



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL



INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS IBAMA
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS – DIREC
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS – CECAV
PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO - PNUD



Produto 02 do TERMO DE REFERÊNCIA Nº 119701

ANDRÉ LUIZ DE MOURA CADAMURO
Consultor técnico, Geólogo - CECAV/IBAMA
CONTRATO Nº 2006/000372

**RELATÓRIO DOS ESTUDOS DAS ATIVIDADES ANTRÓPICAS POTENCIALMENTE
CONTAMINANTES DO SISTEMA CÁRSTICO E PONTOS DE PRESSÃO NO AMBIENTE
ESPELEOLÓGICO NA REGIÃO DA ÁREA DA BACIA DO SÃO FRANCISCO**

Novembro de 2006



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175 - 1 -/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

RELATÓRIO DOS ESTUDOS DAS ATIVIDADES ANTRÓPICAS POTENCIALMENTE CONTAMINANTES DO SISTEMA CÁRSTICO E PONTOS DE PRESSÃO NO AMBIENTE ESPELEOLÓGICO NA REGIÃO DA ÁREA DA BACIA DO SÃO FRANCISCO

INTRODUÇÃO

Na bacia hidrográfica do rio São Francisco, as regiões do Alto e do Médio São Francisco são responsáveis por aproximadamente 88% da disponibilidade hídrica do rio, sendo clara a importância dessas regiões na manutenção das vazões no "velho Chico". De toda a vazão do rio, o percentual de 42,9% é atribuído à região do Alto São Francisco (Christofidis, 2001). Nesta região, aproximadamente 60% das rochas constituintes do arcabouço geológico regional são sedimentos pelito-carbonatados de idade neoproterozóica atribuídos ao Grupo Bambuí, 30% são rochas arqueanas constituintes do cráton do São Francisco e 10% são rochas sedimentares e rochas vulcânicas fanerozóicas. Devido a extensa área de ocorrência de carbonatos, uma grande parcela da disponibilidade hídrica superficial do Alto São Francisco é mantida às expensas de águas subterrâneas provenientes dos sistemas aquíferos cársticos desenvolvidos nos carbonatos do Grupo Bambuí.

Os aquíferos e os relevos cársticos da região do Alto São Francisco, cujas melhores exposições ocorrem nos municípios mineiros de Pains, Arcos, Dorisópolis e Iguatama, constituem aquilo que o meio acadêmico tem designado de Distrito Cárstico de Arcos - Pains – Dorisópolis, na Província Cárstica Bambuí, e recentemente o meio espeleológico vem chamando de Carste Arcos, Pains, Dorisópolis e Iguatama, ou simplesmente Carste APDI.

Do ponto de vista hidrogeológico considera-se como Sistema Aquífero Cárstico todo o pacote de rochas carbonáticas, incluindo aspectos exógenos e endógenos, capaz, simultaneamente, de armazenar e transmitir a água, dentro do quadro do ciclo hidrológico. Sob esse aspecto a região de Arcos-Pains-Dorisópolis-Iguatama, com a ocorrência de espessos pacotes de rochas carbonáticas neoproterozóicas do Grupo Bambuí, atribuídas principalmente a Formação Sete Lagoas, figura como uma das mais expressivas regiões de aquíferos cársticos e de maior potencial hidrogeológico da porção mineira da bacia hidrográfica do Rio São Francisco. As feições e sistemas espeleológicos são inerentes ao Sistema Aquífero Cárstico, o que também transfere toda essa expressividade e potencial para a área da espeleologia.

Em termos de recursos naturais, o expressivo pacote de rochas carbonáticas na região de Arcos-Pains-Dorisópolis-Iguatama é tido como importante fonte de recurso mineral de elevado potencial econômico na produção de cimento, cal e corretivo de solo. Atualmente, a cidade de Pains tem sido considerada na região como capital internacional do calcário. Realmente, a área do Carste APDI apresenta uma gama bem diversificada de recursos naturais. Os variados tipos de solos favoráveis à agricultura, a variada e expressiva paisagem cárstica, a abundante disponibilidade hidrogeológica, o rico e amplo acervo espeleológico, a vegetação de cerrado e suas específicas variações, que caracterizam a "Mata de Pains", a exploração e a



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175 - 2 -/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

indústria do calcário são exemplos nítidos de um imenso potencial aproveitado de forma ainda irracional e predatória, que tem gerado notáveis discrepâncias sócio-econômicas intermunicipais e significativos conflitos sócio-ambientais. Muitos desses recursos naturais ainda são desconhecidos, ou mesmo subutilizados, o que maximiza a degradação ambiental e minimiza o desenvolvimento social e econômico sustentável da região.

O não reconhecimento desse elevado potencial, quanto aos recursos naturais, e a prática indiscriminada de atividades degradantes, como a mineração clandestina e pecuária, em detrimento de atividades sustentáveis, como o turismo ambiental, faz com que a região apresente vários casos de pressão antrópica sobre o sistema aquífero cárstico e, conseqüentemente, sobre importantes sistemas espeleológicos.

A presença e atuação do IBAMA, como instituição fiscalizadora, tem coibido significativamente a pressão antrópica sobre o Carste APDI, porém, tem também causado um impasse entre a questão sócio-econômica e a ambiental. Esse impasse tem aumentado a tensão econômico-ambiental na região e trazido novos questionamentos técnicos a respeito da valoração e da supressão de cavernas, demandando soluções em curto prazo, até então não encontradas pelo IBAMA/CECAV para a região.

O objetivo deste produto, além de situar a região de interesse dentro do contexto geológico e hidrogeológico regional, é levantar as principais atividades antrópicas impactantes do Sistema Aquífero Cárstico na região de Pains – MG, identificando os principais pontos de pressão antrópica sobre ambientes espeleológicos. Após uma primeira viagem de reconhecimento à área e a troca de informações técnicas com o núcleo do CECAV, atuante na referida área, este produto também define uma área de abordagem dentro do sistema cárstico e através de levantamentos bibliográficos, mapas temáticos, fotografias aéreas e imagens de satélite, seleciona áreas específicas de pressão antrópica, que servirão como estudo de caso para subsidiar o IBAMA/CECAV na tomada de decisões relacionadas aos impasses ambientais no carste de Pains-MG.



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175 - 3 -/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A Província Cárstica Arcos-Pains-Dorisópolis, ou Carste APDI, situa-se no contexto tectônico e estrutural da zona externa da Faixa de Dobramentos Brasília (Fuck, 1994), incluindo as coberturas sedimentares fanerozóica e neoproterozóica do sul do Cráton São Francisco (Pimentel *et al*, 2004). Essa região, limítrofe entre o cráton e o cinturão brasileiro, abrange a parte sul da Bacia Sanfranciscana ou Bacia Sedimentar do São Francisco (Figura 1).

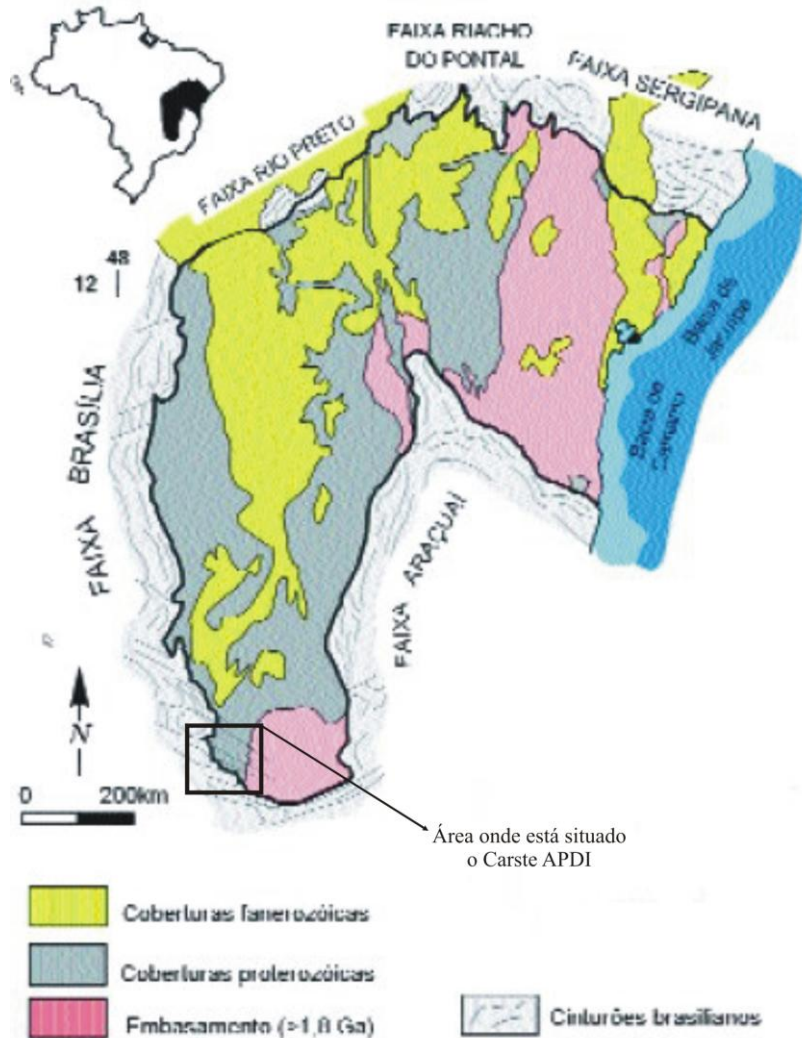


Figura 1 – Mapa geológico simplificado do Cráton do São Francisco mostrando a área onde está localizado o Carste Arcos-Pains-Dorisópolis-Iguatama (APDI) e os cinturões orogênicos do Ciclo Brasileiro (modificado de Alkmim 2004).



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175 - 4 -/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

Dentre as coberturas proterozóicas, notadamente, as mais expressivas e extensas do Cráton do São Francisco são as coberturas carbonáticas do Supergrupo São Francisco, destacando-se: os grupos Bambuí, Una e Vazante. As seqüências carbonáticas dos grupos Bambuí e Vazante foram sedimentadas na Bacia Sanfranciscana e as seqüências carbonáticas do Grupo Una foram sedimentadas nas bacias de Irecê e Una-Utinga (Figura 2). O Carste APDI foi formado no pacote de rochas pelito-carbonatadas atribuídas à extensa plataforma carbonática do Grupo Bambuí, formada durante o Neoproterozóico.

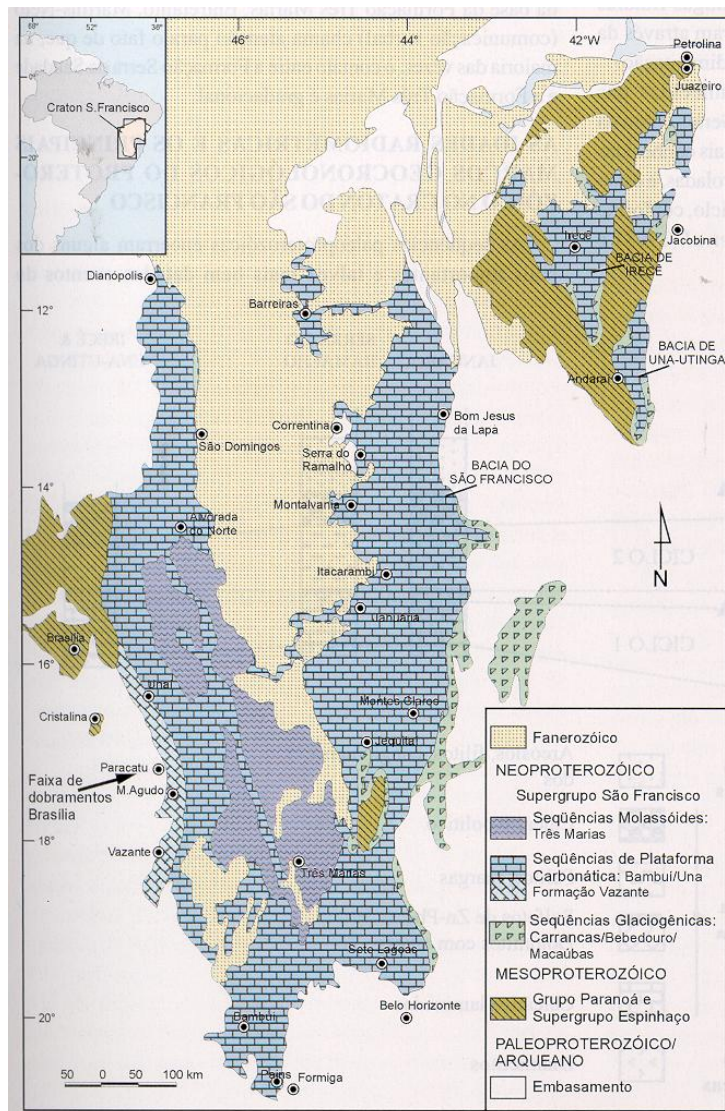


Figura 2 – Bacia sedimentar Sanfranciscana e suas principais coberturas sedimentares com localização da cidade de Pains (modificado de Misi, 2001).

O Grupo Bambuí tem sido pesquisado por diversos autores em âmbito regional, tendo seu empilhamento estratigráfico sido proposto primeiramente por Costa & Branco (1961). Entretanto, a proposta apresentada por Dardenne (1978) é atualmente a mais aceita e utilizada pela comunidade científica.



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
 INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
 DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
 CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
 SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
 Telefones: (61) 3316.1175 - 5 -/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

Essa proposta apresenta correlações litoestratigráficas desse Grupo que consiste de seis formações individualizadas, reconhecíveis na escala do Brasil Central, especialmente nos estados de Minas Gerais, Bahia, Goiás e Mato Grosso. Da base para o topo são reconhecidas as formações Jequitaiá, Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré, Serra da Saudade e Três Marias (Figura 3).

GRUPO BAMBUÍ		Branco e Costa (1961)		Dardenne (1978)	
		Membros	Formações	Formações	
	Siltito e folhelhos verde, carbonático	Serra da Saudade	Rio Paraopeba	Três Marias	
	Siltitos verdes cinzentados Lentes de arcóseos amarronzados Siltitos e folhelhos marrom acinzentados	Três Marias		Serra da Saudade	
	Calcário dolomito com intraclastos Oolíticos Siltitos e folhelhos preto acinzentados	Lagoa do Jacaré		Lagoa do Jacaré	
	Siltitos e folhelhos Folhelho cinza/filitos Camadas e lentes de calcários Siltitos subordinados	Serra de Santa Helena		Serra de Santa Helena	
	Mármore com quartzo-clorita, filito Calcários finamente laminados preto acinzentados Mármore com quartzo e clorita Dolomito e filitos	Carrancas		Sete Lagoas	Sete Lagoas

Figura 3 – Coluna estratigráfica do Grupo Bambuí. Modificado de Dardenne (1978).



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175 - 6 -/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

A Formação Jequitai é a unidade basal do Grupo Bambuí. Expressa um episódio glacial ocorrido no Neoproterozóico numa larga área do Cráton São Francisco. Consiste de diamictitos com seixos de calcários, dolomitos, quartzitos, gnaisses e diversos tipos de granitóides em uma matriz pelito-carbonatada, de coloração cinza esverdeada (Dardenne 1978, Dardenne 2000). Essa unidade repousa em discordância sobre os metassedimentos dos grupos Araí e Paranoá, da Faixa Brasília, e o embasamento cristalino (Dardenne 1978; Dardenne et al. 1978; Dardenne 2000).

Segundo Dardenne (2000), a associação sedimentar que segue a glaciação Jequitai representa 3 megaciclos regressivos, sendo que cada megaciclo inicia por uma rápida transgressão marinha, de extensão regional, associada com uma rápida subsidência na bacia, descritos a seguir:

O megaciclo I que se representa pela Formação Sete Lagoas consiste de sedimentos pelílicos-carbonatados, com granulação mais grossa em direção ao topo, com pelitos e calcilito cinza escuro a preto na base, passando para calcário e dolomito no topo. Dardenne (1978) descreveu uma unidade com alternância de calcários e dolomitos, constituída de lentes de variadas dimensões numa seqüência margosa e pelítica.

O megaciclo II inclui as formações Serra de Santa Helena e Lagoa do Jacaré, e caracteriza-se por uma rápida e generalizada subsidência da bacia, seguida de uma sedimentação em uma plataforma dominada por tempestades e correntes de maré. A Formação Serra de Santa Helena, essencialmente pelítica, compõe-se de folhelhos e siltitos, cinza a cinza esverdeados. Representa uma camada guia na estratigrafia do grupo Bambuí, intercalando-se entre dois pacotes carbonatados Dardenne (1978). A Formação Lagoa do Jacaré caracteriza-se pela alternância de calcários oolíticos e pisolíticos, cinza escuros e fétidos.

O megaciclo III é representado pelas formações Serra da Saudade e Três Marias. A primeira consiste de folhelhos e argilitos verdes que passam progressivamente a siltitos feldspáticos ou arcoseanos em direção ao topo. A Formação Três Marias constitui-se de siltitos e arcóseos verde escuros.

A idade do Grupo Bambuí apesar de ter sido pesquisada por diversos autores ainda é bastante discutida. Dardenne (2000) apresenta um breve histórico das publicações relacionadas à datação do Bambuí, onde a maioria converge para uma idade da ordem de 600 Ma.

Considerando o arcabouço estrutural da Bacia Sanfranciscana, que estruturalmente é subdividida em três compartimentos: oeste, central e leste; o Carste APDI encontra-se na porção sul do compartimento oeste, o qual se distingue pela ausência de metamorfismo e de clivagem nos carbonatos do Grupo Bambuí. Outras características importantes da porção sul do compartimento oeste da Bacia Sanfranciscana são: dobras e falhas de empurrões rotacionadas por sistemas transpressivos sinistrais, vários conjuntos de juntas, queda progressiva da magnitude da deformação para leste e ocorrência de zonas transcorrentes, que rotacionaram as estruturas, eliminando a vergência para leste (Alkmim e Marstins-Neto, 2001).

Na porção sul do compartimento oeste, as dobras e falhas orientam-se segundo a direção NNE – SSW, com vergência para leste, tendo como anteparo o embasamento cratônico. Na área do Carste APDI predominam falhas transcorrentes sinistrais de direção N60W, que, estendendo-se desde a Faixa Brasília, transpassa os sedimentos pelito-carbonatados até alcançar o sudeste da área, afetando o embasamento cratônico (Muzzi



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175 - 7 -/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

Magalhães, 1989). Essas falhas ocorreram tardiamente no Evento Brasileiro de deformação, uma vez que rotacionaram no sentido anti-horário as dobras e falhas pretéritas, inicialmente orientadas na direção NNE-SSW (Muzzi Magalhães, 1989). Dentre estas falhas transcorrentes, no Carste APDI, destaca-se a Zona de Falhamentos Dorisópolis – Pains.

Nessa região o Arco do Alto Paranaíba, estrutura consensualmente aceita como um alto de embasamento expõe rochas proterozóicas e separa as bacias sedimentares Sanfranciscana e do Paraná. Essa feição tectônica-morfológica funcionou como um alto desde os tempos mesoproterozóicos (Campos & Dardenne 1997b) e funciona como uma importante feição tectônica na região, condicionando não apenas uma separação geológica, mas também a divisão hidrográfica da Bacia do São Francisco e do Paraná. O Arco do Alto Paranaíba é a estrutura mais proeminente da porção sul do compartimento oeste da Bacia Sanfranciscana e tendo sido superimposta à porção sul da Faixa Brasília, delimita a bacia sedimentar a sudoeste.

O soerguimento do Alto Paranaíba deu-se em dois pulsos principais: um no Cretáceo Superior, Era Mesozóica, e outro no Mioceno, Era Cenozóica (Hasui *et al*, 1975). Provavelmente a partir desses momentos no Tempo Geológico, quando da separação hidrográfica da Bacia do rio São Francisco, onde a água subterrânea passou a ser drenada para um nível de base regional situado a norte, que provavelmente pode ter iniciado o processo de formação do Sistema Aquífero Cárstico na região dos municípios de Arcos-Pains-Dorisópolis-Iguatama.



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175 - 8 -/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL

Dentro do contexto da plataforma carbonática do Grupo Bambuí, o Carste Arcos-Pains-Dorisópolis-Iguatama (APDI) se desenvolveu essencialmente nas rochas carbonáticas da Formação Sete Lagoas, que ocorre nos municípios de Pains e Dorisópolis, abrangendo também áreas menores dos municípios de Arcos e Iguatama.

No mapa geológico da área (Figura 4a) se observa a ocorrência predominante de rochas pelito-carbonatadas do Grupo Bambuí – Subgrupo Paraopebas - ocupando a porção central da área. Esse pacote pelito-carbonatado recobre discordantemente, a leste, o embasamento cratônico, constituído essencialmente de rochas graníticas arqueanas, e a oeste encontra-se tectonicamente sotoposto por empurrões de sedimentos do Grupo Canastra, constituído de filitos e quartzitos (Figura 4b).

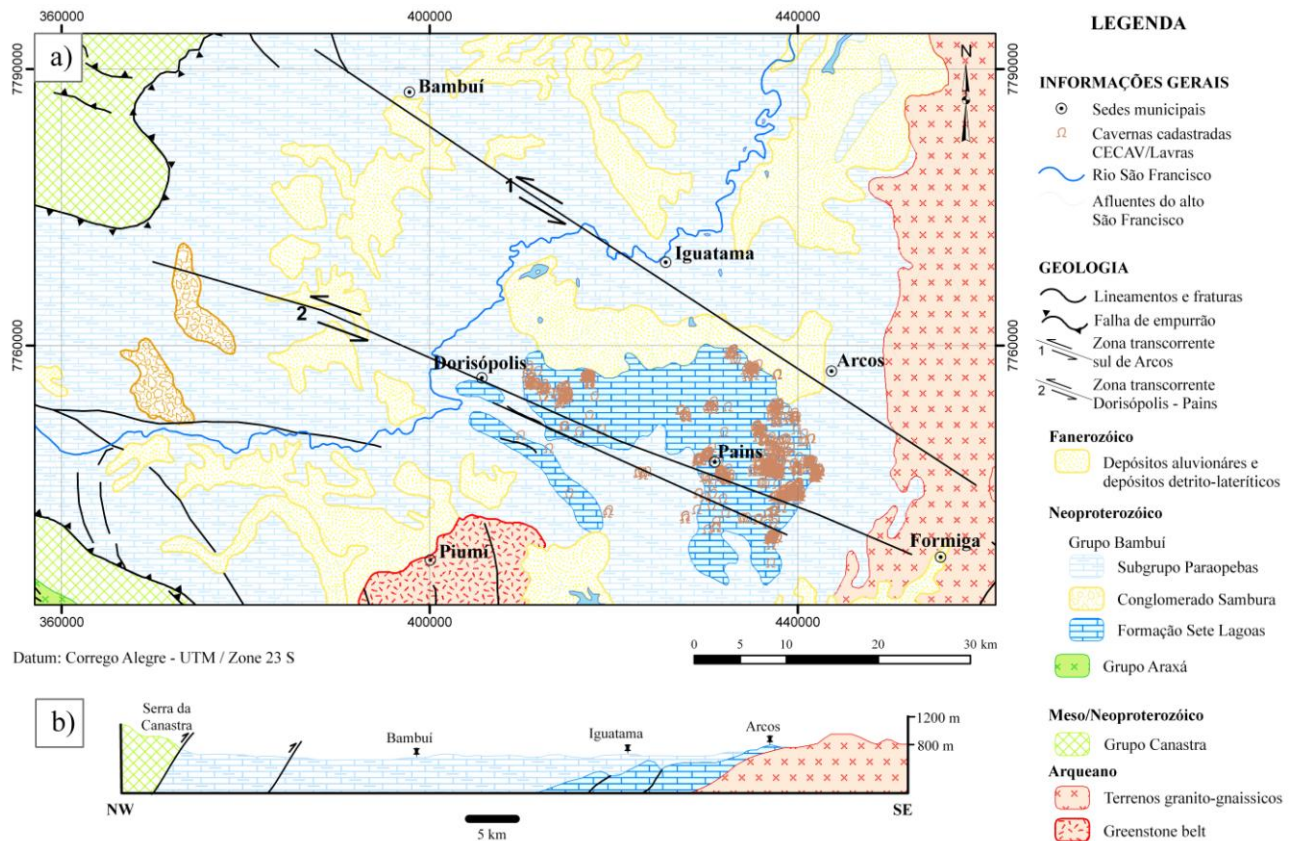


Figura 4 - a) Mapa geológico da área de situação do Carste Arcos-Pains-Dorisópolis-Iguatama (APDI), com destaque para a concentração de cavernas nos carbonatos da Formação Sete Lagoas - Grupo Bambuí; b) Perfil geológico esquemático através da porção sul do compartimento oeste da bacia sedimentar Sanfranciscana, passando pelas cidades de Bambuí e Arcos.

É notável a elevada concentração de cavernas, cadastradas pelo núcleo do CECAV / IBAMA atuante na região, que se situam sobre os carbonatos da Formação Sete Lagoas, denunciando uma maior intensidade do processo de carstificação nessas rochas. São esses carbonatos que constituem o Sistema Aquífero Cárstico do



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175 - 9 -/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

alto rio São Francisco. Secundariamente, o carste também se desenvolveu de forma restrita, devido à grande ocorrência de rochas pelíticas, nas lentes de carbonatos do Subgrupo Paraopebas, que ocorre em maior extensão areal, constituindo assim o Sistema Aquífero Fissurado-Cárstico.

No extremo sul da plataforma Bambuí, a oeste do Cráton São Francisco, pode-se distinguir da base para o topo as seguintes fácies sedimentares (Muzzi Magalhães, 1989): conglomerática, pelítica, carbonática e psamo-pelítica (Figura 5). Sendo que as fácies conglomerática, pelítica e psamo-pelítica são atribuídas ao Subgrupo Paraopebas.

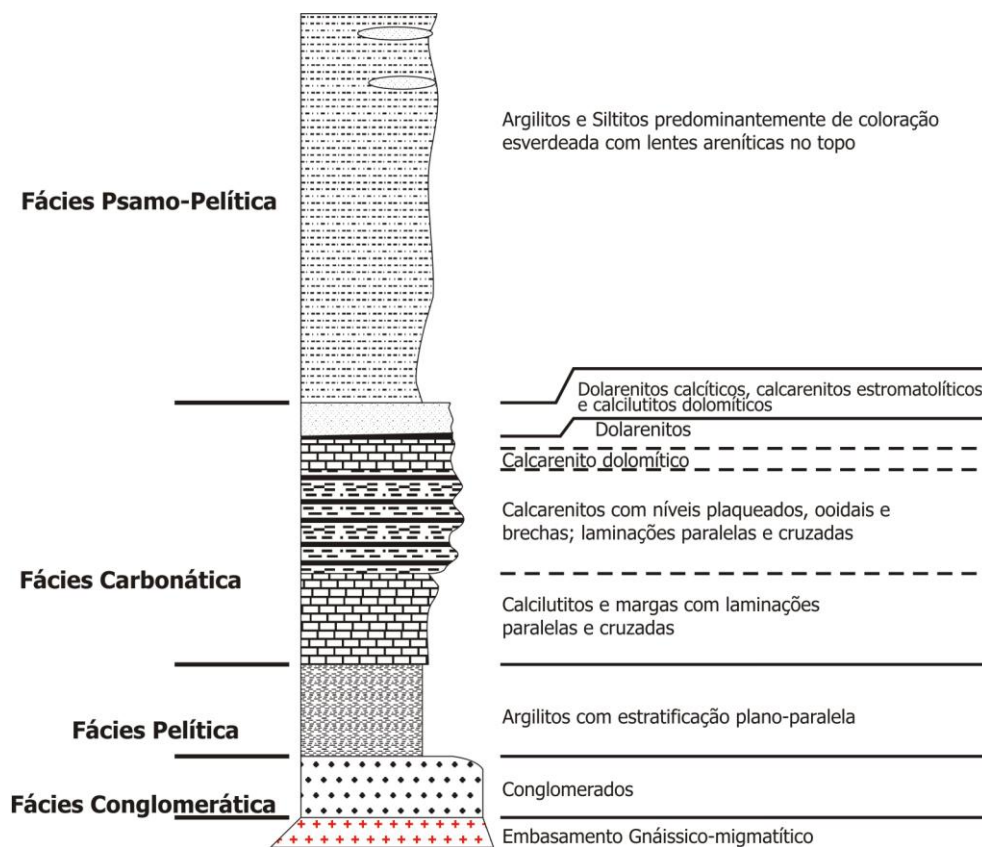


Figura 5 – Coluna estratigráfica faciológica do Grupo Bambuí, na região sudoeste do Cráton São Francisco. Modificado de Muzzi Magalhães (1989).



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175 - 10 -/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

Localmente, a região do Carste APDI é mapeada por Muzzi Magalhães (1989) como uma ampla área de ocorrência de rochas carbonáticas do Grupo Bambuí, que o autor caracteriza como fácies Carbonáticas, subdivididas em seis níveis estratigráficos: calcilutito e marga, calcarenito, de importância econômica expressiva para indústria de cal e cimento, calcarenito dolomítico, dolarenito, calcarenito estromatolítico - dolarenito calcítico – calcirrudito dolomítico e calcarenito – calcilutito. Esse pacote de fácies carbonáticas é correlacionável à Formação Sete Lagoas do Grupo Bambuí, que na base pode ocorrer dolomitos vermelhos, argilosos, sobrepostos por ritmitos de calcilutitos cinza claros, com finas intercalações de argila e no topo dolarenitos e dololutitos cinza claros, maciços ou com laminações estromatolíticas, podendo ocorrer camadas centimétricas intercaladas de calcilutito e calcarenito negro.

Segundo Misi (2001), estudos de quimioestratigrafia de alta resolução também corroboram para o correlacionamento estratigráfico dos carbonatos de Arcos e Pains com a Formação Sete Lagoas, onde valores de razão $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ confirmam a correlação crono-estratigráfica com carbonatos da região próxima à Sete Lagoas.

Em termos estruturais o Carste APDI está posicionado no Domínio Estrutural 1 de Muzzi Magalhães (1989), onde os meta-sedimentos do Grupo Bambuí podem aparecer intensamente deformados, marcados por sistemas de falhas de rejeito direcional. Especificamente na área carstificada da região de Pains, dentro dos limites da bacia hidrográfica do Rio São Miguel, destaca-se a ocorrência de falhas transcorrentes sinistrais, dentro do Sistema de Transcorrências Dorisópolis – Pains, de orientação N60-70W, que deslocam os pacotes de carbonatos, intercalando áreas com camadas horizontais e áreas de dobramentos. Na análise das estruturas realizada por Muzzi Magalhães (1989) na região do Carste APDI, nas proximidades de Pains distinguem-se quatro dessas importantes zonas de transcorrências, que certamente são direções principais de controle do fluxo de água subterrânea e de conseqüentes formações de sistemas espeleológicos. De sul para norte, a primeira zona passa pela cabeceira do Rio São Miguel, outra passa pelo vilarejo Mina, outra pela cidade de Pains e a última, a norte, passa nas proximidades da cidade de Arcos.



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175 - 11 -/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

HIDROGRAFIA E HIDROGEOLOGIA DA BACIA DO RIO SÃO MIGUEL, PAINS - MG

A região cárstica de Pains localiza-se dentro dos limites da bacia hidrográfica do rio São Miguel, que se situa na área de nascente da bacia hidrográfica do rio São Francisco. O rio São Francisco constitui o principal tributário da Região Hidrográfica homônima, que é uma das mais importantes do Brasil, haja vista suas dimensões regionais e importância hidroenergética. Também conhecido como "Rio da Integração Nacional", por ligar as regiões do Sudeste e Centro-Oeste com a região Nordeste, o rio São Francisco nasce na Serra da Canastra, no estado de Minas Gerais, e percorre cerca de 2.700 km até a sua foz na divisa dos estados de Sergipe e Alagoas.

Ao longo de seu percurso, a bacia do rio São Francisco é dividida, da nascente para a foz, em alto, médio, sub-médio e baixo São Francisco. É no alto São Francisco, região que compreende a área drenada desde suas nascentes na Serra da Canastra até próximo da cidade de Pirapora, ainda no estado de Minas Gerais (Figura 6), que se encontra a bacia do rio São Miguel, a qual, portanto, faz parte do contexto hidrográfico das nascentes do rio São Francisco, no divisor hidrográfico regional entre a bacia do rio São Francisco, que drena suas águas para o norte do Brasil, e a bacia do rio Paraná, que drena suas águas para o Sul do país.

O São Miguel é o principal rio que drena a região cárstica de Pains, sendo um importante afluente da margem direita do rio São Francisco. Considerando a porção mineira da bacia do rio São Francisco, o rio São Miguel e todo o Carste APDI encontram-se dentro dos limites da sub-bacia alto São Francisco.

Segundo Patrus *et al* (2001) nessa região a temperatura média anual é da ordem de 18°C, sendo a média das máximas igual a 24°C e a média das mínimas 13°C. A umidade em toda porção mineira do rio São Francisco varia entre 70 e 80%, a precipitação total anual vai de 1250 mm a 1500 mm, sendo o período de maio a agosto aquele com as menores médias totais mensais, podendo chegar a 11,9mm, e entre novembro e janeiro as maiores médias totais mensais, chegando a até 245,7mm. Baseado na classificação de Köppen (*in* Heras 1972) o clima da região é temperado brando com verão ameno e chuvoso e inverno brando e seco.

De acordo com Teixeira & Furtado (2006), predominam regionalmente as áreas de campo secundário (antrópico), seguido pelas áreas de cerrado *sensu lato* (arbóreo-arbustivo), campos gerais, florestas semicaducifólicas ("matas secas"), florestas ciliares e/ou de galeria, ao longo de cursos d'água, e campos úmidos, onde devido ao histórico de ocupação do solo (pecuária extensiva e pequenas culturas). A vegetação nativa encontra-se atualmente restrita aos maciços expostos de calcário e suas circunvizinhanças, sob a forma de uma capoeira de médio porte. Nas áreas de calcário exposto observa-se também a ocorrência da conhecida "Mata de Pains", ou vegetação estacional decidual (mata mesófila), notadamente entre as cotas de 500 e 800 metros (Teixeira & Furtado 2006).



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175 - 12 -/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

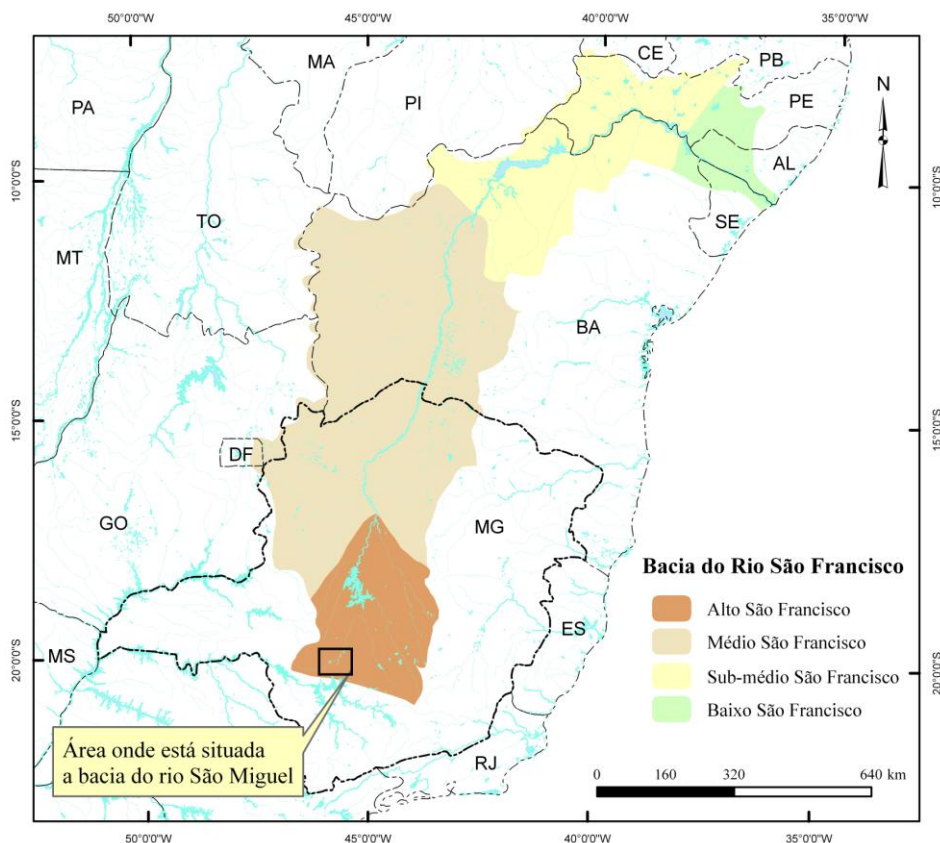


Figura 6 – Mapa de localização regional da bacia hidrográfica do rio São Miguel no contexto do vale do São Francisco.

Os solos na bacia do rio São Miguel são predominantemente solos evoluídos a muito evoluídos, havendo também solos pouco desenvolvidos. Em ordem decrescente de predominância, ocorrem Luvissoles (podzólico vermelho-amarelo eutrófico - classificação anterior a 1999), onde estão associados os campos secundários e matas secas; Latossolos Vermelho-Amarelo e Vermelho, onde estão associados campos secundários, florestas e cerrado arbóreo-arbustivo; Neossolo Litólico (litossolos - classificação anterior a 1999), onde estão associados os campos gerais e os afloramentos de calcário; e Gleissolos (solos hidromórficos - classificação anterior a 1999), onde estão associados os campos úmidos. Todos ocorrendo sobre amplas áreas carstificadas.

A bacia como um todo vem sofrendo uma significativa substituição da vegetação nativa pelo cultivo de milho e, secundariamente café, sendo comum atualmente a exposição dos solos, devido às amplas áreas de pastagem e ao desmatamento para extração mineral.

Com a nascente na cota de 875 m, o rio São Miguel apresenta um padrão dendrítico a subdendrítico de drenagem, extensão de 53 km e área de bacia aproximadamente igual a 830 Km², que atravessa, na direção norte – sul, o município de Pains. Em vários trechos de sua bacia e das de seus afluentes aparecem feições geomorfológicas típicas de regiões cársticas, como sumidouros, surgências, dolinas, uvalas, dentre outras.



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175 - 13 -/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

Baseado nos aspectos litológicos, estruturais e hidrodinâmicos, os sistemas aquíferos da porção mineira do rio São Francisco são individualizados em Sistema Aquífero Granular, Sistema Aquífero Cárstico, Sistema Aquífero Fissurado-Cárstico e Sistema Aquífero Fissurado (Mourão *et al*, 2001). Os aquíferos cársticos são os sistemas de maior eficiência hídrica e maior capacidade de produção da sub-bacia do alto São Francisco. A transmissividade hidráulica, definida como a quantidade de água que pode ser transmitida horizontalmente por toda a espessura saturada do aquífero (Feitosa & Manoel Filho, 2000), varia entre 233m²/dia e 7700m²/dia (CETEC, 1984). No Plano Diretor de Recursos Hídricos das Bacias de Afluentes do Rio São Francisco foi levantado valores extremamente baixos de armazenamento específico, em torno de 66 mm nas sub-bacia que drenam o Sistema Aquífero Cárstico (RURALMINAS, 1999a).

Os baixos valores de armazenamento específico indicam uma elevada conectividade no meio cárstico e uma alta transmissividade da água subterrânea, o que implica num carste muito susceptível a interferências externas, mesmo a longas distâncias, até mesmo em bacias hidrográficas distintas. As possíveis perdas e incrementos de água por transferência de escoamento subterrâneo entre bacias hidrográficas adjacentes também devem ser consideradas. Provavelmente, as zonas de falhas transcorrentes devem ser os principais caminhos de troca de água subterrânea entre as bacias hidrográficas do ribeirão dos Patos e do rio São Miguel, além de caminhos para entrada de água importada de outros sistemas aquíferos, através de fluxos regionais, como os sistemas Fissurado-Cárstico e Fissurado.

Aproximadamente 60% do Sistema Aquífero Cárstico, da sub-bacia do alto São Francisco, encontra-se dentro dos limites da bacia hidrográfica do rio São Miguel. Nesta bacia ocorrem apenas os sistemas aquíferos Granular, Cárstico e Fissurado-Cárstico (Figura 7).



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175 - 14 -/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

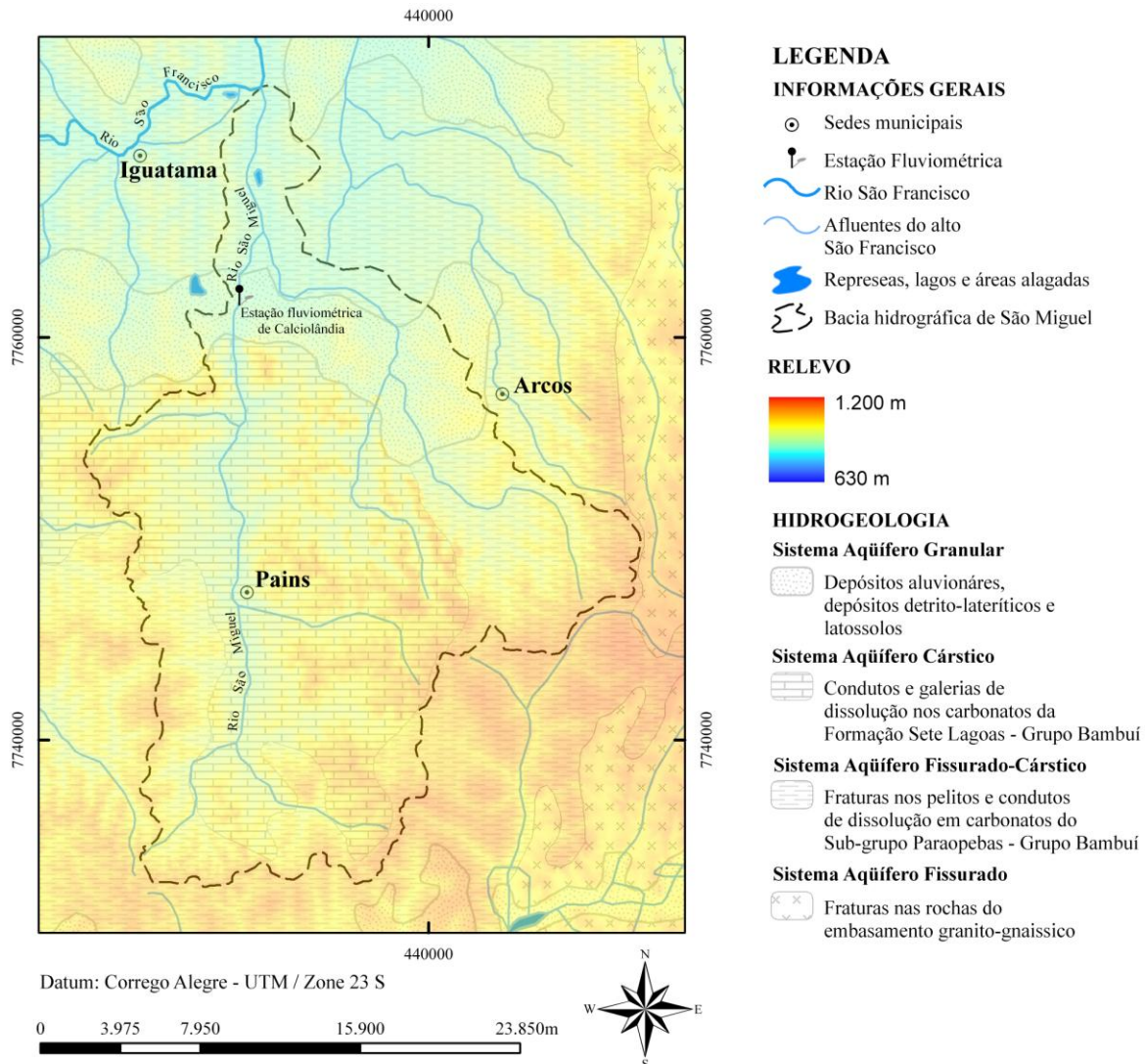


Figura 7 – Esboço hidrogeológico da região sudoeste do Cráton do São Francisco, com destaque para a bacia hidrográfica do rio São Miguel e Sistemas Aquíferos.

Os aquíferos associados à porosidade primária (espaço intergranular) dos depósitos detrito-lateríticos fanerozóicos, que ocorrem a oeste da cidade de Arcos e nas extensas áreas de latossolos da bacia do São Miguel, constituem o Sistema Aquífero Granular, ocupando cerca de 10% da bacia. Os aquíferos associados essencialmente aos grandes condutos e galerias subterrâneas, formadas a partir da dissolução química nas rochas carbonáticas da Formação Sete Lagoas, do Grupo Bambuí, que ocorrem na porção centro-sul da bacia, desde a cabeceira do São Miguel até a latitude da cidade de Arcos, constituem o Sistema Aquífero Cárstico, ocupando cerca de 70% da bacia. E por fim, a água subterrânea associada às fraturas e demais foliações dos pelitos e psamitos do Subgrupo Paraopebas – Grupo Bambuí – intercaladas por ocorrências secundárias de condutos e galerias de dissolução em lentes carbonáticas, que ocorrem na região nordeste e sudoeste da bacia, ocupam cerca de 20% da bacia, e constitui o Sistema Aquífero Fissurado-Carstico.



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175 - 15 -/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

Segundo Menegasse *et al.* (2002), que considerou os dados da estação fluviométrica de Calciolândia, a vazão média anual da bacia do rio São Miguel é de $7,6\text{m}^3/\text{s}$, onde 68,5% desse valor médio corresponde à água subterrânea, sendo essa contribuição maior durante os meses secos, 95% em julho, e menor nos meses chuvosos, 54% em dezembro. Segundo a autora, nos meses de novembro e dezembro verifica-se um súbito acréscimo no escoamento subterrâneo, o que evidencia a elevada eficiência de recarga e alta conectividade das fraturas e condutos das zonas vadosa e saturada do Sistema Aquífero Cárstico, ao longo de todo o carste de Pains. Essa informação, por outro lado, revela um aspecto preocupante do ponto de vista da qualidade da água subterrânea, a eficiência na transmissividade aumenta as possibilidades de uma recarga indesejada e possível contaminação das águas subterrâneas na área cárstica.

No que diz respeito à recarga natural dos aquíferos cársticos, as áreas mais eficientes são aquelas relacionadas aos afloramentos de rocha carbonática, onde grandes exposições da zona vadosa do carste, com ampla ocorrência de lapiás, favorecem a infiltração direta da água de precipitação pluviométrica. As áreas onde há a ocorrência de espessos perfis de solo favorecem a drenança a partir dos aquíferos granulares e servem de reserva reguladora da recarga, ao longo do ano hidrológico, no carste de Pains.

Se considerarmos os dados hidrológicos e climatológicos utilizados por Menegasse *et al.* (2002), para o período de 1975 a 1989, subtraindo-se a evapotranspiração média (834 mm) do valor da precipitação total (1325 mm), observa-se um excedente hídrico de 491 mm. Subtraindo-se a descarga total de água (465 mm), medida na estação fluviométrica de Calciolândia, durante o mesmo período considerado, observa-se uma sobra de 26 mm, que não foi medida na descarga do rio e que pode ter sido transferida para outra bacia hidrográfica adjacente, por meio de condutos e galerias subterrâneas do carste.

Do ponto de vista da disponibilidade e do uso da água subterrânea, no carste de Pains a água subterrânea é essencialmente utilizada para abastecimento público em áreas urbanas, vilas, aglomerados rurais e pequenas residências rurais. Na cidade de Pains, a captação pública de água para consumo humano é feita numa surgência freática no leito do rio São Miguel, com vazão de $80\text{m}^3/\text{h}$, provavelmente associada a fluxo subterrâneo regional.

A água subterrânea também é utilizada na zona rural para dessedentação de animais e pequenas irrigações de culturas de subsistência. As indústrias de cimento e as lavras de calcário, entretanto, são os maiores consumidores de água subterrânea, onde há pelo menos um poço tubular profundo ou cisterna em cada mineradora e local de produção mineral, estando o maior volume de consumo relacionado aos processos de produção da cal hidratada, o resfriamento de caldeiras, a lavagem de equipamentos e máquinas e principalmente a redução da poeira, através da aspersão, nas vias de tráfego das mineradoras. Outro uso que deve ser considerado é o rebaixamento do nível estático para a extração de calcário, o que ainda não é uma prática comum na extração de calcário da região.



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175 - 16 -/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

PRINCIPAIS PONTOS DE INTERFERÊNCIA EXTERNA NO CARSTE DE PAINS – MG

Normalmente, num sistema aquífero cárstico, independentemente das bacias hidrográficas que o atravessam, sempre existe uma organização, um padrão que reflete a estruturação geológica local. Estes padrões de organização cárstica, no entanto, podem variar significativamente de região para região. Na bacia hidrográfica do rio São Miguel, a geologia nos permite a individualização de uma área com padrão hidrogeológico bem característico de circulação hídrica superficial e subterrânea, o compartimento, ou zona cárstica de Pains. Para alcançar os objetivos deste produto, a zona cárstica de Pains, delimitada pela área drenada a montante da estação fluviométrica de Calciolândia, dentro da bacia hidrográfica do rio São Miguel, foi selecionada como área de estudo, em escala macro, dos impactos e pontos de pressão antrópica sobre o Sistema Aquífero Cárstico e sistemas espeleológicos da mesma área (Figura 8).

A área de estudo, que compreende aproximadamente 300 km² de drenagem da bacia do rio São Miguel, é também a mais importante do ponto de vista hidrogeológico e espeleológico da bacia do rio São Miguel. Nessa área pelo menos 80% da geologia é constituída de carbonatos da Formação Sete Lagoas e o fluxo de água é essencialmente subterrâneo, restrito aos condutos e às galerias da zona saturada do carste. Os fluxos subterrâneos obedecem a um gradiente hidráulico regional, que vai de sul para norte, da nascente (cota de 875m) à foz do rio São Miguel (cota de 630m), no rio São Francisco, que é o nível de base regional. Mas, localmente, dentro da zona cárstica de Pains, os fluxos de água subterrânea e superficial obedecem a um gradiente local, cujo nível de base é o próprio rio São Miguel. Em todo o Sistema Aquífero Cárstico da região de Arcos, Pains, Dorisópolis e Iguatama, assim como dentro dos limites da zona cárstica de Pains, os fluxos de água subterrânea são, em geral, controlados pelas fraturas e pelo acamamento sedimentar dos carbonatos, mas principalmente são controlados pelas grandes zonas de falhas transcorrentes descritas por Muzzi Magalhães (1989).

Considerando os fatores que atuam na capacidade de um aquífero e na qualidade da água subterrânea, podem-se separar dois grupos: fatores exógenos e fatores endógenos. Num aquífero cárstico, esses fatores interferem direta e rapidamente nos condutos, galerias e cavernas dos sistemas espeleológicos, nas três zonas do aquífero, quais sejam: cárstica freática, cárstica vadosa e epicarstica.



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175 - 17 -/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

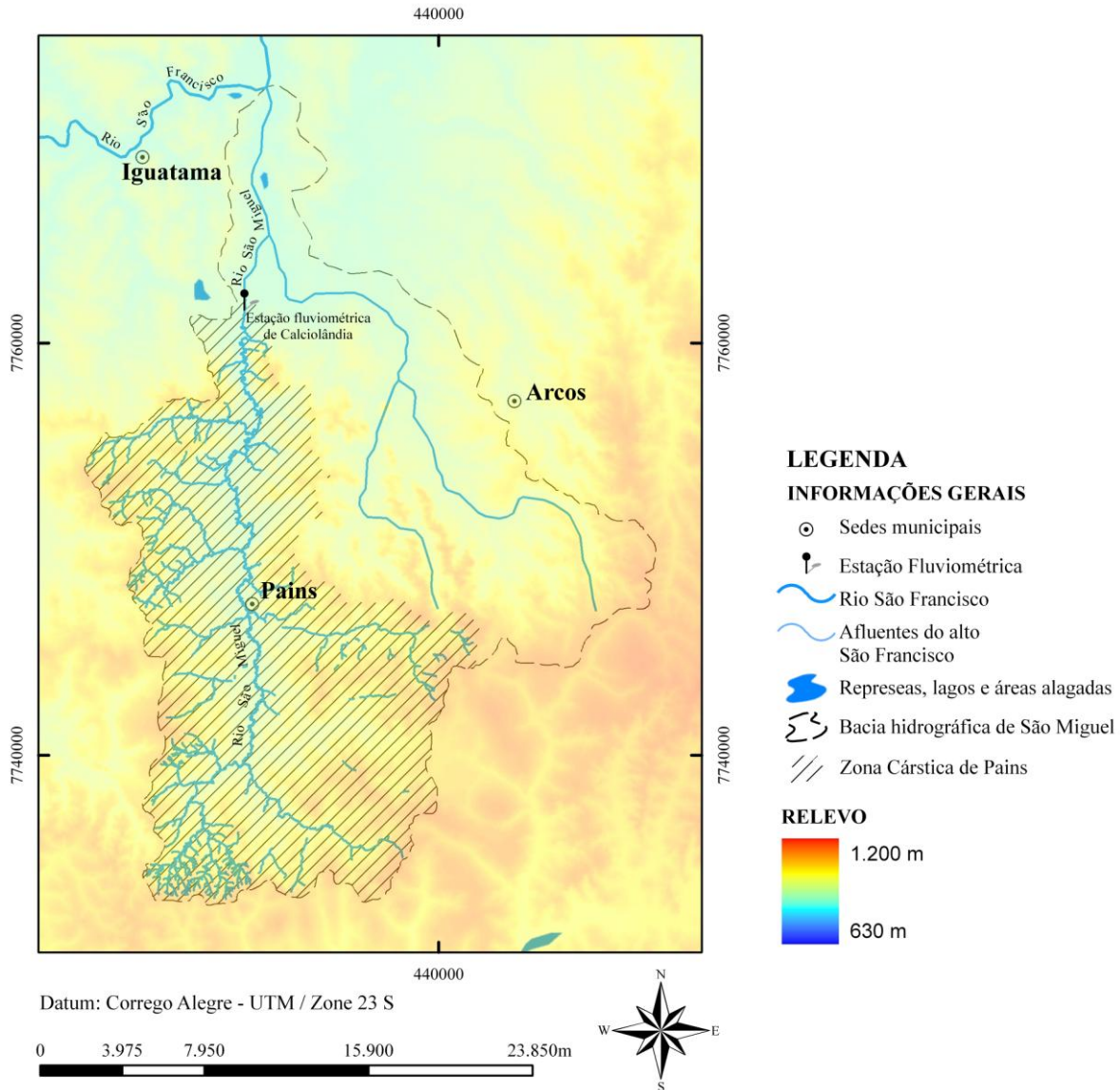


Figura 8 – Compartimento ou Zona Cárstica de Pains, área da bacia hidrográfica do rio São Miguel (Alto São Francisco) delimitada para estudo em escala macro.

A ação antrópica pode ser classificada genericamente como um tipo de fator exógeno de interferência no sistema aquífero. Além do clima, relevo, hidrografia, vegetação e coberturas sedimentares, a ação antrópica é a única interferência exógena que pode agir de forma indireta, ou seja, pode proporcionar alterações no clima, relevo, vegetação, hidrografia e coberturas sedimentares, que, por sua vez, vão causar modificações na circulação, no regime de armazenamento e na quantidade e qualidade da água subterrânea. Quaisquer alterações na quantidade e no regime de circulação, na qualidade e nas condições de sedimentação de um aquífero cárstico implicarão na modificação das condições de dissolução, gênese e evolução, em qualquer zona



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175 - 18 -/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

hídrica do aquífero, dos sistemas espeleológicos, além de alterações no ambiente cavernícola, causando modificações também para fauna.

Na zona cárstica de Pains são perceptíveis as seguintes ações antrópicas:

1. *Extração mineral de calcário;*
2. *Indústria da cal e do cimento;*
3. *Ocupação urbana;*
4. *Ocupação rural, na forma de pequenas vilas ou aglomerados rurais;*
5. *Exploração de água subterrânea, para uso industrial e abastecimento humano;*
6. *Ampliação de áreas agricultáveis e de pastagem, em detrimento da vegetação natural;*
7. *Áreas de resíduos sólidos, cemitérios e demais pontos de disposição de dejetos.*

Todas estas ações antrópicas devem ser consideradas como fatores exógenos de alteração da quantidade e qualidade da água no sistema aquífero cárstico de Pains e, como tal, também são ações que exercem pressão direta e indireta sobre os sistemas espeleológicos, notadamente as cavernas, condutos e galerias que transmitem os fluxos de água subterrânea.

Cada um dos cinco itens acima pode ser subdividido em ações específicas de pressão antrópica sobre o carste. A ocupação urbana, por exemplo, implica numa gama de interferências, como cemitérios, disposição de dejetos e resíduos sólidos (lixo doméstico e/ou hospitalar), postos de combustível, redes coletoras de esgoto, extração para diversos fins de água subterrânea, dentre outras interferências impactantes. Todas elas devem ser consideradas e monitoradas o quanto antes, por menores que sejam as possibilidades e/ou as quantidades de situações, haja vista estar-se tratando de um sistema aquífero cárstico, cuja susceptibilidade às interferências exógenas é significativamente ampliada, devido aos elevados valores de transmissividade e condutividade hidráulica nesses sistemas.

A grande incidência de morros naturalmente expostos de rocha carbonática aliada à elevada qualidade química do calcário da região e o baixo custo de extração mineral da rocha, uma vez que os morros rochosos estão na zona vadosa e acima do nível do solo, têm atraído num primeiro momento a atenção das frentes de lavra, principalmente pequenos grupos clandestinos, mas também, os interesses de grandes grupos do ramo da mineração de calcário para a região.

As alterações no relevo, causadas pela ação antrópica, através da extração mineral do calcário, para abastecer a indústria da cal, do cimento e de corretivo de solos, têm moderada influência na qualidade da água subterrânea e elevada interferência na quantidade da água que circula no aquífero cárstico, interferindo diretamente nas cavernas da região. Com a remoção de amplos maciços expostos, lapiezados, que exercem grande importância na recarga direta da água subterrânea na zona freática, através dos campos de lapiás e da rede de condutos da zona vadosa, há uma inevitável redução da recarga natural, uma vez que as frentes de lavra reduzem a conectividade da porosidade secundária, haja vista a supressão de condutos e galerias da zona vadosa do aquífero. A lavra de maciços rochosos expostos também implica, necessariamente, na remoção do registro espeleológico da evolução cárstica, uma vez que os condutos e galerias da zona vadosa, que contém registrado a



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175 - 19 -/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

gênese e evolução cárstica, são removidos. Outro aspecto de pressão antrópica é a mudança da paisagem, que possui um elevado potencial para o turismo de contemplação.

A remoção da cobertura vegetal e dos solos, para extração mineral em áreas onde o calcário encontra-se recoberto por cobertura de solos e vegetação, tem influência moderada na quantidade e na qualidade da água subterrânea. A retirada da cobertura vegetal modifica a qualidade da água que infiltra no sistema o que pode modificar o poder de corrosão das soluções infiltrantes, reduzindo a dissolução cárstica natural, e alterando a dinâmica de gênese e evolução das cavernas.

A remoção da cobertura de solo, por sua vez, pode acabar com a existência de importantes aquíferos granulares, que fazem a condução lenta da água da chuva para as fraturas nas rochas, aumentando o escoamento superficial em lajes rochosas, aumentando o transporte de sedimentos e obstruindo outros pontos de recarga, como dolinas e até mesmo uvalas, além de aumentar a concentração de sedimentos finos (partículas na fração argila) na água, causando modificações na turbidez da água e a obstrução de condutos e galerias de sistemas espeleológicos.

O bombeamento de água, com objetivo de rebaixar do nível estático, para extração do calcário, apesar de ainda não ser uma prática comum no carste de Pains, pode causar a desestabilização de condutos e galerias, induzindo o conseqüente abatimento dos mesmos, além de secar galerias anteriormente submersas, modificando a direção dos fluxos e a condição de dissolução cárstica. Outro aspecto negativo de grandes rebaixamentos do nível estático é a possível indução à recarga indesejada, como derivados de petróleo e outras fontes pontuais ou difusas existentes na área do cone de rebaixamento.

As ações antrópicas relacionadas à urbanização de áreas têm influência baixa ou moderada na quantidade da água subterrânea, uma vez que a exploração para consumo humano de pequenas populações como em Pains não implica em significativos rebaixamentos dos níveis da água na cidade, mas têm elevada interferência na qualidade da água. Aterros sanitários, cemitérios, matadouros de gado, postos de combustíveis são pontos de interferência que podem causar danos irreversíveis no carste, comprometendo não só a vida na região, a saúde dos moradores da cidade, como também o potencial ecológico e turístico da zona cárstica de Pains, que certamente está relacionado às atividades de banho e recreação nas cavernas com circulação hídrica freática, nas dolinas, lagoas, sumidouros e surgência. A mudança da qualidade da água, não é impactante apenas para quem faz uso do recurso hídrico subterrâneo, mas também para a caverna e o ambiente cavernícola, a modificação da solução química e da condição de dissolução das rochas dentro da caverna certamente interfere na dinâmica de evolução de condutos e na dinâmica da vida dentro da caverna.

Disposição de dejetos urbanos próximos a áreas de influência de dolinas e sumidouros, além das modificações na qualidade da água, podem facilmente proporcionar o transporte de objetos completamente estranhos ao carste, como objetos metálicos, de médio e grande porte (fogões, geladeiras, latas em geral, etc.) e objetos plásticos, que causam significativos impactos visuais, como são frequentemente relatados por mergulhadores de cavernas freáticas em áreas próximas a pontos de acúmulo de resíduos sólidos.



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175 - 20 -/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

As áreas agricultáveis normalmente causam significativos aumentos no carreamento de sedimentos, aumentando a turbidez da água subterrânea, mas causam principalmente modificações na qualidade da água, normalmente aumentando o teor de nitrato devido à utilização de corretivos (N-P-K), além de metais pesados, contidos nos defensivos agrícolas, e demais elementos químicos nocivos à vida.

Todas essas alterações restringem as várias utilizações do carste, tanto sob o ponto de vista da disponibilidade hídrica, quanto em relação ao potencial turístico – ambiental da área. Em relação às cavidades naturais, os principais impactos estão relacionados às modificações na dinâmica hídrica interna e conseqüente precipitação de espeleotemas, dissolução e abertura de condutos, galerias e salões, modificações na gênese e evolução das cavernas, supressão do registro evolutivo do carste na zona vadosa, restrição do uso turístico, como o espeleoturismo, o mergulho e o banho em dolinas e lagoas.

A todas as intervenções antrópicas citadas como atuantes na região do carste APDI deve-se sempre lembrar que o sistema apresentará reações para o restabelecimento de seu equilíbrio natural, por meio de conseqüências qualitativas e quantitativas. As conseqüências quantitativas estão associadas muitas vezes às modificações físicas da paisagem (relevo) e visuais, como aumento da carga de sedimentos carreada pelos rios, o que poderia vir a causar futuramente processos de assoreamento, por exemplo. Quanto às conseqüências qualitativas poder-se-ia citar a alteração na qualidade das águas superficial e subterrânea, haja vista que a toda atividade antrópica está associada uma carga contaminante que se interagem de forma dinâmica ao meio.

Por ser o carste um meio com uma ágil circulação hídrica, e eficientes interações da água superficial com a subterrânea, aumenta-se o grau de vulnerabilidade natural à contaminação do sistema cárstico por fatores exógenos.



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175 - 21 -/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

ÁREAS ESPECÍFICAS DE PRESSÃO ANTRÓPICA PARA ESTUDOS DE CASOS

Com o intuito de fornecer subsídios técnicos, na área de hidrogeologia, ao IBAMA/CECAV para a tomada de decisões relacionadas aos impasses ambientais no carste de Pains-MG, este produto também seleciona algumas áreas específicas, dentro da zona cárstica de Pains, com expressivos problemas relacionados à pressão antrópica sobre o sistema aquífero, que servirão de estudos de caso.

Cada uma dessas áreas específicas, assim como as peculiaridades hidrogeológicas do carste em cada caso serão abordadas nos produtos seguintes (produtos 3 e 4), que buscarão através dos estudos de caso fazer uma avaliação qualitativa das interferências físicas, ou seja, relativas a fatores exógenos que vão influenciar na capacidade hidrogeológica do sistema aquífero e interferências na qualidade da água.

A figura 9 mostra em articulação as áreas de recarga e descarga do Sistema Aquífero Cárstico na zona cárstica de Pains e as principais áreas de pressão antrópica dentro dos limites da zona cárstica de Pains, considerando três grandes categorias de ação antrópica: áreas agricultáveis, áreas de mineração e áreas de solos exposto, ou de atividade não identificada. A figura também mostra as áreas específicas selecionadas para estudos de caso. As áreas selecionadas apresentam um contexto de interferência sobre o carste, que resulta em algumas possibilidades de alterações sobre o meio, relacionadas a seguir:

- **Área: Mineração Saldanha**, caso relacionado à supressão do registro de evolução cárstica.
Prováveis interferências sobre o carste: alterações nas condições de recarga, mudança na circulação hídrica superficial e subterrânea, comprometimento do abastecimento público de água na cidade de Pains e alterações físicas em um dos sistemas espeleológicos mais importantes da região, o sistema da gruta do Éden.
- **Área: Polígono de requerimento da Calcinação Pains**, caso relacionado à extração de calcário em área de recarga localizada do sistema aquífero cárstico na zona de Pains.
Prováveis interferências sobre o carste: mudanças na condição de infiltração e na qualidade da água.
- **Área: Cidade de Pains e vila rural Mina**, casos relacionados à disposição de resíduos sólidos e dejetos (lixos), instalação de cemitérios e a presença de postos de combustíveis.
Prováveis interferências sobre o carste: mudança na qualidade da água e comprometimento do uso da água subterrânea.



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175 - 22 -/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

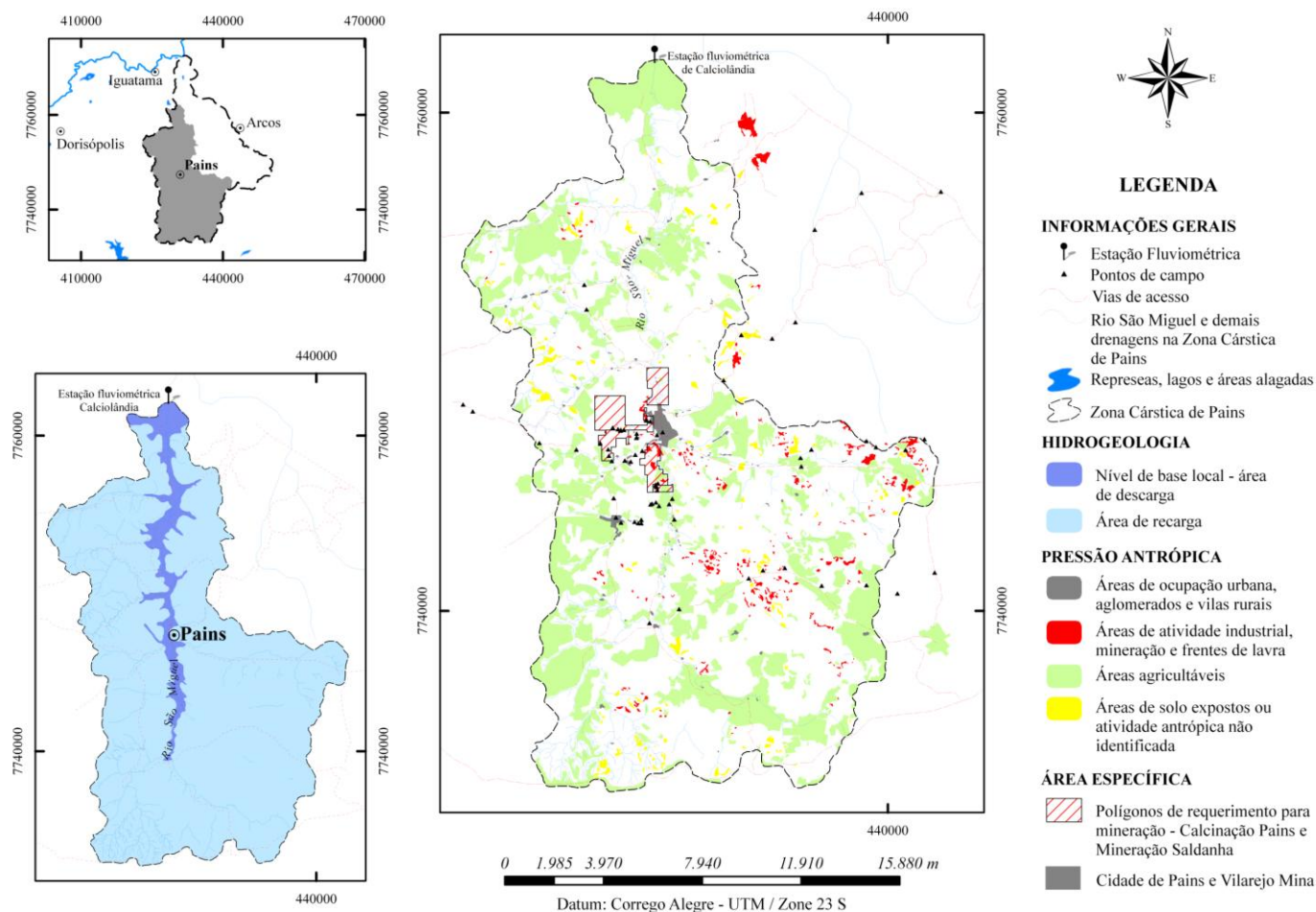


Figura 9 – Mapa de recarga e descarga do Sistema Aquífero Cárstico e principais áreas de pressão antrópica nos limites da zona cárstica de Pains (MG).



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175 - 23 -/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALKMIM, F. F. 2004. O que faz de um cráton um cráton? O Cráton do São Francisco e as Revelações Almeidianas ao Delimitá-lo, p. 17-35. *In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R. & BRITO-NEVES, B. B. (ORG.) 2004. Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida, 647p. Editora Beca, São Paulo.*
- ALKMIM, F. F. & MARSTINS-NETO, M. A. 2001. Bacia Intracratônica do São Francisco: arcabouço estrutural e cenários evolutivos, p. 9-30. *In: PINTO, C.P. & MARTINS-NETO, M. A. (editores) 2001. Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais, 349p. Belo Horizonte: SBG-MG.*
- CAMPOS, J. E. & DARDENNE, M. A. 1997b. Origem e Evolução Tectônica da Bacia Sanfranciscana. *Revista Brasileira de Geociências, 27 (3): 283-294.*
- CETEC- FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. 1984. Estudos Integrados de Recursos Naturais: Bacia do Alto São Francisco e parte Central da Área Mineira da SUDENE, Hidrologia Subterrânea. Belo Horizonte, CETEC, 374P.
- CHRISTOFIDIS, D. 2001. Olhares sobre a Política de Recursos Hídricos no Brasil: O caso da bacia do rio São Francisco. Universidade de Brasília, Centro de Desenvolvimento Sustentável (Tese de Doutorado em Gestão e Política Ambiental), 432p.
- COSTA, M. T. & BRANCO, J. J. R. 1961. Roteiro da excursão Belo Horizonte. Instituto de Pesquisas Radioativas/UFMG. Contribuição ao XIV Congresso Brasileiro de Geologia Publicação 5, 126p.
- DARDENNE, M. A. 1978. Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 30, Recife, Anais....Recife, Vol. 2, p. 597-610.*
- DARDENNE, M. A.; MAGALHÃES, L. F. & SOARES, L. A. 1978. Geologia do Grupo Bambuí no Vale do Rio Paraná. *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 30, Recife, Anais....Recife, Vol. 2, p. 611-615.*
- DARDENNE, M. A. 2000. *The Brasilia Fold Belt*. *In: SBG, International Geological Congress, 31, Rio de Janeiro, CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAS FILHO, A. & CAMPOS, D. A. Tectonic Evolution of South America, p. 231-263.*
- FEITOSA F. A. C. & MANOEL FILHO, J. (ED). 2000. Hidrogeologia – Conceitos e aplicações. (2ª edição) Fortaleza, CPRM/REFO, LABHID – UFPE, 391p.
- FUCK, R. A. 1994. A Faixa de Dobramentos Brasília e a Compartimentação Tectônica na Província Tocantins. *In: SBG, Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, 4, Anais, p. 184– 187.*



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175 - 24 -/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

- MADALOSSO, A. & VERONESE, V. A. 1978. Considerações sobre a estratigrafia das rochas carbonáticas do Grupo Bambuí na região de Arocós, Pains e Lagoa da Prata (MG). In: Cong. Bras. Geol., 30, Recife. Anais...Recife SBG, v.2, p. 635-648.
- MENEGASSE, L. N.; GONÇALVES, J. M. & FANTINEL, L. M. 2002. Disponibilidades Hídricas na Província Cárstica de Arcos-Pains-Doresópolis, Alto São Francisco, Minas Gerais, Brasil. *Ver. Águas Subterrâneas* Nº 16/Maio 2002, p. 1-19.
- MISI, A. 2001. Estratigrafia Isotópica das Sequências do Supergrupo São Francisco, Coberturas Neoproterozóicas do Cráton do São Francisco. Idade de Correlações, p. 67-92. In: PINTO, C.P. & MARTINS-NETO, M. A. (editores) 2001. Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais, 349p. Belo Horizonte: SBG-MG.
- MOURÃO, M. A. A.; DA CRUZ, W. B. & GONÇALVES, R. L. 2001. Caracterização Hidrogeológica da Porção Mineira da Bacia Hidrográfica do São Francisco, p. 327-349. In: PINTO, C.P. & MARTINS-NETO, M. A. (editores) 2001. Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais, 349p. Belo Horizonte: SBG-MG.
- MUZZI MAGALHÃES, P. 1989. Análise estrutural das rochas do Grupo Bambuí na porção sudoeste da bacia do São Francisco. Dissertação de Mestrado. DEGEO/EM/UFOP, 105p.
- PIMENTEL, M. M.; JOST H. & FUCK, R. A. 2004. O Embasamento da Faixa Brasília e o Arco Magmático de Goiás, p 355-368. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R. & BRITTO-NEVES, B. B. (ORG.) 2004. Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida, 647p. Editora Beca, São Paulo.
- PATRUS, M. L. R. A.; FIGUEIREDO, V. L. S.; MATOS, A. R.; MENEZES, I. C. R. & SANTOS, A. C. S. 2001. Parcela Mineira da Bacia do rio São Francisco: Caracterização Hidroclimática e Avaliação dos Recursos Hídricos de Superfície. In: PINTO, C.P. & MARTINS-NETO, M. A. (editores) 2001. Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais, 349p. Belo Horizonte: SBG-MG.
- RURALMINAS- FUNDAÇÃO RURAL MINEIRA, COLONIZAÇÃO E DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO. 1999a. Hidrogeologia. In: Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia de Afluentes do Rio São Francisco em Minas Gerais. Belo Horizonte, MMA/SRH/SEAPA/RURALMINAS/SEMAD/IGAM-Consórcio Ecoplan/ Magna/Cab. Tomo 8, v. 1, 120p. (INÉDITO).
- TEIXEIRA, P. S. D. & FURTADO, D. A. 2006. Sistema de Informações Geográficas: Uma Importante Ferramenta para a Gestão Ambiental na Província Cárstica de Arcos, Pains, Córrego Fundo, Dorésópolis e Iguatama. Ecobusiness School, Belo Horizonte-MG. Monografia do curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Perícia e Auditoria Ambiental. (INÉDITO).