadas as seguintes informações:

- Os saldos para exploração são aqueles acima avaliados pelo balanço entre a recarga e a exploração.
- Os prognósticos de exploração constituem previsões da solicitação dos aquíferos cársticos nos anos de 2020 e 2030.
- Finalmente, os prognósticos de saldo são as descargas anuais possíveis de serem exploradas em 2020 e 2030. Nesses prognósticos foi deixada intocada a contribuição do carste ao fluxo de base do São Francisco.

O exame da tabela mostra que, regionalmente, os saldos para exploração respaldam a descarga de água subterrânea até 2030. Ocorrem, entretanto, de forma localizada, situações críticas. Entre estas, destacam-se as áreas piloto de Montes Claros/MG e Lapão/BA. Esta última, particularmente, exhibe um severo déficit que já se manifesta hoje e cuja projeção para o futuro é preocupante. Os volumes das respectivas reservas permanentes podem manter durante certo tempo as descargas previstas, nesses casos críticos, mas, à custa de poços e bombeamentos mais caros. Essa é uma alternativa que deve ser evitada ou, pelo menos, minimizada, sob pena de se aprofundar os desequilíbrios que já ocorrem nas dinâmicas hídricas dos respectivos sistemas. A situação nos pilotos Lapão e Montes Claros deve ser objeto de especial atenção dos órgãos gestores da Bahia e de Minas Gerais, respectivamente.

#### Prognóstico de saldos futuros

Área	Saldo para exploração (hm <sup>3</sup> /ano)	Prognóstico de exploração		Prognóstico de Saldos	
		2020 (hm <sup>3</sup> /ano)	2030 (hm <sup>3</sup> /ano)	2020 (hm <sup>3</sup> /ano)	2030 (hm <sup>3</sup> /ano)
Regional - Zonas I e II (*)	31.097,4 (**)	1.475,00	1.990,00	29.622,40	27.632,40
Piloto São Desidério	619,40	25,50	66,20	593,90	527,70
Piloto Riacho do Juá	-10,22	198,00	351,00	-208,22	-559,22
Piloto Rio do Vieira	19,84	48,00	54,00	-28,16	-82,16

(\*) Inclui Urucuia (SAU) (\*\*) Abatido 18.921,6 hm<sup>3</sup>/ano p/ fluxo de base do SF.

## 4. AÇÕES DE GESTÃO

O conhecimento técnico adquirido durante a execução dos estudos hidrogeológicos, principalmente no que se refere a melhor maneira de consolidar o entendimento sobre a integração das águas superficiais e subterrâneas possibilitou a definição de algumas ações prioritárias de gestão destacadas nas ilustrações abaixo:

Um plano de gestão integrada e compartilhada de recursos hídricos inclui diretrizes que podem ser agrupadas em três grandes grupos ou componentes:

As ações do grupo ou componente 3, são as de maior custo, em geral de 90 a 95% do valor total dos recursos do Plano de Gestão, enquanto que as outras duas têm custos menores, especialmente a primeira, apesar de ser a mais importante e sem a qual as outras dificilmente podem ser implementadas



### Implementação de ações de gestão:

- Atualização frequente do cadastramento de pontos d'água e de usuários.
- Conhecimento técnico dos reservatórios subterrâneos e de superfície, alcançado através de estudos específicos.
- Interação com a sociedade.
- Fortalecimento dos órgãos gestores estaduais.
- Formação e capacitação de equipes.
- Monitoramento quali-quantitativo.
- Planos diretores de recursos hídricos;

### Racionalização dos usos e consumo das águas superficiais e subterrâneas:

- Conservação do solo e água;
- Combate à erosão;
- Recomposição de matas ciliares;
- Controle de perdas no abastecimento;
- Aumento da eficiência da irrigação e alocação negociada.

### Incremento da oferta hídrica:

- Perfuração de poços tubulares profundos;
- Transposição de água superficial;
- Barramentos e recuperação de barragens;
- Saneamento básico (água, esgoto e lixo);
- Controle da poluição industrial.

#### 4.1. Ações de Gestão Integrada e Compartilhada

• Atualização frequente do cadastramento de pontos d'água e de usuários

• Conhecimento técnico dos reservatórios subterrâneos e de superfície, alcançado através de estudos específicos

• Atualizar e manter atualizados os sistemas de informações de recursos hídricos e compatibilizá-los com o SIG gerado no presente trabalho

• Fortalecimento dos órgãos gestores estaduais

• Desenvolvimento e/ou atualização de Planos Diretores

• Incentivo ao refinamento das zonas de restrição e recarga

• Orientar os projetos de poços tubulares em aquíferos cársticos

• Criação de Comissão de acompanhamento de gestão integrada e compartilhada

• Implementação de rede de Monitoramento Qualiquantitativo

#### 4.2. Propostas de gestão para as áreas piloto

Para as bacias do Rio São Desidério (São Desidério/BA), Riacho do Juá (Lapão/BA) e do Rio do Vieira (Montes Claros/MG), são propostas ações específicas de gestão com o objetivo de dar suporte aos órgãos gestores estaduais no apoio ao planejamento do uso e ocupação do solo, bem como integrar as diversas ações setoriais e de recursos hídricos existentes.

Estas ações específicas consideram as características e peculiaridades de cada região, no entanto, para toda região de estudo, são fundamentais o cadastramento de poços existentes e o monitoramento dos níveis de água para gestão sustentável dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

#### 4.2.1. Área Piloto de São Desidério



A região de São Desidério, no extremo oeste da Bahia tem características peculiares devidas à ocorrência extensiva de sedimentos cretácicos do Grupo Urucuia capeando as rochas carbonatadas do Grupo Bambuí.

Recomendam-se as seguintes ações de gestão:

- Projeto específico para estudar as relações hidrodinâmicas entre os aquíferos Urucuia e Bambuí incluindo a perfuração de um poço multinível de pesquisa.
- Perfuração ou seleção de poço na periferia da cidade de São Desidério para monitoramento da evolução dos compostos nitrogenados (nitrato, nitrito e amônia) e cloreto
- Seleção ou perfuração de poços para fins de monitoramento com vistas a acompanhar a variação semestral dos parâmetros ferro e manganês, principalmente, e da qualidade química em geral, na Bacia do Rio São Desidério.
- Recomenda-se ao órgão gestor da Bahia que se componha com o Instituto Chico Mendes no sentido de prover uma efetiva gestão ambiental do patrimônio espeleológico de São Desidério.

## 4.2.2. Área Piloto de Montes Claros



*Parque Estadual da Lapa Grande, Montes Claros*

A área piloto da bacia do Rio Vieira destaca-se como uma região economicamente promissora e a demanda de água, tanto para o abastecimento humano como para as demais atividades (industriais, agrícolas) mostra-se em plena evolução. Assim, com a ampliação do conhecimento hidrogeológico dessa área apresenta-se algumas observações e sugestões de ações de gestão.

Além da aplicação das medidas descritas acima, o monitoramento quali-quantitativo é fundamental para a região. Os estudos hidroquímicos realizados mostram que ferro e o manganês apresentam, em 40% das amostras, teores acima do Valor Máximo Permitido (VMP) para águas de consumo humano de acordo com os padrões de potabilidade.

Acrescenta-se, ainda, a importância da preservação das águas subterrâneas do Parque Estadual da Lapa Grande, uma vez que o mesmo é responsável direto pela recarga e manutenção da qualidade das águas da porção urbana de Montes Claros.

• O abastecimento público da cidade de Montes Claros é feito essencialmente com água de superfície e a disponibilidade atual desse recurso não é suficiente para o atendimento da demanda da cidade.

• Constata-se uma excessiva produção de água subterrânea (26 hm<sup>3</sup>/ano)<sup>1</sup> a partir de poços concentrados preferencialmente na zona urbana e sua periferia. Essa descarga destina-se essencialmente ao abastecimento doméstico utilizado pela população fora do sistema público de abastecimento feito na região pela COPASA. É necessário iniciar um monitoramento sistemático de níveis e vazões de poços para que se possa observar a real situação da exploração de água subterrânea em Montes Claros.

Toda a área de ocorrência dos calcários da Formação Lagoa do Jacaré Superior, em especial a área do Parque Estadual da Lapa Grande, constitui importante área de recarga do aquífero cárstico captado na zona urbana de Montes Claros. O órgão gestor de Minas Gerais, bem como a Prefeitura Municipal de Montes Claros, devem prover as medidas necessárias à proteção ambiental dessa área.

• Foram cadastradas dezesseis surgências nas encostas leste dos calcários da Formação Lagoa do Jacaré Superior, entre fontes e lagoas, testemunhando o repasse hídrico desses calcários para os aquíferos da planície. É muito provável que, num cadastramento visando especificamente às fontes, um número muito maior de surgências se revele nas encostas leste dos calcários.

• Recomenda-se realizar periodicamente o cadastro de poços (a cada dois anos).

• Recomenda-se, ainda, a regulamentação de todos os usuários (dispensa ou outorga de direito de uso) e a proibição de novas perfurações de poços por um período mínimo de 02 anos.

• Implementar campanhas constantes de fiscalização em parceria com os órgãos gestores estaduais e municipais.

### 4.2.3. Área Piloto de Lapão



*Cavidade e Sumidouro em Lapão*

A zona urbana de Lapão vem há anos sofrendo problemas de rachaduras do solo e de construções provocados pelo comportamento dos terrenos cárstico. Os estudos realizados no presente projeto deram suporte a elaboração de um mapa de risco geotécnico da área.

São quatro áreas consideradas de baixo risco, designadas de A, B, C e D. O estaqueamento dos seus cantos permite a delimitação das áreas mapeadas. Essas informações devem ser úteis aos órgãos gestores, à Prefeitura de Lapão e também ao avanço dos estudos dos abatimentos de terreno.

#### **Recomendam-se ao órgão gestor da Bahia as seguintes ações de gestão:**

- Por em prática a recomendação de Dias Neto & Maia (2009) no que diz respeito à criação de um Núcleo de Estudos Hidrogeológicos objetivando o acompanhamento permanente da problemática cárstica de Lapão.
- Elaboração de um mapa topográfico de precisão da área de Lapão coberta pela resistividade no presente estudo (22 km<sup>2</sup>), com curvas de nível de metro em metro ou menos. A escala desse mapa topográfico deve ser 1/10.000 ou 1/20.000
- Mapeamento litológico detalhado da área de Lapão utilizando-se como base o mapa topográfico acima recomendado.
- Perfuração de poços de pesquisa na área de Lapão. Alguns desses poços devem coincidir com dolinas e outros devem ficar fora dessas estruturas. Esses poços visam essencialmente aferir o grau de carstificação dos calcários e o preenchimento de dolinas colapsadas.

- Dar continuidade aos estudos realizados em Lapão visando à otimização da delimitação das áreas de risco.
- Estabelecimento de um programa de monitoramento hidrogeológico e do monitoramento de sismos. Além disso, deve ser feito um investimento na avaliação geotécnica das áreas onde o calcário já aponta fragilidades, particularmente em áreas de maior adensamento, como escolas, hospitais e grandes edificações.
- Cadastro completo e frequente de poços, gestão do uso da água, regularização de fossas e revitalização da rede de esgoto, juntamente com campanhas de conscientização e fiscalização.
- Regularização de todos os usuários de água subterrânea.
- Sinalização das áreas de risco com placas bem visíveis descrevendo os riscos potenciais à população e as restrições de atividades nessas áreas.
- Perfuração de poços de monitoramento regularmente distribuídos na área piloto do riacho do Juá, objetivando o acompanhamento da dureza, STD, cloreto, fluoreto, nitrato e ferro, que se apresentaram com teores acima do permitido nas análises efetuadas.
- Recomenda-se realizar periodicamente o cadastro de poços (a cada dois anos).
- Recomenda-se a regulamentação de todos os usuários (dispensa ou outorga) e a proibição de novas perfurações de poços por um período mínimo de 02 anos.
- Implementar campanhas constantes de fiscalização em parceria com os órgãos gestores estaduais e municipais.
- Realocar a população das áreas de alto risco para outras localidades mais seguras.

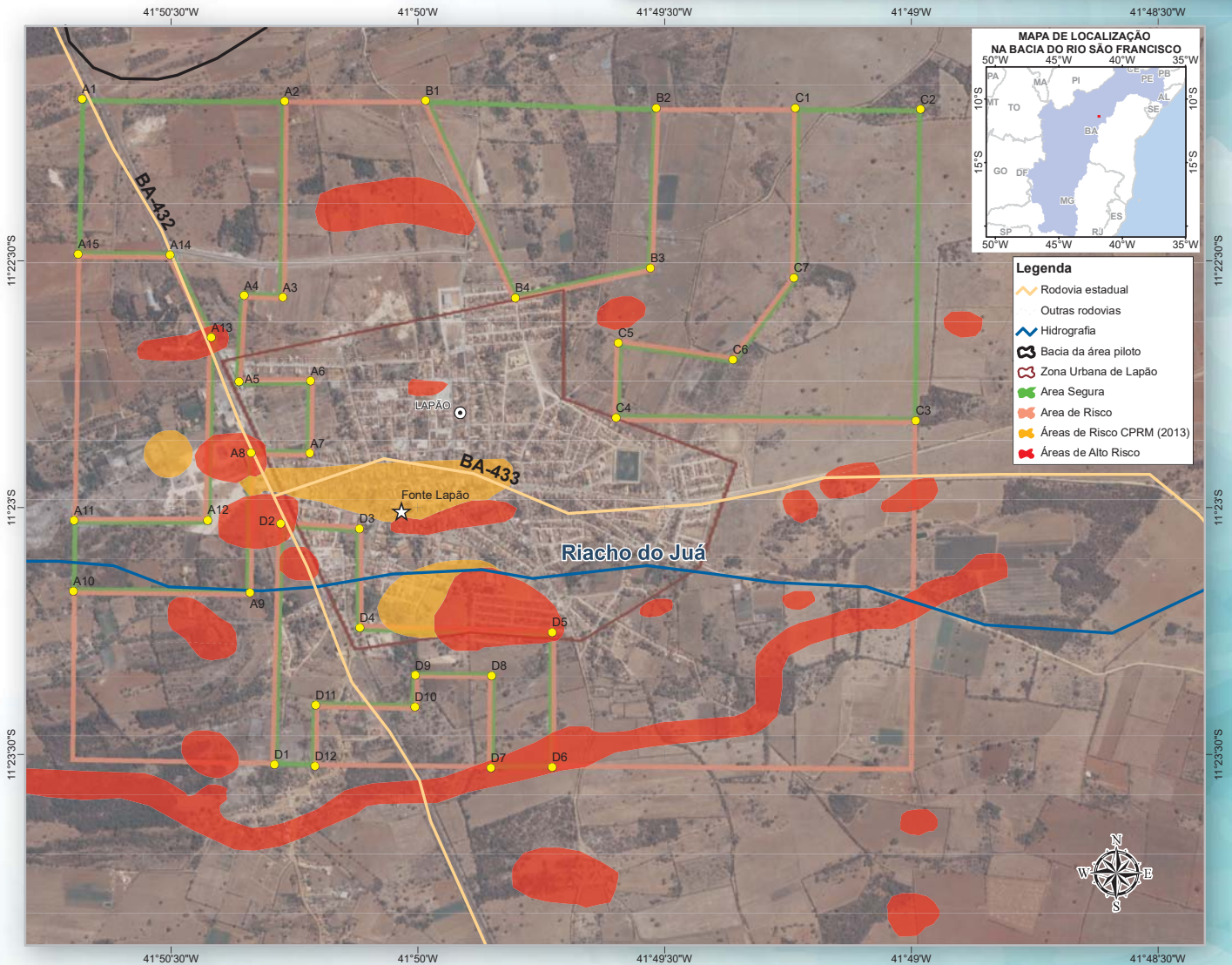
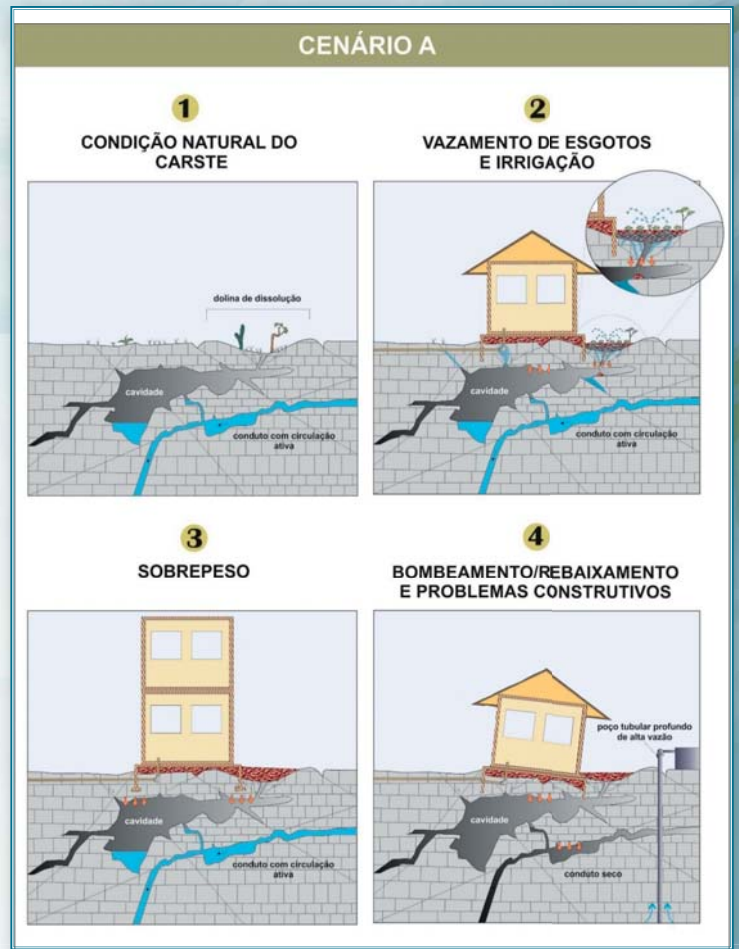
Muitas cidades desenvolvem-se sobre rochas carstificadas, mas o contexto do carste requer uma forma diferente de gestão e desenvolvimento urbano que precisa ser respeitada para que os riscos sejam minimizados. Os cenários de ocupação em áreas cársticas podem ser diversos como mostra a figura. O avanço do conhecimento dos fenômenos cársticos em Lapão e o desenvolvimento das estratégias de gestão do risco e proteção da população depende de um conhecimento hidrogeológico e geotécnico incorporado nas políticas do município.

O êxito da ocupação humana em áreas que oferecem riscos naturais depende de um conhecimento satisfatório dos processos físicos, químicos e/ou biológicos que se relacionam a esses riscos e à interferência antrópica que aumentam ou diminuem as condições potenciais de ocorrência de acidentes ou que agravam as consequências decorrentes desses acidentes.



De forma semelhante, dadas as restrições quanto ao uso da água subterrânea nos cenários apresentados para a região de Lapão, a ocupação humana só poderá ser bem-sucedida quando for planejada e seu crescimento for pautado em ações estratégicas tanto do ponto de vista econômico quanto do ponto de vista do equilíbrio ambiental.

Isto deverá tornar os procedimentos de gestão bem mais rigorosos, recorrendo-se inicialmente a uma rede de monitoramento espacialmente planejada, tanto do ponto de vista hidrológico quanto do ponto de vista hidrogeológico, salientando-se naturalmente a necessidade de implantação de um forte controle do uso da água subterrânea, da perfuração de novos poços tubulares e do inventário de uso atual das águas subterrâneas.



## 5. COMENTÁRIOS FINAIS




As estimativas apresentadas no presente relatório não devem estar muito distanciadas da realidade, pois que estribadas num grande número de séries históricas confiáveis de deflúvios e de pluviometria, além de informações geológicas e hidrogeológicas. Elas não devem, entretanto, ser tomadas como absolutas, mas sim, encaradas como referências para indicar os caminhos que devem ser tomados no início do processo de gestão.

É fundamental uma atuação permanente dos órgãos gestores de recursos hídricos, no sentido da obtenção de dados mais completos e mais precisos para que se possa, ao cabo de alguns poucos anos, se aprofundar os conhecimentos sobre o comportamento dos aquíferos cársticos da região.




Sabe-se, entretanto, que os órgãos gestores estaduais enfrentam, desde há muito, sérias dificuldades na implementação de planos de gestão, em virtude da carência de equipes especializadas e de recursos financeiros. Considera-se, assim, que um processo de transformação da realidade atual precisa ser inicialmente deflagrado para gerar as condições futuras necessárias à implementação, em bases firmes, de planos de gestão tais como o plano apresentado no presente estudo. Urge, antes de tudo, criar as condições políticas que permitam deflagrar e manter um processo eficiente de formação e capacitação de equipes ao longo da atuação dos órgãos gestores estaduais, para que se possa promover efetivamente a gestão integrada das águas subterrâneas nos estados.

## CONTATOS



-  Agência Nacional de Águas - ANA  
Setor Policial, Área 5, Quadra 3, Blocos B, L, M, N, O e T CEP: 70610- 00, Brasília - DF
-  PABX: (61) 2109-5400 / (61) 2109-5252
-  [www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br)






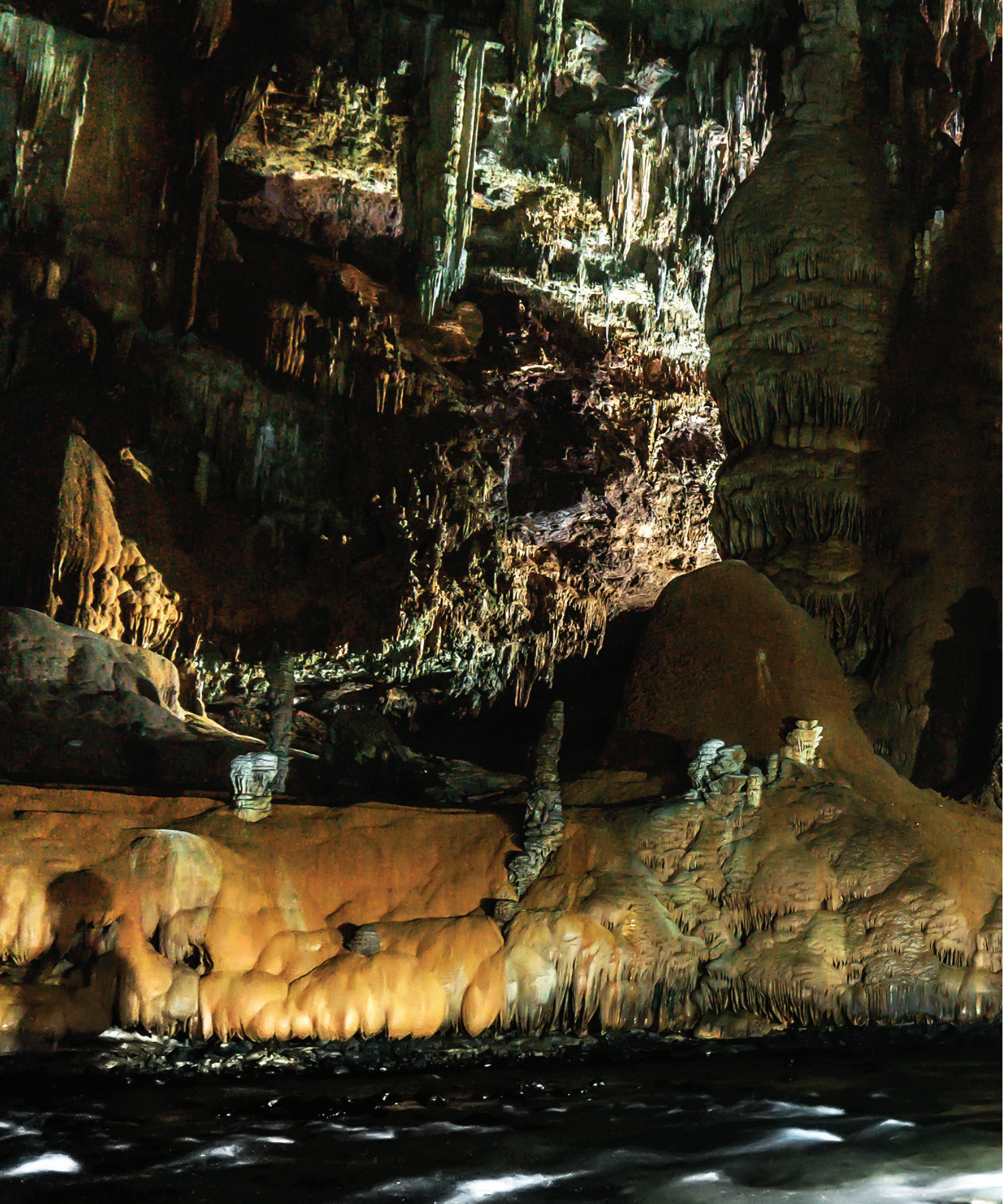
-  Agência Nacional de Águas - Unidade de Gerenciamento do Programa INTERÁGUAS UGP/ANA  
Setor Policial, Área 5, Quadra 3, Blocos B, L, M, N, O e T CEP: 70610- 00, Brasília - DF
-  PABX: (61) 2109-5400 / (61) 2109-5252
-  [interaguas@ana.gov.br](mailto:interaguas@ana.gov.br)



-  TPF Engenharia - Rua Irene Ramos Gomes de Mattos, 176, Boa Viagem, Recife - PE  
CEP: 51011-530
-  (81) 3316-0700
-  [www.tpfe.com.br](http://www.tpfe.com.br)



-  TECHNE - Rua Ernesto de Paula Santos, 1368, sala 904, Boa Viagem, Recife - PE  
CEP: 51021-330
-  (81) 3465-4144
-  [www.techne.net.br](http://www.techne.net.br)



MINISTÉRIO DO  
MEIO AMBIENTE

GOVERNO  
FEDERAL



GRUPO BANCO MUNDIAL

INTERÁGUAS  
Programa de Desenvolvimento do  
SETOR ÁGUA