



**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 10**  
**TERMO DE REFERÊNCIA Nº 119701**

**ANDRÉ LUIZ DE MOURA CADAMURO**  
**CONSULTOR TÉCNICO, GEÓLOGO - CECAV/IBAMA**  
**CONTRATO Nº 2006/000372**

**RELATÓRIO DE CONSOLIDAÇÃO REUNINDO AS INFORMAÇÕES**  
**DOS PRODUTOS ANTERIORES E RECOMENDAÇÕES.**

**Dezembro de 2007**



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) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

## **RELATÓRIO DE CONSOLIDAÇÃO REUNINDO AS INFORMAÇÕES DOS PRODUTOS ANTERIORES E RECOMENDAÇÕES.**

### **1. INTRODUÇÃO**

Este relatório tem por objetivo reunir de forma sucinta e objetiva as informações e resultados mais importantes dentre todos os produtos desenvolvidos pelo consultor técnico do CECAV / IBAMA, por meio do Contrato PNUD nº 2006/000327, conforme Termo de referência nº 119701.

Os trabalhos tiveram como objeto principal a avaliação das diferentes formas de pressões antrópicas sobre os sistemas aquíferos constituintes do carste na região das bacias hidrográficas do ribeirão dos Patos e do rio São Miguel e resultou em importantes delimitações e abordagens do meio físico, capazes de promover a viabilização de ações indispensáveis, por parte do poder público, na preservação e fomentação do uso sustentável dos recursos naturais, principalmente do singular potencial espeleológico da região, e de subsidiar o IBAMA/CECAV na tomada de decisões diante das diversas situações de pressões antrópicas e impactos sobre as cavidades naturais.

O serviço consistiu essencialmente em duas etapas de campo: uma para levantamento das principais atividades antrópicas potencialmente impactantes do aquífero, com amplo reconhecimento da área e conhecimento dos principais conflitos existentes na região cárstica; e outra para o levantamento de dados para o cálculo dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero, elaboração de mapa de vulnerabilidade natural do meio e execução de coletas da água subterrânea para análises químicas. A primeira avaliação de campo mostrou logo de início a necessidade de selecionar uma área tipo, com diversos tipos de pressões antrópicas e seus diversos impactos sobre o sistema aquífero e cavidades naturais relevantes, isso diante da grande abrangência da região cárstica e da dificuldade de se fazer uma avaliação do carste como um todo.

A área selecionada foi aquela referente às imediações da Gruta do Éden, limítrofe entre a zona rural e urbana do município de Pains, cujas características se mostraram perfeitas para uma área piloto, que servisse de exemplo para posteriores ações do IBAMA/CECAV na região. Dentre os principais resultados alcançados, destacam-se:



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) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

1. A individualização da Zona Cárstica de Pains;
2. A identificação das principais atividades antrópicas potencialmente impactantes, tanto física quanto quimicamente, dos sistemas aquíferos locais na Zona Cárstica de Pains;
3. A delimitação de uma Área de influência mínima para o Sistema Espeleológico da Gruta do Éden;
4. A identificação dos principais pontos de pressão antrópica e seus impactos físicos de químicos sobre o Sistema Éden, com propostas de ações para dar encaminhamento e solucionar os principais conflitos ambientais.
5. A elaboração de um plano de coletas e controle da qualidade da água subterrânea na área de influência, levando-se em consideração os principais focos potencialmente poluidores e os parâmetros químicos a ser analisados para identificação de possíveis contaminações;
6. A elaboração do mapa de vulnerabilidade natural do aquífero poroso na área de influência do Sistema Éden;
7. A elaboração do mapa de vulnerabilidade natural do aquífero cárstico na área de influência do Sistema Éden; e
8. A proposta de área para criação de uma Unidade de Conservação Ambiental tipo Área de Proteção Ambiental, abrangendo a Zona Cárstica de Pains e a transformação do Sistema Éden numa Unidade de Conservação do tipo Monumento Natural.



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) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

## **2. PRINCIPAIS METAS E RESULTADOS ALCANÇADOS**

### ***Individualização da Zona Cárstica de Pains***

Normalmente, num sistema aquífero cárstico, independentemente das bacias hidrográficas que o abrangem, 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.

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 carste e sistemas espeleológicos (Figura 1).

Dentro dos limites da bacia hidrográfica do rio São Miguel, a área de estudo compreende aproximadamente 300 km<sup>2</sup> de drenagem e é a mais importante, do ponto de vista hidrogeológico e espeleológico, da bacia do São Miguel. Nessa área pelo menos 80% da geologia é constituída de carbonatos da Formação Sete Lagoas (Figura 2) 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. Mais localmente, dentro da Zona Cárstica de Pains, os fluxos de água subterrânea e superficial também obedecem a um segundo gradiente hidráulico, cujo nível de base é o próprio rio São Miguel.

Em todo o Sistema Aquífero Cárstico da região de Arcos, Pains, Doresópolis 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).



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) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

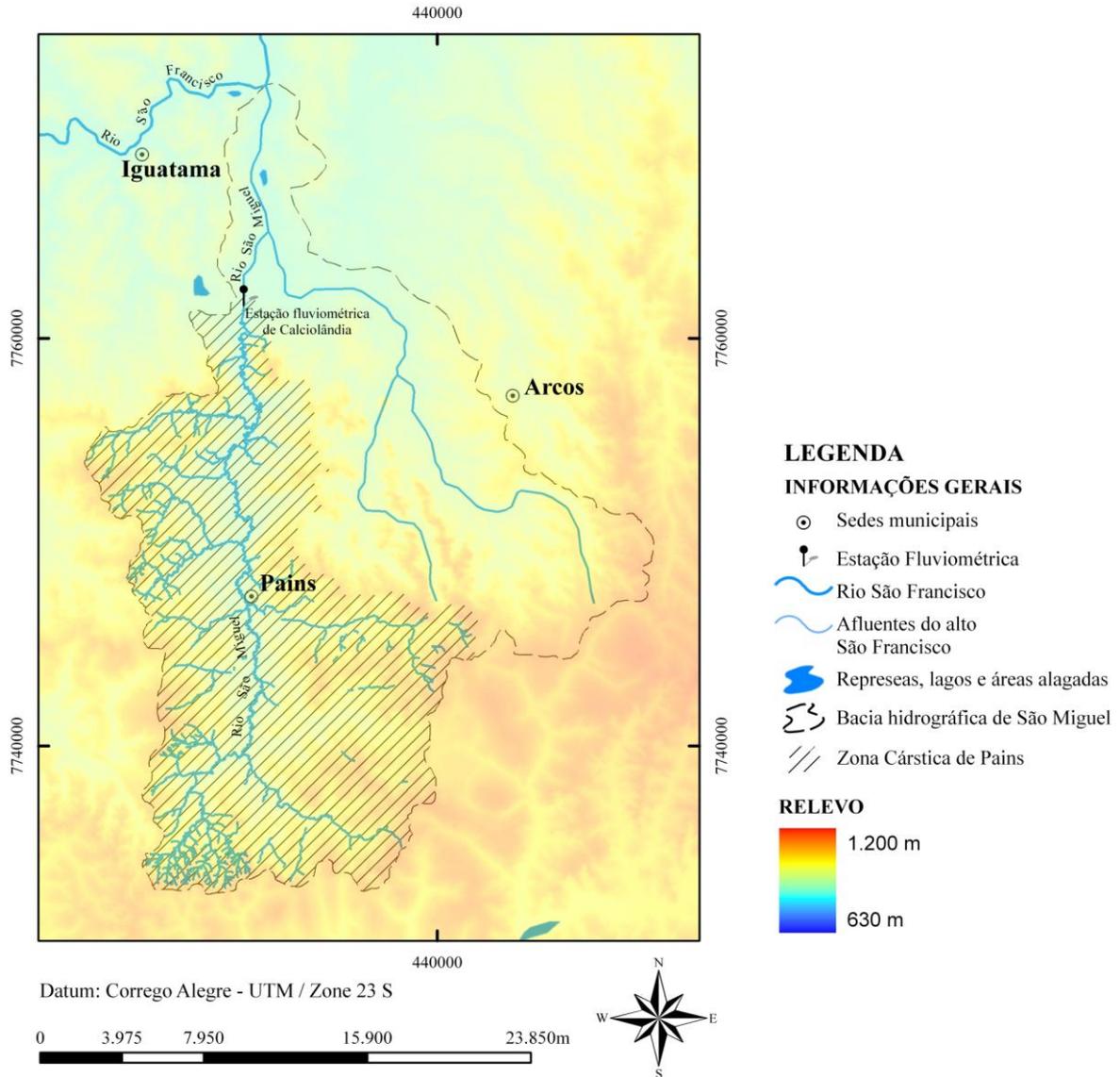


Figura 1 – Compartimento ou Zona Cárstica de Pains, área da bacia hidrográfica do rio São Miguel (Alto São Francisco) delimitada para estudo em escala macro.



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) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

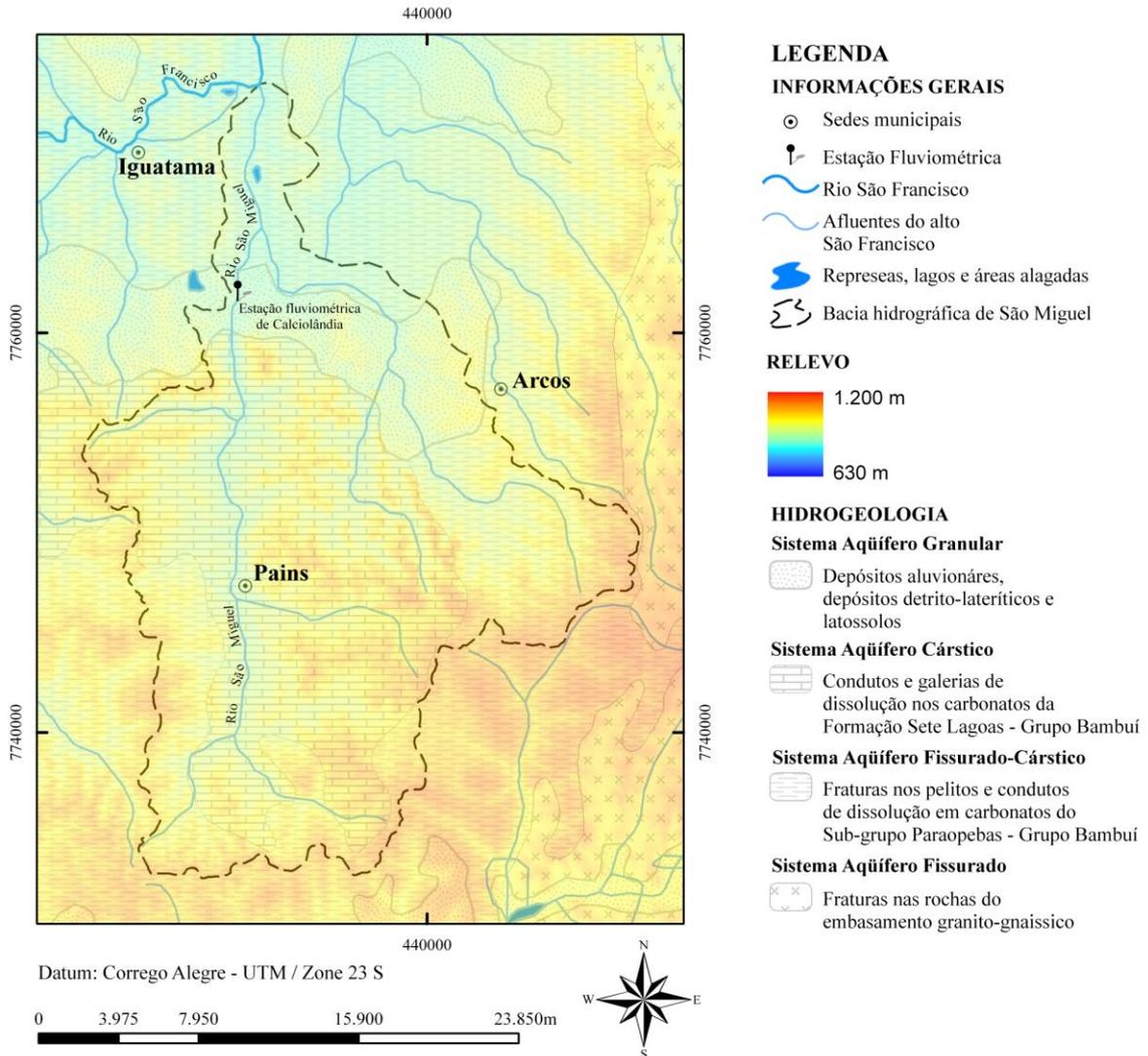


Figura 2 – Esboço hidrogeológico da região sudoeste do Cráton do São Francisco, com destaque para a bacia hidrográfica do rio São Miguel e Sistemas Aquíferos.



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) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

### ***Principais atividades antrópicas potencialmente impactantes***

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 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 (Figura 3):

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.

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



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) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

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 da Zona Cárstica de Pains deve-se sempre lembrar que o meio ambiente 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.

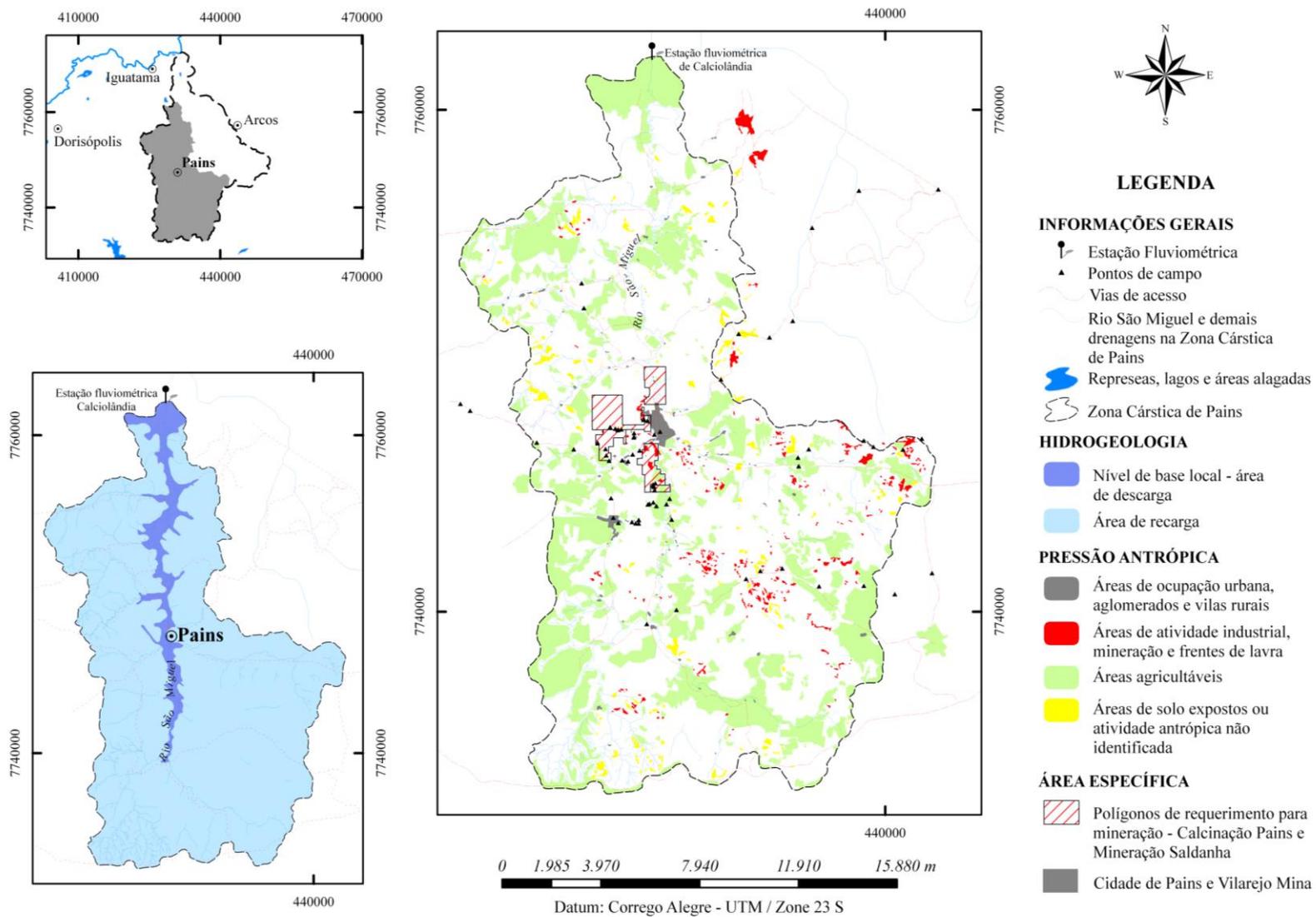


Figura 3 – Mapa das principais áreas de pressão antrópica nos limites da zona cárstica de Pains (MG).

### *Área de Influência mínima para o Sistema Espeleológico da Gruta do Éden.*

Na Zona Cárstica de Pains o Sistema Éden pode ser considerado o sistema espeleológico mais expressivo e também o mais importante. Resumidamente, dentro de uma abordagem hidrogeológica, a área de influência do Sistema Éden pode ser discriminada em duas outras áreas, quais sejam: área de influência direta e área de influência indireta.

Na área de influência mínima ocorrem três sistemas aquíferos (Figura 4): o sistema aquífero cárstico, desenvolvido nos calcários da Formação Sete Lagoas do Grupo Bambuí; o sistema aquífero fissurado-cárstico, desenvolvido nos terrígenos e lentes carbonáticas do Subgrupo Paraopebas (Grupo Bambuí); e o sistema aquífero granular, formado em espessos mantos de intemperismo desenvolvidos sobre as rochas terrígenas do Paraopebas.

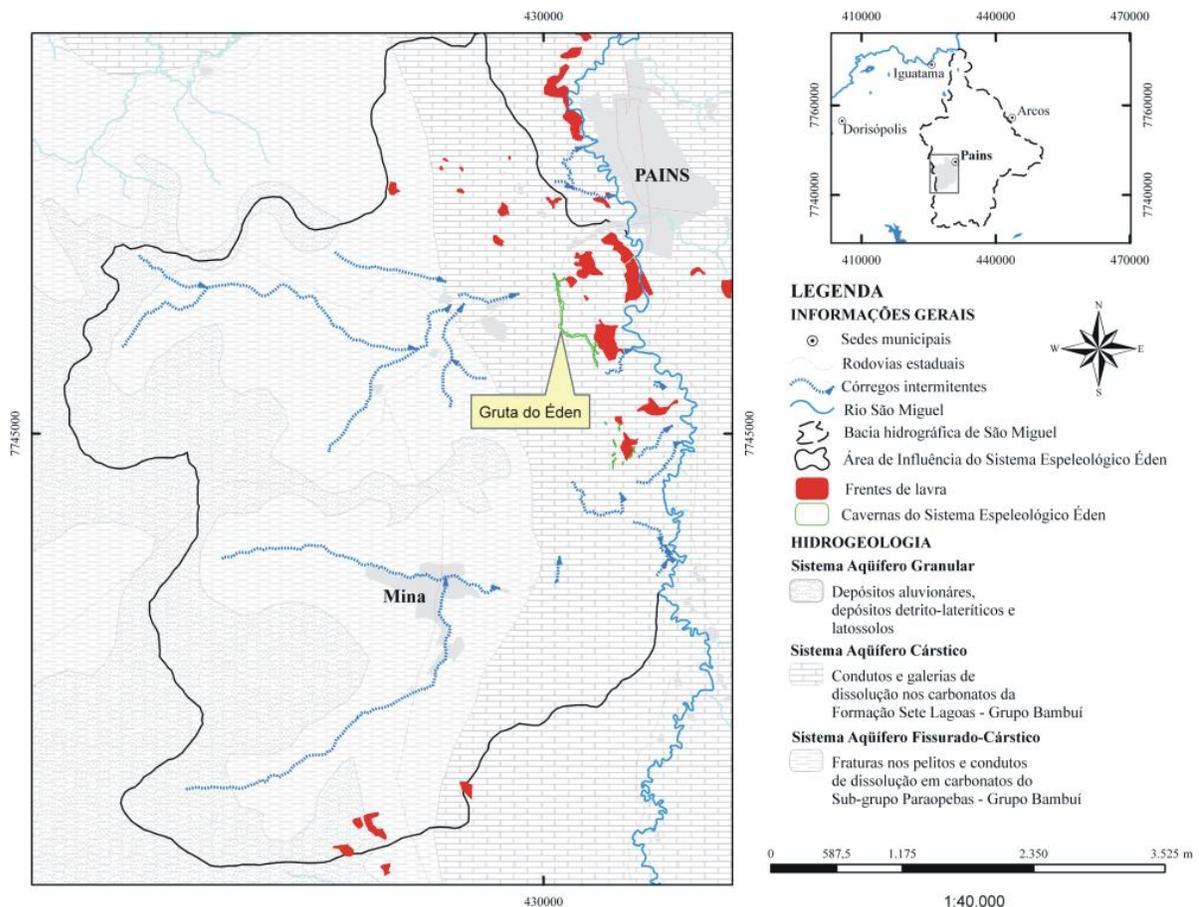


Figura 4 – Contexto hidrogeológico da área de influência mínima do Sistema Éden, mostrando as áreas de ocorrência dos três sistemas aquíferos encontrados.



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) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

Os sistemas aquíferos fissurado-cárstico e granular estão sobrepostos ao sistema aquífero cárstico. Desta forma, na porção oeste da área de influência ocorrem os três sistemas aquíferos, na seguinte ordem, da superfície para baixo: granular, fissurado-cárstico e cárstico. Esta região é essencialmente uma área de recarga indireta do sistema aquífero cárstico onde a recarga ocorre, predominantemente, de forma indireta através da infiltração da água da chuva nos solos dos compartimentos de platô, mas também ocorre de forma direta, através de dolinas verticais isoladas.

Na porção central, a partir do contato geológico entre o subgrupo Paraopebas e a Formação Sete Lagoas, ocorre essencialmente o sistema aquífero cárstico. Nessa região a recarga ocorre de forma direta, através da infiltração da água da chuva e do escoamento superficial em grandes áreas de depressão (uvalas) e em grandes morros aflorantes de calcário, lapiezados verticalmente. Essa é uma área onde há, literalmente, uma injeção direta de água e onde ocorre uma captura total do aporte hídrico superficial, através da zona vadosa e devido à alta condutividade hidráulica na zona saturada.

A porção leste da área de influência, equivalente à área oeste do vale do Rio São Miguel, o qual funciona como o nível de base regional, é a área de descarga do sistema aquífero cárstico, onde a superfície potenciométrica ocorre a menos de um metro da superfície do terreno. O cruzamento da informação geológica e da condição de recarga do sistema aquífero cárstico dentro da área de influência permite a subdivisão da área de influência nas subáreas de influência direta e indireta (Figura 5).

Em toda a Zona Cárstica de Pains, as dobras, as falhas de empurrão e as juntas encontram-se rotacionadas no sentido anti-horário devido à ocorrência de grandes zonas transcorrentes, que não só cortam todo o carste como também se estendem por outros sistemas aquíferos. Essas zonas transcorrentes são feições estruturais chaves para a compreensão da circulação da água subterrânea no sistema aquífero cárstico, uma vez que funcionam como os principais caminhos de circulação hídrica. Tais caminhos também são as vias por onde há entrada de água importada de outros sistemas aquíferos, por meio de fluxos



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) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

regionais, como os sistemas fissurado-cárstico e até mesmo o fissurado, fora da Zona Cárstica de Pains.

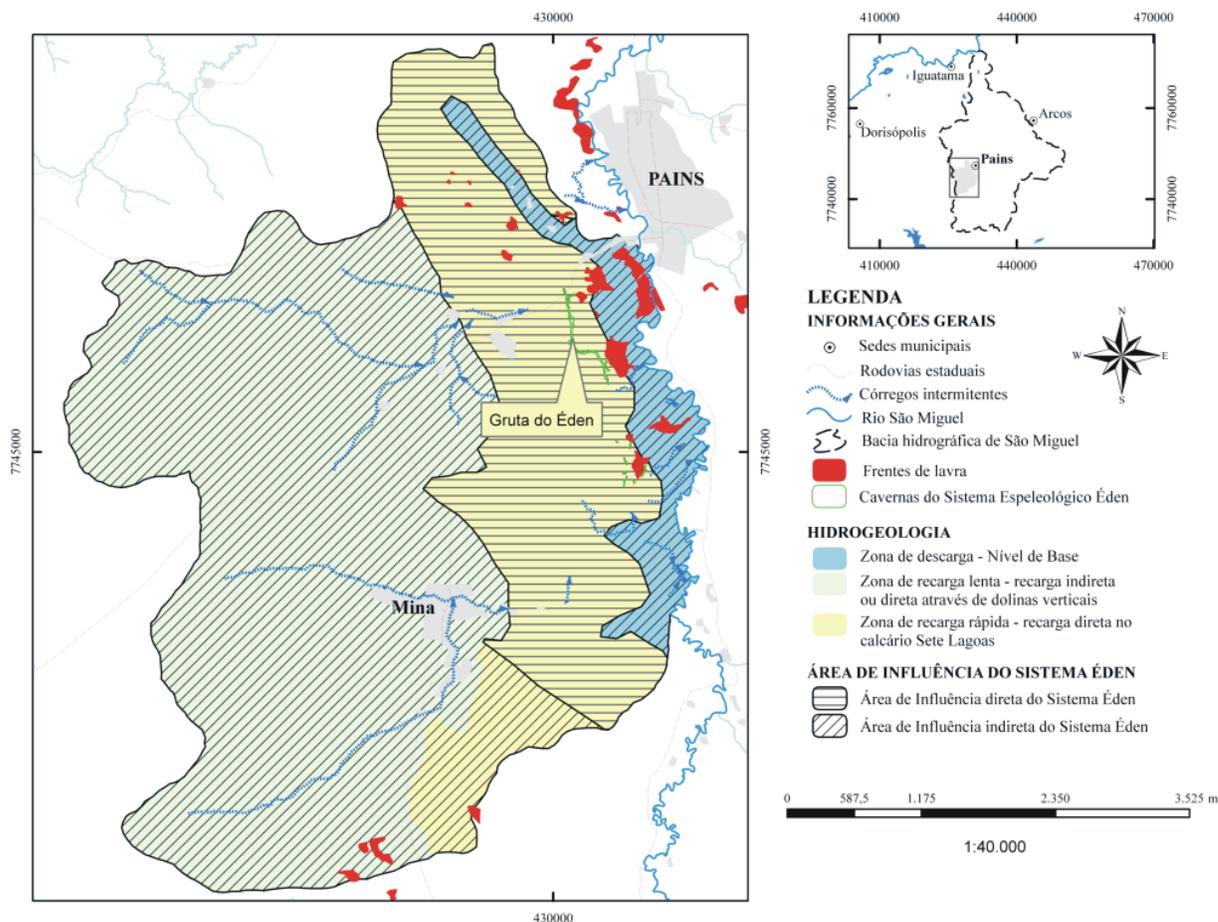


Figura 5 – Área de influência do Sistema Éden, com a discriminação das subáreas de influência direta e indireta e destaque para as zonas de descarga, de recarga rápida e recarga lenta.

A área de influência do Sistema Éden é transpassada pela importante zona transcorrente Doresópolis – Pains, onde se destacam as falhas transcorrentes de Mina e Pains (Figura 6). Na fotointerpretação dessa área, os principais lineamentos observados, seguindo uma ordem de importância, quanto à formação de amplos condutos de dissolução, são: lineamentos N60°W, de baixa frequência e elevada persistência, associados às falhas transcorrentes de Mina e Pains, ao longo das quais, certamente, estão desenvolvidos os



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) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

principais condutos freáticos da região; lineamentos N-S, de alta frequência e baixa persistência, que condicionam o próprio rio São Miguel e o desenvolvimento linear das galerias vadasas do Sistema Éden e da própria galeria de nível freático da Gruta do Éden; lineamentos E-W, de baixa frequência e baixa persistência, que, na intersecção com os lineamentos N-S, condiciona importantes surgências, superficiais ou subterrâneas, como aquela existente na Gruta do Éden; e lineamentos N40°-50°W, de alta frequência e baixa persistência, provavelmente associados ao acamamento sedimentar dos carbonatos, com mergulho 30°-50° SW, que exercem importante função na eficiência da recarga através da zona vadosa conduzindo a água até os grandes condutos de fluxo regional.



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) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

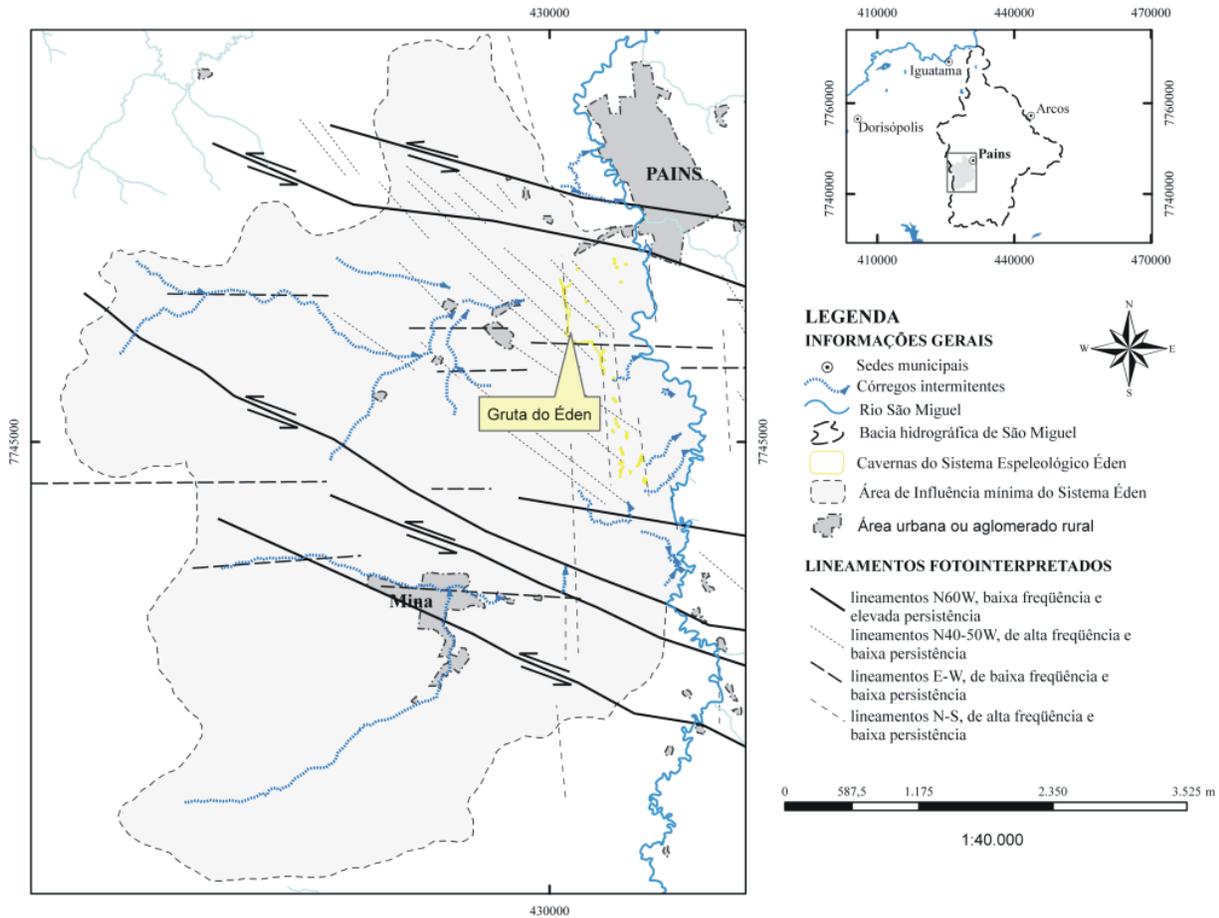


Figura 6 – Principais lineamentos identificados por meio de fotointerpretação (fotos 1:60.000) na área de influência do Sistema Éden.

As direções de fluxo subterrâneo podem ser inferidas de forma indireta, sem nenhum tipo de ensaio quantitativo ou qualitativo, apenas com a fotointerpretação de fotografias aéreas na escala 1:60.000 e informações disponíveis no CECAV/IBAMA. Todavia, apesar de preliminar, dá uma orientação para previsão de possíveis impactos ambientais, causados pelas diferentes formas de pressão antrópica, além facilitar a elaboração de um plano de controle e monitoramento da qualidade da água subterrânea na área de influência do Sistema Éden.



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) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

Durante os meses secos, principalmente o mês de julho, onde mais de 90% (Menegasse *et al.*, 2002) da água que flui no rio São Miguel é resultado do fluxo de base, ou seja, tem origem da água subterrânea. As bacias Norte e Sul, na área de influência, encontram-se secas e a água subterrânea é a única fonte disponível, sendo encontrada apenas em algumas dolinas, na zona de recarga lenta, e nas surgências, ou sumidouros da zona de recarga rápida. Neste período do ano hidrológico o fluxo subterrâneo, por ser perene, é um fluxo regional alimentado por áreas de recarga distantes, fora dos limites da bacia hidrográfica do rio São Miguel, podendo, inclusive, ser importada de outras bacias hidrogeológicas.

Durante os meses chuvosos, a água que não é perdida por evapotranspiração nas bacias Norte e Sul da área de influência mínima, infiltra recarregando o sistema aquífero granular. Este por sua vez serve como reserva reguladora, ao longo do ano hidrológico, para abastecer as nascentes e também os sistemas fissurado-cárstico e cárstico respectivamente. O excedente hídrico, que não infiltra é conduzido pelas micro-drenagens até se somarem ao fluxo de base nos córregos intermitentes, dando origem ao "run off". Isso ocorre na zona de recarga lenta, onde esse volume de água superficial pode também ser captado por dolinas isoladas e recarregar diretamente o sistema aquífero cárstico, todavia, a maior parcela desse volume escoar através da drenagem até alcançar importantes pontos de mistura, principalmente localizados ao longo do contato geológico entre o subgrupo Paraopebas e a formação Sete Lagoas. Nesses pontos de mistura a água é "sugada" para a rede de canais subterrâneos aumentando significativamente o volume dos fluxos subterrâneos no carste.

Dentre os pontos perenes de água na área de influência do Sistema Éden quatro se destacam pela importância hidrogeológica local e contribuição para o entendimento da dinâmica hídrica no Sistema Éden, são eles: a Uvala Mina, a Uvala Sócrates, a Gruta do Éden e a Uvala Pains, os quais foram abordados em detalhe no Produto 3.



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) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

### ***Principais pontos de pressão antrópica sobre o Sistema Éden***

Dentre as diversas pressões antrópicas que exercem impactos sobre o Sistema Espeleológico da Gruta do Éden, deve-se primeiro considerar aquelas que atuam sobre o sistema aquífero cárstico na área de influência aqui estabelecida. Assim, é possível, de forma mais abrangente, interpretar possíveis impactos no sistema espeleológico.

#### **Interferência física**

Na área de influência (direta e indireta) do Sistema Éden, quanto a distribuição espacial, as principais atividades antrópicas atualmente responsáveis por impactos físicos ao sistema aquífero cárstico e, conseqüentemente, ao sistema espeleológico, são:

- **Pressão Antrópica Pontual** – frentes de lavra e parques industriais;
- **Pressão Antrópica Linear** – rede viária local;
- **Pressão Antrópica Difusa** – ocupação urbana, ocupação rural, áreas agricultáveis, áreas de pastagem e supressão da vegetação.

A área de influência indireta deve ser considerada, principalmente, pela sua importância na recarga do sistema aquífero cárstico. Outro aspecto importante é como a recarga acontece, sendo fundamental para a manutenção dos fluxos locais e regionais. A manutenção da recarga anual, natural, nessas áreas é fundamental na preservação do equilíbrio dinâmico no sistema aquífero cárstico.

Na área de influência indireta, os sistemas aquíferos granular e fissurado-cárstico da zona de recarga lenta, que ocorrem em compartimentos morfológicos de platôs e planos intermediários de relevo ondulado, com vários campos de dolinas circulares, isolados ou alinhados, e espessos mantos de intemperismo, funcionam como reservas reguladoras do manancial cárstico.

Nos sistemas aquíferos granular e fissurado-cárstico a recarga ocorre de forma lenta ao longo do ano hidrológico, por meio da percolação da água da chuva nos solos, que lentamente vai abastecendo fraturas e dolinas, até alcançar a rede de condutos freáticos nos calcários, se



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) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

juntando, anualmente, ao volume de águas regionais, provavelmente, provenientes de áreas de recarga mais distantes na bacia hidrogeológica.

Predominantemente, na área de influência indireta ocorrem pressões antrópicas difusas, como a substituição histórica da vegetação de cerrado por áreas agricultáveis e de pastagem para o gado e a concentração de habitações formando núcleos rurais. Secundariamente, ocorrem pressões lineares, essencialmente representadas pela rede viária estadual e local de acesso a fazendas e vilarejos, e pressões pontuais, como as frentes de lavra encontradas nos polígonos minerários da Mineração Saldanha Ltda, as frentes de lavras clandestinas e o parque industrial da Calcinação Pains Ltda, próximo à cidade de Pains.

Aproximadamente 50% da zona de recarga lenta do sistema aquífero cárstico, na área de influência indireta, constituem áreas destinadas à agricultura e pastagem para o gado. Áreas agricultáveis, pastagem, aglomerados residenciais e estradas de terra são áreas cuja atividade antrópica reduziu significativamente a condutividade hidráulica nos primeiros centímetros do solo, sendo comuns valores entre  $10^{-4}$  e  $10^{-5}$  m/s (Gaspar, 2006, Cadamuro, 2002, Cadamuro *et al.*, 2000), prejudicando, do ponto de vista hidrogeológico a recarga dos aquíferos, pela diminuição do volume de água infiltrado.

Estes tipos de pressão antrópica podem reduzir drasticamente a recarga dos aquíferos. Considerando que os 50% restantes da zona de recarga lenta é área de cerrado alterado, onde certamente as condições de infiltração do solo não são as melhores possíveis, pode-se afirmar que a recarga nesta área está, provavelmente, comprometida. Este é um dos maiores impactos físicos causados por este tipo de pressão antrópica, uma vez que a redução da recarga pode causar um desequilíbrio na dinâmica hídrica do carste, resultando na diminuição das vazões em fontes e surgências.

Por outro lado, a redução das áreas de infiltração e a conseqüente maximização do escoamento superficial, em áreas sem vegetação nativa, podem acarretar um aumento excessivo dos processos erosivos e do carreamento de material detrítico e posterior deposição deste material em dolinas, podendo acarretar um preenchimento parcial dos fundos das dolinas e até mesmo a desativação, no que se refere à circulação hídrica. Este preenchimento



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) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

pode também alcançar os condutos cársticos associados a estas dolinas e reduzir a eficiência hidráulica do aquífero.

Os incrementos no escoamento superficial e no carreamento de material detrítico, principalmente material argiloso, é um dos principais impactos físicos ao sistema aquífero cárstico, causados por atividades antrópicas difusas, como a expansão das áreas agricultáveis e de pastagem.

Quanto às alterações físicas do sistema aquífero cárstico, os núcleos rurais, como a vila Mina, por exemplo, tendem a causar o mesmo impacto que as áreas agricultáveis e de pastagem. O processo erosivo e o assoreamento de dolinas e condutos de dissolução na zona de recarga lenta restringem os fluxos subterrâneos, nos grandes condutos de dissolução, a fluxos regionais prejudicando o equilíbrio hídrico do aquífero como um todo, na Zona Cárstica de Pains.

O *run off* nos pontos de mistura de águas superficiais e subterrânea, com grande carreamento de material detrítico, tende a aumentar a sedimentação de argila nas cavernas, como se observa na zona de enchente da Gruta do Éden, alterando também toda dinâmica hídrica e o ambiente cavernícola. Este processo tem acontecido principalmente na bacia Sul da área de influência, onde se pode observar o assoreamento da uvala Mina e a formação de fluxos superficiais.

Secundariamente, na zona de recarga lenta, as pressões antrópicas lineares, representadas pela malha viária, também se somam às áreas impermeabilizadas, aumentando ainda mais a intensidade dos impactos físicos causados pelas pressões difusas, uma vez que reduzem a recarga natural, intensificam os processos erosivos, e aumentam o fluxo superficial à jusante.

São raras as pressões antrópicas pontuais, tipo frentes de lavra e pátios industriais na área de recarga lenta, uma vez que o calcário não se encontra encoberto por rochas terrígenas, dificultando e aumentando os custos da lavra desta rocha nesta área, e que as indústrias de cal ainda se encontram restritas às imediações da cidade de Pains.



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) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

Na zona de descarga (área de influência indireta), por sua vez, as áreas agricultáveis não vão causar maiores danos ao manancial subterrâneo, mas sim, ao manancial superficial, podendo causar o assoreamento do rio São Miguel. Esse processo pode ser importante na redução das vazões no alto curso do rio São Francisco. A maior pressão antrópica observada na zona de descarga está relacionada às áreas industriais da Mineração Saldanha e da Calcinação Pains, onde o principal impacto físico é, também, o assoreamento do rio São Miguel, devido à produção de poeira e sedimentos que são carregados pelo *run off* para o rio.

A figura 7 mostra a área de influência mínima do Sistema Éden, inclusive sua subdivisão em área de influência direta e indireta, indicando os tipos de pressão antrópica que lá ocorrem.

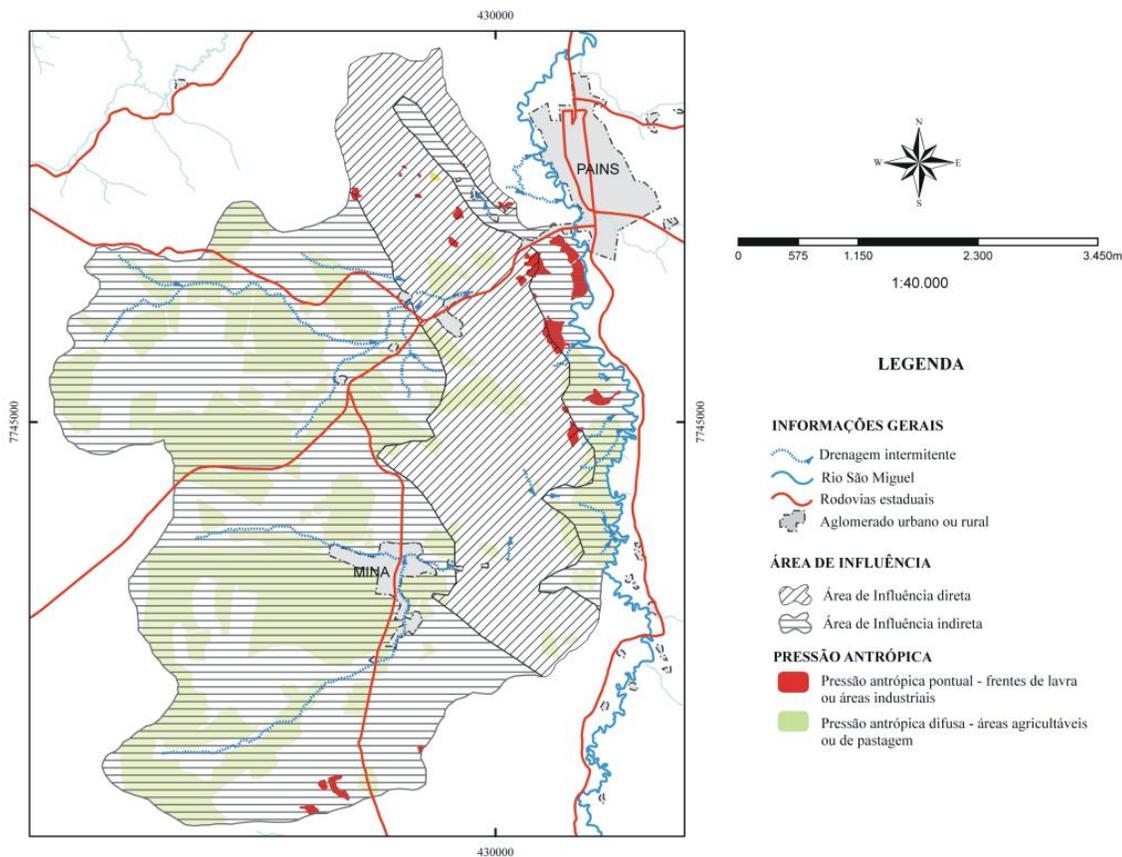


Figura 7 – Mapa mostrando as áreas de influência direta e indireta no Sistema Espeleológico da Gruta do Éden, e as pressões antrópicas nessas áreas.



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) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

A área mais sensível no que se refere à interferência física do sistema aquífero cárstico, na área de influência do Sistema Éden, é a zona de recarga rápida (área de influência direta). Nesta região poucas são as áreas de pressão difusa, devido principalmente à ampla exposição de morros testemunhos de calcário e a freqüente ocorrência de uvalas, sendo os solos normalmente rasos e a área imprópria para criação de gado.

Na zona de recarga rápida a principal pressão antrópica está relacionada ao desenvolvimento aleatório de frentes de lavra, ou seja, à extração de rocha carbonática e conseqüente supressão da história evolutiva do Sistema Espeleológico da Gruta do Éden.

Se por um lado é muito importante garantir a disponibilidade das reservas minerais demandadas pela sociedade moderna, uma vez que o crescimento econômico implica em maior consumo de bens minerais, a necessidade de uma atividade mineral ecologicamente correta é indispensável num mundo onde se preocupa cada vez mais com o futuro da biodiversidade e com os ambientes naturais.

A indústria mineral predatória é um resultado, tanto da falta de prioridade para conservação do meio ambiente, na agenda dos governos, quanto da falta de desenvolvimento de pesquisas e de investimentos na busca de soluções tecnológicas capazes de tornar a atividade mineral menos agressiva ao meio ambiente e mais eficiente frente ao desenvolvimento sustentável. Nesse aspecto, o efeito de uma fiscalização ambiental cada vez mais eficiente e a disponibilidade de novas tecnologias de controle e recuperação ambiental é fundamental para viabilização de um quadro de desenvolvimento sócio-econômico e de preservação dos ecossistemas.

A principal diferença entre a pressão antrópica pontual e a difusa é que esta afeta o carste em escalas regionais, ao passo que aquela afeta pontualmente. A extração de calcário em Pains é um tipo clássico de pressão antrópica pontual, onde a fiscalização e a tecnologia levam vantagem pelo fato do impacto estar restrito a uma pequena extensão geográfica. Entretanto, quando se considera um sistema espeleológico específico dentro de um carste, como acontece no caso do Sistema Éden, que pode ser considerado o maior patrimônio



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) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

espeleológico da Zona Cárstica de Pains, apesar de ocorrer em menos de 10% da área de influência direta, as frentes de lavra são as maiores ameaças.

Pequena área de abrangência e elevado dano ambiental, causando impactos localizados em curto prazo e muitas vezes irreversíveis, são características intrínsecas à pressão antrópica pontual. As frentes de lavra da Mineração Saldanha, próximas às cavernas vadosas do Sistema Éden e também dos níveis vadosos da Gruta do Éden, já são responsáveis pela supressão de parte da história evolutiva do sistema e pela destruição de parte de uma galeria norte sul da gruta, onde foi aberta uma entrada artificial.

Juntas, as frentes de lavra da Mineração Saldanha Ltda. e a área requerida pela Calcinação Pains Ltda., a noroeste da uvala Pains, são as principais áreas de pressão antrópica, atualmente em conflito com a questão ambiental, nas proximidades da cidade de Pains (Figura 8). Outras áreas requeridas na zona de recarga direta devem ser tratadas como problemas potenciais a serem estudadas desde já. Em especial, as duas áreas de pressão antrópica mencionadas acima foram tratadas, em detalhe, como estudo de caso no Produto 03.



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) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

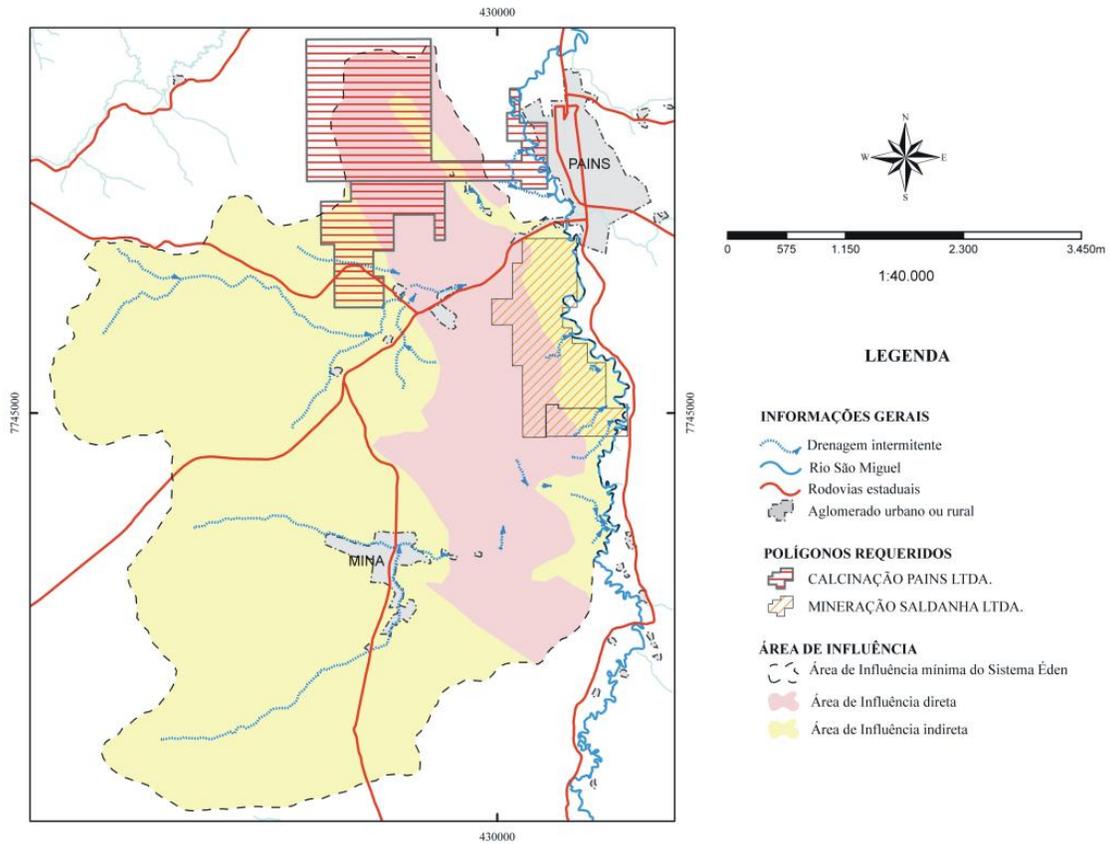


Figura 8 – Mapa mostrando as áreas de influência direta e indireta no Sistema Espeleológico da Gruta do Éden, e as áreas específicas (Mineração Saldanha e Calcinação Pains) a serem consideradas individualmente como estudo de caso.



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) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

### Interferência na qualidade da água

Além de estar margeada a nordeste pela cidade de Pains, que concentra uma gama de fontes poluentes e constitui um grande setor de pressão antrópica, no que se refere à mudança da qualidade natural da água subterrânea no sistema aquífero cárstico da área de influência mínima do Sistema Éden, dentro de seus limites, podem ser apontadas significativas pressões antrópicas da Zona Cárstica de Pains.

Dentre essas pressões antrópicas sobre o Sistema Éden, deve-se primeiro considerar aquelas que atuam na alteração da qualidade da água subterrânea na abrangência da área de influência mínima estabelecida. Assim, é possível, de forma mais abrangente, interpretar possíveis impactos no sistema espeleológico. Considera-se aqui, inicialmente, os pontos de pressão antrópica existentes na área de influência direta e posteriormente os existentes na área de influência indireta do Sistema Éden.

Pressões antrópicas exercidas dentro dos limites da área de influência direta do Sistema Éden devem ser consideradas as atividades mais preocupantes do ponto de vista da alteração da qualidade natural da água subterrânea e conseqüente comprometimento dos diversos usos no sistema. Essas pressões podem causar impactos em curto prazo, devido à alta vulnerabilidade natural desta área, uma vez que a recarga natural é direta, cuja circulação hídrica na zona vadosa acontece de forma rápida e eficiente.

Na Sub-bacia Norte, na região de recarga rápida, encontram-se os mais significativos pontos de pressão antrópica quanto à alteração da qualidade natural das águas subterrâneas, que abastecem o Sistema Éden. Uma vez dentro do sistema, os contaminantes podem ser conduzidos por redes de condutos freáticos até a galeria de superfície potenciométrica da Gruta Éden, podendo alcançar a Uvala Pains na zona de descarga e até mesmo a captação de água para consumo humano do SAAE no rio São Miguel.

Os principais pontos de pressão são as áreas de expansão da cidade de Pains, ao longo da rodovia de acesso oeste, como o povoado Alvorada, onde ocorrem fossas negras e a utilização inadequada de dolinas para disposição de resíduos sólidos, como restos de



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) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

demolições, lixo hospitalar e lixo urbano, em geral, da cidade de Pains. Secundariamente, estão as áreas desmatadas para o início de frentes de lavras da Calcinação Pains Ltda, lavras clandestinas, que aumentam ainda mais a vulnerabilidade natural, facilitando a recarga direta do escoamento superficial. A figura 09 mostra o contexto das pressões antrópicas na Sub-bacia Norte da área de influência do Sistema Édén.

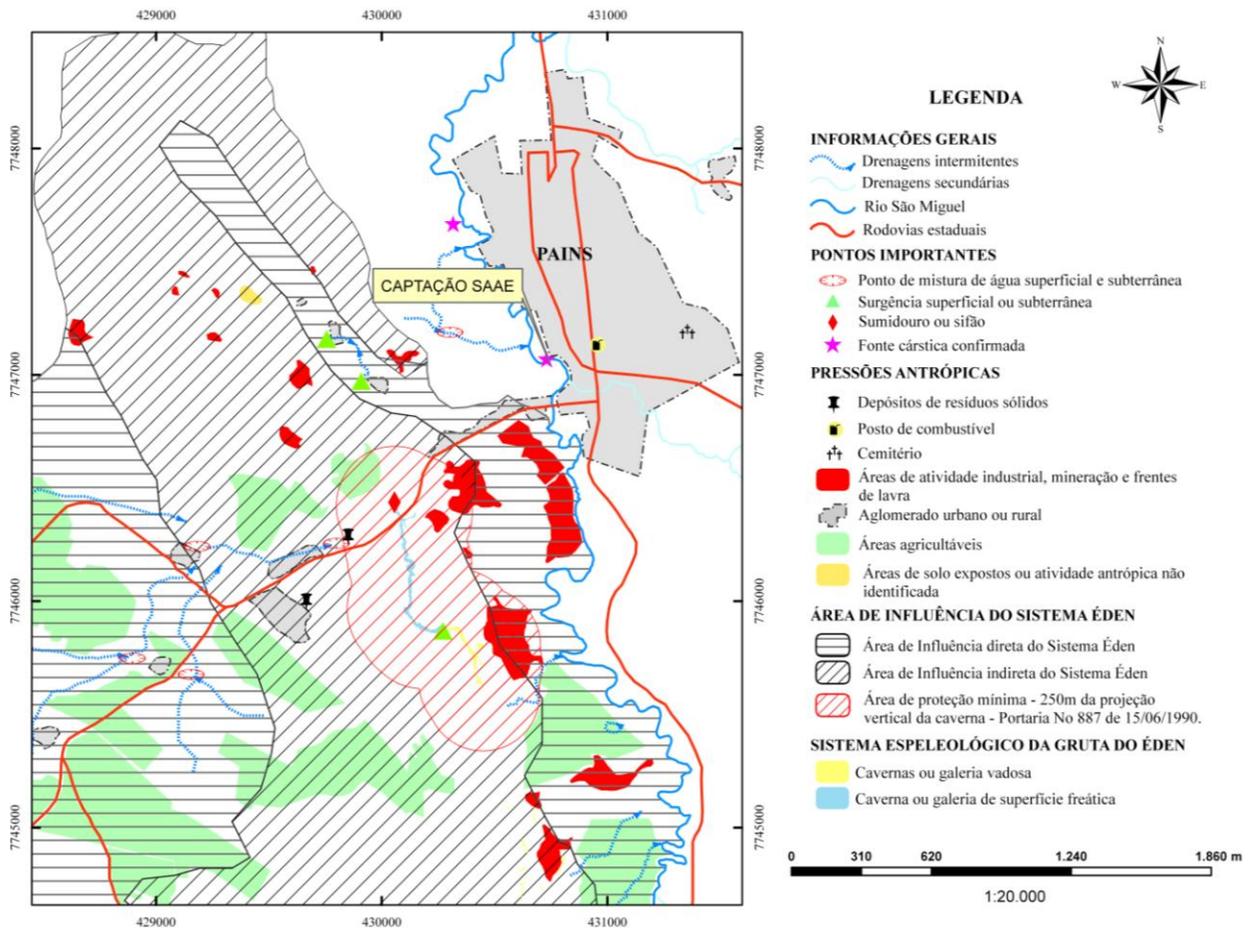


Figura 9 – Principais pressões antrópicas na Sub-bacia Norte da área de influência do Sistema Édén.

As áreas destinadas ao depósito de resíduos sólidos, na região do povoado de Alvorada, estão localizadas em setores estratégicos do ponto de vista da dinâmica hídrica do carste no Sistema Édén, trata-se de uma região de mistura de águas superficiais e subterrâneas, dolinas e rios secos que captam o *run off* e promovem a recarga direta 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) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

excedente hídrico na rede de condutos freáticos que abastecem a galeria se superfície potenciométrica da Gruta do Éden. Um dos aterros clandestinos, inclusive, encontra-se dentro da área de proteção mínima da gruta, estabelecida na Portaria Nº 887 de 15/06/1990.

Pressões antrópicas exercidas dentro dos limites da área de influência indireta também devem ser consideradas e monitoradas, uma vez que, apesar de ser uma área de recarga indireta do sistema aquífero cárstico e os solos possuírem uma capacidade natural de depuração de poluentes, durante o período chuvoso o escoamento superficial, destinado às dolinas nos pontos de mistura, pode proporcionar uma recarga indesejada. A figura 10 mostra o contexto geral das pressões antrópicas na Sub-bacia Sul da área de influência do Sistema Éden.

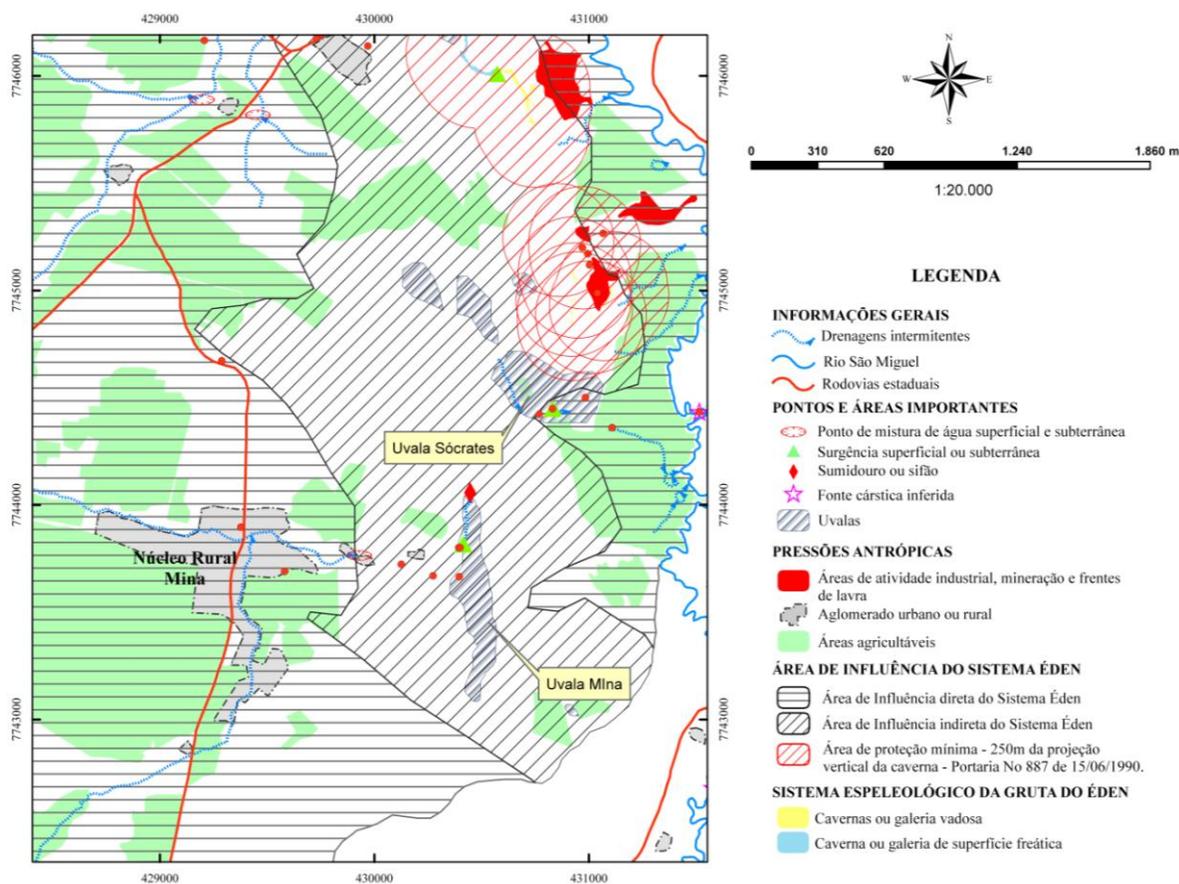


Figura 10 – Principais pressões antrópicas na Sub-bacia Sul da área de influência do Sistema Éden.



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) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

Na Sub-bacia Sul as pressões antrópicas estão concentradas essencialmente na área de influência indireta do Sistema Éden. Dentre as fontes de poluição pode-se destacar o núcleo rural Mina, onde a pressão está relacionada à questão da destinação dos dejetos humanos e efluentes domésticos, os quais são conduzidos até fossas negras, muitas vezes dolinas, ou mesmo permanecem escoando a céu aberto. Em segundo plano, também são problemas relevantes, o acúmulo de esterco de animais em currais, aviários e pocilgas, juntamente com cemitérios de animais.

Apesar de predominar uma agricultura de subsistência na área de influência indireta e de haver uma capacidade de depuração natural de poluentes pelo solo, a eventual utilização de defensivos agrícolas também deve ser considerada como uma possível fonte difusa de poluição da água subterrânea.

No que se refere às fontes difusas de poluição, mais relevante do que as áreas agricultáveis, devem-se considerar a questão da contaminação dos solos, em toda a Zona Cárstica de Pains, por metais pesados (Ba, Cd, Pb, Co, Cr, Cu, Ni e Zn). A região de Pains recebeu, por pelo menos 20 anos, contaminantes na atmosfera advindos da queima de resíduos industriais nos fornos de calcinação (Borghetti, 2002). Considerando a possível precipitação e infiltração de tais contaminantes nos solos e da região, Borghetti (2002) analisou a fração fina ( $< 0,088$  mm) da parte superior dos solos, nos arredores das atividades minerárias, e observou que os solos analisados apresentam anomalias significativas de Ba, Cd, Cr e Co, quando comparado à composição do substrato rochoso e aos valores limites de referência para concentração de metais pesados em solos, estando fortemente contaminados pro cádmio (Cd) e moderadamente contaminados por bário (Ba) e cromo (Cr).

Segundo o autor, a fonte principal do Cd é a queima dos resíduos industriais nos fornos e industriais de calcinação da região, cuja dispersão é realizada pelo vento, as anomalias de Ba, Cr e Co são decorrentes da influência do substrato rochoso, os valores de Ni e Pb são relativamente baixos e as anomalias de Zn e Cu são decorrentes de atividades antrópicas pontuais em aglomerados rurais.



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) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

A lixiviação destes poluentes na área de influência indireta do Sistema Éden pode ocorrer por recarga indireta, pela infiltração nos solos durante seguidos períodos chuvosos, ou por meio da recarga direta através de dolinas e pontos de mistura do escoamento superficial com a água subterrânea. Desta forma as pressões antrópicas exercidas pelas indústrias de calcinação, estejam elas presentes dentro da área de influência ou fora de sua abrangência, constituem a mais importante fonte de poluição difusa da região, podendo alterar significativamente a qualidade natural da água subterrânea, provocando, inclusive, a contaminação, por metais pesados, do manancial subterrâneo, no sistema aquífero cárstico da Gruta do Éden, além de toda a Zona Cárstica de Pains.



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) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

## Elaboração de plano de coletas e controle da qualidade da água

Visando garantir a manutenção da qualidade natural dos recursos hídricos associados a uma cavidade natural, ou um sistema espeleológico, e até mesmo prevenir futuros problemas com possíveis produções de contaminações, sejam elas diretas ou indiretas, ou ainda estabelecer atividades de remediação e recuperação, caso necessário, é fundamental a elaboração de um plano de controle e monitoramento das fontes, ou possíveis fontes poluidoras na área de influência.

O plano de controle e monitoramento consiste em um conjunto de coletas de amostras de água, subterrânea e superficial, realizadas sistematicamente, com periodicidade pré-estabelecida, com pontos pré-definidos e parâmetros químicos e biológicos previamente selecionados, conforme a fonte de poluição monitorada e cargas contaminantes associadas.

Com a implantação de um plano de monitoramento na área de influência mínima estabelecida para o Sistema Éden, almeja-se caracterizar hidroquimicamente a água subterrânea e superficial do compartimento hidrogeológico onde está inserido o Sistema Éden, bem como as possíveis cargas contaminantes associadas às atividades antrópicas presentes na área de influência. Para tanto, deve-se considerar a área de influência mínima, suas imediações, como o rio São Miguel, e a localização das atividades potencialmente poluidoras citadas anteriormente, inclusive a cidade de Pains.

Nas amostras de água de todos os pontos é imperativo que sejam analisados, como pacote mínimo, os seguintes parâmetros físico-químicos e bacteriológicos: cor, pH, Eh, temperatura, turbidez, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, sólidos em suspensão, dureza, alcalinidade, ferro total, manganês, sódio, potássio, cálcio, cloreto, bicarbonato, carbonato, sulfato, magnésio, bário, cromo, cobalto, coliformes totais e coliformes fecais, inclusive *E-coli*. Os demais parâmetros a serem analisados estão listados e relacionados (Tabela 1) conforme cada atividade potencialmente poluente.



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) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

Tabela 1 – Relação dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos em função de cada fonte potencialmente poluidora.

Fonte de poluição	Atividade antrópica associada	Carga contaminante associada	Parâmetros a serem analisados além do pacote básico
Fossas negras	Saneamento <i>in situ</i> em aglomerados urbanos e rurais.	Compostos nitrogenados, bactérias patogênicas e vírus.	$\text{NO}_3^{-2}$ , $\text{NO}_2^{-}$ , $\text{NH}_4^{+}$ , fosfato total e hepatite <sup>1</sup> ;
Efluentes domésticos	Esgoto a céu aberto e sistema de coleta e transporte de efluentes domésticos em aglomerados urbanos e rurais.	Compostos nitrogenados, bactérias patogênicas e vírus.	$\text{NO}_3^{-2}$ , $\text{NO}_2^{-}$ , $\text{NH}_4^{+}$ , $\text{Cl}^{-}$ , Zn, Cu e hepatite <sup>1</sup> ;
Lixão (chorume)	Disposição final de resíduos sólidos domésticos e valas clandestinas, dolinas e aterros sanitários, incluindo lixo e entulhos em geral, inclusive lixo hospitalar.	Metais pesados, compostos nitrogenados, bactérias patogênicas.	$\text{NO}_3^{-2}$ , $\text{NO}_2^{-}$ , $\text{NH}_4^{+}$ , Pb, Cu, Zn, Ni, Hg, DQO, oxigênio dissolvido <sup>2</sup> ;
Cemitério (necrochorume)	Disposição final de corpos humanos e de animais em aglomerados urbanos e rurais.	60% de água, 30% de sais minerais e 10% de substâncias orgânicas, inclusive tóxicas.	Coliformes fecais, coliformes totais, bactérias heterotróficas, clostridium, salmonela, bactérias lipolíticas e proteolíticas, oxigênio dissolvido <sup>2</sup> , putresina e cadaverina;
Tanque de combustíveis fósseis	Postos de combustíveis e tanques isolados em áreas de mineração e indústrias.	BTEX - benzeno, tolueno, etilbenzeno e isômeros do xileno.	BTEX e DQO;
Matadouros	Abate de animais em áreas rurais isoladas ou em áreas de expansão urbana.	Cromo e bactérias patogênicas.	Cr, DBO, oxigênio dissolvido <sup>2</sup> ;
Estoque de defensivos agrícolas	Áreas agricultáveis.	Compostos nitrogenados e metais pesados.	$\text{NO}_3^{-2}$ , $\text{NO}_2^{-}$ , $\text{NH}_4^{+}$ , As;
Bacias de contenção do escoamento superficial	Áreas de mineração e indústria.	Sedimentos finos com metais pesados.	Cd, Ni e Pb;
Fumaça do forno de calcinação	Áreas de atividade industrial e mineração.	Solos com metais pesados na fração fina < 0,08mm.	Cd, Zn, Cu, Ni e Pb;

<sup>1</sup> Parâmetro a ser analisado em condições extremas.

<sup>2</sup> Parâmetros a ser analisado no caso de águas superficiais.



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) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

Num primeiro instante, as análises devem ser feitas nos dois períodos sazonais, uma no período chuvoso e outra no período seco, totalizando no mínimo um ano hidrogeológico, cujo objetivo é compor um padrão de qualidade natural para uma comparação dos resultados do monitoramento em médio e longo prazo.

Para execução do monitoramento é fundamental o controle da qualidade da água nos três sistemas aquíferos encontrados na área de influência mínima estabelecida para o Sistema Éden, cobrindo toda sua extensão da zona de recarga lenta à zona de descarga. Os pontos de monitoramento devem ser intensificados nas imediações das fontes potenciais de contaminação, acompanhado as direções sugeridas de fluxo para água subterrânea na área. Deve-se aproveitar todos os pontos d'água para coleta, cisternas, poços profundos, lagoas, sumidouros, surgências, fontes, dolinas com água, córregos perenes, rio São Miguel e, inclusive, pontos ao longo da Gruta do Éden (pontos subterrâneos). Na zona de recarga rápida deve-se prever também coletas em pontos de circulação hídrica perene da zona vadosa, caso existam. Em área com ausência de pontos d'água, deve-se providenciar a construção de poços de monitoramento estratégicos.

Este plano de controle da qualidade da água e possíveis fontes poluidoras deve ser mantido como uma ação constante de monitoramento ambiental, podendo ser proposto como compensação ambiental às empresas de mineração e indústrias de calcinação, devidamente licenciadas, da Zona Cárstica de Pains, que arcarão com todos os custos associados às coletas, análises, cadastramento de pontos de coleta, construção de poços de monitoramento e consultorias especializadas. À medida da sua implantação e execução, deve ser revisto, em médio e longo prazo, por profissional especializado da área de hidrogeologia e conhecedor do carste para avaliação da eficiência na escolha dos pontos de coleta e dos parâmetros analisados.

A figura 11 apresenta um mapa de localização preliminar dos pontos de coleta de água subterrânea e superficial, dentro da área de influência do Sistema Éden e imediações, cujo objetivo é fornecer uma primeira proposta de plano de monitoramento, que sirva de ponto de



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) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

partida, para caracterização hidroquímica e verificação da atual condição de poluição da água subterrânea e superficial, com vistas a garantir a integridade dos ecossistemas na Gruta do Éden e demais cavidades do sistema espeleológico, além da qualidade da água na captação para consumo humano do SAAE no rio São Miguel, através da manutenção da qualidade dos mananciais hidrogeológicos.

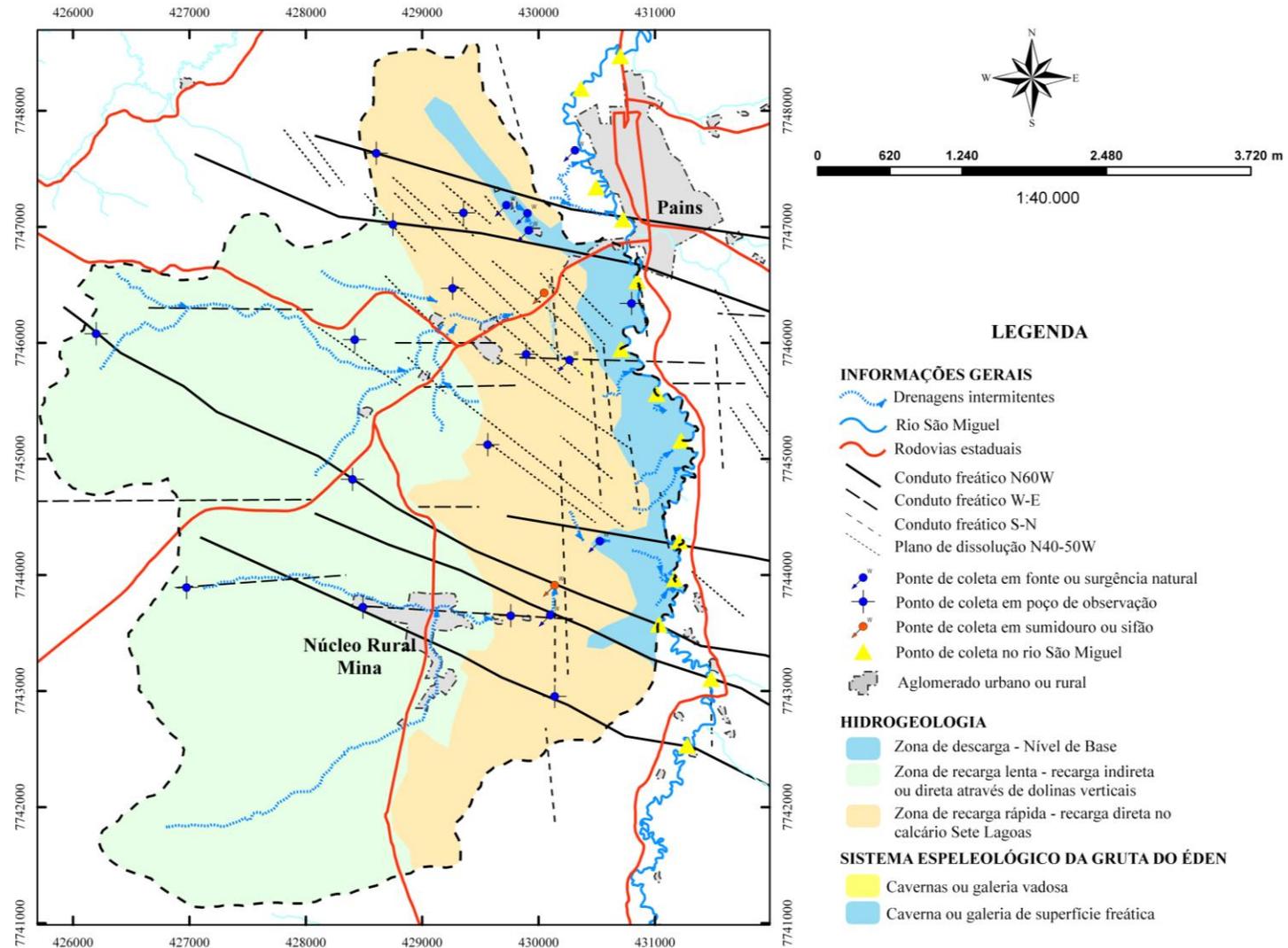


Figura 11 - Proposta preliminar dos pontos de coleta de água subterrânea e superficial dentro da área de influência do Sistema Éden e imediações

### ***Vulnerabilidade natural dos sistemas aquíferos poroso e cárstico***

Na área de pesquisa, Zona Cárstica de Pains, as informações necessárias para o estabelecimento do índice de vulnerabilidade GOD foi obtido por meio da coleta de dados de cisternas, em campo, e de poços tubulares profundos, estes fornecidos pelo SAAE (Serviço de Autônomo de Água e Esgoto).

O índice de vulnerabilidade à contaminação de aquífero GOD foi determinado, na Área de influência do Sistema Éden, para o aquífero poroso e cárstico. A partir das informações hidrogeológicas coletadas em campo foram obtidos os índices individuais de cada parâmetro do método GOD, posteriormente agrupados para comporem o índice de vulnerabilidade à contaminação final de cada ponto dos aquíferos, sendo a seguir interpolados para a geração dos mapas de vulnerabilidade para ambos aquíferos.

A vulnerabilidade natural à contaminação determinada para os aquíferos na Zona Cárstica de Pains foi limitada à Área de influência mínima do Sistema Espeleológico Éden.

#### ➤ Mapa de Vulnerabilidade à contaminação do Sistema Poroso

O mapa vulnerabilidade à contaminação do Sistema Aquífero Físsuro-Cárstico (Figura 12) apresenta a interpolação feita entre os pontos onde foram determinados os índices de vulnerabilidade GOD.

Uma pequena região na parte sudoeste do mapa foi delimitada como *vulnerabilidade média*, descrita como *vulnerável a alguns contaminantes, mas somente quando continuamente lançados ou lixiviados*. Enquanto que, na parte leste da Área de influência mínima do Sistema Espeleológico Éden, houve duas ocorrências mais restritas de regiões de *alta vulnerabilidade*, o que aponta para situações hidrogeológicas particularmente mais sensíveis em toda a região. Essas áreas de alta vulnerabilidade coincidem com a ocorrência de dolinas e uvalas na área de afloramento das rochas calcáreas da Formação Sete Lagoas.

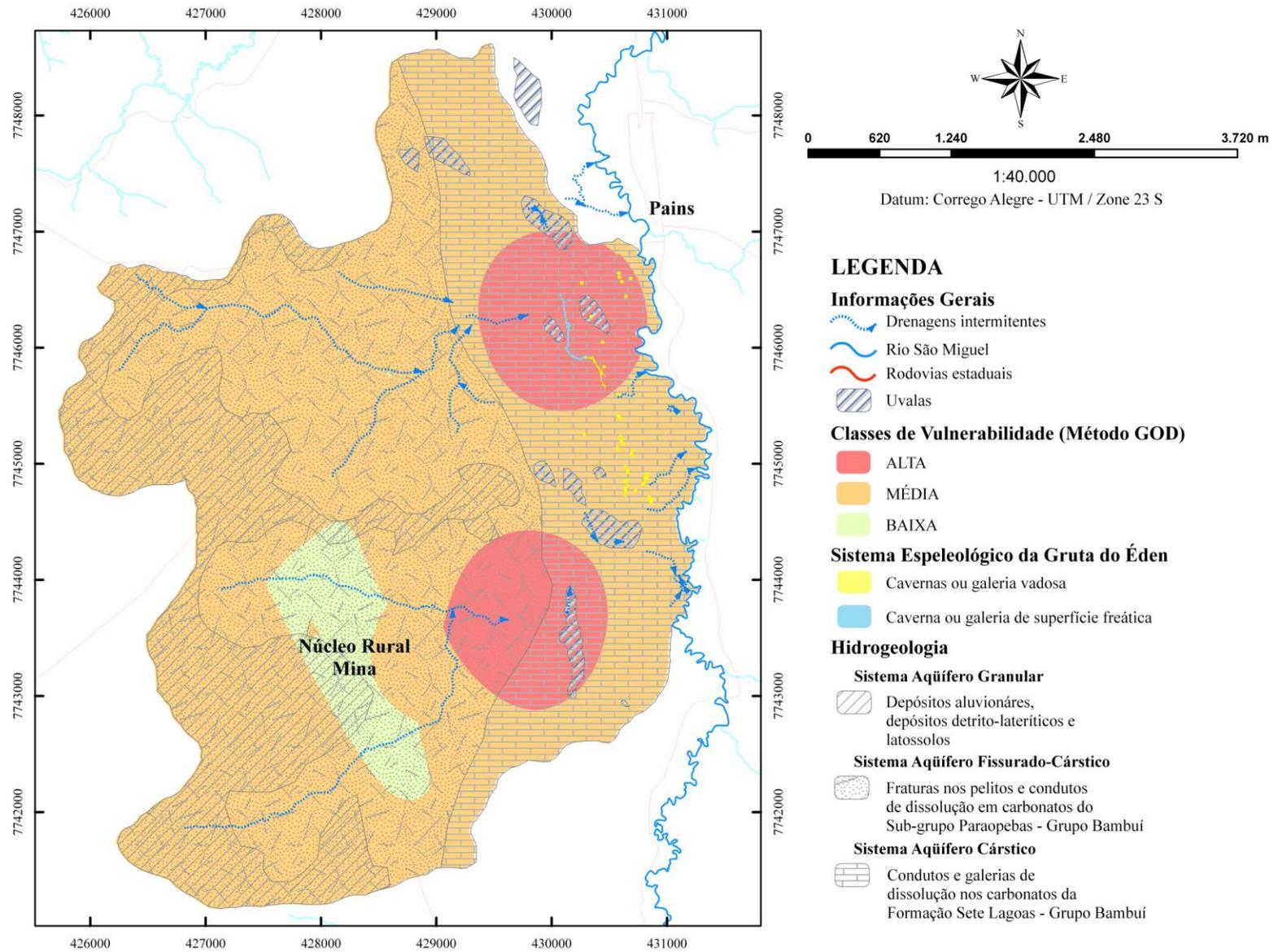


Figura 12– Mapa de vulnerabilidade natural (método GOD) para o Sistema Aquífero Físsuro-Cárstico, abrangendo os solos residuais, na área de influência mínima do sistema espeleológico da Gruta do Éden, Pains-MG.

➤ Mapa de Vulnerabilidade à contaminação do Sistema Aquífero Cárstico

O mapa vulnerabilidade à contaminação do Sistema Aquífero Cárstico (Figura 13) apresentou-se dividido geometricamente em faixas transversais com quatro classes de vulnerabilidade natural à contaminação, segundo uma ordem crescente de vulnerabilidade de sul para norte.

Na parte sul e mediana da área de influência mínima do sistema espeleológico Éden ocorre a predominância de classe baixa e média de vulnerabilidade, que segundo o método GOD apontam, respectivamente: 1) *vulnerável somente a contaminantes conservadores, em longo prazo, quando contínua e amplamente lançados ou lixiviados;* e 2) *vulnerável a alguns contaminantes, mas somente quando continuamente lançados ou lixiviados.* É uma região onde grande parte da área é recoberta por solos residuais ou calcários. Ainda assim essa classificação deve ser observada com cautela uma vez que há na região aglomerados urbanos e rurais onde não há tratamento de esgotos, sendo assim lançados cargas contaminantes que geram produtos contaminantes (como o nitrato, por exemplo).

Na zona mediana superior e sudeste da área de influência mínima do sistema espeleológico Éden o mapa aponta uma região de alta vulnerabilidade onde em algumas situações coincidem com a ocorrência de uvalas e dolinas, que são feições que dão acesso direto de possíveis contaminantes lançados em superfícies para a superfície do aquífero cárstico, e já apresenta ocorrências significativas de calcários expostos na forma de morros, sem cobertura de solo.

No extremo norte da área de influência mínima do sistema espeleológico Éden, por sua vez, o mapa mostra uma zona de extrema vulnerabilidade, onde os índices GOD variam entre 0,8 e 0,9. A classe de vulnerabilidade extrema aponta que são regiões *vulneráveis à maioria dos contaminantes com impacto rápido em muitos cenários de contaminação.*

Essa região é particularmente sensível principalmente devido à predominância de afloramentos de calcários expostos, sem cobertura de solos. É uma área de grande circulação hídrica com várias feições de surgência cárstica do sistema espeleológico Éden e bastante fraturada.

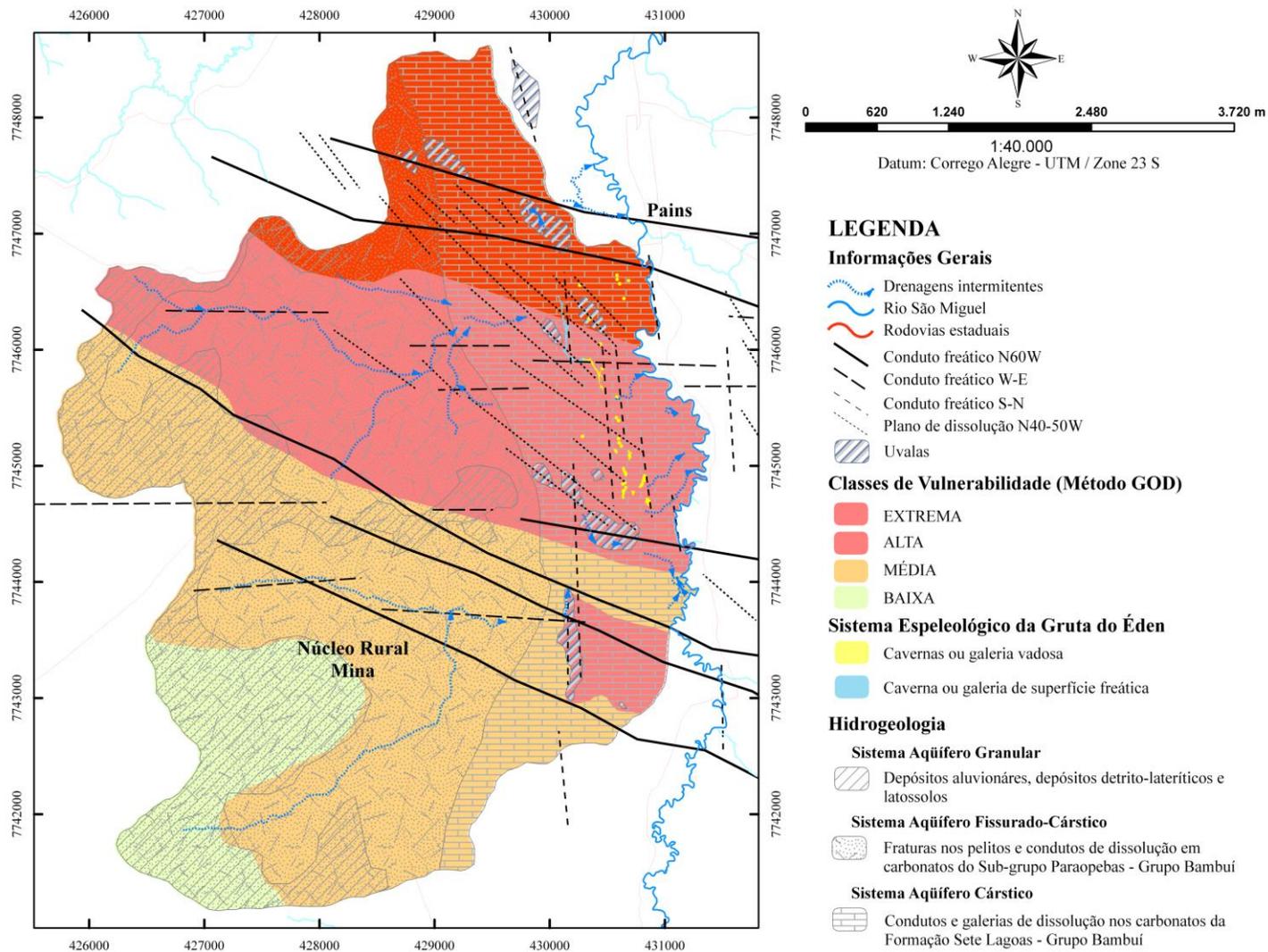


Figura 13 – Mapa de vulnerabilidade natural (método GOD) para o Sistema Aquífero Cárstico, na área de influência mínima do sistema espeleológico da Gruta do Éden, Pains-MG ..

### ***Proposta de criação da APA do Carste Patos – São Miguel***

A Zona Cárstica de Pains tem sua atividade econômica basicamente voltada à atividade minerária, por meio da extração de calcário, e de seu beneficiamento pela indústria da cal. Muito criticada pelo seu caráter degradante, especialmente das cavidades naturais, vegetação e da paisagem, a mineração de calcário esbarra no alto potencial de ocorrência de cavernas, já comprovado pelas inúmeras cavernas catalogadas na região, e no passivo ambiental vinculado às suas atividades fins.

Atualmente, entretanto, a região tem sido gradativamente reconhecida pelo seu grande potencial ao ecoturismo, especialmente voltado ao turismo de aventura, exploração e contemplação de cavernas. O potencial não se limita exclusivamente ao aproveitamento das cavernas, há também inúmeras possibilidades relacionadas ao turismo rural, fauna e flora, principalmente no que se refere à apreciação da famosa "Mata de Pains". Outras possibilidades também devem ser consideradas, tal como o aproveitamento da região e de áreas específicas do carste como laboratório de ensino e pesquisa científica para escolas municipais, estaduais e universidades federais da região. Essas duas atividades, contudo, confrontam-se diante de seus objetivos finais, haja vista que a mineração atua muitas vezes como modificadora da paisagem e supressora das cavernas e, enquanto que o ecoturismo busca a exploração sustentável desse recurso.

A atividade turística ainda representa valor ínfimo na economia da região e um pequeno envolvimento trabalhista especializado da população, com recentes propostas de projetos de inclusão do turismo nas escolas, da Associação do Circuito Turístico Grutas e Mar de Minas. Muitas ofertas de visitas turísticas em cavernas na região de Pains são feitas por grupos de outras cidades ou que atuam em nível estadual ou nacional.

Diante da dependência econômica quase exclusiva da população pela mineração, o turismo surge como uma alternativa de inclusão do jovem num mercado de trabalho promissor, se bem estruturado, e ainda como uma atividade de uso sustentável dos recursos naturais da região.

A viabilidade da atividade turística na região, todavia, necessita da criação de espaços territoriais especialmente protegidos do ponto de vista ambiental. Uma boa solução seria a criação de unidades de conservação da natureza, com vistas a regular a atividade minerária já em franco desenvolvimento, bem como a expansão desordenada do espaço urbano e, até mesmo, estruturar e incentivar o turismo e a ampliação do conhecimento técnico-científico do carste e do meio ambiente dentro destas áreas de conservação.



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) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

Como forma de garantir a manutenção dos mananciais, da fauna e da flora diante do avanço acelerado da atividade mineraria na região de Pains, apresenta-se aqui uma nova proposta de criação de Unidade de Conservação Ambiental. A proposta consiste na criação de uma Área de Proteção Ambiental para o carste nas bacias hidrográficas do Ribeirão Patos e do Rio São Miguel, abrangendo, na totalidade, as duas bacias hidrográficas e protegendo uma área total de 106 mil hectares, que abrange todo o município de Pains, e pequenas áreas dos de Doresópolis, Iguatama, Arcos, Córrego Fundo, Formiga, Pimenta e Piumhi, em Minas Gerais (Figura 14).

A criação da Unidade de Conservação Ambiental se justifica a medida que a preservação das bacias hidrográficas de Patos e São Miguel também significa a preservação do manancial hidrogeológico do carste, onde é indiscutível a superioridade da contribuição da água subterrânea, durante todos os meses do ano hidrológico, na manutenção das vazões no Alto São Francisco. O sistema aquífero cárstico, que ocorre essencialmente dentro dos limites das bacias hidrográficas de Patos e São Miguel, é fundamental no processo de revitalização do Rio São Francisco, sendo indispensáveis iniciativas como esta de proteção de mananciais estratégicos dentro dos limites do Alto São Francisco.

A APA do Carste Patos - São Miguel protegerá praticamente todo o sistema aquífero cárstico e suas principais áreas de recarga, abrangendo também a totalidade das exposições de rochas carbonáticas, sob a forma de morros lapiezados, protegendo a paisagem cárstica e as ocorrências da conhecida "Mata de Pains". A proposta de área para criação da Unidade de Conservação Ambiental recobre também toda a Zona Cárstica de Pains, que é um compartimento diferenciado do sistema aquífero cárstico, e a Área de Influência Mínima estabelecida para o Sistema Espeleológico da Gruta do Éden.

Na Zona Cárstica de Pains o Sistema Espeleológico da Gruta do Éden tem alta relevância, visto que, traz em suas cavidades vadosas e freáticas o registro completo da evolução cárstica local e possui, talvez, a cavidade natural de maior relevância local, além de constituir a rede de condutos e canais onde se concentra grande parte do fluxo subterrâneo que garante a circulação hídrica na bacia e a vida ao longo do Rio São Miguel, importante tributário do Alto São Francisco. Isso motiva também, nesta proposta, a sugestão de transformação do Sistema Éden numa Unidade de Conservação do tipo Monumento Natural.

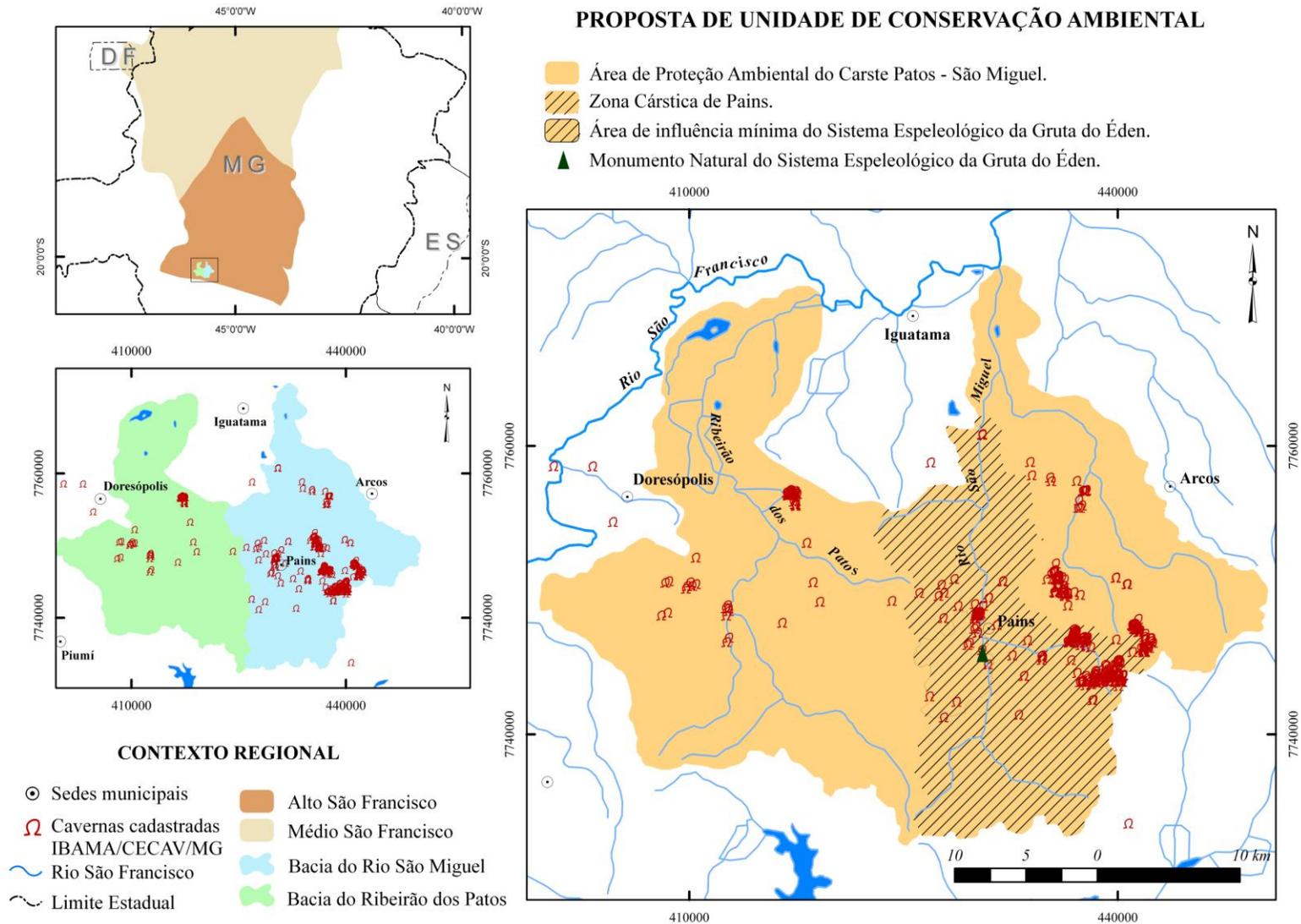


Figura 14 – Proposta de criação de Área de Proteção Ambiental para o Carste das bacias hidrográficas do Ribeirão Patos e do Rio São Miguel, com sugestão de transformação do Sistema Espeleológico da Gruta do Éden em Unidade de Conservação do tipo Monumento Natural e destaque para a Zona Cárstica de Pains e a Área de Influência mínima do Sistema Éden.

Por ser uma categoria de unidade de conservação menos restritiva a Área de Proteção Ambiental deverá restringir e controlar a exploração mineral, sem, no entanto, inviabilizar a economia mineral na região. Além disso, toda a área proposta é uma região de inestimável valor histórico e cultural, de forma que a criação da APA do Carste Patos – São Miguel abrirá uma porta para várias iniciativas públicas e privadas de espeleoturismo, turismo ecológico, rural e científico, que consistirá numa grande alternativa econômica à exploração mineral.

A implantação desta Unidade de Conservação Ambiental significará um passo para um novo modelo econômico para a região, baseado na gestão dos conflitos ambientais causados pela atividade mineraria e no uso sustentável dos recursos naturais disponíveis, possibilitando, sobretudo, um equilíbrio das atuais disparidades sócio econômicas entre os municípios envolvidos.

Dentro de uma área de proteção ambiental torna-se muito mais fácil controlar as diferentes formas de pressão antrópica sobre o rico acervo espeleológico e paleontológico do Carste de Patos e São Miguel e gerenciar os diferentes conflitos relacionados à atividade mineraria e ao meio ambiente. Dentro de uma APA podem ser estabelecidas normas e restrições para a utilização de uma propriedade privada, o que viabiliza a gestão do uso sustentável dos diversos recursos naturais e possibilita um melhor aproveitamento do incontestável potencial turístico no carste das bacias de Patos e São Miguel.

Quanto à administração da possível APA do Carste Patos – São Miguel deve-se incentivar uma ampla participação da população local, tal como está previsto no parágrafo 5º do Art.15, o SNUC. Iniciativas relacionadas à utilização do carste como laboratório de pesquisa científica ou mesmo de atividades escolares em diferentes níveis do ensino brasileiro devem ser priorizadas como políticas de ação municipais, estaduais e federais dentro da unidade de conservação.

É fundamental que a APA do Carste Patos – São Miguel seja uma Unidade de Conservação Federal, isso devido à importância desta área na manutenção das vazões e preservação do Rio São Francisco, que é um rio federal. A estratégia é compatibilizar e facilitar a gestão ambiental da APA frente às ações de gestão dos recursos hídricos federais e às políticas federais de revitalização da bacia do Rio São Francisco. Todavia, é também fundamental a participação do poder público e da sociedade civil municipal, não apenas na criação da APA, mas principalmente no conselho de administração da unidade de conservação.



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) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

Toda a sociedade civil municipal e estadual, além do poder público federal, deve ser envolvida na elaboração do Plano de Manejo e no zoneamento da APA do Carste Patos e São Miguel, haja vista a importância local e federal desta unidade de conservação. A experiência do IBAMA/CECAV na delimitação da área de influência mínima para o Sistema Éden deve ser tomada como exemplo, área piloto, na estratégia de delimitações de futuras áreas de influência para os diferentes sistemas espeleológicos existentes no Carste das bacias de Patos e São Miguel.



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) 3316.1175/3316.1572 FAX: (61) 3223.6750

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORGHETTI, C. 2002. A influência da indústria calcinadora na distribuição e na concentração de metais pesados nos solos da região de Córrego Fundo – Pains (MG).

CADAMURO, A. L. M. 2002. Proposta, Avaliação e Aplicabilidade de Técnicas de Recarga Artificial em Aquíferos Fraturados para Condomínios Residenciais do Distrito Federal. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. Dissertação de Mestrado, 130p.

CADAMURO, A. L. DE M.; REGO, A. P. DE M.; JOKO, C. T.; GIUSTINA, C. C. D.; PONTES, C. H. C.; D'ANGIOLELLA, G.; OLIVEIRA, L. A. DE; LIMA, M. C. 2000. Hidrogeologia Aplicada na região de Caldas Novas – Goiás- Caracterização dos Aquíferos e Balanço Hídrico Preliminar, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 93p.

GASPAR, M. T. P. 2006. Sistema Aquífero Urucuia: Caracterização Regional e Propostas de Gestão. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 158p. e anexos.

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.

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.