

BAHIA MINERAÇÃO - BAMIN



SISTEMA CÁRSTICO DO RIO JOÃO RODRIGUES

RELATÓRIO TÉCNICO FINAL -
GEOMORFOLOGIA

Lucas Padoan de Sá Godinho

São Paulo, Maio de 2012

INSTITUTO EKOS BRASIL



EQUIPE TÉCNICA:

SUPERVISÃO:

IVO KARMANN

COORDENAÇÃO E EXECUÇÃO:

LUCAS PADOAN DE SÁ GODINHO

APOIO AOS TRABALHOS DE CAMPO:

HEROS AUGUSTO SANTOS LOBO (COORD. EXECUTIVA),
JUSSYKLEBSON DA SILVA (GUIA LOCAL), CRISTIAN BITTENCOURT
(HIDROGEOLOGIA)

REVISÃO DE RELATÓRIO:

IVO KARMANN

HEROS AUGUSTO SANTOS LOBO

RICARDO GALENO FRAGA DE ARAÚJO PEREIRA

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. MÉTODOS	2
3. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	3
3.1 A Bacia Sanfranciscana	4
3.1.1 <i>O Grupo Urucuia</i>	6
3.2 O Grupo Bambuí	6
3.2.1 <i>O Grupo Bambuí no noroeste da Bahia</i>	7
4. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DO SISTEMA CÁRSTICO DO RIO JOÃO RODRIGUES	9
4.1 Contexto geológico do sistema cárstico do rio João Rodrigues	11
4.1.1 <i>Formação São Desidério</i>	11
4.1.2 <i>Formação Serra da Mamona</i>	16
4.1.3 <i>Grupo Urucuia</i>	17
4.1.4 <i>Depósitos de tálus</i>	19
4.2 Formas de relevo e drenagens superficiais do sistema cárstico do rio João Rodrigues	21
4.2.1 <i>Zona de carste poligonal</i>	24
4.2.2 <i>Zona de carste com sumidouros associados à rede fluvial</i>	28
4.2.3 <i>Zona fluvial</i>	31
5. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES	32
6. RECOMENDAÇÕES	33
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

1. INTRODUÇÃO

Este relatório tem por finalidade apresentar os resultados dos estudos da equipe de geomorfologia para a região do sistema cárstico do rio João Rodrigues, situado nos municípios de São Desidério, Catolândia, Baianópolis e Cristópolis, na região Oeste do estado da Bahia (Figura 1), com vistas à criação de uma Unidade de Conservação para a proteção deste sistema. Os trabalhos de campo foram realizados em duas etapas, sendo a primeira entre os dias 24 e 28 de Outubro de 2011 e a segunda entre os dias 26 de Março e 01 de Abril de 2012.

O acesso mais fácil para a área de estudo, a partir da cidade de São Paulo – SP, é feito através do aeroporto de Barreiras – BA, de onde se segue no sentido sul pela rodovia BR-135 até a cidade de São Desidério – BA, em um percurso de aproximadamente 27 km.

Os principais objetivos dos estudos da equipe de geomorfologia foram:

- Reconhecer e descrever as principais feições de relevo que caracterizam o sistema cárstico na região do rio João Rodrigues;
- Propor uma delimitação do sistema cárstico do rio João Rodrigues, a fim de auxiliar na demarcação da Unidade de Conservação;
- Descrever características geológicas básicas da área de estudo que, possivelmente, exercem algum controle na dinâmica e origem do sistema cárstico, tais como os litotipos presentes, suas principais estruturas e empilhamento estratigráfico.

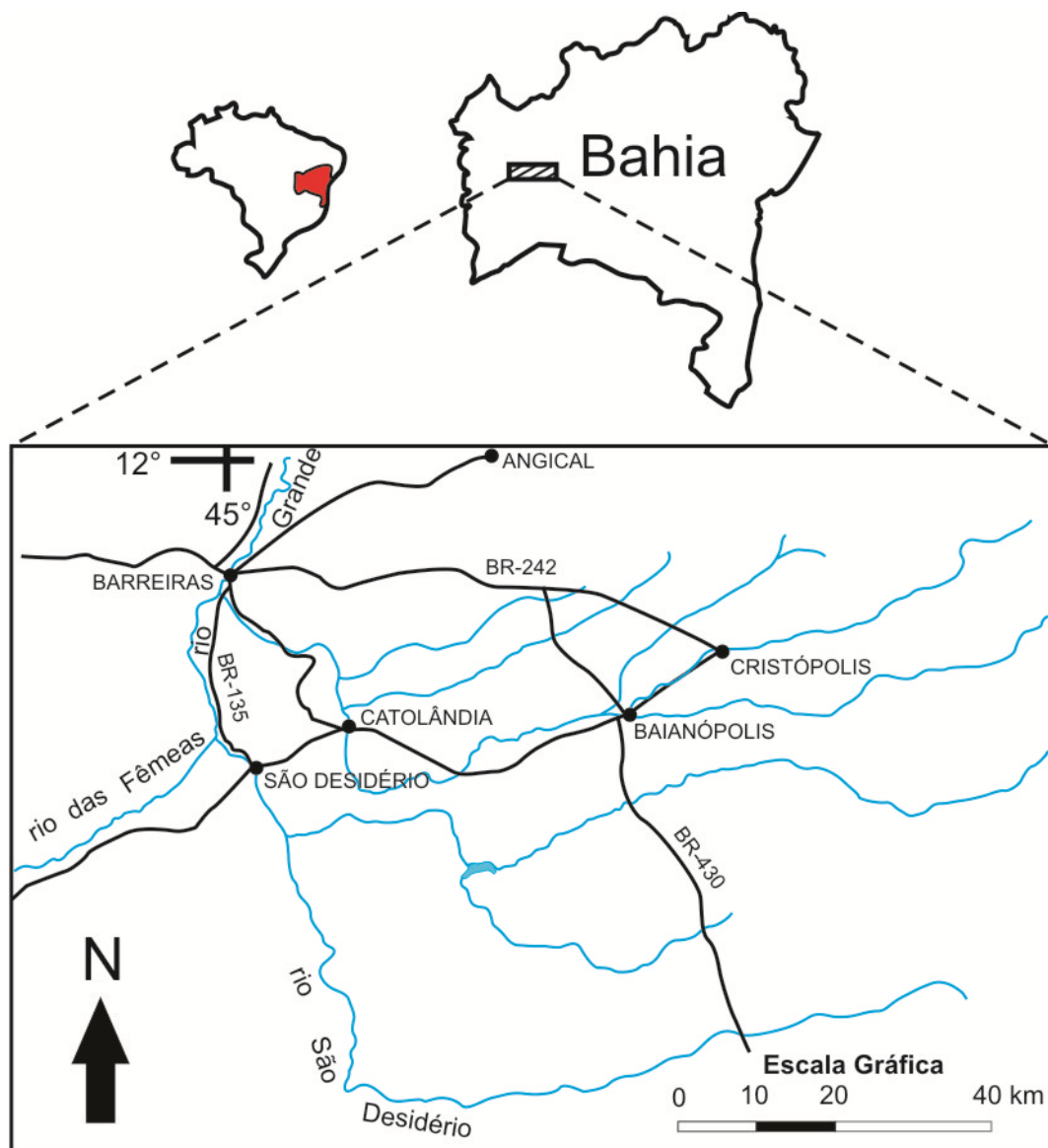


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo, com destaque para as principais rodovias e rios.

2. MÉTODOS

Para a descrição das características geológicas básicas da área de estudo foram descritos afloramentos ao longo do sistema cárstico do rio João Rodrigues e foram levantadas seções geológicas, ao longo das quais foram realizadas descrições dos litotipos aflorantes, medição de suas estruturas e coleta de amostras para análise petrográfica mais detalhada.

Os dados estruturais foram tratados através do *software Stereonet v.1.2* e representados no diagrama de Schimidt para interpretação dos dados.

O mapa geomorfológico da área de estudo foi realizado através da demarcação de divisores topográficos, de drenagens e de possíveis rotas preferenciais de escoamento superficial. Tais feições do relevo foram interpretadas a partir de imagens de satélite no *software Google Earth*. Usualmente, são utilizados pares de fotografias aéreas ou mapas de curvas de nível, em escala adequada, para demarcação de divisores topográficos (Ford; Williams, 1996). No entanto, a área do presente estudo não possui fotos aéreas disponíveis, ou mesmo mapa topográfico em escala adequada para o reconhecimento das feições geomorfológicas de interesse. Considerando essa limitação, as imagens de satélite e modelo digital de relevo do *software Google Earth* permitiram a visualização em 3D do relevo, em escala adequada, e possibilitou uma demarcação satisfatória dos divisores topográficos na área de estudo.

3. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A área de estudo está inserida na região noroeste do Cráton do São Francisco e abrange coberturas sedimentares fanerozóicas pertencentes à Bacia Sanfranciscana, representadas pelo Grupo Urucuia, e rochas metassedimentares neoproterozóicas do Grupo Bambuí, representadas pelas formações São Desidério e Serra da Mamona (Campos; Dardenne, 1997a; Egydio da Silva, *et al.* 1989). Será apresentado, a seguir, um breve panorama do contexto geológico regional onde se insere o sistema cárstico do rio João Rodrigues, assim como uma descrição mais detalhada das unidades que nele ocorrem.

3.1 A Bacia Sanfranciscana

A Bacia Sanfranciscana cobre uma área que se estende desde o Norte do estado de Minas Gerais até o Sul do Piauí, totalizando uma distribuição em área de cerca de 150.000 km² (Figura 2) e é interpretada como uma bacia do tipo *sag*, que constitui uma ampla bacia intracontinental com pequena subsidência e participação restrita de processos tafrogenéticos, cuja história de deposição se inicia no Paleozóico e se estende até o Cretáceo (Campos; Dardenne, 1997a, 1997b). Apresenta formato alongado segundo a direção N – S, com espessura que chega a aproximadamente 500 m, e é dividida em duas sub-bacias por um alto estrutural denominado Alto do Paracatu, sendo elas a Sub-Bacia Urucuia, a Norte, e a Sub-Bacia Abaeté, ao Sul. Seus limites longitudinais são paralelos às Faixas Brasília, a oeste, e Araçuaí, a leste, sendo delimitada a norte pelo Alto de São Francisco, que a separa dos depósitos da Bacia do Parnaíba, e a sul recobre parte dos sedimentos da Bacia do Paraná (Campos; Dardenne, 1997a, 1997b).

Esta Bacia é subdividida em cinco unidades principais, sendo elas da base para o topo: Grupo Santa Fé (depósitos glaciogênicos), Grupo Areado (depósitos de leques aluviais e ambientes fluvial, lacustre e eólico), Grupo Mata da Corda (rochas vulcânicas alcalinas e depósitos fluviais e de leques aluviais), Grupo Urucuia (depósitos eólicos e fluviais) e Formação Chapadão (depósitos eluvio-coluvionares Cenozóicos) (*sensu* Campos; Dardene, 1997b).

A história de deposição da Bacia Sanfranciscana é marcada por diversos estágios tectônicos, que originaram pulsos de subsidência e soerguimento que condicionaram os eventos de deposição e erosão na bacia. Ocorrem três superfícies erosivas principais, sendo elas, da base para o topo: i – limite entre os depósitos glaciogênicos Eopaleozóicos (Formação Santa Fé) com o embasamento Neoproterozóico, decorrente das acomodações isostáticas geradas pela retirada das espessas camadas de gelo; ii – limite entre os depósitos do Cretáceo Inferior (Grupo Areado) e a Formação Santa Fé, decorrente do início do soerguimento do Alto de Paranaíba; iii – limite entre os depósitos do Cretáceo Superior (Grupo Urucuia) e todos os depósitos

subjacentes da bacia, formado pela fase principal de soerguimento do Alto de Paranaíba (Campos; Dardenne, 1997a).

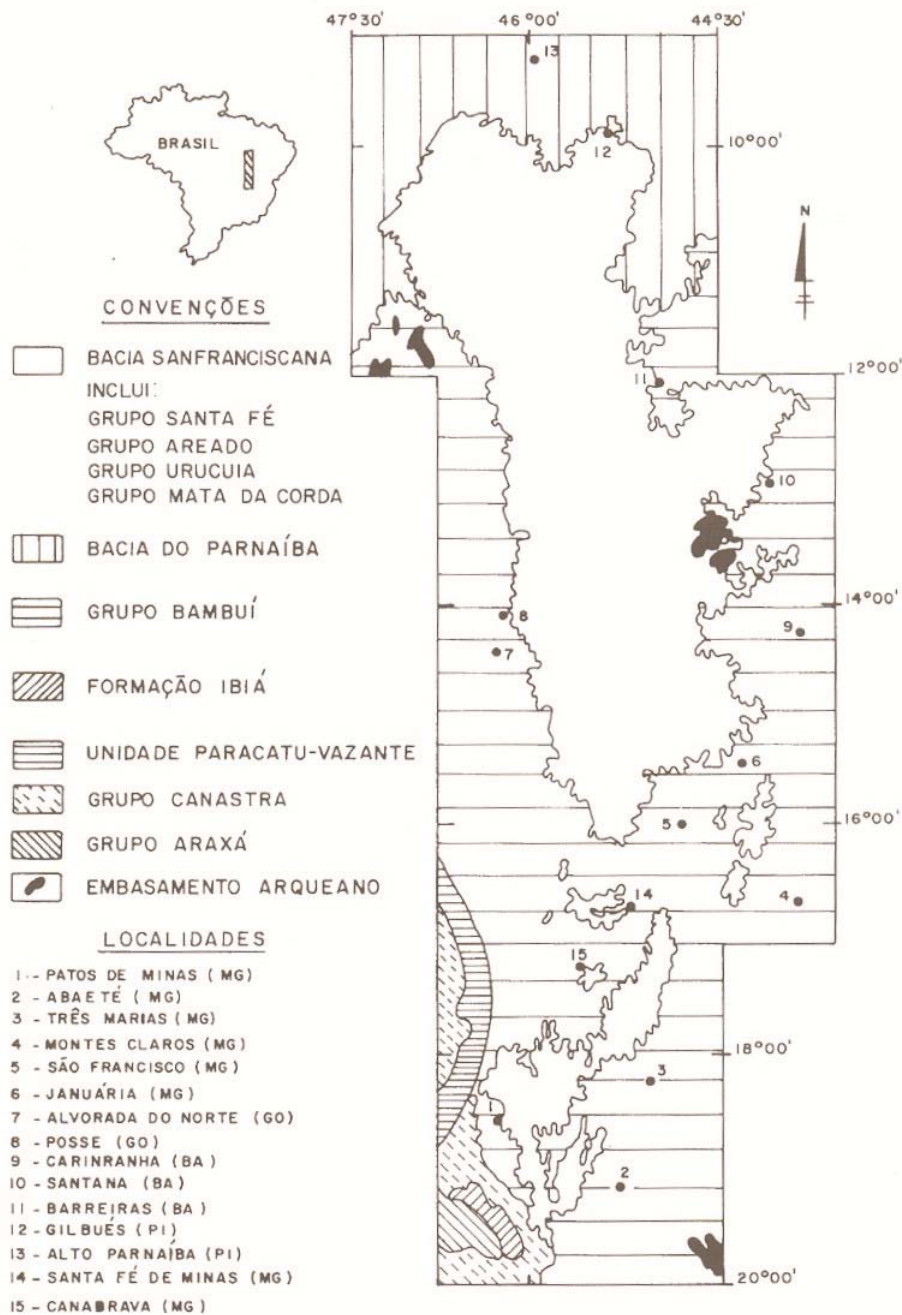


Figura 2: Mapa geológico da Bacia Sanfranciscana e rochas do embasamento. A área de estudo encontra-se próxima da localidade 11, Barreiras - BA, indicada no mapa, na Sub-Bacia Urucuia. Extraído de Campos; Dardenne (1997b).

3.1.1 O Grupo Urucuia

Essa unidade apresenta grande distribuição em área, abrangendo parte dos estados de Minas Gerais, Goiás, Bahia, Tocantins e sul do Piauí, sendo constituída por rochas siliciclásticas, como conglomerados, arenitos e siltitos, depositados em ambientes eólicos e fluviais (Spigolon; Alvarenga, 2002). Segundo Campos e Dardenne (1997b) o Grupo Urucuia apresenta duas unidades principais, sendo elas: Formação Posses, na base, composta por arenitos eólicos e arenitos argilosos de sistema fluvial, e Formação Serra das Araras, no topo, constituída por arenitos, argilitos e conglomerados fluviais.

Em grande parte da Bacia Sanfranciscana, o Grupo Urucuia sobrepõe diretamente os metassedimentos neoproterozóicos do Grupo Bambuí, mas também ocorre sobrepondo os depósitos dos grupos Areado e Santa Fé, além de granitos e gnaisses do embasamento (Campos; Dardenne, 1997b).

Dentro da área de estudo, as coberturas fanerozóicas da Bacia Sanfranciscana são representadas exclusivamente pelas rochas do Grupo Urucuia, na Sub-Bacia Urucuia.

3.2 O Grupo Bambuí

O Grupo Bambuí representa as coberturas sedimentares neoproterozóicas de maior expressão em área na Bacia Intracratônica do São Francisco, cuja deposição ocorreu entre cerca de 750 a 600 Ma (e.g. Iglesias; Uhlein, 2009). Vale lembrar que o termo Bacia Intracratônica do São Francisco faz referência aos sedimentos proterozóicos do Supergrupo São Francisco, sendo diferente do termo Bacia Sanfranciscana, que remete às coberturas fanerozóicas do Cráton do São Francisco (Campos; Dardenne, 1997b).

Na região Norte do estado de Minas Gerais ocorrem algumas das principais unidades do Grupo Bambuí, sendo elas, da base para o topo: (I) Formação Sete Lagoas, composta por calcários e dolomitos depositados em ambiente marinho raso; (II) Formação Serra de Santa Helena, constituída por sedimentos predominantemente pelíticos, depositados em ambiente marinho

plataformal; (III) Formação Lagoa do Jacaré, apresentando calcários com intercalações de pelitos e folhelhos, formados em ambiente de plataforma carbonática de alta energia; (IV) Formação Serra da Saudade, cujos depósitos são constituídos por siltitos, siltitos argilosos e folhelhos finamente laminados, formados em ambiente marinho profundo; e (V) Formação Três Marias, com sedimentos arcósios, arenitos, siltitos e conglomerados, depositados inicialmente em ambiente plataformal, que posteriormente evoluiu para um ambiente flúvio-deltáico (Iglesias; Uhlein, 2009).

3.2.1 O Grupo Bambuí no noroeste da Bahia

Na região noroeste do estado da Bahia, o Grupo Bambuí está inserido no Sistema de Dobramentos Rio Preto, podendo ser dividido em três domínios tectônicos principais, sendo eles: (I) Domínio Cratônico, composto por rochas carbonáticas de baixo grau de metamorfismo; (II) Domínio Pericratônico, constituído de metacarbonatos, ardósias, metagrauvas, metamargas e xistos carbonáticos, apresentando grau de metamorfismo incipiente a fraco e uma única fase de deformação; e (III) Domínio Distal de Vergência Centrífuga, que é composto por metassedimentos na região interna do Sistema de Dobramentos Rio Preto, apresentando grau de metamorfismo fraco a médio e geologia estrutural complexa (Egydio da Silva *et al.*, 1989).

O Domínio Cratônico é representado pela Formação São Desidério (*sensu* Egydio da Silva *et al.*, 1989), constituído por calcários cinza-escuros predominantemente puros com intercalações de margas e siltitos, interpretados como de ambiente de mar raso. O contato inferior da unidade se dá por discordância angular e erosiva com rochas do embasamento gnáissico e migmatítico, e o contato superior é gradacional, de forma que os calcários tornam-se mais argilosos até constituírem metamargas e ardósias carbonáticas do Domínio Pericratônico. A Formação São Desidério apresenta-se em parte no Domínio Pericratônico, estando mais deformada e com mais intercalações pelíticas.

O Domínio Pericratônico é constituído, da base para o topo, pelas Formações São Desidério, Serra da Mamona e Riachão das Neves. A Formação Serra da Mamona (*sensu* Egydio da Silva *et al.*, 1989) se sobrepõe à Formação São Desidério por contato gradacional e é constituída por metassiltitos, ardósias e metarenitos finos com intercalações de metacalcários e metamargas, sendo interpretada como de ambiente de mar raso. A medida que os metassedimentos adquirem granulação mais grossa e maior quantidade de feldspatos e fragmentos líticos, em direção ao topo da sucessão, constituem os metarcósios e metagrauvacas da Formação Riachão das Neves, interpretada como de ambiente costeiro (*sensu* Egydio da Silva *et al.*, 1989).

O Domínio Distal de Vergência Centrífuga apresenta rochas complexamente deformadas que representam a base do Grupo Bambuí. Nesse domínio tectônico ocorrem quartzitos piritosos, de cor branco-amarelada, com composição geralmente feldspática, variando para mais carbonática, reunidos na Formação Canabrinha, cujos depósitos são interpretados como de ambiente de taludes continentais (*sensu* Egydio da Silva *et al.*, 1989).

Dessa forma, Egydio da Silva *et al.* (1989) propõe a existência de quatro unidades principais para o Grupo Bambuí no noroeste da Bahia, sendo elas, da base para o topo, as formações Canabrinha, São Desidério, Serra da Mamona e Riachão das Neves, que correlacionam respectivamente com as seguintes unidades descritas no estado de Minas Gerais: formações Jequitaí, Lagoa do Jacaré, Serra da Saudade e três Marias.

4. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DO SISTEMA CÁRSTICO DO RIO JOÃO RODRIGUES

Os registros de trabalhos espeleológicos na área do rio João Rodrigues, município de São Desidério – BA, são escassos na literatura, sendo, na maior parte, relatos de excursões para fins de mapeamento topográfico de cavernas (*e.g.* Rubbioli, 2004; Parizi, 2005). Apesar de a região ter recebido diversas visitas de grupos de espeleologia, com destaque para o Grupo Bambuí de

Pesquisas Espeleológicas, para mapeamento de cavernas, não foram ainda realizados estudos científicos mais aprofundados sobre o terreno cárstico nessa região.

Desde os primeiros mapeamentos topográficos realizados nas cavernas do município de São Desidério, foi descoberto um sistema de cavernas interligadas pelo rio João Rodrigues (Figura 3), com direção aproximadamente NE – SW como, por exemplo, as cavernas Garganta do Bacupari, gruta da Sucupira e Buraco do Inferno da Lagoa do Cemitério (Rubbioli, 2004; Parizi, 2005).

Neste capítulo será apresentada uma descrição geológica da área onde se insere o sistema cárstico do rio João Rodrigues, assim como uma descrição das feições de relevo características do terreno cárstico na região e sua compartimentação geomorfológica.

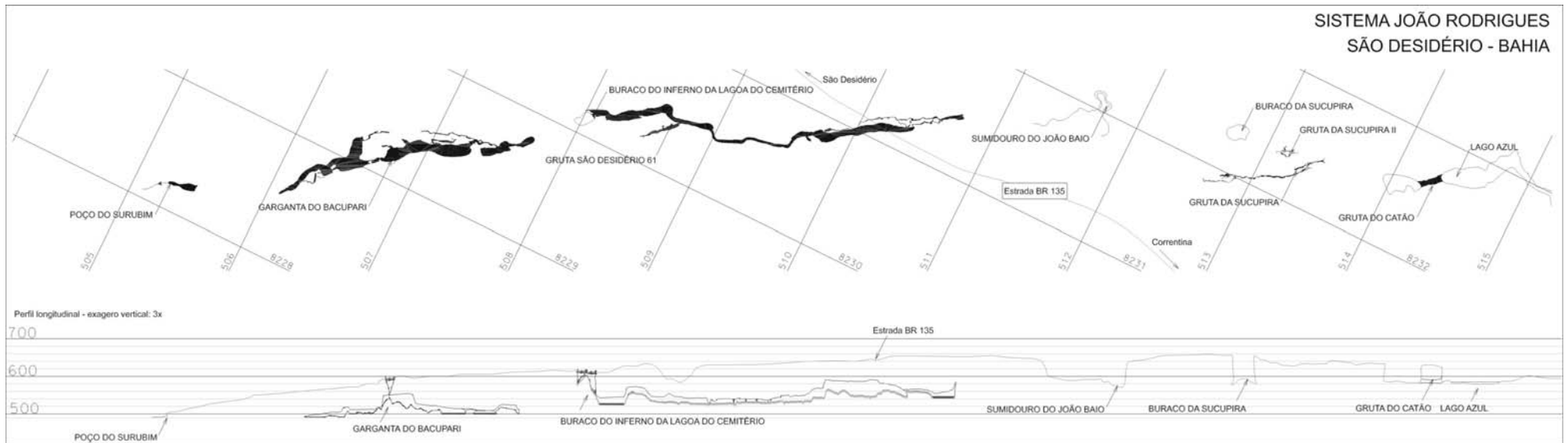


Figura 3: Mapas topográficos em planta (acima) e perfil (abaixo) do sistema de cavernas interligadas pelo rio João Rodrigues. Créditos: Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas.

4.1 Contexto geológico do sistema cárstico do rio João Rodrigues

Foram reconhecidas quatro unidades geológicas principais que abrigam o sistema cárstico do rio João Rodrigues, assim como sua provável área de influência. Ocorrem rochas metassedimentares deformadas do Grupo Bambuí, representadas pelas formações São Desidério e Serra da Mamona, coberturas sedimentares cretáceas do Grupo Urucuia e depósitos de tálus, presumidamente cenozóicos (Figura 4).

Para caracterizar a geologia na área de estudo foram levantadas duas seções geológicas, uma com cerca de 30 km, interligando as cidades de Barreiras e São Desidério (Figura 5), e outra com cerca de 40 km, com direção aproximadamente paralela ao rio João Rodrigues (Figura 6). Foram também descritos afloramentos em pontos considerados de grande relevância para a caracterização desse sistema, como grandes escarpas rochosas de dolinas, que fornecem acesso à algumas cavernas desse sistema.

A seguir será apresentada uma descrição mais detalhada de cada unidade dentro da área estudada.

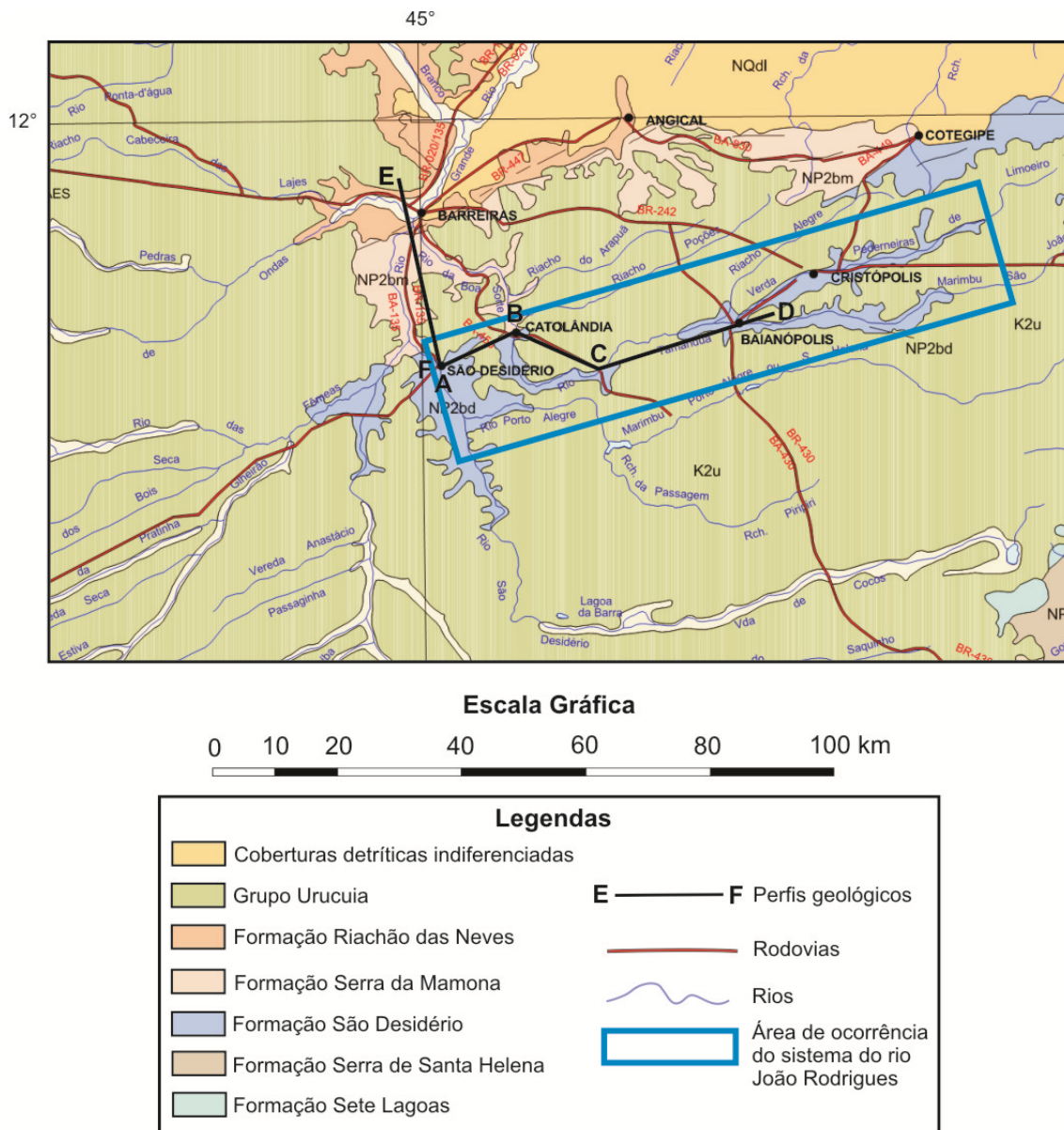


Figura 4: Mapa geológico da área de estudo, na região do sistema cárstico do rio João Rodrigues, orientado preferencialmente segundo a direção NE - SW. Extraído de Dalton de Souza *et al.* (2003).

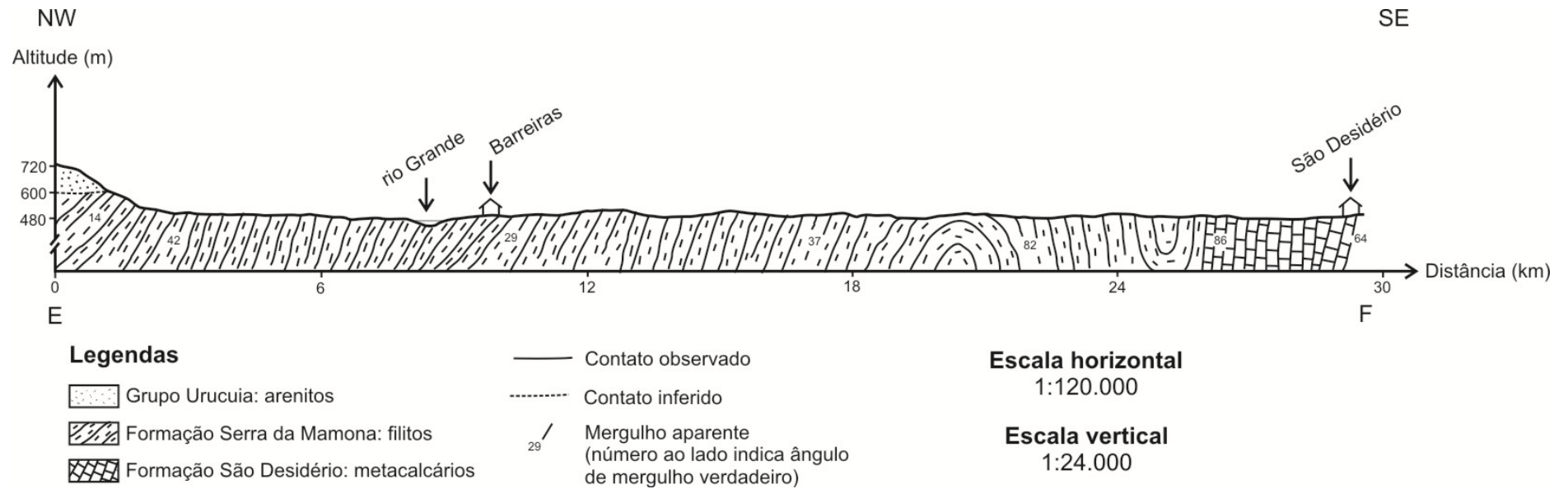


Figura 5: Seção geológica E – F (indicada no mapa geológico da Figura 4), interligando as cidades de Barreiras e São Desidério. Exagero vertical de 5x.

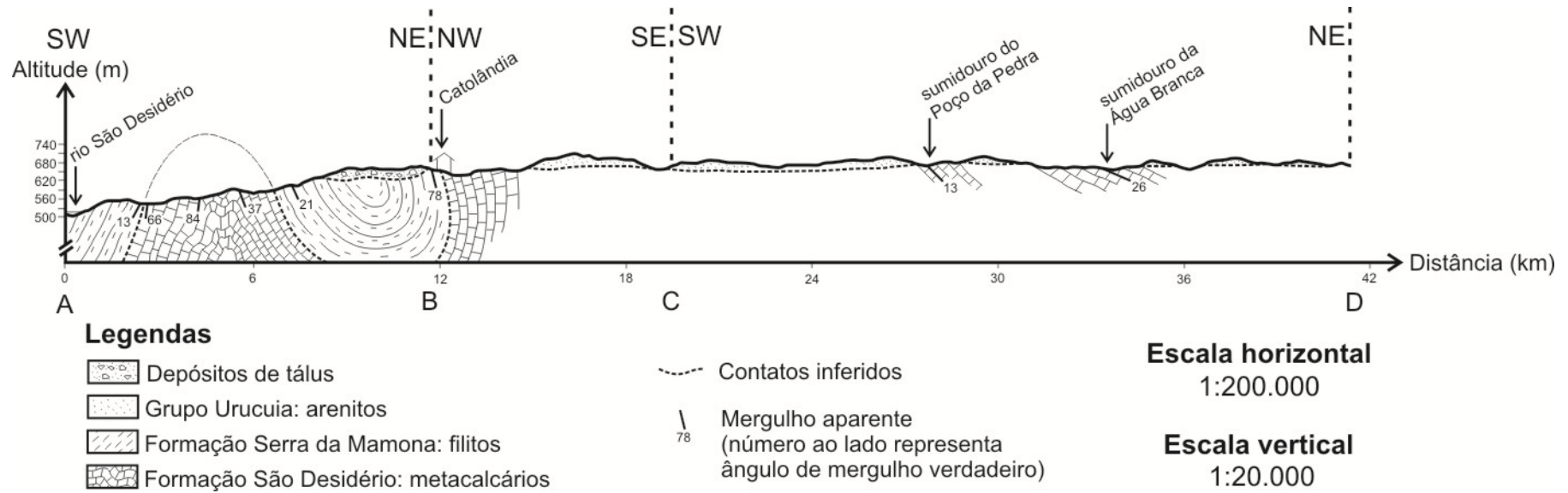


Figura 6: Seção geológica A – B – C – D (indicada no mapa geológico da Figura 4), cortando de forma aproximadamente longitudinal o sistema cárstico do rio João Rodrigues. Exagero vertical de 10x.

4.1.1 Formação São Desidério

É a unidade estratigraficamente inferior dentro da área de estudo (Figuras 5 e 6), sendo caracterizada por metacalcários de cor azulada-acinzentada, com textura fina e estrutura foliada, com dobras que variam desde ondulações com pequena amplitude até antiformes e sinformes de maior amplitude, com flancos mais inclinados (Figuras 7a, b). O metamorfismo de baixo grau que atuou sobre os metacalcários possibilitou a preservação de estruturas sedimentares, como, por exemplo, algumas características do acamamento original. As camadas apresentam espessura que varia de poucos centímetros a alguns metros, ocorrendo intercalações com camadas descontínuas e com espessura de poucos centímetros de sílex, assim como camadas argilosas que apresentam grande continuidade lateral e espessura de poucos milímetros a centímetros.

O maciço carbonático apresenta fraturas e falhas, que favorecem a infiltração da água superficial onde ocorrem afloramentos dessas rochas, contribuindo assim para a formação do relevo cárstico da região. As fraturas encontram-se orientadas preferencialmente segundo as direções NW – SE e NE – SW, com ângulos de mergulho altos, variando entre 82 e 89°. Falhas de empurrão também foram observadas, indicando o regime de esforço compressivo que atuou durante a deformação dessas rochas.

Foram realizadas 32 medições de planos da foliação principal nos metacalcários da Formação São Desidério, como mostrado na Figura 8, onde é possível observar que a foliação apresenta sentido de mergulho que varia de NNW para SSE, como indicado pelo círculo máximo destacado em vermelho, formando um padrão de dobramentos cônicos com eixo orientado, preferencialmente, segundo a direção ENE – WSW.

Boas exposições das rochas da Formação São Desidério ocorrem poucos quilômetros a sul da cidade homônima, nos paredões próximos à margem leste do rio São Desidério, assim como ao longo das escarpas do vale do povoado da Beleza de Cima (Figura 9).

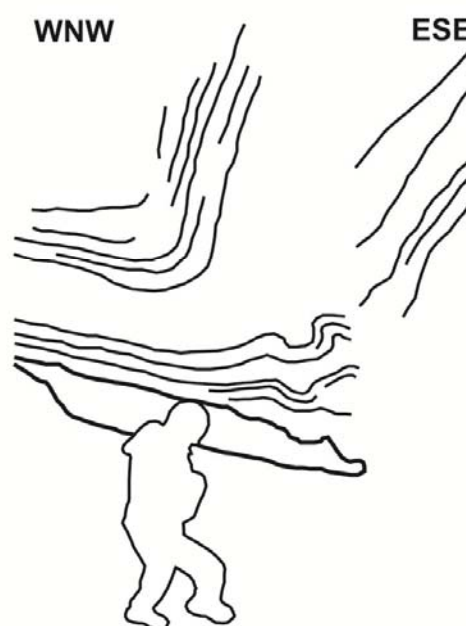
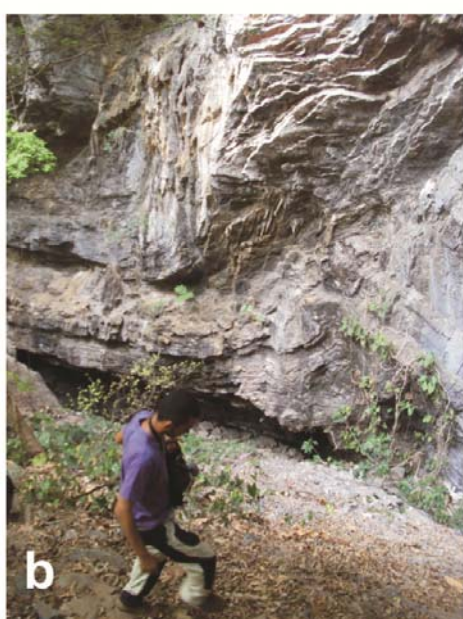
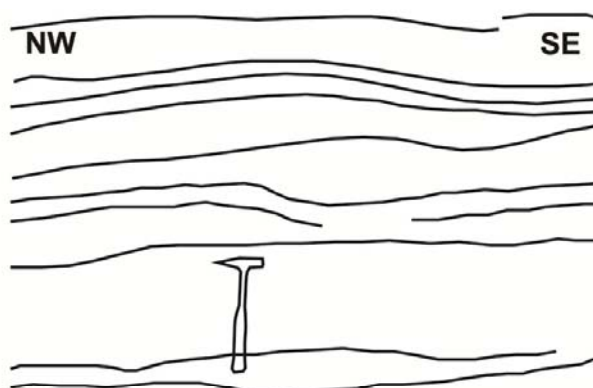


Figura 7: Fotos representando algumas estruturas presentes nos metacalcários e esquemas interpretativos. "a" – estrutura foliada com ondulações e baixo ângulo de mergulho (afloramento próximo à gruta João Baio); "b" - estrutura com dobramentos recumbente e ângulos de mergulho acentuado (afloramento sobre a gruta Buraco do Inferno da Lagoa do Cemitério).

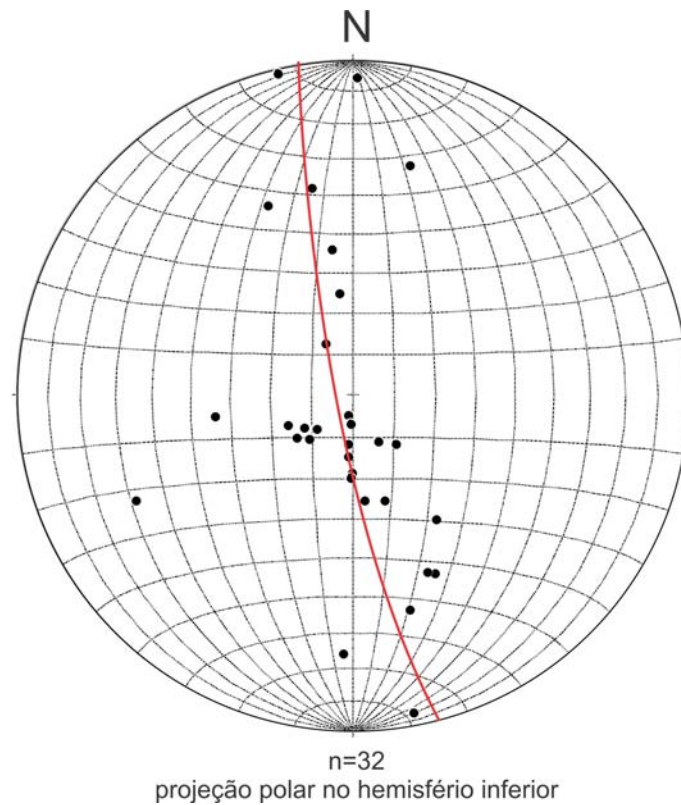


Figura 8: Estereograma com medidas da foliação principal da Formação São Desidério. “n”=número total de medidas.



Figura 9: Afloramento de metacalcários da Formação São Desidério na região do povoado da Beleza de Cima. Destaque para as camadas contínuas e inclinadas, com maior espessura na base do afloramento, e para as cavidades formadas na porção central do paredão.

4.1.2 Formação Serra da Mamona

Essa unidade ocorre sobreposta à Formação São Desidério (Figuras 5 e 6), sendo constituída por metargilitos, de cor marrom-amarelada e aspecto pastilhado, e filitos marrom-avermelhados, que apresentam intercalações com camadas de poucos centímetros a decímetros de metarenito fino. Essas rochas apresentam estrutura foliada e contínua, normalmente com ângulo de mergulho acentuado, podendo apresentar localmente dobras recumbentes com amplitude de poucos metros (Figura 10).

Na região de estudo esses metapelitos afloram de forma restrita, principalmente nas proximidades da cidade de Catolândia, sendo que não foram observadas ao longo do sistema do rio João Rodrigues.

Por apresentarem textura muito fina, a presença de metargilitos e filitos em superfície dificulta a infiltração da água meteórica no maciço rochoso, de forma que a tendência é o predomínio do escoamento superficial.



Figura 10: Afloramento da Formação Serra da Mamona em corte de estrada de terra, que liga São Desidério a Catolândia. Destaque para o dobramento recumbente na porção central do afloramento.

Foram realizadas 18 medições de planos da foliação principal nos metargilitos da Formação Serra da Mamona, que estão representadas no estereograma da Figura 11, onde é possível observar que a foliação principal forma um padrão de dobramento com flancos que apresentam sentido de mergulho variando de NNW para SSE, como indicado pelo círculo máximo destacado em vermelho, e eixo orientado na direção ENE - SSW.

O padrão de deformação da foliação principal observado na Formação Serra da Mamona é muito similar ao observado na Formação São Desidério, mostrando que ambas as unidades foram afetadas por um mesmo evento deformacional. Em um afloramento localizado poucos quilômetros a norte da cidade de São Desidério, ao lado da rodovia BR-135, o contato entre essas duas unidades é concordante e definido pela foliação principal, corroborando a interpretação de que compartilham de uma mesmo processo deformacional.

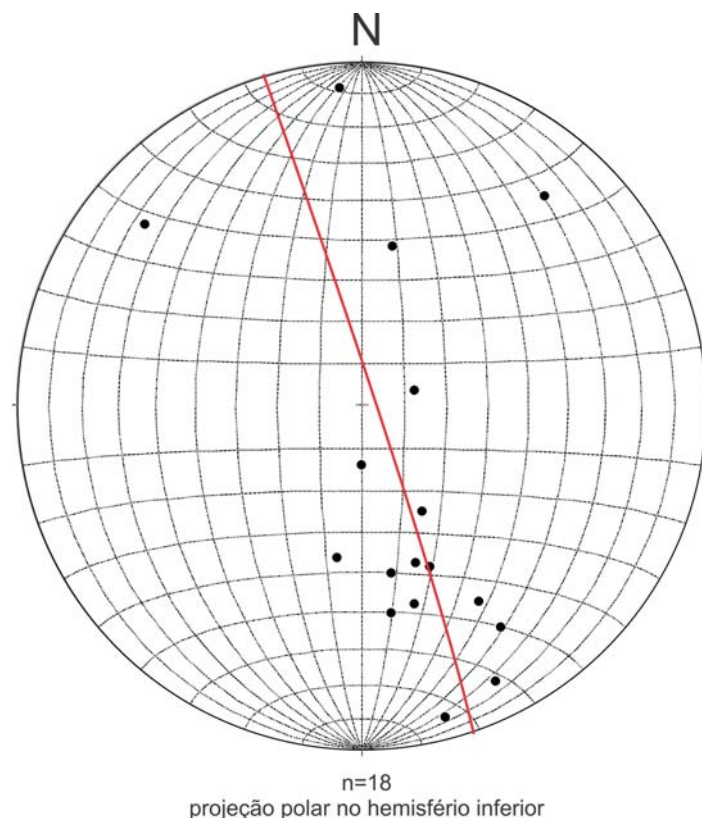


Figura 11: Estereograma com medidas da foliação principal da Formação Serra da Mamona.

“n”=número total de medidas.

4.1.3 Grupo Urucuia

O Grupo Urucuia ocorre sobre as Formações São Desidério e Serra da Mamona (Figura 5), mas na região do sistema cárstico do rio João Rodrigues ocorre diretamente sobre os metacalcários da Formação São Desidério. Essa unidade é composta predominantemente por arenitos arcósios e conglomerados de cor avermelhada. Ocorrem duas associações de fácies principais: a primeira, situada na base da unidade, é formada por séries de arenito fino a médio, bem selecionado, com estratificação cruzada acanalada de grande porte, que se entrecortam formando contatos erosivos entre as séries. A segunda, no topo da unidade, apresenta séries de arenito médio com estratificação plano-paralela, intercaladas com séries de conglomerados maciços, predominantemente sustentados pela matriz arenosa, com seixos e grânulos compostos por arenito silicificado, e séries de arenitos maciços silicificados (Figura 12).

Microscopicamente, os arenitos que ocorrem no topo do Grupo Urucuia apresentam arcabouço formado por areia fina a média, bem selecionada e bem arredondada (Figura 13a). Foram também observados minerais opacos com hábito cúbico no arcabouço, sendo provavelmente pirita (Figura 13b). Não foi observada matriz e ocorre cimento tanto limonítico como de calcedônia, que varia de 20 a 30% do total da rocha, preenchendo parcialmente ou totalmente os poros (Figuras 13a, b, c, d). O preenchimento parcial dos poros foi observado em fácies de arenitos médios com estratificação plano-paralela, enquanto nos arenitos maciços silicificados todos os poros apresentam-se preenchidos por um crescimento secundário de calcedônia.

Apesar de os arenitos e conglomerados do Grupo Urucuia possuírem algumas fácies impermeáveis, as fácies mais representativas possuem poros apenas parcialmente preenchidos pela cimentação, de forma que permitem a infiltração da água superficial.

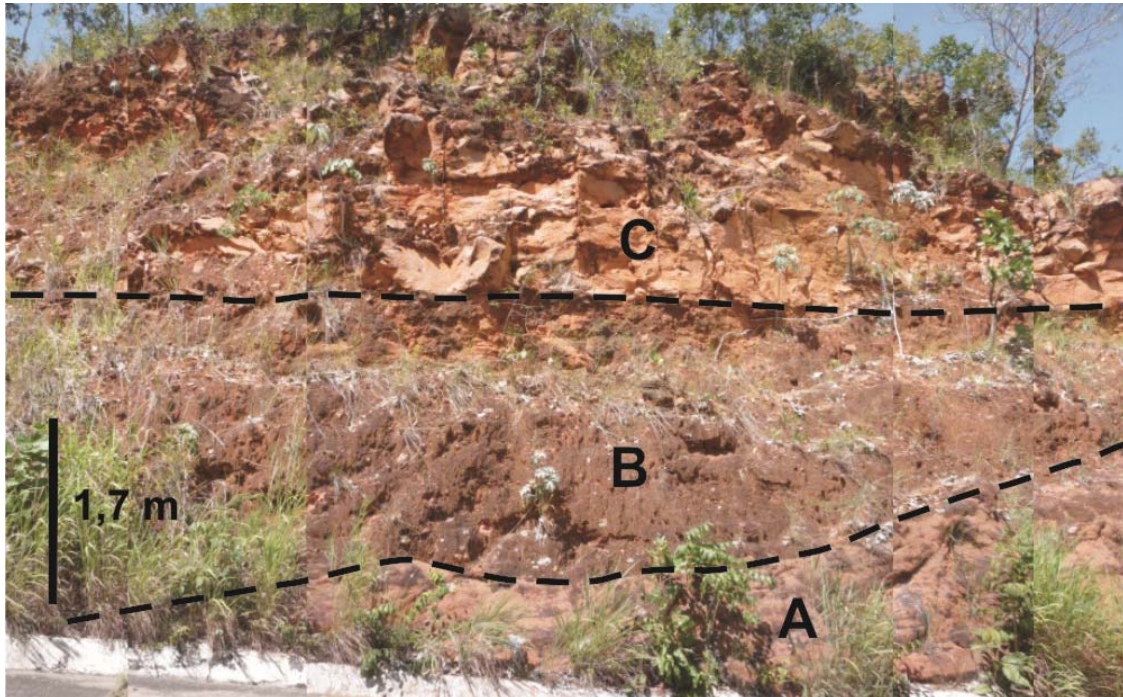


Figura 12: Afloramento em corte da estrada que liga Barreiras ao aeroporto, na porção superior do Grupo Urucuia. A fácies “A” apresenta arenitos médios com estratificação plano-paralela, a fácies “B” conglomerados maciços com seixos arredondados compostos por arenito silicificado e a fácies “C” possui arenitos silicificado maciço.

4.1.4 Depósitos de tálus

Os depósitos de tálus ocorrem sobre os metapelitos da Formação Serra da Mamona, próximo à cidade de Catolândia (Figura 6). Apresentam matriz formada por sedimentos argilosos e arenosos muito alterados, de cor marrom, e arcabouço composto por grânulos, seixos e blocos de arenito silicificado branco e arenito grosso.

A descrição petrográfica ao microscópio mostrou que os blocos de arenito grosso constituem arcósios, com arcabouço formado por partículas muito bem selecionadas e bem arredondadas de areia grossa, com cimento de calcedônia, formando franjas microcristalinas ao redor das partículas (Figuras 13 e, f). Pela composição dos grânulos, seixos e blocos dos depósitos de tálus, interpreta-se que sua principal área fonte situava-se no Grupo Urucuia.

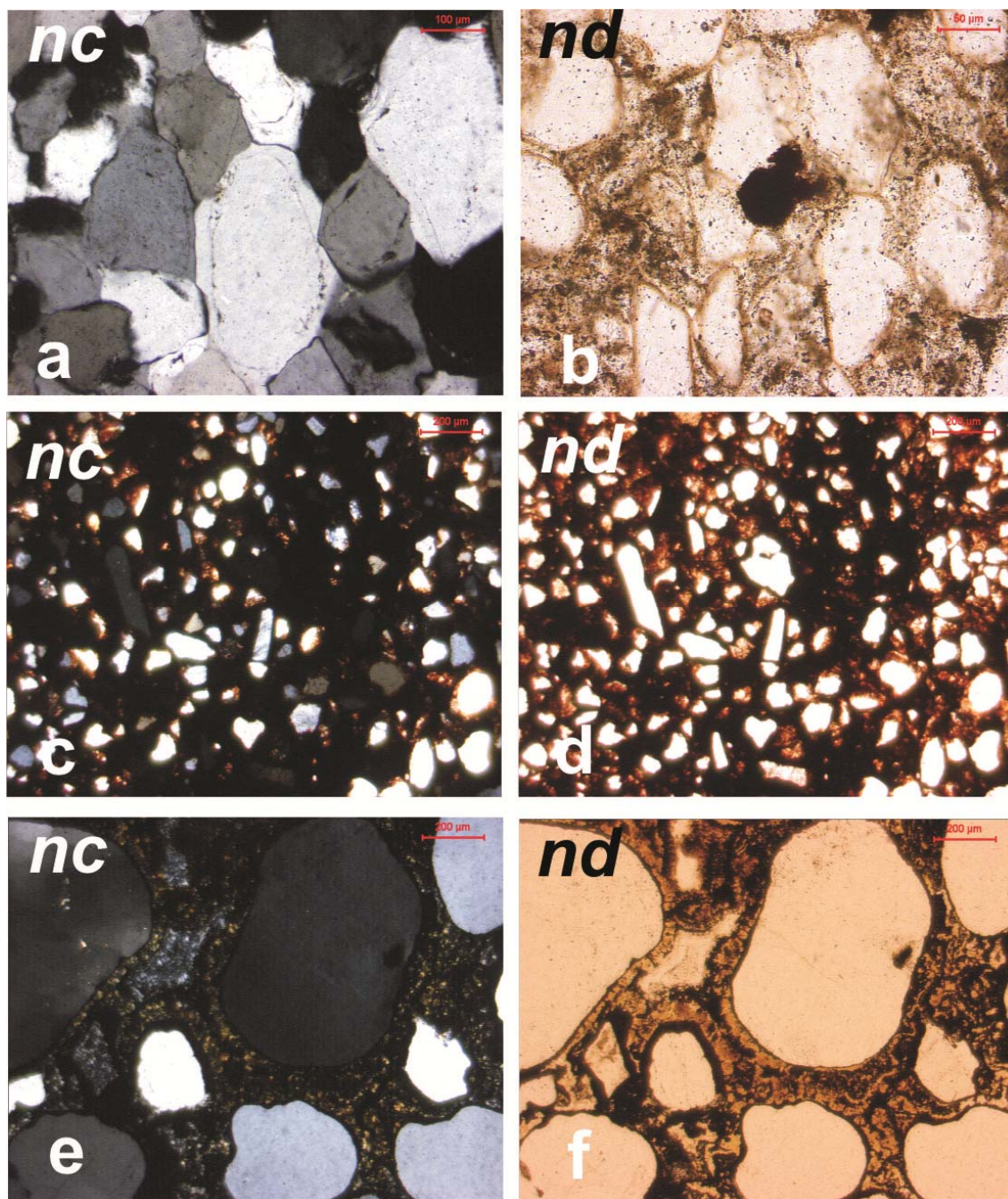


Figura 13: Fotos das seções delgadas de rochas do Grupo Urucua. “a” – arenito médio arcócio bem selecionado e bem arredondado, com crescimento secundário de quartzo; “b” – fragmento de pirita heulédrica, ao centro da foto, possivelmente diagenética; “c” e “d” – arenito arcócio médio, bem selecionado, com cimento limonítico abundante, provavelmente precoce; “e” e “f” – arenito arcócio grosso, bem selecionado e muito bem arredondado, com cimentação por calcedônia envolvendo as partículas do arcabouço, sendo provavelmente precoce. Legenda: “nc” – nicóis cruzados; “nd” – nicóis descruzados.

4.2 Formas de relevo e drenagens superficiais do sistema cárstico do rio João Rodrigues

A área de estudo apresenta diversas características morfológicas de terrenos cársticos, como dolinas e a escassez de drenagens superficiais e presença marcante de drenagens subterrâneas, que, frequentemente, formam sumidouros e nascentes através do maciço carbonático. De forma geral o relevo apresenta baixa amplitude, caracterizado principalmente por pequenos morros de topo arredondado e pequenas drenagens secas, com afloramentos de rocha dispersos em meio à vegetação característica do cerrado (Figura 14a, b).

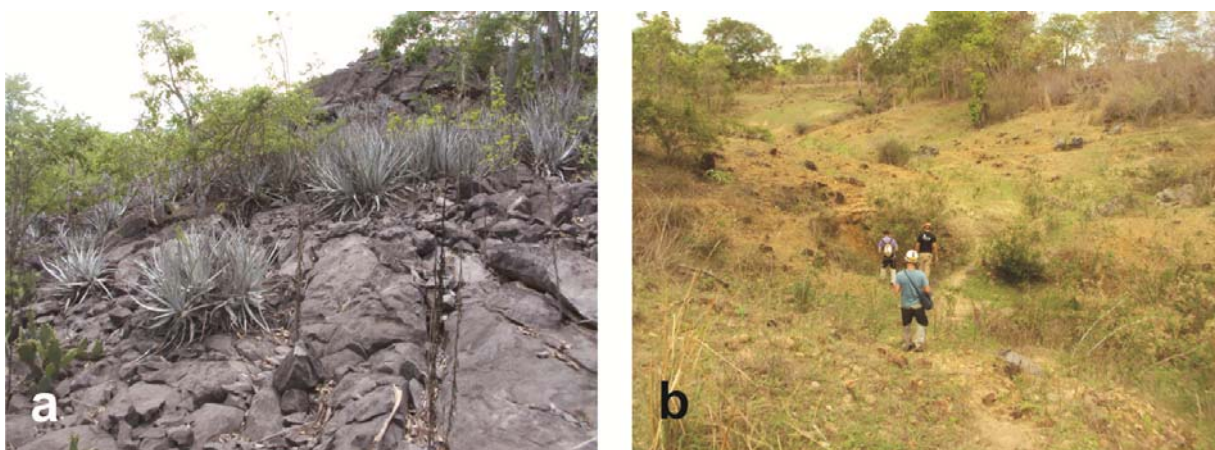


Figura 14: Fotos representativas do relevo na região entre os municípios de São Desidério e Baianópolis. “a” - afloramentos de rocha carbonática em meio à vegetação rasteira e dispersa, “b” - vale cego em drenagem seca e pequenos morros arredondados, na local da caverna Poço da Pedra.

Nos afloramentos de rocha carbonática da região do rio João Rodrigues a paisagem mostra frequentemente formas de relevo que se assemelham a torres ou ruínas (Figura 15a), assim como lapiás que se desenvolvem em blocos de rocha ou afloramentos bem expostos (Figura 15b). Tais feições indicam a dissolução da rocha em superfície causada pelas águas meteóricas.



Figura 15: “a” - torres de metacalcário que conferem um aspecto ruíniforme ao relevo; “b” - bloco rolado de metacalcário com lapiás em sua superfície.

Foi realizada uma demarcação dos divisores topográficos na área de ocorrência do sistema cárstico do rio João Rodrigues, através da análise de imagens de satélite, a fim de reconhecer as prováveis áreas de recarga do aquífero cárstico e, conseqüentemente, estabelecer alguns critérios do ponto de vista geomorfológico para a delimitação desse aquífero.

Através da demarcação dos divisores topográficos, foi possível reconhecer três zonas geomorfológicas principais na área de estudo, denominadas zona de carste poligonal, zona de carste com sumidouros associados à rede fluvial e zona fluvial (Figura 16), que serão descritas mais detalhadamente nos tópicos a seguir. Essa classificação morfológica segue, em parte, a utilizada por Karmann (1994).

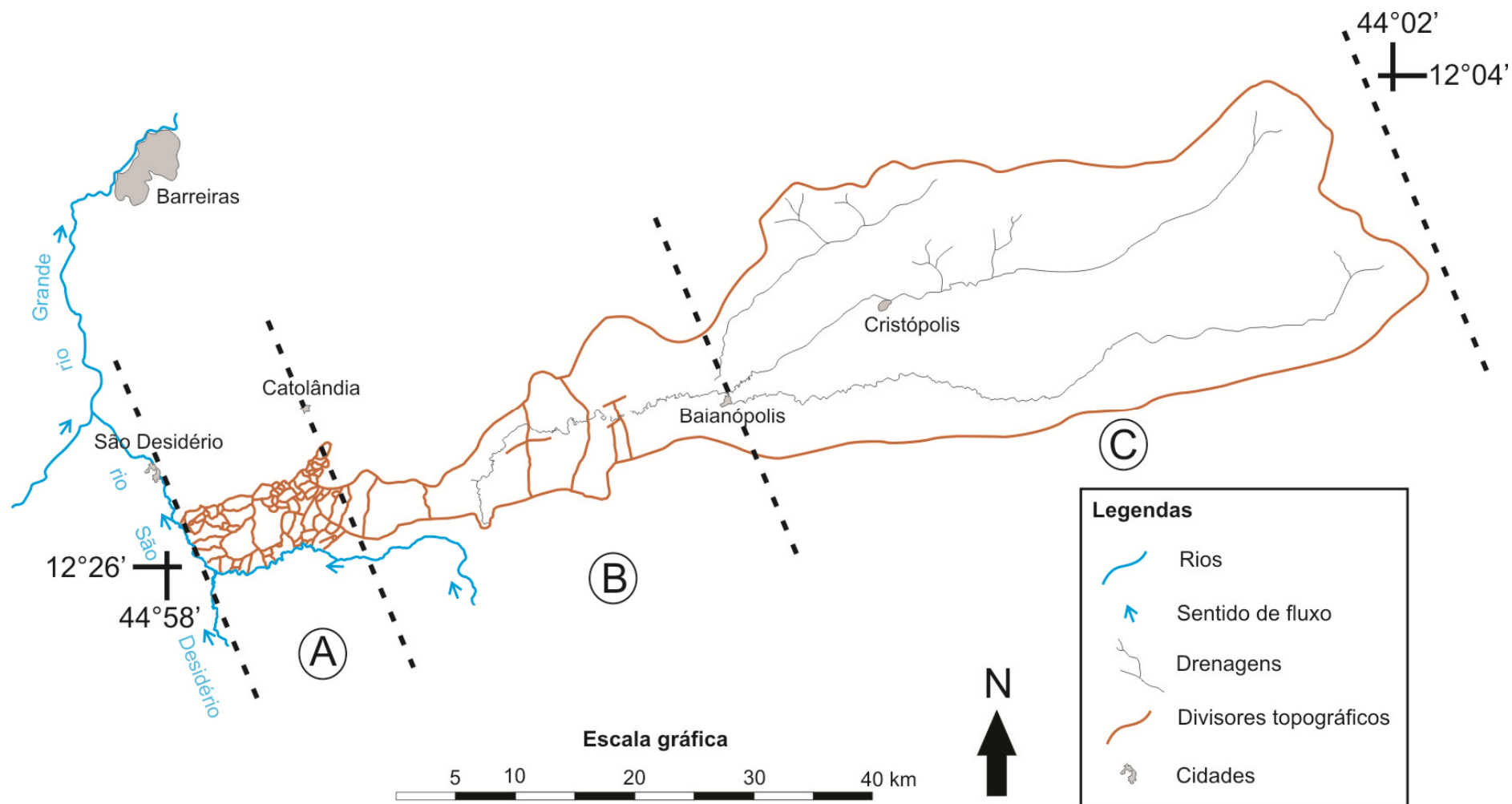


Figura 16: Mapa morfológico do sistema cárstico do rio João Rodrigues. “A”, “B” e “C” representam as três principais zonas geomorfológicas do sistema cárstico, sendo elas: “A” – zona de carste poligonal, “B” – zona de carste com sumidouros associados à rede fluvial e “C” – zona fluvial.

4.2.1 Zona de carste poligonal

A zona de carste poligonal é caracterizada pela presença de diversas depressões no relevo, delimitadas por morros de baixa amplitude e topos arredondados, sendo que para cada depressão o escoamento superficial é autogênico e converge para os pontos de maior profundidade no seu interior, por vezes coincidindo com sumidouros (Figura 17).

As depressões que apresentam menor profundidade, variando entre cerca de 10 m a 20 m, apresentam drenagens pouco desenvolvidas e incipientes, provavelmente podendo ser classificadas como dolinas de dissolução com infiltração difusa, realizada através de fraturas alargadas com uma cobertura de material de alteração supérgeno (Figuras 18c, e, f). As depressões com maior desnível, que chegam até cerca de 70 m, normalmente apresentam, de um lado da escarpa, grandes paredões rochosos verticais e, do outro, cones de depósitos de tálus mal selecionados (Figura 18 a, b, d). No ponto mais profundo dessas depressões normalmente ocorrem sumidouros, que dão acesso à cavernas, sendo que provavelmente podem ser classificadas como dolinas de colapso (Figura 7b).

Na Figura 15 é possível reconhecer um conjunto de dolinas alinhadas, com sumidouros que dão acesso a cavernas onde, geralmente, correm rios subterrâneos com direção preferencial de fluxo no sentido WSW. Tais cavernas, representadas no mapa da Figura 3, também encontram-se alinhadas, sendo possível afirmar que constituem uma mesma rota preferencial de fluxo subterrâneo, que caracteriza o sistema do rio João Rodrigues.

O rio São Desidério, o principal rio da região, atua como um nível de base local para todas as drenagens subterrâneas situadas a leste de sua margem. Na Figura 17 também é possível observar que o sistema do rio João Rodrigues termina próximo a nascente do Poço do Surubim, onde o mesmo deságua no rio São Desidério (Figuras 19 a, b).



Figura 17: Mapa morfológico da zona de carste poligonal.



Figura 18: “a” - dolina com profundidade de dezenas de metros, no fundo da qual se encontra a caverna Buraco do Inferno da Lagoa do Cemitério; “b” - ressurgência do rio João Rodrigues no fundo de uma grande dolina, ao lado da gruta do João Baio; “c” - dolina com diâmetro e profundidade de poucos metros; “d” - Lagoa Azul, situada no fundo de uma grande dolina cercada por paredões verticais; “e” - conduto estreito no fundo de uma pequena dolina; “f” - pequena drenagem em rocha carbonática interligada a uma pequena dolina.

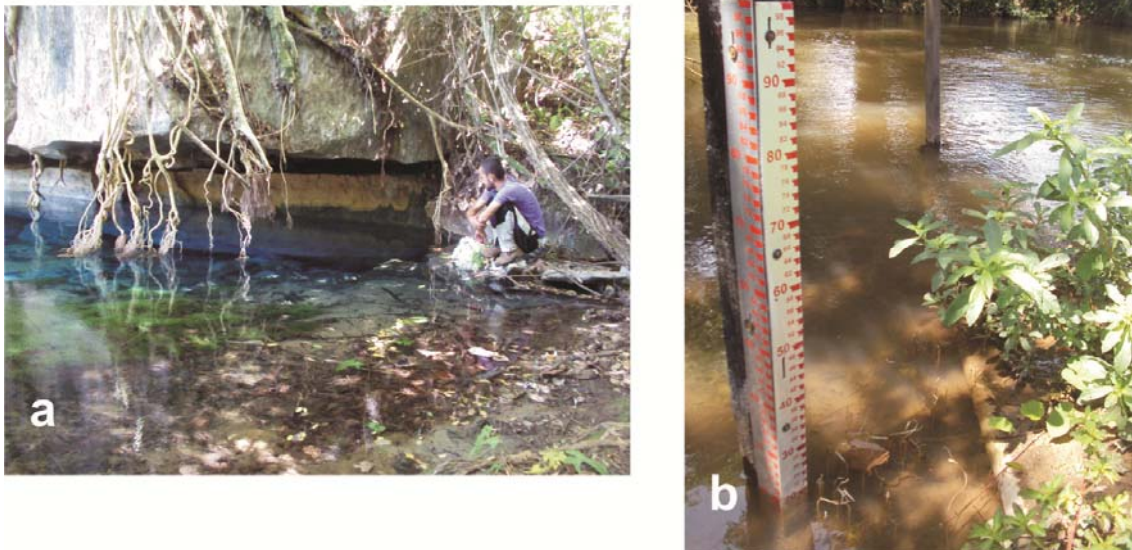


Figura 19: “a” - Poço do Surubim, nascente mais a jusante do sistema cárstico do rio João Rodrigues, próximo ao rio São Desidério. Destaque para a transparência e cor azulada da água, indicando baixa quantidade de sedimentos em suspensão, “b” - rio São Desidério, a jusante do local onde ocorre o encontro com o rio João Rodrigues. Destaque para a coloração marrom da água, indicando a presença considerável de sedimentos em suspensão.

As cavernas que ocorrem na zona de carste poligonal apresentam normalmente condutos volumosos e dispostos em padrão linear, cuja seção transversal apresenta desenvolvimento lateral maior que o desenvolvimento vertical (Figuras 20 a, b). O Salão Coliseu, na caverna Garganta do Bacupari, possui uma área de 25.330 m², sendo esse, até o presente, o maior salão subterrâneo conhecido do Brasil. O salão que abriga o lago do Cruzeiro, na caverna Buraco do Inferno da Lagoa do Cemitério, apresenta área de 12.000 m², sendo também a maior área alagada dentro de uma caverna brasileira até o presente. O Poço do Surubim possui o conduto principal submerso com desenvolvimento horizontal mínimo de 500 m e largura de cerca de 70 m (Rubbioli, 2004; Parizi, 2005).

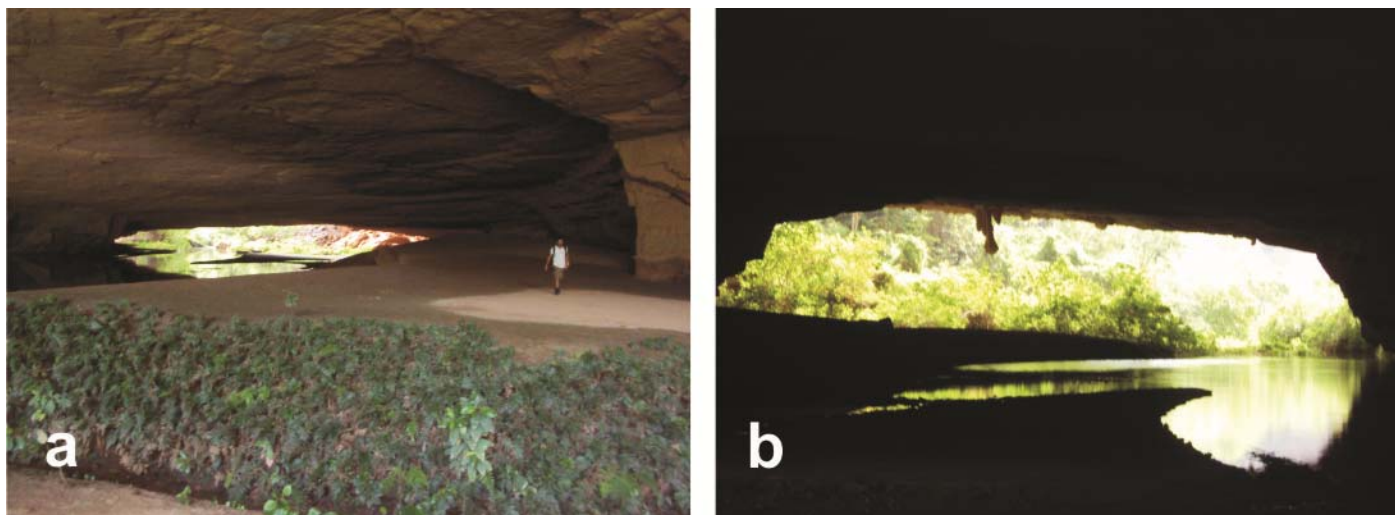


Figura 20: “a” e “b” – representação da seção transversal do conduto da Gruta do Catão, próximo à Lagoa Azul, com grande volume e desenvolvimento horizontal maior que o vertical.

4.2.2 Zona de carste com sumidouros associados à rede fluvial

A zona de carste com sumidouros associados à rede fluvial é caracterizada pela presença de drenagens superficiais autogênicas e bem desenvolvidas, que encontram-se no centro de um vale alongado, segmentado por divisores topográficos muito sutis. Essas drenagens, que formam o rio Tamanduá, apresentam sentido de fluxo preferencialmente para WSW, e culminam em sumidouros, caracterizando vales cegos (Figura 21).

Os sumidouros ocorrem em fundos de vales e depressões, onde o epicarste é retrabalhado pelo fluxo de água superficial (Figuras 22 a, b). Por vezes dão acesso a cavernas com padrão morfológico distinto daquelas que ocorrem na zona de carste poligonal. Na zona de carste com sumidouros associados à rede fluvial, as cavernas apresentam condutos com padrão em rede e pouco volumosos, como na caverna Poço da Pedra, cuja orientação é concordante com as fraturas da rocha encaixante (Figuras 22 c, d).



Figura 21: Mapa morfológico da zona de carste com sumidouros associados à rede fluvial.

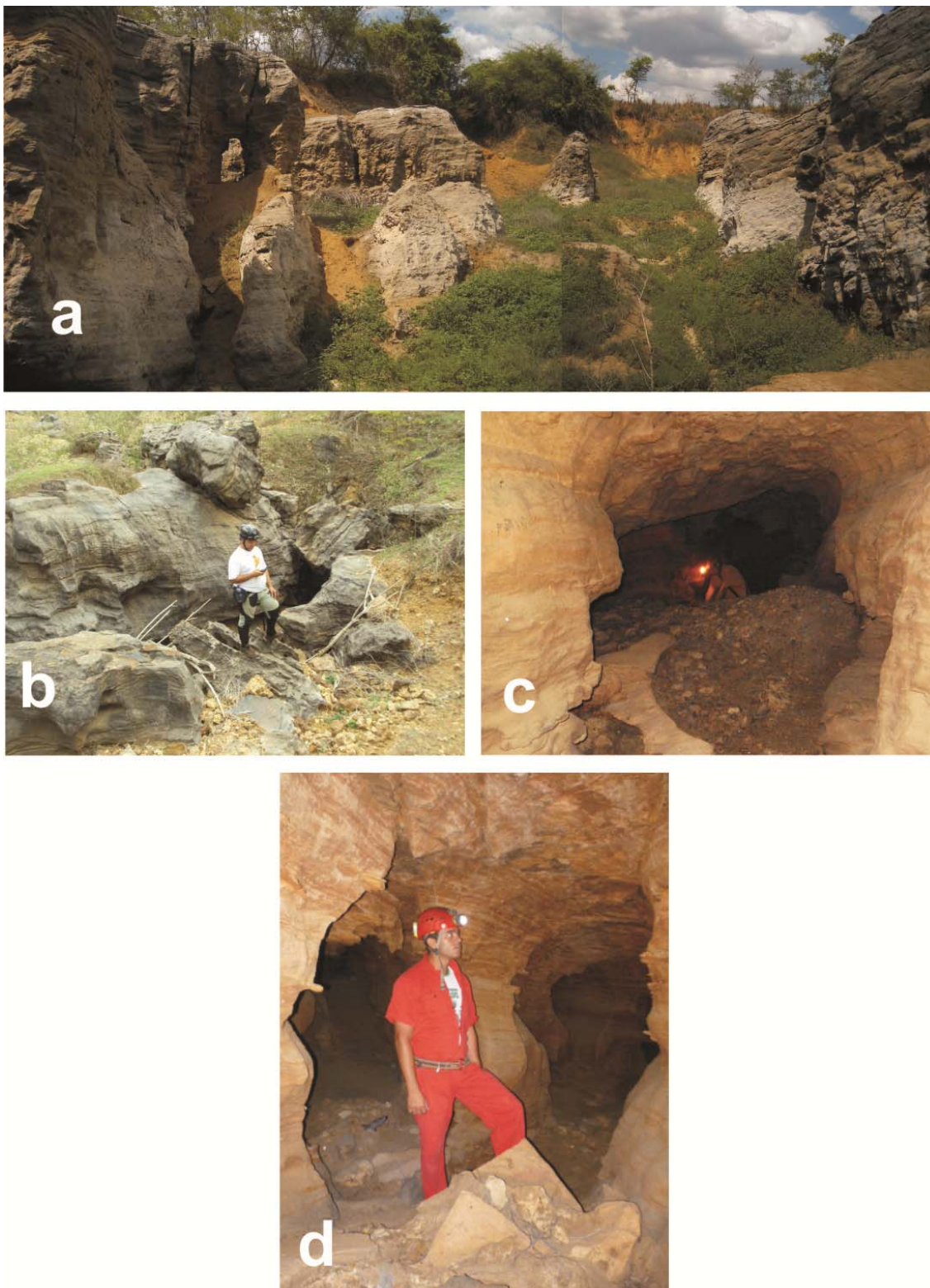


Figura 22: “a” - Sumidouro da Água Branca. Destaque para o epicarste que é retrabalhado e carregado pelo escoamento superficial para o fundo da depressão; “b” - sumidouro em fundo de vale que dá acesso a caverna Poço da Pedra, caracterizando um vale cego; “c” e “d” - seções transversais de condutos na caverna Poço da Pedra. Destaque para os depósitos conglomeráticos e padrão em rede dos condutos.

4.2.3 Zona fluvial

A zona fluvial apresenta drenagens superficiais bem marcadas no relevo que, ao menos em parte, se desenvolvem sobre rochas do Grupo Urucua, em vales formados por processos fluviais normais. É a zona de maior expressão em área e é formada por três drenagens principais, sendo elas o riacho Alegrete, situado mais a Norte, a vereda Pederneiras de Limoeiro, na porção central, e o marimbu São João, localizado mais a Sul, que convergem na região próxima à cidade de Baianópolis, onde encontram com o rio Tamandú (Figura 23). Apesar de bem desenvolvidas, essas drenagens não apresentam fluxo de água perene.

Pelo alinhamento com as drenagens da zona de carste com sumidouros associados à rede fluvial e pelo sentido de fluxo predominante para W, provavelmente a zona fluvial atua como uma área de recarga alogênica para o sistema cárstico do rio João Rodrigues. O fato das drenagens da zona fluvial serem efêmeras também reforça a idéia de que suas águas infiltram no aquífero, caracterizando áreas de recarga.

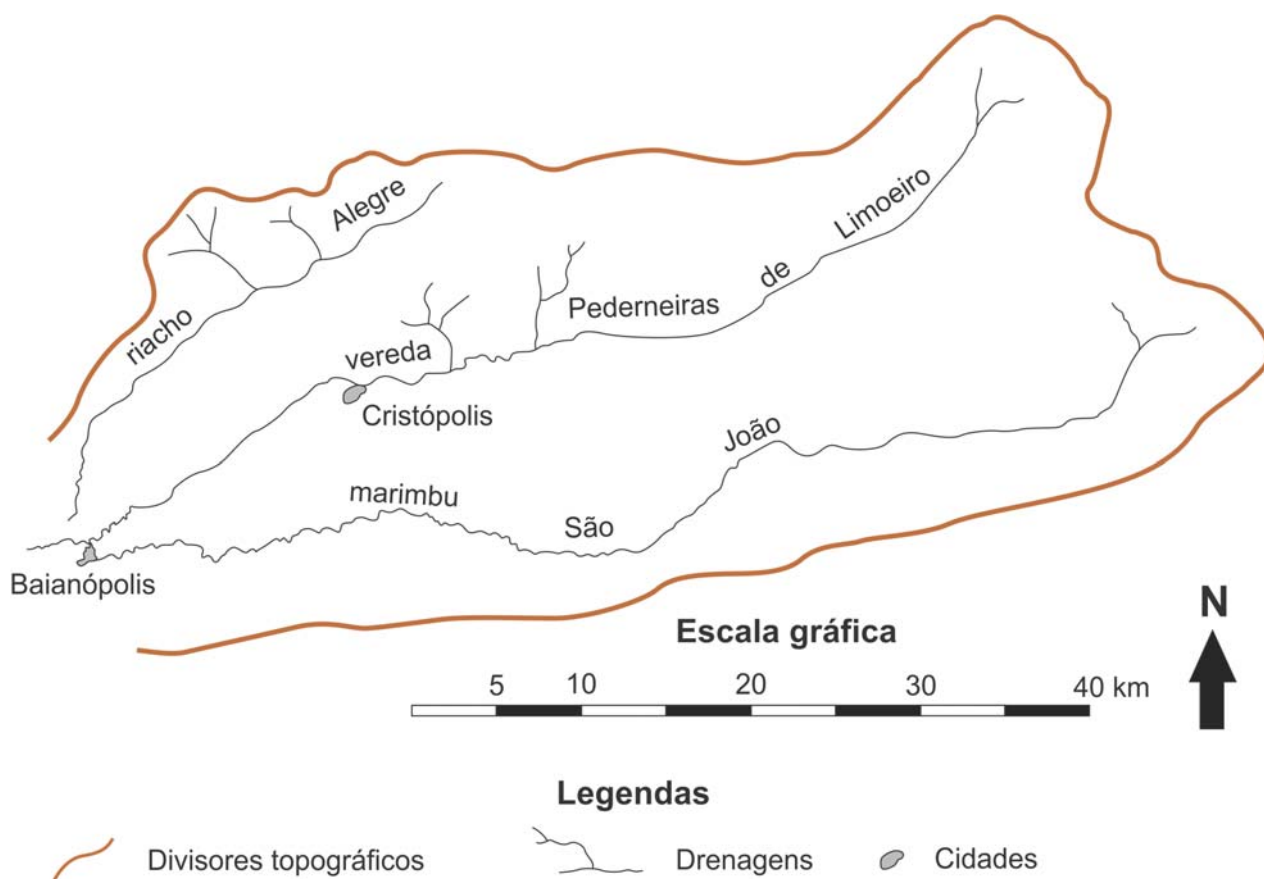


Figura 23: Mapa morfológico da zona fluvial.

5. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Através da demarcação de divisores topográficos e drenagens superficiais, observou-se que o aquífero do sistema cárstico do rio João Rodrigues, possivelmente, se estende por cerca de 100 km, desde sua área de descarga no rio São Desidério, que representa o nível de base local, até uma ampla área de recarga nas cabeceiras de drenagens situadas a Nordeste da cidade de Cristópolis.

Em terrenos não cársticos, os divisores de água podem, de maneira geral, ser diretamente correlacionados aos divisores topográficos. No entanto, em terrenos cársticos, a demarcação de divisores na superfície do relevo

constituí apenas um critério inicial para a delimitação do aquífero, pois existem diversos estudos de casos que mostram que os divisores em ambiente vadoso e freático diferem dos divisores topográficos (Ford & Williams, 1996).

Os divisores topográficos que delimitam as bacias superficiais do sistema cárstico do rio João Rodrigues, como demonstrado na Figura 16, auxiliam na compreensão de sua extensão e área de ocorrência de suas principais áreas de recarga e descarga. No entanto, esses divisores não podem ser considerados como único critério na determinação dos limites do aquífero cárstico, sendo que estudos hidrológicos também devem ser levados em conta.

As seções geológicas levantadas (Figuras 5 e 6) e descrições petrográficas demonstraram que os sedimentos cretáceos do Grupo Urucua apresentam poros parcialmente preenchidos por cimento limonítico e de calcedônia, estando sobrepostos aos metacalcários da Formação São Desidério. Dessa forma, antes mesmo de a Formação São Desidério ter sido exposta à superfície por erosão, as águas meteóricas que chegavam aos sedimentos do Grupo Urucua tinham condições de infiltrar e chegar até o maciço carbonático, possibilitando a formação de um carste subjacente.

A recarga do aquífero em áreas onde aflora o Grupo Urucua é provavelmente difusa, sendo que os limites laterais do aquífero nessas regiões podem se estender além das áreas demarcadas pelos divisores topográficos.

As cavernas que ocorrem na zona de carste poligonal, com condutos que apresentam padrão linear e são mais volumosos, sugerem uma gênese por processos fluviais, enquanto que as cavernas da zona de carste com sumidouros associados à rede fluvial, com condutos que apresentam padrão em rede e são menos volumosos, sugerem uma formação por fluxo mais difuso e, provavelmente, em condições freáticas.

6. RECOMENDAÇÕES

Para a demarcação dos limites da unidade de conservação do sistema cárstico do rio João Rodrigues, é muito importante que seja levada em consideração os limites de seu aquífero, que por sua vez comanda a dinâmica e evolução desse sistema.

No presente trabalho foi demonstrado que o referido sistema cárstico possui um aquífero com ampla distribuição lateral, cuja área de recarga ocorre sobre rochas sedimentares do Grupo Urucua, situada a Nordeste de Baianópolis e Cristópolis, assim como nos arredores desses municípios, e cuja descarga ocorre no rio São Desidério, próximo à nascente do Poço do Surubim. Ao todo, esse aquífero cárstico possui pouco mais de 100 km de extensão ao longo de seu eixo maior, de direção NE-SW.

Foi também demonstrado que as três zonas morfológicas propostas para o sistema cárstico do rio João Rodrigues participam ativamente na dinâmica atual do mesmo. Dessa forma, os limites geográficos dessas zonas podem ser utilizados, de forma preliminar, como os limites do aquífero do sistema cárstico do rio João Rodrigues. Como já foi discutido no capítulo anterior, a delimitação mais precisa do aquífero não depende apenas dos estudos geomorfológicos, mas também de estudos hidrológicos detalhados.

Um fator que deve nortear, de forma imprescindível, a definição dos limites da Unidade de Conservação de Proteção Integral do Sistema Cárstico do Rio João Rodrigues, é a relação entre a ocupação humana do local e o este sistema. Com base no mapa da Figura 16, é possível observar que a zona de carste com sumidouros associados à rede fluvial, assim como a zona fluvial, abrangem duas áreas urbanas importantes, correspondentes às cidades de Baianópolis e Cristópolis. Diversas outras comunidades, vilas e povoados, com áreas de ocupação menores, também estão situadas ao longo do eixo longitudinal do sistema cárstico do rio João Rodrigues. Dentro desse sistema cárstico, a área que encontra-se menos afetada pela ação antrópica, ou seja,

que apresenta menores ocupação humana e impactos sobre os meios tanto bióticos como abióticos, é a zona de carste poligonal.

Portanto, os estudos aqui apresentados apontam para dois fatores principais que devem ser considerados na demarcação da unidade de conservação em discussão, que são a distribuição e dinâmica do aquífero cárstico e a sua relação com a ocupação humana e o uso dos recursos naturais. Frente a essas duas condicionantes, nossa proposta é de que a unidade de conservação do sistema cárstico do rio João Rodrigues seja dividida em dois grupos, sendo eles: unidade de proteção integral e unidade de uso sustentável, ambos previstos no SNUC (Sistema Nacional de Unidades de Conservação) (Pereira, *et al.* 2008).

Para a área que abrange a zona de carste poligonal, propomos que seja instaurada uma unidade de proteção integral, a qual tem como objetivo a preservação da natureza, evitando tanto quanto possível a interferência humana, pois constitui a porção do sistema cárstico que melhor preserva suas principais feições geomorfológicas e hidrogeológicas, tais como dolinas, sumidouros, nascentes e cavernas, além de apresentar pouca ocupação humana. Para a zona de carste com sumidouros associados à rede fluvial e para a zona fluvial, propomos a criação de uma unidade de uso sustentável, cujo objetivo é compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável dos recursos naturais, pois tratam-se de áreas mais urbanizadas e que apresentam menos feições cársticas, em comparação à zona de carste poligonal.

As cidades e comunidades que estão instaladas ao longo do sistema cárstico do rio João Rodrigues dependem, em muitos casos, exclusivamente da extração da água do aquífero cárstico para seu abastecimento, uma vez que a região é desprovida de rios superficiais perenes. Assim, a retirada de água desse aquífero é essencial para tais comunidades e não deve ser interrompida, enquanto houver essa necessidade. No entanto, o bombeamento de um maior volume de água desse aquífero deve ser acompanhado de estudos hidrogeológicos, para se evitar problemas geotécnicos relacionados a

dolinamentos e subsidência, assim como falta de água para abastecimento das comunidades.

Consideramos que as propostas aqui apresentadas atendem tanto ao propósito da preservação do sistema cárstico do rio João Rodrigues, pela preservação de suas feições geomorfológicas e hidrogeológicas mais importantes e pelo uso sustentável de seus recursos, mesmo em áreas urbanizadas, como também respeitam a presença e as necessidades das comunidades presentes na área de ocorrência desse sistema.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMPOS, JOSÉ ELOI GUIMARÃES; DARDENNE, MARCEL AUGUSTE. Origem e Evolução Tectônica da Bacia Sanfranciscana. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, Brasil, v. 27, n. 3, p. 283 – 294, 1997a.

CAMPOS, JOSÉ ELOI GUIMARÃES; DARDENNE, MARCEL AUGUSTE. Estratigrafia e Sedimentação da Bacia Sanfranciscana: uma revisão. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, Brasil. v. 27, n. 3, p. 269 – 282, 1997b.

DALTON DE SOUZA, J.; KOSIN, M.; MELO, R. C.; SANTOS, R. A.; TEIXEIRA, L. R.; SAMPAIO, A. R.; GUIMARÃES, J. T.; VIEIRA BENTO, R.; BORGES, V. P.; MARTINS, A. A. M.; ARCANJO, J. B.; LOUREIRO, H. S. C.; ANGELIM, L. A. A. 2003. Mapa geológico do estado da Bahia – Escala 1:1.000.000. Salvador: CPRM, 2003. Versão 1.1. Programas Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo e Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB). Convênio de Cooperação e Apoio Técnico-Científico CBPM-CPRM.

EGYDIO DA SILVA, M.; KARMANN, I.; TROMPETTE, R. Litoestratigrafia do Supergrupo Espinhaço e Grupo Bambuí no noroeste do estado da Bahia. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 141 – 152, 1989.

FORD, D.; WILLIAMS, P. *Karst Geomorphology and Hydrology*. Londres: Chapman and Hall, 1996. 601 p.

IGLESIAS, M.; UHLEIN, A. Estratigrafia do Grupo Bambuí e coberturas fanerozóicas no vale do rio São Francisco, norte de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 39, n. 2, p. 256 - 266, 2009.

KARMANN, I. Evolução e dinâmica atual do sistema cárstico do alto vale do rio Ribeira de Iguape, sudeste do estado de São Paulo. 1994. 228 f. Tese de Doutorado – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

PARIZI, A. C. Abufelando em São Desidério. *O Carste*, Belo Horizonte, Brasil, v. 17, n. 1, p. 22 – 29, 2005.

PEREIRA, R. F.; BRILHA, J.; MARTINEZ, J. E. Proposta de enquadramento da geoconservação na legislação ambiental brasileira. In: MEMÓRIAS E NOTÍCIAS, 2008, Coimbra, Portugal. *Conferência Internacional: As Geociências no Desenvolvimento das Comunidades Lusófanos*, n. 3, p. 491 – 494.

RUBBIOLI, E. L. A Garganta do Bacupari e o sistema do João Rodrigues. *O Carste*, Belo Horizonte, Brasil, v. 16, n. 1, p. 13 – 17, 2004.

SPIGOLON, A. L.; ALVARENGA, C. J. S. Fácies e elementos arquiteturais resultantes de mudanças climáticas em um ambiente desértico: Grupo Urucuia (Neocretáceo), Bacia Sanfranciscana. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 32, n. 4, p. 579 – 586, 2002.