



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 03 do TERMO DE REFERÊNCIA Nº 119701

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

**RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO QUALITATIVA DE INTERFERÊNCIAS FÍSICAS
(EXPLOTAÇÃO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO, MINERAÇÃO, IRRIGAÇÃO)
NA REGIÃO DA ÁREA DA BACIA DO SÃO FRANCISCO**

Abril/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 - 1 -/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO QUALITATIVA DE INTERFERÊNCIAS FÍSICAS (EXPLOTAÇÃO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO, MINERAÇÃO, IRRIGAÇÃO) NA REGIÃO DA ÁREA DA BACIA DO SÃO FRANCISCO

INTRODUÇÃO

Dentro de uma abordagem hidrogeológica do aquífero de rochas carbonáticas da região de Pains – MG, na Zona Cárstica de Pains, e buscando um maior detalhamento sobre o tema pressão antrópica levantado no Produto 2 ("Estudo das Atividades Antrópicas Potencialmente Contaminantes do Sistema Carstico e Pontos de Pressão Antrópica no Ambiente"), este trabalho vem contribuir para o entendimento da circulação hídrica superficial e subterrânea nas imediações do Sistema Espeleológico da Gruta do Éden (Sistema Éden).

Além de dar luz ao entendimento hidrogeológico da área, este produto tem por objetivo propor uma área de influência mínima para o Sistema Éden e elaborar uma avaliação qualitativa das ações antrópicas, que podem causar interferências físicas nos sistemas aquíferos, buscando apontar problemas potenciais futuros na região da área de influência.

São várias as pressões antrópicas que interferem fisicamente no ambiente cárstico, sendo inclusive, capazes de causar mudanças estruturais nos sistemas aquíferos cársticos, que por sua vez comprometeriam, parcial ou totalmente, a dinâmica hídrica nas zonas vadosa e freática do aquífero. Entretanto, nem todos os tipos de pressão antrópica causam, exclusivamente, interferências físicas, a grande maioria, além das alterações físicas também são capazes de causar significativas alterações na qualidade da água subterrânea.

Os empreendimentos de pequeno ou grande porte, tais como indústrias, áreas agricultáveis e aglomerados urbanos são exemplos de pressões, ou conjunto de pressões antrópicas, que interferem física e quimicamente na água subterrânea. No entanto, existem algumas pressões que possuem um componente de interferência física, na dinâmica hídrica, bem mais expressivo que o de interferência química; dentre estes tipos de pressão, ocorrem



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

na Zona Cárstica de Pains: a disposição da malha viária, as frentes de lavra para extração de rochas carbonáticas, os vários processos erosivos e a remoção da cobertura vegetal, seja ela para o início da extração mineral ou para agricultura.

Dentro da área de influência mínima prevista para o sistema espeleológico da Gruta do Éden, a Mineração Saldanha e a Calcinação Pains foram pontos de pressão escolhidos para o estudo de caso, onde, estas atividades exercem expressivos problemas de alteração física sobre o sistema aquífero cárstico.

A ÁREA DE INFLUÊNCIA DO SISTEMA ÉDEN: UMA ABORDAGEM HIDROGEOLÓGICA

Para delimitação da área de influência mínima do Sistema Éden, executou-se o georreferenciamento do contorno da Gruta do Éden e das demais cavidades naturais, até então topografadas, situadas próximas às frentes de lavra da Mineração Saldanha. De posse das projeções verticais desses contornos sobre as informações cartográficas e geológicas da Zona Cárstica de Pains, além de informações coletadas em campo, referentes a possíveis linhas de fluxo abastecedoras do Sistema Éden, observou-se a necessidade de separação de pelo menos duas sub-bacias hidrográficas do Rio São Miguel, quais sejam: a bacia referente ao curso intermitente que drena o núcleo rural Mina (Bacia Sul) e a bacia referente ao curso intermitente que drena a Fazenda do Veado (Bacia Norte) e margeia a rodovia MG-170, saída sudoeste de Pains.

A Bacia Norte e a Bacia Sul, acrescidas de uma pequena área de drenagem existente entre elas, onde estão localizadas as principais frentes de lavra da Mineração Saldanha, estendendo-se até o eixo central do leito do Rio São Miguel, situado a aproximadamente 250m a leste da Gruta do Éden, constituem a área de influência mínima do Sistema Éden (figura 1), totalizando 25,8km², abrangendo todo o sistema e também os mais prováveis pontos de interferência antrópica sobre ele.



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

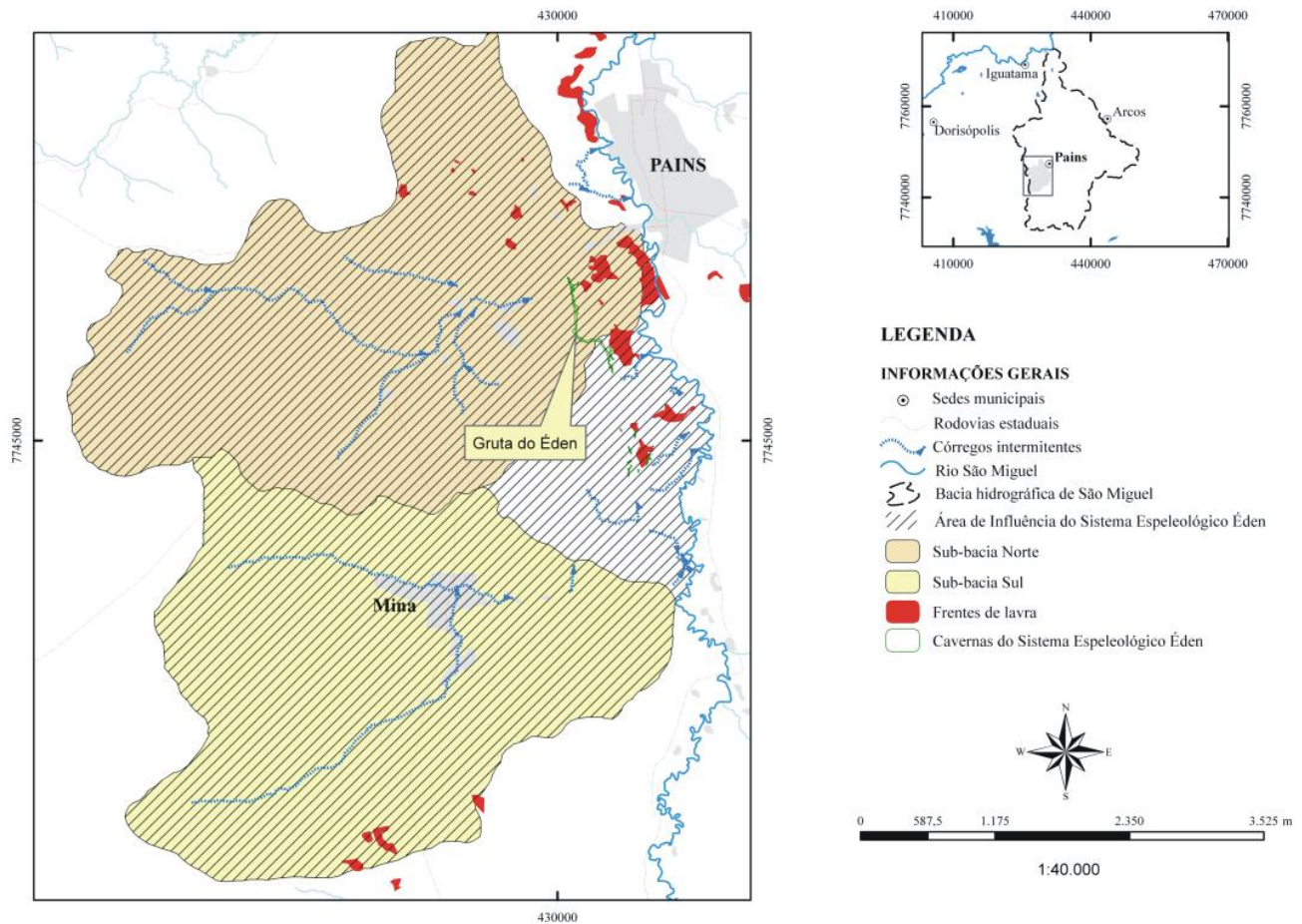


Figura 1 – Área de influência mínima do Sistema Espeleológico da Gruta do Éden, com destaque para a Gruta do Éden.

Do ponto de vista hidrogeológico, na área de influência mínima ocorrem três sistemas aquíferos (figura 2): o sistema aquífero cárstico, desenvolvido nos calcários laminados, pretos acinzentados, da Formação Sete Lagoas do Grupo Bambuí; o sistema aquífero fissurado-cárstico, desenvolvido nos argilitos e siltitos do Subgrupo Paraopebas (Grupo Bambuí); e o sistema aquífero granular, formado em espessos mantos de intemperismo desenvolvidos sobre as rochas terrígenas do Paraopebas.



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

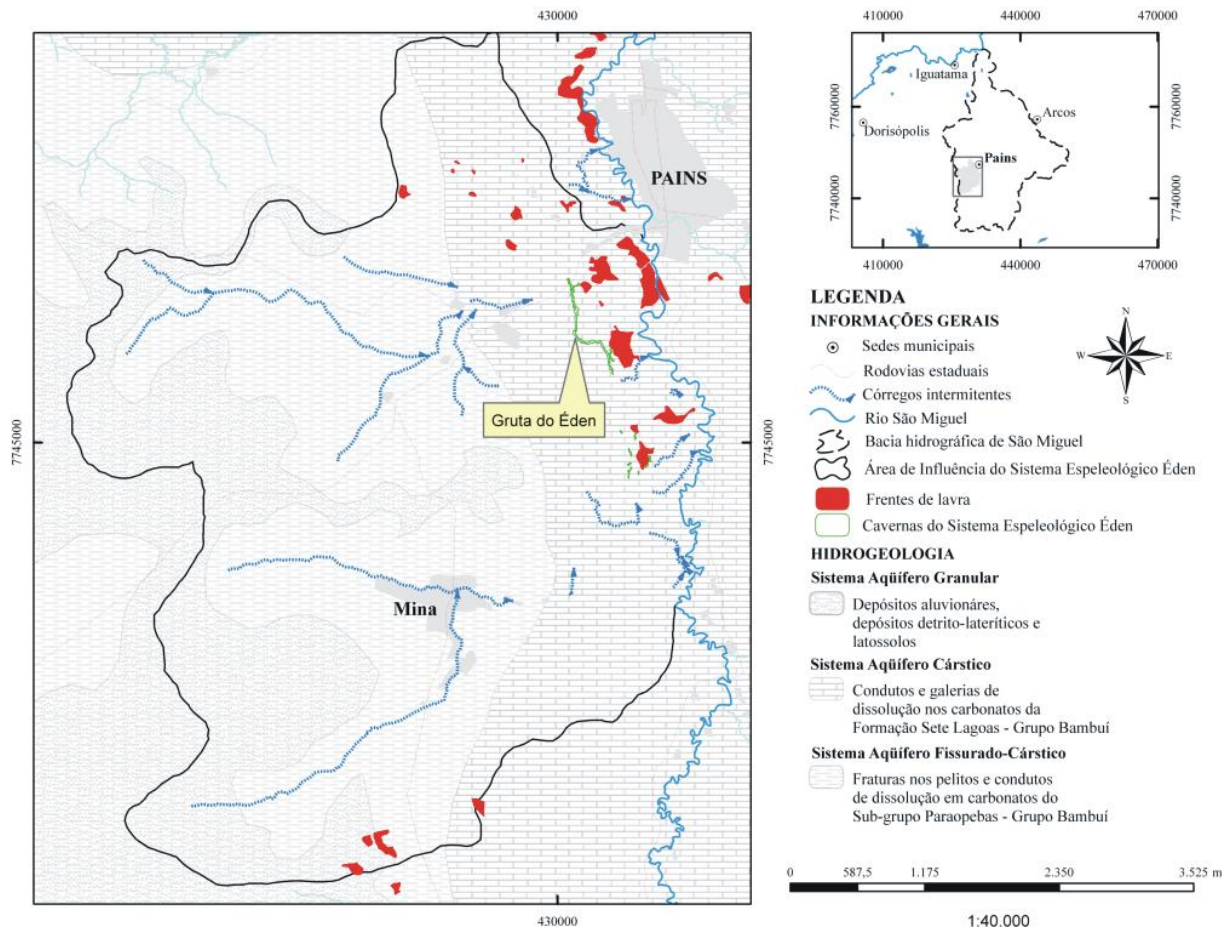


Figura 2 – Contexto hidrogeológico da área de influência mínima do Sistema Éden, mostrando as áreas de ocorrência dos três sistemas aquíferos encontrados.

Na fotointerpretação, feita em fotografias aéreas na escala 1:60.000, nota-se claramente a mudança de textura do relevo, o que marca o contato geológico entre o Subgrupo Paraopebas e a Formação Sete Lagoas. Este contato é assinalado pela mudança de uma área com extensa cobertura pedológica e eventuais ocorrências de dolinas circulares, alinhadas paralelamente às drenagens intermitentes, para outra área a leste, com elevada concentração de afloramentos de calcário, na forma de morros testemunhos, havendo restritas áreas de solo e freqüentes ocorrências de depressões cársticas elípticas de grande extensão (uvalas). Outra mudança também marca o contato geológico; o término



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

dos cursos, ou drenagens, intermitentes exatamente na linha de mudança de textura do relevo, o que também sinaliza a passagem do sistema aquífero fissurado-cárstico para o sistema aquífero cárstico. Nessa passagem as drenagens se perdem e são truncadas por amplas uvalas em meio aos grandes afloramentos de calcário. Provavelmente, neste contato há um elevado gradiente negativo da superfície potenciométrica.

Como os argilitos e os siltitos estão estratigraficamente posicionados sobre os calcários, 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. Este último constitui as áreas de recarga dos três sistemas aquíferos, ocorrendo em compartimentos geomorfológicos de platô situados na porção oeste da área de influência, onde as cotas topográficas são mais altas.

A porção oeste 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 (figura 3).

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 (figura 4). 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.

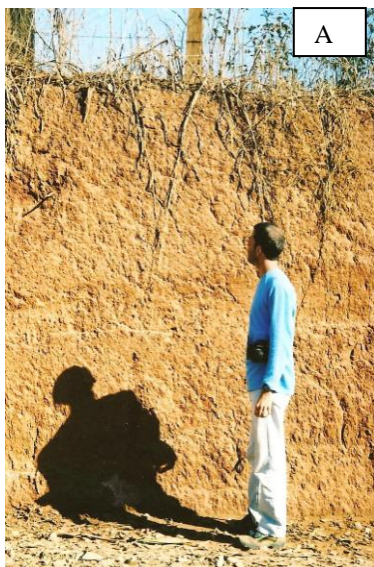


Figura 3 – Formas de recarga na porção oeste. (A) indireta, através da infiltração natural da água da chuva no manto de intemperismo; (B) direta, por meio de dolinas circulares, verticais, isoladas, com alta frequência de ocorrência.



Figura 4 – Exposições comuns do calcário da Formação Sete Lagoas, do Grupo Bambuí, sob a forma de morros lapiezados verticalmente, onde ocorre a recarga direta do sistema aquífero cárstico.

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. Devido a elevada condutividade hidráulica no sistema aquífero cárstico, a superfície potenciométrica tende a ser horizontal, havendo um baixo gradiente hidráulico entre a recarga e descarga do carste. O cruzamento da informação geológica e da condição de recarga do sistema aquífero cárstico dentro da área de influência permite 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 - 1 -/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

subdivisão da mesma em área de influência direta e indireta. A figura 5 mostra as áreas de recarga e a área de descarga do carste na área de influência do Sistema Éden, bem como as áreas de influência direta e indireta.

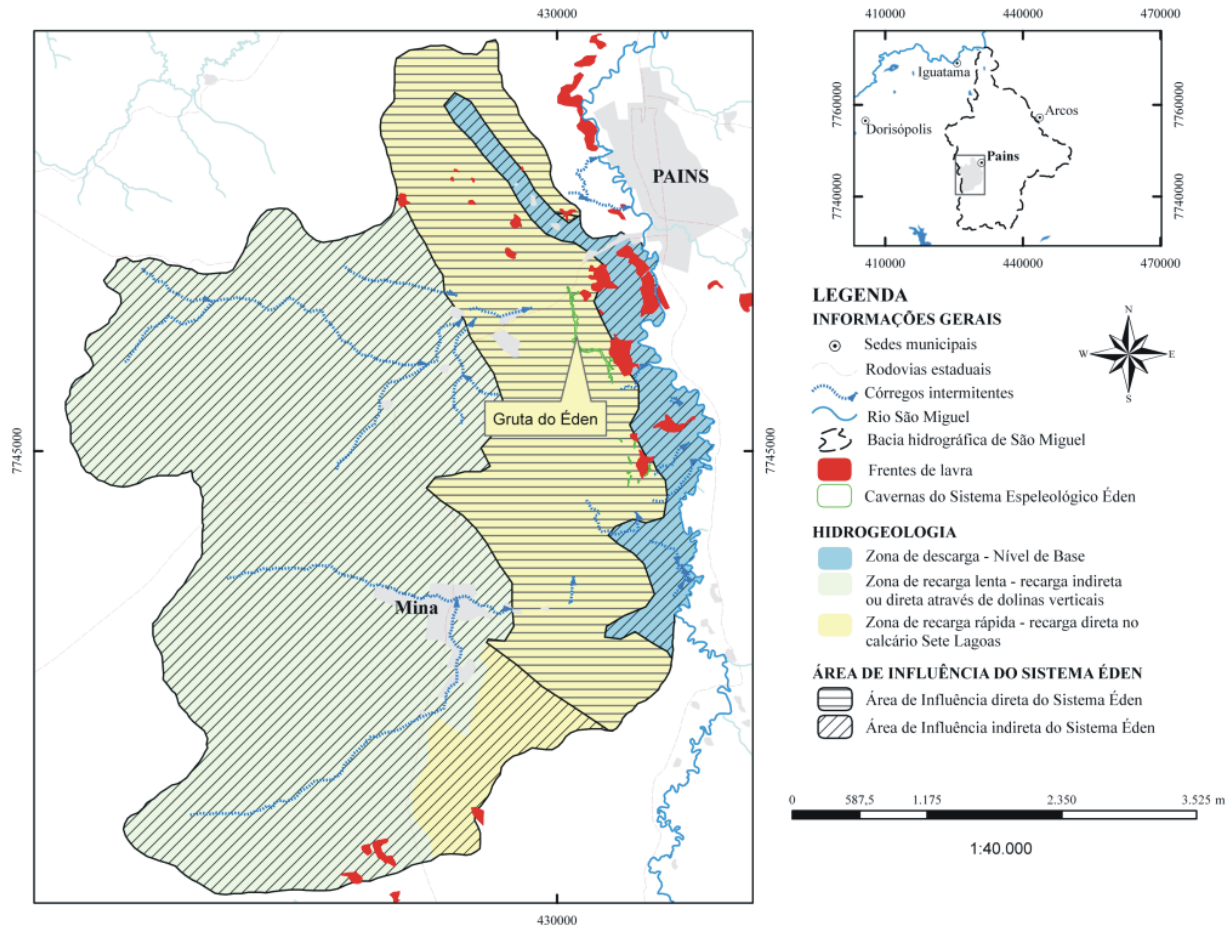


Figura 5 – Cruzamento da informação geológica e as condições de recarga do sistema aquífero cárstico, como forma de refinar a área de influência em influência direta e indireta.

No que se refere ao sistema aquífero cárstico, quando quimicamente sedimentados, os calcários possuem porosidade primária incipiente e permeabilidade muito baixa, sendo praticamente uma rocha impermeável, todavia, os planos de acamamento podem ser importantes zonas de porosidade primária (Fetter, 1994).



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

Nessas rochas a porosidade secundária é muito importante na eficiência do aquífero, sendo a porosidade efetiva do mesmo um resultado do alargamento de dissolução dos planos de fratura (falhas e juntas). A taxa de abertura de dissolução nesses planos depende da quantidade de água subterrânea e do grau de saturação de calcita nessa água, a qual flui através desses planos (Fetter, 1994), mas independe da velocidade do fluxo, sendo a largura de abertura da fratura um dos fatores que controlam o quão longe o fluxo pode ir, até que a saturação atinja 90% e a dissolução cesse (Palmer 1984).

Aquíferos formados em calcários podem ser altamente anisotrópicos e heterogêneos, onde a água subterrânea flui apenas através dos planos, e preferencialmente nas intersecções entre fraturas e planos de acamamento, mais alargados pela dissolução química do calcário. Na área de influência do Sistema Éden, os aquíferos cársticos não são diferentes, representam um típico exemplo de sistema aquífero formado em calcários.

Num sistema aquífero cárstico, à medida que a água insaturada em carbonato de cálcio flui, da área de recarga para a área de descarga, através da rede de canais, ou tubos abertos ("*open pipe network*"), tende a haver uma redução na dissolução das fraturas. A grande quantidade de canais estreitos de dissolução, frequentes na área de recarga, vai se unindo e formando, poucos, porém, amplos canais de dissolução que concentram todo o fluxo subterrâneo na área de descarga (Ewers *et al.*, 1978).

Na área de influência proposta, o carste apresenta alguns condutos bem amplos, onde ocorre a concentração dos fluxos subterrâneos. Este é o caso do conduto que deságua dentro da Gruta do Éden, certamente relacionado a um importante e amplo conduto de dissolução cárstica, formado na intersecção do acamamento (N50-60W 30-50SW) com lineamentos de direção E-W. Essa evidência é corroborada pela descrição da forma e da direção do conduto já explorado por meio de espeleomergulho.

A descarga na área de influência ocorre essencialmente em fontes localizadas e alinhadas ao longo da margem esquerda do Rio São Miguel. São nascentes de intersecção entre extensos e amplos condutos de concentração de fluxos com o nível de base da superfície potenciométrica.



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

A superfície potenciométrica na área de influência é bem horizontalizada, com suave caimento de oeste para leste, formando apenas uma pequena elevação acima do nível de base regional (Rio São Miguel), o que ocorre devido à rápida drenagem, ou seja, elevada condutividade hidráulica do sistema aquífero cárstico. Essa pequena elevação da superfície potenciométrica em relação ao nível de base pode ser notada na pequena diferença de nível (1,5m), medida em campo, entre a surgência, dentro da galeria da Gruta do Éden, ainda na área de recarga direta, e o Rio São Miguel, situado 300 metros a leste, na área de descarga do sistema aquífero cárstico.

Durante o período chuvoso, na área de recarga direta do sistema aquífero cárstico, podem ocorrer repentinas e amplas elevações da superfície potenciométrica, devido à elevada velocidade de infiltração da água superficial na zona vadosa, que rapidamente abastece a rede de canais freáticos, através de dolinas, uvalas e áreas de calcário exposto, em campos de lapiaz verticais. Nos canais saturados (freáticos) o fluxo subterrâneo é turbulento, havendo um grande carreamento de sedimentos em suspensão, o que pode ocasionar a sedimentação de espessos horizontes de argila, fato observado na zona de inundação da Gruta do Éden, com amplitude de sedimentação, mínima, igual a 10 metros.

As fontes cársticas também respondem rapidamente aos picos da oscilação do nível freático, como se observa no ponto considerado como sendo a primeira ressurgência, após o sifão, do conduto de canalização ativo do Sistema Éden. Nesse ponto as repentinas e sucessivas elevações do nível da água fizeram com que o proprietário da área mudasse a posição da bomba de recalque, para cinco metros acima da primeira posição (figura 6).



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



Figura 6 – Surgência considerada como sendo o ponto de reaparecimento da água que passa pela galeria de superfície potenciométrica da Gruta do Éden, com destaque para o pila de elevação da bomba para recalque de água.

Fluxos concentrados em largos condutos, com velocidades semelhantes a dos rios superficiais, comportamento turbulento, grande carga de sedimentos em suspensão, qualidade da água similar a da água superficial, devido à rápida recarga através da zona vadosa, descarga regional ocorrendo em poucas fontes, superfície potenciométrica plana com pequena elevação em relação ao nível de base regional e repentinas elevações, de grande amplitude, do nível d'água nas galerias das cavernas, resurgências e fontes, são características hidrológicas, segundo o modelo conceitual de aquíferos cársticos proposto por White (1969), de um sistema aquífero cárstico do tipo fluxo-livre ("*Free-flow*"). Todas essas características são claramente observadas no carste da área de influência do Sistema Éden, o que permite classificá-lo com do tipo fluxo livre ("*Free-flow*"). Em sistemas cárstico do tipo fluxo livre águas muito mais distantes podem chegar, ao mesmo tempo, que águas bem próximas, num determinado ponto.

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



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

compreensão da circulação água subterrânea no carste, 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 regionais, como os sistemas Fissurado-Cárstico e Fissurado.

A área de influência mínima do Sistema Éden é transpassada pela importante zona transcorrente Dorisópolis – Pains, onde se destacam as falhas transcorrentes de Mina e Pains. Na fotointerpretação dessa área, os principais lineamentos observados, seguindo uma ordem de importância, quanto à formação de amplos condutos de dissolução, são (figura 7):

- Lineamentos N60°W, de baixa frequência e elevada persistência, associados as falhas transcorrentes de Mina e Pains, ao longo das quais, certamente, estão desenvolvidos os principais condutos freáticos da região. Nestes condutos, próximo à área de descarga, está concentrado a maior parte do volume de água subterrânea;
- Lineamentos N-S, de alta frequência e baixa persistência, que condicionam o próprio rio São Miguel e o desenvolvimento linear das galerias vadosas 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, condicionam importantes surgências, superficiais ou subterrâneas, como aquela existente na Gruta do Éden;
- 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 - 6 -/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

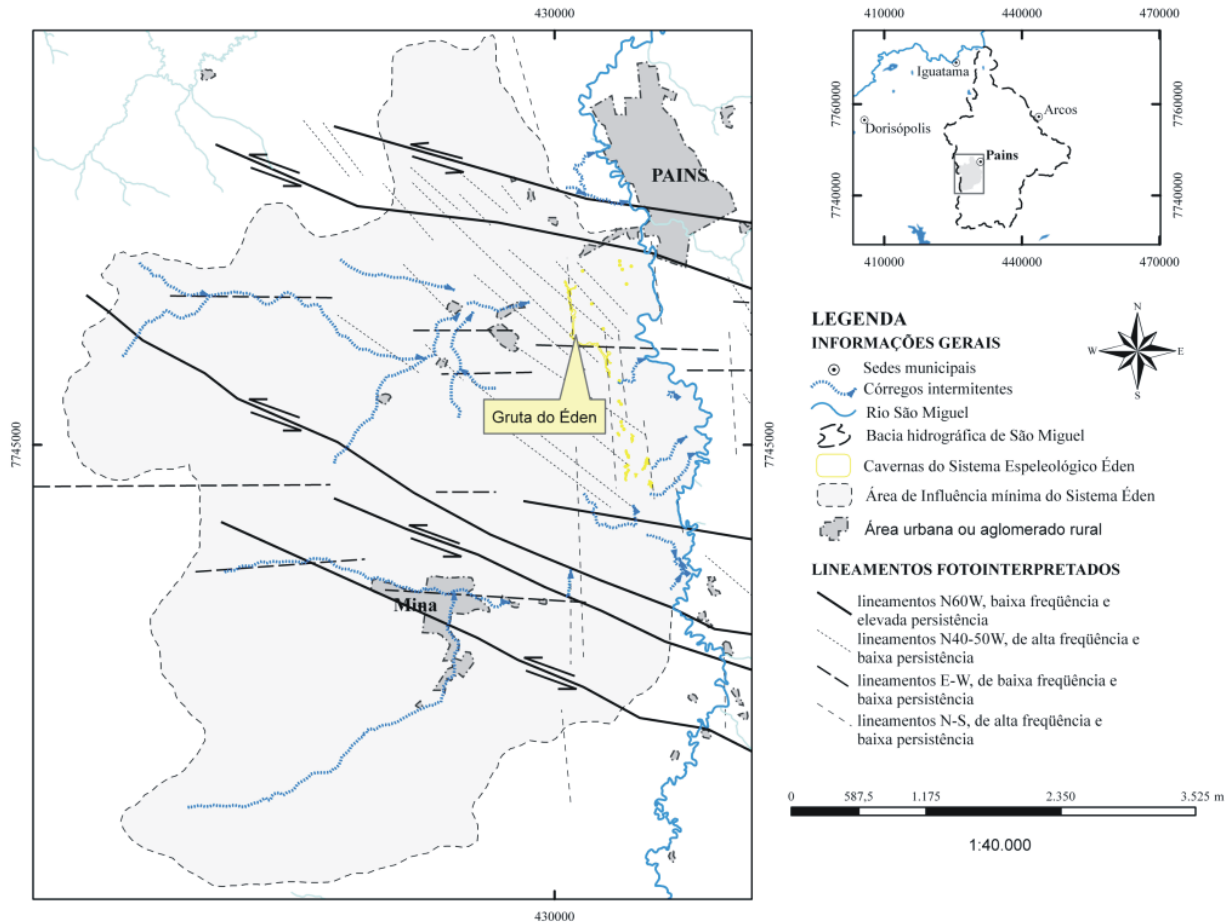


Figura 7 – Principais lineamentos identificados por meio de fotointerpretação (fotos 1:60.000) na área de influência do Sistema Éden.

As direções de fluxo subterrâneo, aqui apresentadas, foram obtidas de forma indireta, sem nenhum tipo de ensaio quantitativo e apenas com a interpretação das informações disponíveis no CECAV / IBAMA. Todavia, fornece uma direção para a futura aplicação de ensaios e desenvolvimento de estudos hidrogeológicos, bem como permite uma boa previsão de possíveis impactos ambientais, causados pelas diferentes formas de pressão antrópica na área.

Para entender a dinâmica da circulação hídrica do sistema aquífero cárstico, na área de influência do Sistema Éden, se faz necessário o cruzamento de todas as informações



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

disponíveis, inclusive a morfologia e os níveis evolutivos da Gruta do Éden e demais cavidades naturais do sistema espeleológico. Quando se considera a hidrogeologia, a hidrografia e a geomorfologia, dentro do contexto do ciclo hidrológico, vislumbra-se um quadro hidrogeológico muito próximo do real.

De modo geral a compreensão dos sistemas aquíferos cársticos é muito difícil, mas como todo sistema hidrogeológico a regra do gradiente hidráulico deve ser respeitada. O cruzamento dessas informações levantadas neste trabalho permite um bom entendimento da circulação hídrica, mas não comprova os fatos. Para a comprovação das verdadeiras direções preferenciais do fluxo subterrâneo faz-se necessário a utilização de outras ferramentas metodológicas como ensaios com traçadores, controle sistemático das vazões, controle sistemático da estruturação geológica dentro das cavernas, geofísica, datações de água subterrânea e ensaios de bombeamento, para observação dos rebaixamentos e possíveis interferências.

Na área de influência mínima do Sistema Éden, pelo menos dois gradientes hidráulicos devem ser considerados: um gradiente de sentido W-E, cujo nível de base é o rio São Miguel; e outro gradiente de sentido S-N, cujo nível de base é o rio São Francisco. Deve-se também levar em consideração o escoamento superficial e todo o *run off* nas sub-bacias hidrográficas da área de influência (bacia Norte e bacia Sul), que durante a estação chuvosa são muito importantes para o aumento do volume hídrico dentro da zona freática do carste.

Provavelmente, houve um tempo durante a história evolutiva do Sistema Espeleológico da Éden, em que o gradiente hidráulico W-E era muito insipiente, ou mesmo inexistente, durante esse momento evolutivo da Zona Cárstica de Pains, no alto rio São Miguel, os fluxos subterrâneos erram preferencialmente orientados segundo o sentido S-N. Ao menos, isso é o que revela as galerias e condutos vadosos atualmente mapeados no Sistema Éden, cujo desenvolvimento linear segue exclusivamente esse sentido (S-N), indicando que num passado geológico a principal direção do fluxo subterrâneo obedecia apenas o gradiente hidráulico cujo nível de base encontrava-se a norte. Durante esse



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

período os lineamentos N-S eram os principais condutos de dissolução e condicionavam a circulação hídrica de sul para norte, segundo o gradiente.

Posteriormente, com a escavação geomorfológica do vale do rio São Miguel e conseqüente aumento da drenagem da água subterrânea, houve um significativo rebaixamento da superfície potenciométrica, com inflexão no eixo da bacia hidrográfica do São Miguel, expondo o pacote de carbonatos da formação Sete Lagoas. Durante esse momento da evolução cárstica do Sistema Éden, grande parte dos condutos e galerias N-S passam à condição de vadosos. Foi a partir desse período que o relevo cárstico atualmente visível na área de recarga direta (uvalas, morros lapiezados, sumidouros e surgências) começou a se formar.

Foi também, a partir da exposição dos carbonatos e início da evolução do relevo cárstico que o gradiente hidráulico W-E surge, ou aumenta sua intensidade, com nível de base no eixo da bacia hidrográfica do São Miguel. Com a ampliação do vale do São Miguel, o gradiente hidráulico W-E supera o S-N. A partir de então o fluxo subterrâneo passa a aproveitar os lineamentos N60°W e E-W, que são o caminho mais fácil para o novo nível de base.

Esse quadro é muito semelhante ao atualmente observado na área de interferência do Sistema Éden, ou seja, como o gradiente hidráulico W-E é maior que o S-N, a água subterrânea circula preferencialmente pelos condutos de dissolução desenvolvidos segundo os lineamentos N60°W e E-W, tendo os amplos condutos de orientação N-S sido abandonados pelo fluxo subterrâneo. Não que não existam mais condutos freáticos na direção N-S, sim, eles ainda existem, uma vez que ainda existe um gradiente hidráulico S-N, cujo nível de base é, atualmente, o rio São Francisco. Entretanto, o fluxo nesses condutos ocorre de forma secundária, pois o gradiente neste sentido é menor que naquele outro.

Diante desta situação hidrogeológica, revelada pela avaliação dos dois gradientes hidráulicos atualmente perceptíveis, os principais condutos de dissolução atualmente desenvolvidos, por onde circula o maior volume de água subterrânea, são



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

aqueles desenvolvidos segundo as falhas transcorrentes de Mina e Pains, seguidos pelos condutos desenvolvidos segundo os lineamentos E-W e, por fim, os N-S.

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 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 foram levantados em campo e serão aqui abordados em detalhe, buscando um melhor esclarecimento da dinâmica hidrogeológica, quais sejam:



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

1) Uvala Mina

Em forma elíptica, com orientação norte – sul e aproximadamente 1000 metros de comprimento por 200 metros de largura, a uvala Mina está localizada 1000 metros a leste do núcleo rural Mina. Dentro dos limites desta uvala, na sua borda oeste, ocorre uma surgência perene, a partir da qual, parte do volume de água escoam superficialmente, sendo o curso interrompido aproximadamente 260m a norte, num sumidouro (figura 8).



Figura 8 – (A) Foto da ponto de surgência de águas subterrâneas na margem oeste da uvala Mina. (B) Ponto de sumidouro de parte da água subterrânea que escoam sobre os sedimentos que recobrem a uvala Mina.

Durante a estação seca, a maior parte da água subterrânea que aflora nessa surgência, provavelmente, é referente a fluxos regionais que circulam segundo o gradiente hidráulico W-E, através dos amplos condutos formados ao longo dos lineamentos N60°W e secundariamente condutos formados ao longo dos lineamentos E-W. Há também contribuição de água proveniente de condutos formados ao longo dos lineamentos N-S, que fluem segundo o gradiente hidráulico S-N.



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

Situada, aproximadamente, na cota de nível dos 700 metros, essa surgência é o resultado da intersecção das três principais direções de fluxo subterrâneo na área, sendo um ponto de mistura de fluxos regionais. Durante a estação chuvosa, o "run off" se soma e a estes fluxos regionais. A mistura da água superficial e subterrânea ocorre aproximadamente 500 metros a oeste da surgência.

O sumidouro, por sua vez, ocorre na base de um paredão de calcário que também é o limite norte da uvala Mina. Trata-se de um grande morro testemunho de calcário, condicionado pela falha transcorrente de Mina, constituindo uma das mais importantes direções de dissolução cárstica atual e de circulação da água subterrânea. Neste ponto a maior parte do volume da água subterrânea é drenado segundo o gradiente hidráulico W-E e segue em direção à zona de descarga até alcançar o nível de base, abastecendo o leito do rio São Miguel e contribuindo para a manutenção de suas vazões (figura 9).

2) Uvala Sócrates

Com aproximadamente 480 metros de comprimento e 250 metros de largura, forma elíptica e orientação segundo os lineamentos N40°-50°W, a uvala Sócrates é a primeira de uma seqüência de uvalas que se estende para noroeste. Nesta ampla área de colapso, a porção sudeste da uvala encontra-se dentro dos limites da zona de descarga do sistema aquífero cárstico, onde ocorrem vários pontos de exposição da superfície potenciométrica, que se encontra a menos de um metro da superfície média do terreno. Algumas dessas exposições funcionam como fontes perenes, pois ocorrem ao longo do talvegue de uma drenagem intermitente de direção igual à do alinhamento das uvalas.

Nesta área o fluxo subterrâneo é proveniente essencialmente dos condutos formados ao longo dos lineamentos N60°W, sendo, provavelmente, fluxos regionais, podendo haver pequena contribuição, também regional, de fluxos provenientes de condutos orientados segundo os lineamentos N-S. Uma vez dentro da zona de descarga, o fluxo



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

subterrâneo está praticamente no nível de base, contribuindo para o aumento das vazões no rio São Miguel.

Durante o período chuvoso, na zona de recarga rápida, há uma eficiente infiltração em áreas de calcário exposto, áreas de lapiezamento vertical e em outras uvalas. Essa recarga rápida é responsável pelo aumento sazonal do pequeno aporte de água subterrânea através dos planos de dissolução dos lineamentos N40°-50°W, devido ao acamamento sedimentar, que facilita a infiltração. Este volume sazonal se soma aos fluxos regionais dos condutos formados ao longo dos lineamentos N60°W, que, por fim, aumentam significativamente as vazões no São Miguel (figura 10).

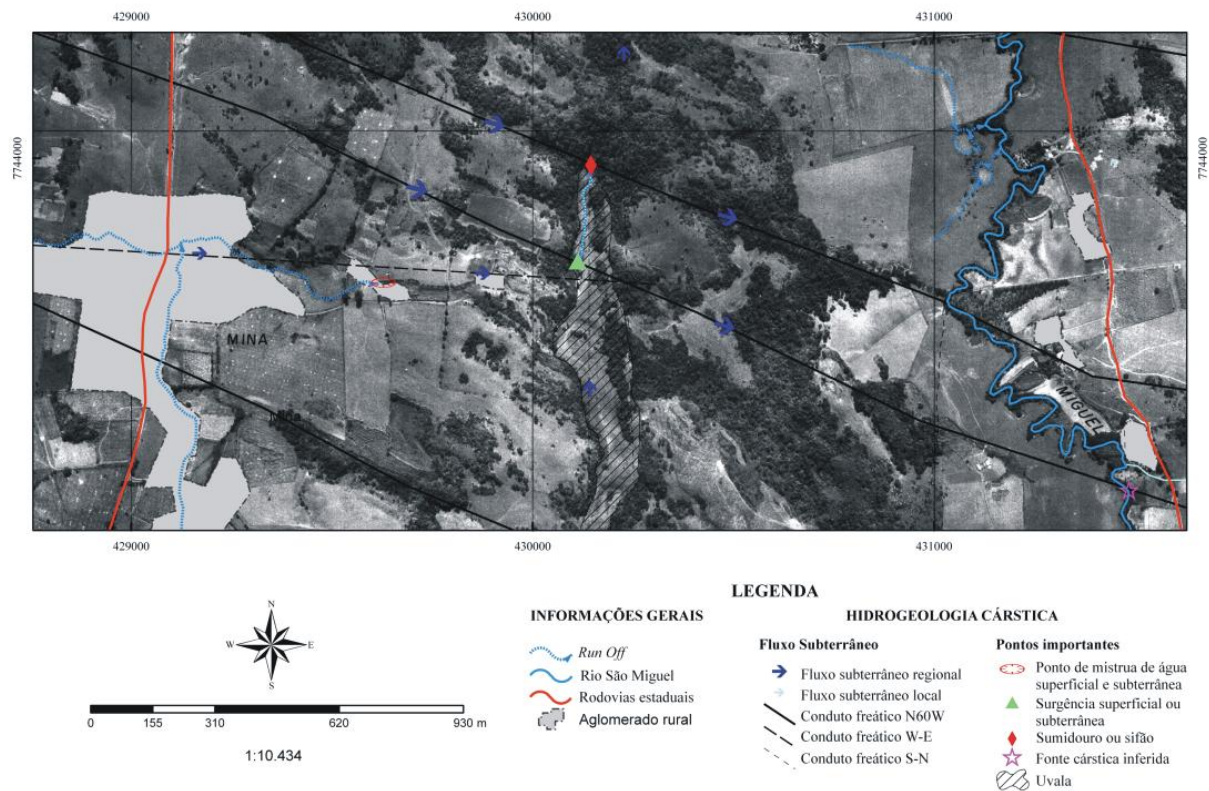


Figura 9 – Detalhe da área de região do Núcleo Rural Mina e da uvala Mina, onde ocorre uma surgência perene e sumidouro, com destaque para os fluxos de água subterrânea e superficial.



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

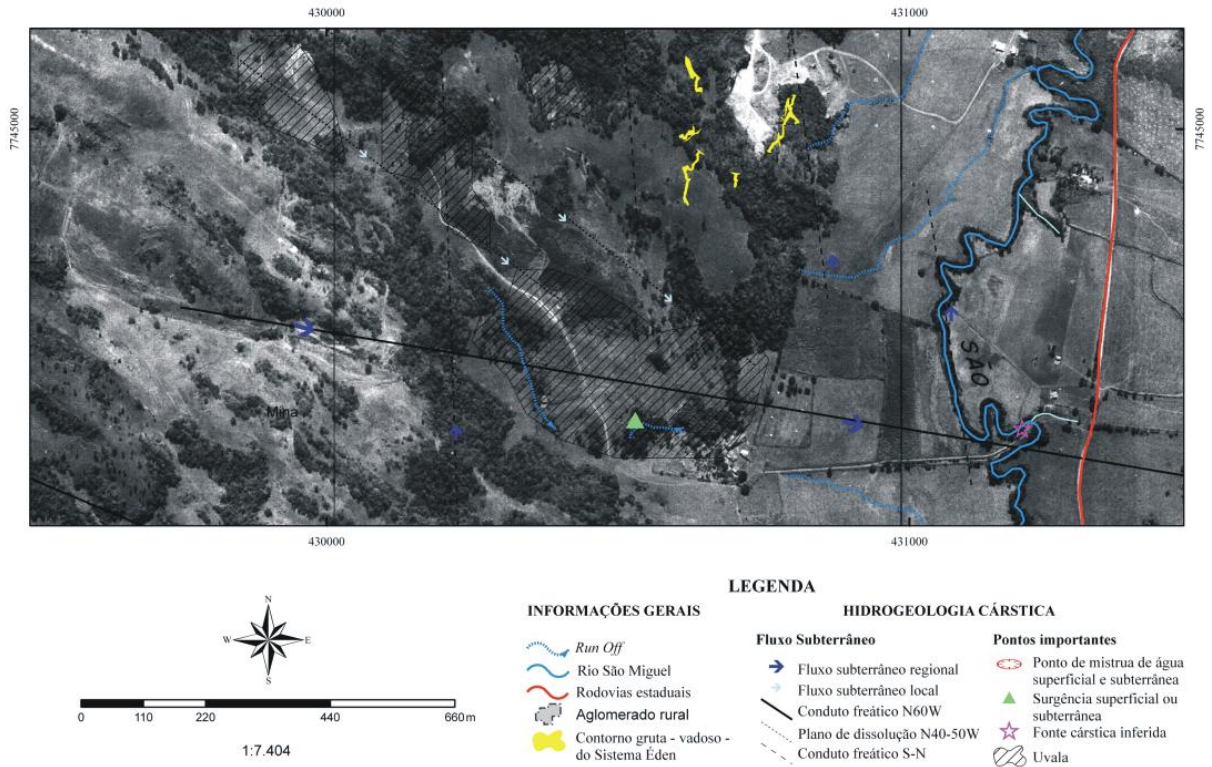


Figura 10 – Detalhe da área do Sócrates e da uvala Sócrates, onde ocorre uma surgência perene e uma seqüência de exposições da superfície potenciométrica, com destaque para os fluxos de água subterrânea inferida e superficial.

3) Gruta do Éden

A Gruta do Éden é a maior caverna até então conhecida na Zona Cárstica de Pains, constituída essencialmente de uma ampla galeria de dissolução, condicionada por lineamentos N-S, com morfologia linear. A gruta apresenta duas entradas, uma natural, em clarabóia, e outra artificial, aberta por uma das frentes de lavra da Mineração Saldanha. Sua evolução consiste em apenas três níveis evolutivos, dois níveis vadosos e um nível de superfície potenciométrica, onde a água subterrânea aflora em toda sua extensão, abrangendo cerca de 70% da gruta.



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

O primeiro nível, vadoso, é aquele referente a condutos N-S, que foram parcialmente suprimidos pelo avanço das frentes de lavra, o segundo nível, também vadoso, N-S, é uma galeria abandonada que atualmente funciona como zona de enchente. A passagem do segundo nível para o terceiro, na superfície potenciométrica, é feito através de um desnível abrupto, onde está localizada uma surgência interna, ou subterrânea. Esta surgência perene marca o início da galeria de nível freático ("*water-table cave*").

A surgência dentro da gruta possivelmente é o resultado da intersecção de lineamentos E-W e N40°-50°W com os lineamentos N-S. O fluxo subterrâneo provavelmente circula através de condutos de dissolução desenvolvidos ao longo da linha de intersecção dos planos E-W e N40°-50°W, trata-se de um amplo conduto, próximo a zona de descarga, que possivelmente concentra os fluxos subterrâneos regionais, cuja água obedece, preferencialmente, ao gradiente hidráulico W-E.

A surgência ocorre exatamente no ponto de intersecção da galeria de nível freático com a galeria freática dos planos E-W e N40°-50°W. Neste ponto parte da água subterrânea é drenada para norte pela galeria N-S da gruta, enquanto que o restante continua no sentido leste, segundo o gradiente hidráulico W-E, até alcançar o nível de base.

A parcela de água subterrânea que segue para norte, através da galeria de nível freático da gruta, se estende por aproximadamente 575 metros até "sumir" num sifão (sumidouro subterrâneo). A partir deste ponto a água subterrânea entra na faixa de lineamentos N60°W, que caracterizam a falha transcorrente de Pains. Os condutos desenvolvidos segundo os lineamentos da transcorrência Pains são responsáveis pela circulação de grande volume de água subterrânea, são condutos amplos, próximos à zona de descarga, que concentram enormes volumes de água subterrânea. Certamente a maior parte do volume proveniente da gruta, é somado aos fluxos dos lineamentos N60°W, sendo desviado, rumo a cidade de Pains.

Devido à proximidade em relação à zona de descarga, há um relativo incremento no gradiente hidráulico S-N, em detrimento do gradiente W-E. Entretanto, a persistência dos lineamentos N-S é muito baixa, o que reduz as possibilidades 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 - 5 -/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

dissolução em grande escala nesta direção. Deve haver então um predomínio dos fluxos regionais de direção N60°W em detrimento dos fluxos regionais N-S (figura 11).

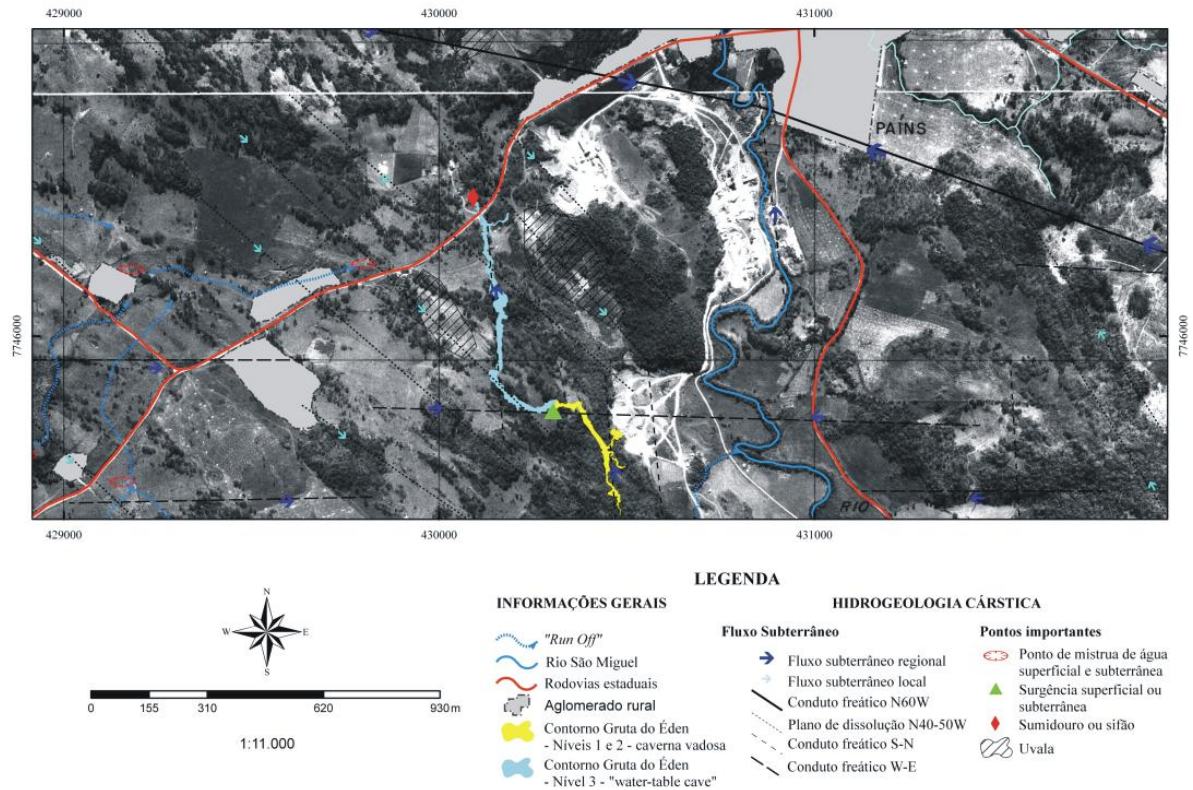


Figura 11 – Detalhe de situação da Gruta do Éden, onde ocorre uma surgência perene subterrânea, marcando o início do nível 3 ("water-table cave") e um sumidouro subterrâneo (sifão), com destaque para os fluxos de água subterrânea e superficial.

4) Uvala Pains

Aproximadamente 600 metros, a norte da entrada natural da Gruta do Éden, ocorre outra importante uvala, aqui chamada de Pains, onde estão localizadas duas importantes surgências. A uvala Pains está localizada dentro dos limites da zona de descarga do sistema aquífero cárstico, possui forma elíptica e está orientada segundo os lineamentos N40°-50°W.



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

Nesta uvala ocorre a surgência considerada, pela população local, como ressurgência do fluxo exposto na galeria de nível freático da Éden. Entretanto, assim como as demais surgências da região, é muito provável que esta também seja um grande ponto de convergência de fluxos regionais incluindo os fluxos orientados segundo os lineamentos N-S, os fluxos locais, associados aos lineamentos N40°-50°W, e os fluxos associados aos grandes lineamentos da transcorrência Pains, sendo estes, provavelmente, os mais importantes e de maior circulação hídrica da região.

Todos os fluxos regionais ou locais estão orientados segundo uma resultante entre os dois gradientes hidráulicos da área de influência, ou seja, seguem um sentido aproximadamente NE, rumo ao nível de base local, o rio São Miguel. Este, ao longo de seu percurso no sistema aquífero cárstico, é alimentado por várias fontes localizadas em suas margens, nos pontos de intersecção entre os grandes condutos de dissolução e o nível de base. Os principais exemplos dessas fontes são: a fonte onde esta situada a captação de água subterrânea / superficial, para consumo humano, da cidade de Pains (figura 12) e outra fonte, também atribuída, pela população local, à água da Gruta do Éden, localizada a aproximadamente 700m a jusante da captação da cidade (figura 13).



Figura 12 – Elevatória de água bruta para abastecimento de água potável da população 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 - 7 -/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

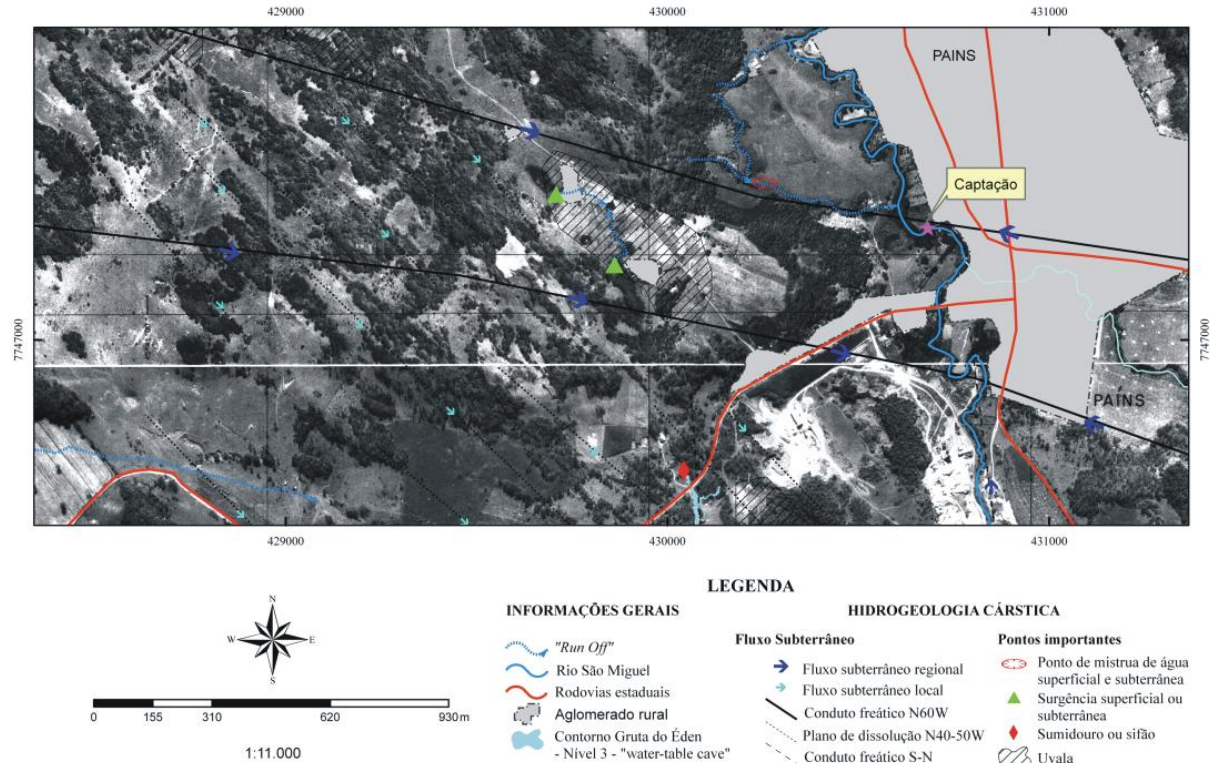


Figura 13 – Detalhe da área da uvala Pains, onde ocorrem duas surgências perenes e uma seqüência de exposições da superfície potenciométrica, com destaque para os fluxos de água subterrânea e superficial.

PRESSÕES ANTRÓPICAS - INTERFERÊNCIA FÍSICA: UMA ABORDAGEM QUALITATIVA

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.

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 na dinâmica hídrica e conseqüente comprometimento do sistema. Essas pressões podem causar impactos em curto prazo sobre o meio cárstico, devido à elevada



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

susceptibilidade desta área, uma vez que essa é uma área de recarga direta do sistema aquífero, cuja circulação hídrica na zona vadosa acontece de forma rápida e eficiente.

Pressões antrópicas exercidas dentro dos limites da área de influência indireta devem causar impactos em médio e longo prazo, uma vez que esta é uma área de recarga indireta do sistema aquífero cárstico, sendo as atividades antrópicas exercidas, primeiramente, nos sistema aquífero granular e fissurado-cárstico. Todavia, a área de influência pré-estabelecida neste trabalho não é definitiva, havendo também áreas de recarga distantes, no âmbito regional, que podem exercer influência, até mesmo direta, sobre o sistema aquífero cárstico da área de situação da Gruta do Éden.

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 (figura 14);



Figura 14 – Aspectos gerais das pressões antrópicas pontuais como: (A) lavra e (B) área industrial.

- **Pressão Antrópica Linear** – rede viária local;



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

- **Pressão Antrópica Difusa** – ocupação urbana, ocupação rural, áreas agricultáveis, áreas de pastagem e supressão da vegetação (figura 15).

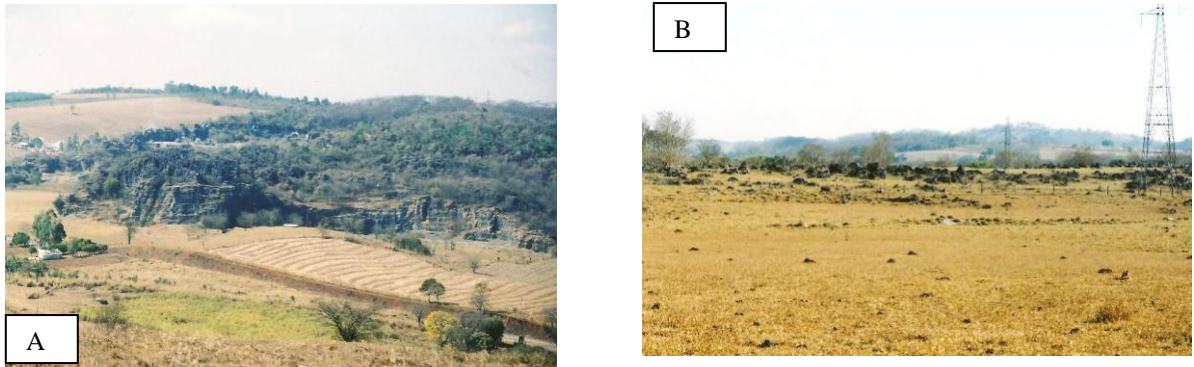


Figura 15 – Área de agricultura (A) e de pastagem para gado (B), tipos comuns de pressão antrópica difusa na área de influência do Sistema Éden.

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



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

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 representada 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



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

preenchimento 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 (figura 16), 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 - 3 -/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750



Figura 16 – Processo erosivo na área de influência do Sistema Éden, causado por pressões antrópicas difusas.

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 carreados pelo "run off" para o rio.

A figura 17 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.



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

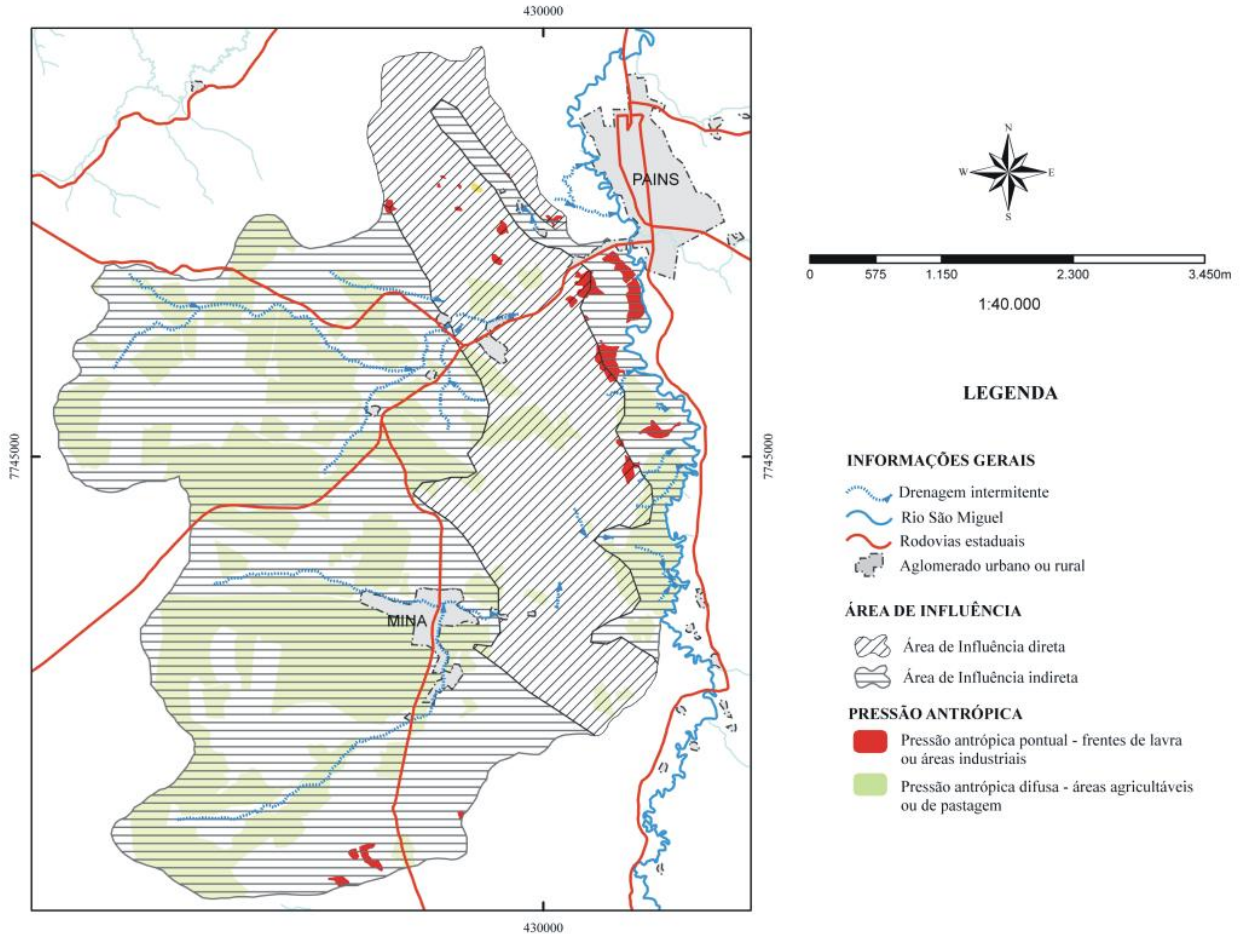


Figura 17 – Mapa mostrando as áreas de influência direta e indireta no Sistema Espeleológico da Gruta do Éden, e as pressões antrópicas nessas áreas.

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.



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

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 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



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

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 18). 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 serão tratadas, individualmente, como estudo de caso.

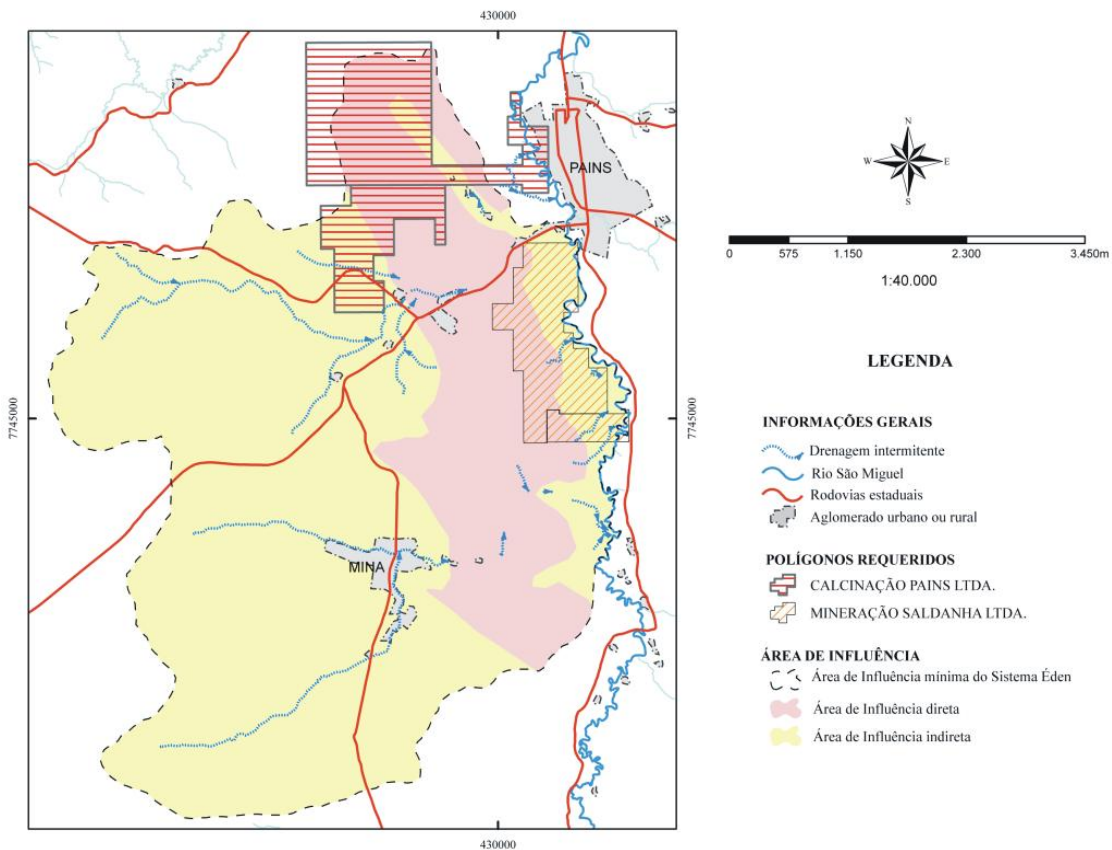


Figura 18 – Mapa mostrando as áreas de influência direta e indireta no Sistema Espeleológico da Gruta do Éden, e as áreas específicas (Mineração Saldanha e Calcinação Pains) a serem consideradas individualmente como estudo de caso.



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 - 7 -/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

1) Áreas requeridas pela Mineração Saldanha Ltda.

A Mineração Saldanha Ltda possui duas áreas requeridas junto ao DNPM, ambas estão situadas a sul da cidade de Pains. O empreendimento consiste essencialmente na extração de calcário para indústria da cal. Atualmente, devido a uma série de infrações ambientais, por parte do empreendedor, as atividades de extração de rocha carbonática foram suspensas por meio da atuação do IBAMA na região.

A extração do calcário é executada essencialmente por meio de frentes de lavra a céu aberto, em bancadas iniciadas a partir da superfície do solo, que avançam adentro dos morros naturais de calcário expostos, sem a execução de escavações verticais. Trata-se de uma lavra, relativamente, de baixo custo, uma vez que a rocha já se encontra exposta, bastando a sua explosão para o desmonte, remoção e transporte rumo aos britadores. Essa facilidade de extração faz da região uma das mais atraentes nesse tipo de empreendimento.

Situado a menos de 500 metros de distância do extremo sul da cidade de Pains, o empreendimento consistem genericamente em três áreas de modificação da paisagem cárstica, uma área norte, uma centro e outra sul, estando as principais frentes de lavra dispostas nas áreas centro e sul do empreendimento. Desde o início da extração do calcário, as frentes de lavra já avançaram, em média, 100 metros, removendo, em bancadas de 10 metros de altura, os morros de calcário expostos (figura 19).



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

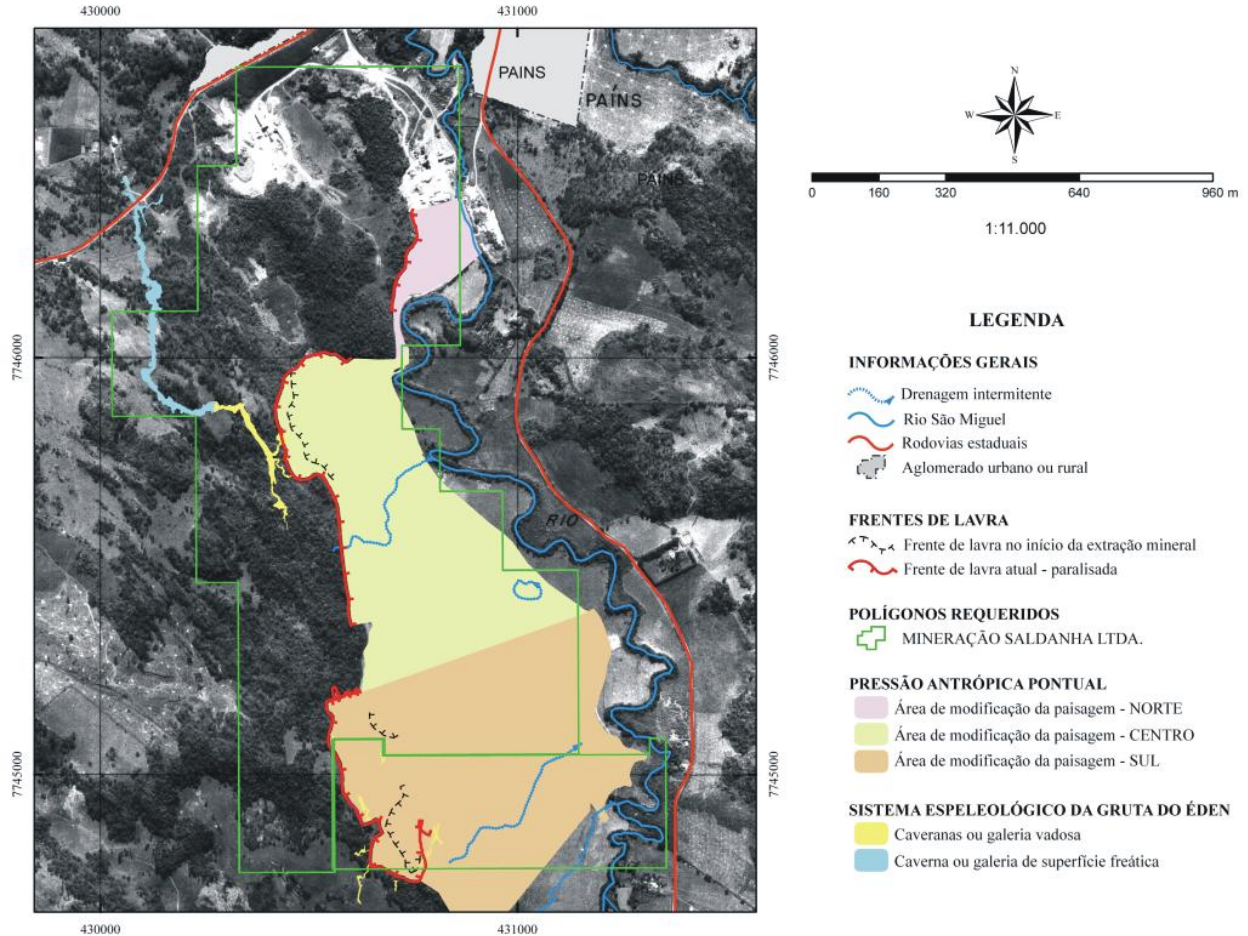


Figura 19 – Mapa de detalhe das áreas requeridas pela Mineração Saldanha LTDA, com destaque para as frentes de lavra, as áreas de alteração da paisagem norte, sul e centro e para as cavidades naturais do Sistema Éden.

As cavidades naturais brasileiras são consideradas patrimônio cultural brasileiro (Decreto Nº 99.556 de 1/10/1990), como tal, as cavidades naturais brasileiras passam a ser defendidas pelo Ministério Público (Art. 129 da Constituição Federal), sendo essa defesa uma função institucional do Ministério Público da União (Lei Complementar Nº 75 de 20/05/1993).

O Decreto Nº 99.556, de 1/10/1990 a Portaria Nº 887, de 15/06/1990, estabelecem que a área de influência de uma cavidade natural subterrânea será definida por estudos técnicos específicos, obedecendo às peculiaridades e características de cada caso. 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 - 9 -/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

Portaria N^o 887 vai mais além e estabelece, no Art. 6^o, & Único, uma área de proteção mínima de 250 metros, estabelecida a partir da projeção em superfície do contorno da cavidade.

A área de influência mínima estabelecida, segundo critérios hidrogeológicos, para o Sistema Éden, neste trabalho é muito maior do que a área mínima prevista na Portaria N^o 887. No entanto, ainda que não houvesse qualquer estudo hidrogeológico preliminar, como o desenvolvido neste trabalho, e fosse considerado apenas o estabelecido na referida portaria do IBAMA, as frentes de lavra da área centro e sul da Mineração Saldanha Ltda. não apenas teriam iniciado dentro da área de proteção mínima (250m), como teriam avançado, em média, 100 metros em direção às cavidades naturais vadasas do Sistema Éden (figura 20). Aproximadamente 50% da área requerida encontra-se comprometida, área esta onde se encontram as principais exposições naturais de calcário para extração.

Atualmente as lavras nas áreas centro e sul estão embargadas pelo IBAMA e os principais impactos ambientais, quanto às interferências físicas, podem ser listados, como:

- Supressão da história evolutiva do Sistema Éden, o que também implica no desaparecimento dos registros vadosos que contam a evolução do carste na Zona Cárstica Pains;
- Redução ou mesmo término da recarga rápida, nos afloramentos em lapiaz, da área de influência direta do Sistema Éden;
- Alteração ou até mesmo término da circulação hídrica nas cavidades e galerias vadasas, com a paralisação da sedimentação química de espeleotemas (modificação da dinâmica hídrica do ambiente epeleológico);
- Alteração irreversível da paisagem cárstica na área de influência direta e indireta do Sistema Éden, com modificação do micro clima na 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 - 10 -/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

- Incremento no escoamento superficial, aumento na turbidez da água superficial e comprometimento do abastecimento público de água potável da cidade de Pains;

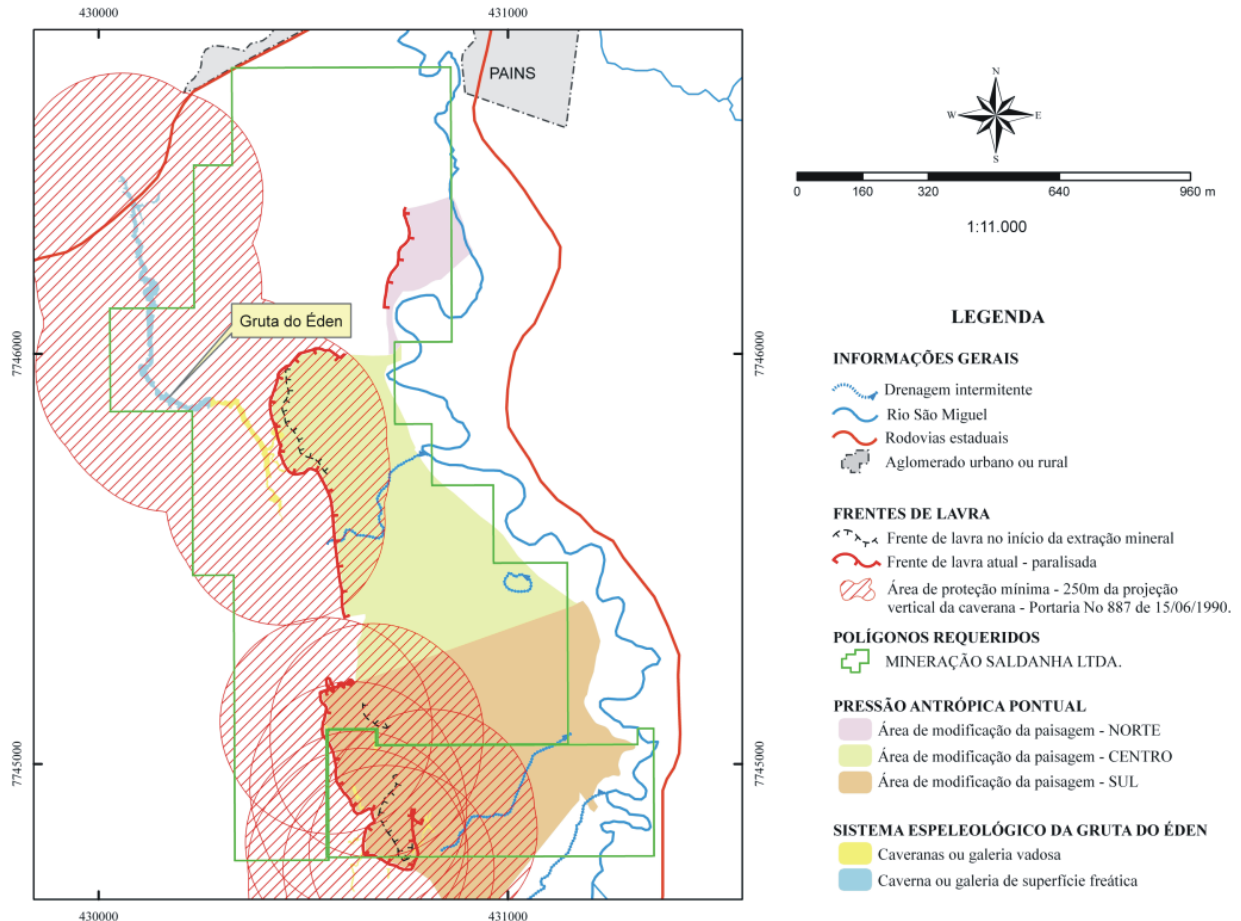


Figura 20 – Mapa de detalhe das áreas requeridas pela Mineração Saldanha LTDA, com destaque para as frentes de lavra, as áreas de alteração da paisagem norte, sul e centro e para as áreas de proteção mínimas de 250m.

Fazendo-se a sobreposição, no SIG, do avanço das frentes de lavra na área sul com as ocorrências espeleológicas, observa-se uma supressão de caverna registrada. Outro impacto já registrado é a supressão de parte do primeiro nível evolutivo da Gruta do Éden, galeria vadosa, que foi suprimida pelo avanço da frente de lavra na área centro, onde atualmente se encontra a entrada artificial da gruta.



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

Numa primeira análise, não há mais qualquer possibilidades de extração de rocha carbonática, para a Mineração Saldanha, dentro da área de influência direta do Sistema Éden, nas áreas centro e sul de pressão antrópica.

2) Áreas requeridas pela Calcinação Pains Ltda.

As áreas requeridas pela Calcinação Pains encontram-se a oeste da cidade de Pains, a aproximadamente 1200 metros. A área está embargada pelo IBAMA, apresentando vegetação nativa removida e pronta para extração de rocha carbonática (figura 21). Trata-se de uma área de afloramentos de calcário, típica região de recarga rápida dos sistema aquífero cárstico (área de influência direta do Sistema Éden).

É desaconselhável a extração de calcário nessa região. São várias as ocorrências de cavernas vadosas, as quais servem de caminho para manutenção da recarga e dos fluxos de água subterrânea local ao longo dos lineamentos N40°-50°W, que por sua vez devem abastecer condutos freáticos formados ao longo de lineamentos N60°W, na transcorrência Pains.



Figura 21 – Área pleiteada pela Calcinação Pains Ltda. para extração de calcário. Área desmatada e empreendimento embargada pelo IBAMA



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

A área embargada faz parte de uma região estratégica para manutenção da recarga nos condutos de circulação hídrica local e regional do extremo norte da área de influência direta do Sistema Éden. O volume de água, infiltrado de forma rápida, através dos grandes afloramentos de calcário, se soma à água que abastece as surgências existentes na uvala Pains e as fontes da margem esquerda do rio São Miguel, inclusive a fonte utilizada para captação de água pela empresa de saneamento local.

Os impactos previstos com a extração de calcário na área pleiteada pela Calcinação Pains, são:

- Redução ou término da recarga rápida que abastece os fluxos subterrâneos locais;
- Redução nas vazões das surgências na uvala Pains;
- Comprometimento do abastecimento público de água potável na cidade de Pains;
- Supressão de cavernas vadosas importantes para a recarga rápida na área de influência;
- Alteração ou até mesmo término da circulação hídrica nas cavidades e galerias vadosas, com a paralisação da sedimentação química de espeleotemas (modificação da dinâmica hídrica do ambiente espeleológico);
- Alteração irreversível da paisagem cárstica;
- Incremento no escoamento superficial, podendo causar o assoreamento e a desativação hídrica de dolinas a jusante, bem como o assoreamento na uvala 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 - 13 -/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Dentre os diversos problemas ambientais provenientes dos vários pontos de pressão antrópica da Zona Cárstica de Pains, a delimitação de uma área de influência mínima para um determinado sistema espeleológico, ou conjunto de cavernas situadas em áreas de extração de calcário deve ser o ponto de partida para tomada de decisões. Nesse aspecto, o caso da área de influência mínima estabelecida para o Sistema Espeleológico da Gruta do Éden, a partir de um levantamento hidrogeológico preliminar, torna-se um bom exemplo de área piloto.

Em casos de impasses ambientais, como aqueles observados nas áreas da Mineração Saldanha e da Calcinação Pains, deve-se primeiramente executar ou solicitar a execução, por parte do empreendedor, de um estudo hidrogeológico básico, constituído essencialmente de um sistema de informações geográficas, com a sobreposição e a interpretação de informações fornecidas pela geologia, geomorfologia, hidrografia e pedologia. Além do levantamento espeleológico básico da área, com o mapeamento e georreferenciamento dos mapas espeleotopográficos, a execução de fotointerpretações e etapas de campo, com a identificação dos principais pontos d'água, superficiais e subterrâneos, é fundamental para a interpretação preliminar da circulação hidrogeológica e posterior delimitação de uma área de influência mínima.

Com uma área de influência mínima estabelecida e com um conhecimento prévio da dinâmica hidrogeológica fica mais fácil prever os possíveis impactos físicos no ambiente cárstico e espeleológico como um todo, uma vez que a circulação e a atividade hídrica condicionam também a atividade biótica. De posse dessas informações preliminares, o IBAMA pode direcionar e até mesmo planejar melhor suas exigências, no que se refere à execução de estudos, por parte dos empreendedores. Estudos que sejam objetivos e venha fornecer respostas a médio e curto prazo, para a solução de impasses ambientais. O objetivo é nortear as tomadas de decisões frente aos impasses ambientais causados em áreas específicas de pressão antrópica, seja pontual, linear ou difusa.



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

Para tanto, fica evidente a necessidade de elaboração de um Termo de Referência, para áreas com ocorrências espeleológicas em conflito com atividades antrópicas, que forneça um entendimento mínimo da dinâmica hidrogeológica. Este deve ser o primeiro estudo, a ser executado após o levantamento espeleológico básico com a identificação e mapeamento topográfico das cavidades naturais na área de pressão antrópica. Toda informação deve sempre ser organizada em Sistemas de Informações Geográficas que permitam futuramente a interpretação e o controle dos estudos.

Os estudos aqui desenvolvidos para a delimitação da área de influência mínima do Sistema Éden, coloca o IBAMA num patamar de conhecimento mínimo da dinâmica hidrogeológica da área. De posse desse entendimento, fica clara as direções a serem tomadas, em termos de estudos a serem desenvolvidos pelo próprio IBAMA e exigências a serem feitas aos empreendedores.

Para o aprofundamento do entendimento das linhas defluxo, regional ou local, do sistema aquífero cárstico na área de influência, o IBAMA deve fazer, ou exigir que seja feito, pelos empreendedores da área, os estudos listados na tabela abaixo:

Cadastro georreferenciado de pontos d'água - captação de água subterrânea.	<ul style="list-style-type: none">- nome ou sigla do poço tubular;- coordenada geográfica (latitude e longitude) ou UTM*;- cota topográfica da boca do poço;- profundidade do poço (metro);- diâmetro útil do poço (polegadas);- nível estático (metro);- situação de operação (desativado ou operante);- vazão de operação (m³/h);- nível dinâmico de operação (metro);- regime de bombeamento (horas/dia);- perfil construtivo;- perfil geológico;- entradas de água;- ensaios de bombeamento disponíveis;- situação quanto à outorga (se outorgado anexar documentos)	O cadastro deve incluir todos os poços presentes na região (poços tubulares profundos, rasos, captações domésticas, poços abandonados, de monitoramento, etc) e abordar também o uso e finalidade da água na captação.
Cadastro georreferenciado de pontos d'água - captação	<ul style="list-style-type: none">- nome do rio ou nascente;- cota topográfica da captação;- localização em mapa e/ou geográfica (latitude e	O inventário deve abordar também o uso e finalidade da água



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

de água superficial	longitude) ou UTM*; - vazão de exploração (l/s ou m ³ /h); - população ou usuário atendido	explorada
Cadastro georreferenciado de pontos d'água – dolinas, lagoas, lagos, resurgências e sumidouros.	- nome do ponto; - cota topográfica do ponto; - localização em mapa e/ou geográfica (latitude e longitude) ou UTM*; - condição hídrica (perenes ou intermitentes); - cota topográfica do nível d'água, quando houver;	Deve-se considerar todas as feições cársticas com água (perenes ou intermitentes, natural ou artificial), suas dimensões e os usos desses pontos d'água.
Cadastro das dolinas, uvalas e outras feições cársticas de acesso direto ou indireto às cavernas.	- tipo de feição cárstica; - coordenada geográfica (latitude e longitude) ou UTM*; - localização em mapa com referências de rios e cidades; - dimensão aproximada (diâmetro em metros); - preenchimento (sedimento, vegetação, etc).	O inventário deve considerar quaisquer feições cársticas passíveis de permitir a passagem de poluentes.
Cadastro de fontes potenciais de poluição	- fontes principais de contaminação mais comuns: fossas, rede de esgoto, postos de gasolinas, tanques reservatórios de combustíveis, entre outras. - coordenada geográfica (latitude e longitude) ou UTM* - cotas topográficas das fontes;	O inventário deve fazer uma abordagem quanto à distribuição espacial da fonte (pontual, difusa ou linear).
Cadastro das cavernas	- nome - coordenada geográfica (latitude e longitude) ou UTM* e cota topográfica das entradas ("bocas"); - vadosa ou inundada (com água ou não); - número de ocorrências de pontos de água; - tipo de cada ocorrência d'água (lago, rio subterrâneo, surgência subterrânea, sifão, etc); - cota topográfica do nível d'água na caverna (se existir); - situação do mapeamento topográfico (se mapeada fornecer planta baixa do contorno, esqueleto topográfico e principais bases topográficas); - coordenada geográfica (latitude e longitude) ou UTM* das bases topográficas apresentadas em mapa; - uso da caverna (turística, religiosa, lazer, etc); - nome do(s) proprietário(s) da(s) terra(s) onde está(ão) localizado(s) o(s) acesso(s) à caverna;	O cadastro deve ser baseado em um levantamento sistemático de ocorrências espeleológicas.

* A coordenada geográfica (latitude e longitude) ou UTM devem ser acompanhados do DATUM utilizado.

Somente com esses estudos é possível caracterizar melhor os principais gradientes hidráulicos que controlam os fluxos subterrâneos na área de influência.



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

Posteriormente alguns ensaios com traçadores podem ser executados em canais estratégicos, com o objetivo de comprovar a existência dos referidos gradientes hidráulicos e conseqüentemente dos principais canais de fluxo subterrâneo.

No caso específico das áreas requeridas pela Mineração Saldanha Ltda., um impasse ambiental foi criado. As atividades de lavra estão completamente suspensas e medidas precisam ser tomadas no sentido de viabilizar a atividade econômica de forma ambientalmente correta e sem mais nenhum prejuízo para o Sistema Éden. Medidas de compensação também precisam ser definidas, uma vez que os danos ambientais já registrados são irreversíveis.

Dentro das áreas requeridas, a Mineração Saldanha deve investir apenas na extração de rocha carbonática dentro da área de influência indireta do Sistema Éden. Seja sob a forma de frentes de lavras de desmonte de morros de rocha carbonática aflorante, ou mesmo investir na elaboração de estudos de viabilidade econômica e geológica de execução de cavas verticais, a céu aberto, com rebaixamento do lençol freático. Em qualquer um dos casos, o IBAMA deve solicitar do empreendedor:

- Refinamento do cadastro de cavernas e pontos d'água nas áreas de influência direta e indireta do empreendimento;
- Plano de lavra para extração mineral e tipo de lavra, com indicação, quando houver, dos poços e pontos de rebaixamento do lençol freático;
- Serviço de prospecção sistemática de cavernas, com metodologia de campo previamente aprovada pelo CECAV/IBAMA, nas áreas de influência direta e indireta;
- Mapeamento espeleológico (espeleotopografia) das ocorrências de cavidades vadasas e, em caso de rebaixamento de nível da superfície potenciométrica, das ocorrências freáticas;
- Representação cartográfica, em escala adequada, pré-determinada em comum acordo com o CECAV/IBAMA, do contorno das paredes das



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

ocorrências topografadas (freáticas ou vadasas), da área de proteção mínima de 250 m em relação a cada contorno (*buffer* de 250 m do contorno) e dos pontos d'água na área de influência direta e indireta;

- Controle dos escoamentos superficiais nas áreas de intervenção;
- Caracterização preliminar da qualidade das águas superficiais e subterrâneas em toda a área de influência direta e indireta;
- Apresentação de um plano de coleta e monitoramento da qualidade da água nos corpos d' água (lagos, rios, cavernas e demais pontos de água) em toda área de influência direta e indireta;
- Em casos de rebaixamento da superfície potenciométrica, execução de teste hidrodinâmico de bombeamento de água (teste de vazão), conforme orientação prévia do CECAV/IBAMA, com monitoramento do rebaixamento em pelo menos três pontos de observação.

Em caso de áreas de extração dentro da área de influência direta do Sistema Éden, o seja, avanço das lavras nas áreas centro e sul do empreendimento, o empreendedor deverá:

- Aplicar geofísica de radar (GPR), para localização de possíveis cavidades inacessíveis ao homem, nas áreas pleiteadas para lavra;
- Havendo cavidades naturais acessíveis ao homem nas áreas pleiteadas para lavra, dentro dos limites da área de influência direta do Sistema Éden, o empreendedor deverá monitorar por, no mínimo um ano hidrológico, a atividade hídrica vadosa dessas cavernas;
- Valorar essas cavidades num universo de cavidades naturais conhecidas dentro da Zona Cárstica Pains.

Não é recomendável a viabilização de lavras sobre cavidades vadasas ou freáticas conhecidas, ou seja, avanço de lavras em cotas topográficas superiores a essas cavidades ou galerias, haja vista, isso significar a interrupção completa da atividade hídrica interna nas cavidades.



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

No caso específico da Calcinação Pains, o empreendedor deve provar que a extração de rocha carbonática na área pleiteada não causará qualquer alteração na recarga direta do sistema aquífero cárstico, prejudicando as vazões nas surgências da uvala Pains e nas fontes ao longo do rio São Miguel. Caso o empreendedor venha provar que não haverá qualquer alteração física nesse sentido, deverá apresentar um plano de controle do escoamento superficial e com vistas a impedir o assoreamento das dolinas a jusante e principalmente da uvala Pains, na zona de descarga.



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

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- EWERS, R. O., *ET AL.* 1978. The origin of distributary and tributary flow within karst aquifers. Geological Society of America. *Abstracts with Programs* 10, nº7:398-99.
- FETTER, C.W. 1994. *Applied Hydrogeology*. 3 ed. New York, Toronto, 691 p.
- 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.
- PALMER, A. N. 1984. Recent trends on karst geomorphology. *Journal of Education* 32:247-53.
- WHITE, W. B. 1969. Conceptual models for carbonate aquifers. *GroundWater* 7, nº3:15-22.