



PROBLEMAS AMBIENTAIS NA CAVERNA DO DIABO DECORRENTES DA ILUMINAÇÃO ELÉTRICA

José Ayrton LABEGALINI
SBE 0110 - ja.labegalini@uol.com.br

Abstract

Always that tourist activities are implanted in the environment its ecosystem is impacted; specific cares may minimize these impacts, but never it will be eliminate them. These affirmatives are valid to any parts of the environment, including the underground environment, that is, to the caves. Among the many impacts caused by the tourism in caves, some of them are specific or consequent of the electrical system implanted for making possible the visits. This article particularizes the effects of the electrical illumination of the Devil Cave, although the same effects may be found in the most part of the caves lighted to the tourism around the world.

Palavras-chave: Caverna do Diabo, Espeleoturismo, Manejo de cavernas, Problemas ambientais, Iluminação.

Introdução

Sempre que em um ambiente natural são implantadas atividades turísticas, o seu ecossistema é impactado; cuidados específicos podem minimizar tais impactos, mas jamais conseguirão eliminá-los. Estas afirmativas são válidas para quaisquer porções do meio ambientes, inclusive do ambiente subterrâneo, ou seja, para as cavernas. Dentre os inúmeros impactos causados pelo turismo nas cavernas, alguns são específicos ou consequentes do sistema de iluminação implantado para possibilitar as visitas. O presente artigo particulariza os efeitos da iluminação elétrica na Caverna do Diabo, embora os mesmos efeitos possam ser encontrados na grande maioria das cavernas iluminadas para o turismo ao redor do mundo.

A Caverna do Diabo

A Caverna do Diabo, registrada sob o número SP-02 no CNC – Cadastro Nacional de Cavidades Naturais da SBE – Sociedade Brasileira de Espeleologia, foi aberta ao turismo na década de 60. Esta é uma das 15 (quinze) cavernas brasileiras abertas e estruturadas ao turismo em massa. Sem sombra de dúvidas é a mais bela de todas, isso devido à sua farta decoração interna (profusão de espeleotemas – foto N° 01) e principalmente por ser a única caverna brasileira aberta ao turismo e com um rio corrente em seu interior. O fato do rio corrente, além da beleza imposta pelo movimento da água e espelhos que refletem imagens, traz ao turista o barulho de corredeiras e cachoeiras subterrâneas, que integram os mistérios de uma vista ao subterrâneo.

Desde os meados da década de 60 a Caverna do Diabo se torna um atrativo turístico da região,

mas somente no final da década tem uma estrutura para atender ao turismo em massa. Os primeiros 250 metros da caverna foram adaptados com pontes, passarelas, escadas, corre-mãos, e iluminação elétrica, além de infra-estrutura de apoio logístico externo (estacionamento, restaurante, chalés, bancos sanitários, etc.). No final da década de 90 a infra-estrutura interna de visitação turística é estendida em mais 100 metros de pontes, passarelas e escadas por galerias iluminadas.

Nestes “40 anos” de visitação turística, a infra-estrutura do então Parque Estadual de Jacupiranga, instituído em função primordial de abrigar a Caverna do Diabo, passou por inúmeras revisões, ampliações, inovações e reformas. A última delas foi da iniciativa do Gabinete de Secretário e Assessorias da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, do Estado de São Paulo, incluída no Programa de Preservação da Mata Atlântica, e denominada de Revitalização da Caverna do Diabo.

Os detalhes da Revitalização da Caverna do Diabo estão no processo SMA n° 1230/2001 instituído em dezembro de 2001. As obras foram contratadas em maio de 2002 (Contrato N° 017/2002) e recebidas em definitivo março de 2003. Dentre os itens contratados para a Revitalização da Caverna do Diabo está a reforma completa da instalação elétrica de iluminação interna da caverna e implantação de um sistema de iluminação de emergência na mesma.

Levantamentos de campo, feitos *in loco* entre os dias 14 e 16 de julho de 2006, embasaram a confecção de um Relatório Técnico das instalações elétricas da caverna (LABEGALINI-2006) e leituras complementares (LABEGALINI-1996 e Grottes de France) possibilitaram a produção deste artigo.

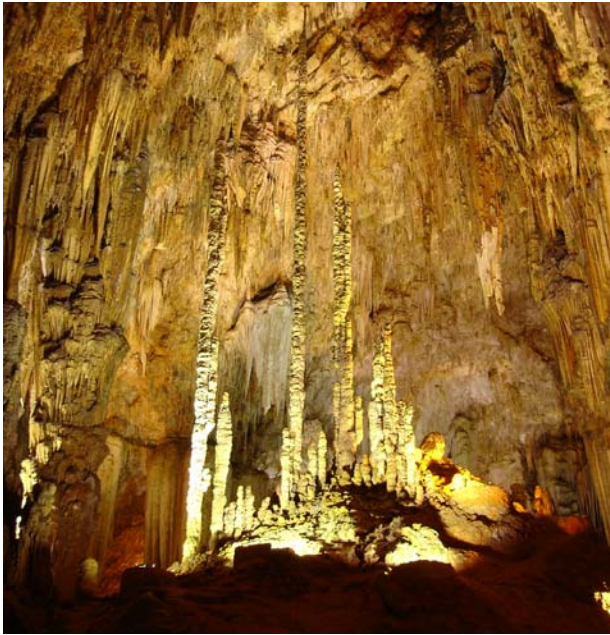


Foto N° 01 – Dentre os vários salões e galeria iluminadas e adaptadas ao turismo está o Salão da Catedral, onde estalagmites esbeltas, com mais de 15 metros de altura recebem o nome de Velas da Catedral

Problemas Ambientais Provenientes da Iluminação

São vários os problemas ambientais decorrentes da iluminação elétrica em uma caverna, tais como acúmulo de lixo específico, acúmulo de material orgânico, geração de calor, alteração climática, desenvolvimento de vegetação, etc.

1. Acúmulo de lixo específico

É comum que na manutenção de um sistema elétrico de iluminação ocorra substituição de lâmpadas, de reatores, de refletores, troca de eletrodutos, de caixas de passagem, e acessórios de tubulação, recomposição de isolamento de conexões, etc. Todas estas operações geram resíduos não degradáveis em curto espaço de tempo, tais como lâmpadas (inteiras e quebradas) e reatores queimados, projetores danificados, vidros de projetores quebrados, borrachas de vedação, pontas de cabos condutores, pedaços de fita isolante, além de embalagens de peças novas, etc., em fim, lixo! No caso específico de lâmpadas, elas podem estar inteiras ou em situação mais crítica podem estar quebradas. O lixo proveniente de lâmpadas quebradas contém cacos de vidro, soquetes de porcelana, soquetes metálicos (latão e outros) hastes e filamentos (platina, tungstênio, e outros) pode ainda conter sais diversos (do revestimento e da atmosfera interna), sendo que normalmente alguns destes sais são substâncias anticatratizantes. Em vários locais, principalmente em nichos foram

encontrados acúmulos de lixo de natureza elétrica, principalmente lâmpadas queimadas inteira e quebradas.

2. Geração de calor

Embora as lâmpadas utilizadas na iluminação da caverna sejam lâmpadas de alto rendimento (lâmpadas vapor de metálico, lâmpadas vapor de sódio e lâmpadas fluorescentes compactas, estas na emergência), todas produzem calor. Além das lâmpadas, todos os reatores e condutores também são fontes de geração de calor no ambiente da caverna.

A potência total instalada com a iluminação geral da caverna atinge a cifra de 57.140 Watts, que equivale a um consumo horário de energia elétrica que beira os 60 kW-h, que em um dia de 8 (oito) horas de visitação atinge 480 kW-h de energia dissipada no interior da caverna. Apenas por comparação, essa energia dissipada no interior da caverna é a mesma gasta por 10 (dez) chuveiros elétricos (modernos) ligados por 8 (oito) horas em cada dia. Parcela dessa energia já é transformada diretamente em calor e a parte da energia elétrica transformada em luz, depois de ser absorvida pelo maio também se dissipa na forma de calor.

Embora toda a instalação elétrica gere calor quando a iluminação está ligada, são as lâmpadas as grandes responsáveis pela concentração de pontos de alta produção de energia térmica. Embora a geração de calor, causada pela iluminação elétrica da caverna, seja grande na Caverna do Diabo, é uma interferência de baixo impacto, pois a caverna tem um alto índice de reposição energética devido, principalmente, ao fato de conter um rio corrente com cascatas e corredeiras no seu interior e as galerias da caverna serem bastante volumosas.

O principal impacto criado pela geração de calor, no interior da caverna, está na grande produção e concentração de energia térmica ao redor dos aparelhos de iluminação. O calor produzido nas lâmpadas, no interior dos projetores, se transmite aos corpos destes e daí para o ar, paredes, formações e anteparos nas imediações, através da radiação e principalmente pela convecção. A absorção de calor pelas paredes de espeleotemas facilita a evaporação da umidade superficial destes provocando assim um ressecamento das mesmas. As partes iluminadas, paredes ou espeleotemas, recebem diretamente o calor por radiação, ao passo que espeleotemas situados acima dos pontos produtores de calor recebem calor também por correntes de convecção.

Radiação, correntes de convecção ou a junção dos fenômenos podem provocar a secagem de espeleotemas e em casos extremos dar

início a processos corrosivos dos mesmos. Embora a Caverna do Diabo seja uma caverna bastante úmida, situada em região de alto índice pluviométrico anual, no meio da Mata Atlântica, tenha vários gotejamentos permanentes durante todo o ano, nota-se uma secagem de espeleotemas próximos a aparelhos de iluminação, como por exemplo nas cortina das proximidades do Bolo de Noiva (Foto N. 02).



Foto N. 02 – A formação mostrada à esquerda na foto apresenta a superfície ressecada, muito provavelmente devido ao forte calor gerado no projetor com lâmpada vapor metálico de 400 W instalado logo abaixo. O calor gerado na lâmpada do projetor se transmite por condução ao corpo do aparelho e, depois por radiação e convecção, até a superfície referida, forçando a evaporação da água (umidade superficial) e ressecando a superfície.

3. Desenvolvimento de vegetação

O ambiente interno da Caverna do Diabo é um ambiente úmido, tanto pela localização geográfica da caverna e condições climáticas da região, quanto (e principalmente) por conter um rio corrente no seu interior (Ribeirão das Ostras). É grande a quantidade de gotejamento permanente da caverna nas galerias abertas ao turismo. Esse gotejamento, auxiliado por águas de condensação, faz com que muitas partes da caverna tenham água empoçada, superfícies molhadas (películas de água em escoamento) ou simplesmente úmidas.

Quando uma lâmpada é acesa para se iluminar um ambiente, cria-se uma fonte de luz, que é o objetivo primordial da iluminação, mas também se cria uma fonte de calor, que é um efeito colateral.

Mesmo no escuro as sementes germinam, em condições favoráveis de temperatura e umidade, mas os brotos só se desenvolvem até que haja reserva de material químico nos cotilédones. A conjunção dos três fatores – luz, calor e umidade – é o pré-requisito fundamental para o desenvolvimento de esporos e sementes germinadas, em fim são as condições

iniciais para se realizar a fotossíntese e dar início a um ciclo ecológico com a instalação de uma cadeia trófica.

Luz, calor, umidade e esporos depositados (aderidos, grudados ou caídos, etc.) em substrato (mesmo que rochoso) permitem a germinação, desenvolvimento e reprodução de briófitas (os musgos se proliferam – Foto N. 03) e em seguida as pteridófitas (as samambaias também se dão bem – Foto N. 04). Se o substrato for argiloso e ali aportar algumas sementes, então até as fanerógamas (vegetação superior – foto N. 05) se instalam. Para o desenvolvimento dos embriões, além da umidade do substrato, estes absorvem gás carbônico, nitrogênio e sais minerais do ambiente, realizam fotossíntese e sintetizam substâncias orgânicas no crescimento dos brotos e do próprio desenvolvimento. As plantas se desenvolvem se reproduzem e morrem. A nova matéria orgânica viva pode servir de alimento para o início de uma cadeia trófica, enquanto que a substância orgânica morta serve ao final da mesma cadeia, sendo consumida por fungos e por bactérias decompositoras finais.

Depois que o processo se iniciou ele é contínuo, desde que se mantenham as três condições básicas – luz, calor e umidade. Qualquer um deles que seja interrompido o processo também se interrompe. Assim, ao se apagar a iluminação da caverna a fotossíntese também é estagnada, mas ao reacender a iluminação (algumas horas mais tarde) o processo se restabelece. A médio e longo prazos a quantidade de material orgânico gerado e produzido ao redor dos refletores vai aumentando e se acumulando, e um novo ciclo ecológico está instalado na caverna.



Foto N. 03 – Cortina esverdeada por cobertura de musgos.

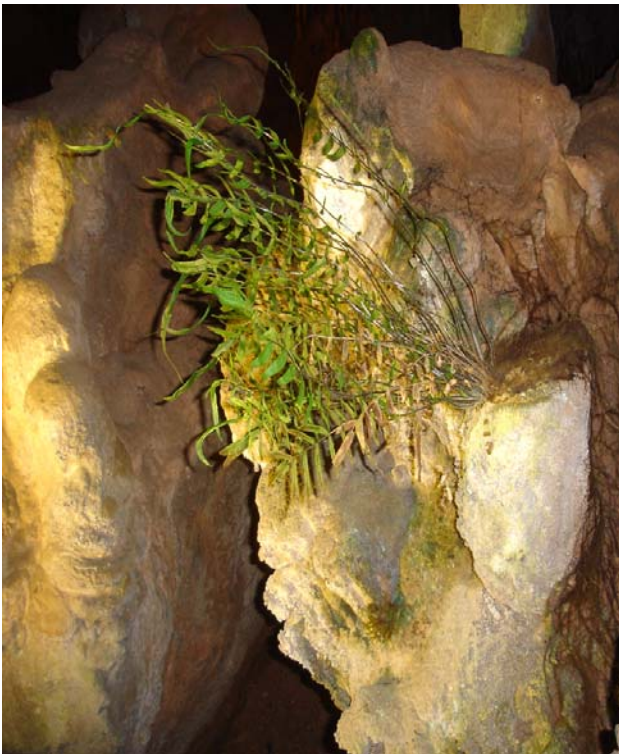


Foto N. 04 – Moita de samambaia próxima de um refletor.



Foto N. 05 – Uma muda de vegetação superior em franco desenvolvimento.

Cavernas turísticas nestas condições podem mostrar a beleza dos volumes e formas, mas mostram um ambiente ecologicamente deturpado e longe da realidade do ambiente hipógeo. A Caverna do Diabo, assim como um grande número de cavernas turísticas do mundo, foi invadida pela “doença verde”, como foi apelidado o fenômeno da clorofila nas paredes das cavernas. Nas

proximidades dos aparelhos de iluminação, quando o substrato rochoso (parede da caverna ou espeleotema) está relativamente próximo do vidro dos projetores, o verde se instala (Foto N. 06). Se a luz do projetor e o seu calor correlato chegam a um substrato argiloso e úmido, então as samambaias se proliferam, e até mesmo sementes de vegetação superior se desenvolvem (Foto N. 07).



Foto N. 06 – Nas proximidades de muitos projetores todo o substrato rochoso fica esverdeado pelo desenvolvimento de musgos.



Foto N. 07 – Quando o substrato é argiloso e úmido há uma verdadeira proliferação de samambaias e até mesmo germinação de sementes de vegetação superior.

Qualquer ponta de espeleotema que esteja iluminada é foco de germinação e desenvolvimento de musgo (Foto N. 08). Se há escorrimento de água (como nas bordas de uma cortina) ou a superfície é molhada, a presença da iluminação induz ao desenvolvimento de esporos e em pouco tempo a formação, que era branca, fica toda verde com o acúmulo da clorofila, devido a proliferação desses seres (Foto N. 09). Nas pontas de espeleotemas, onde gotas são formadas, a proliferação da matéria orgânica forma uma pasta gelatinosa que reveste o substrato como uma gosma pegajosa (Foto N. 10).



Foto N. 08 – Qualquer ponta de espeleotema que esteja iluminada é foco de germinação e desenvolvimento de musgo.



Foto N. 09 – Se há escorrimento de água (como nas bordas de uma cortina) ou a superfície é molhada, a presença da iluminação induz ao desenvolvimento de esporos e em pouco tempo a formação, que era branca, fica toda verde com a clorofila produzida.



Foto N. 10 – Nas pontas de espeleotemas, onde gotas são formadas, a proliferação da matéria orgânica forma uma pasta gelatinosa que reveste o substrato como uma gosma pegajosa.

4. Acúmulo de material orgânico

Espeleotemas, ou substratos rochosos das paredes, quando submetidas a longos períodos de iluminação e em condições ideais de calor e umidade se recobrem de grossas camadas de musgo verde. Isso aconteceu em vários pontos da caverna. Se por algum motivo a iluminação for alterada, (projektor relocado, lâmpada queimada, etc.) de tal forma a cortar o processo fotossintético, a cobertura de musgo morre e entra em processo de deterioração. Acúmulos de material orgânico morto podem ser encontrados recobrendo superfícies, que outrora eram iluminadas. As fotos de N. 11 e N. 12, tiradas com 14 anos de intervalo, mostram as situações atuais, estalagmite recoberta de matéria orgânica em decomposição, e de 14 anos atrás, quando a camada de musgo estava em plena atividade fotossintética.

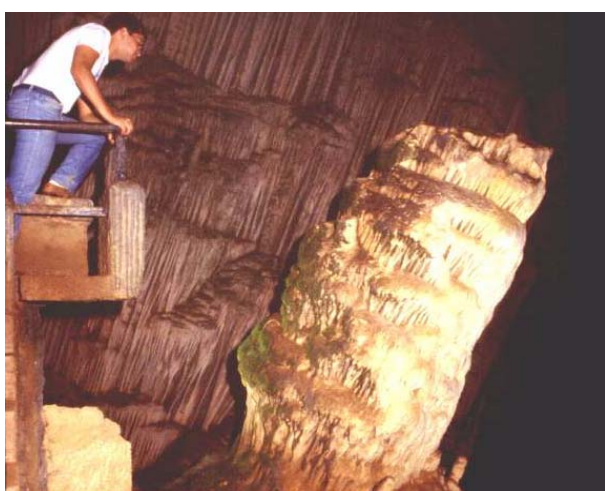


Foto N. 11 e 12 – Ambas as fotografias foram feitas do mesmo ângulo, porém com um intervalo de 14 anos, a de N. 11 (acima) foi feita durante a visita técnica que originou este artigo. O patamar mostrado na fotografia é o patamar da Torre de Pisa, que é vista ao fundo. A estalagmite destacada na foto tinha, no passado, toda a lateral esquerda iluminada por um projetor colocado debaixo da escada de acesso ao patamar (Projetor de N. 60 nos dias de hoje) e, portanto, era recoberta por uma grossa camada de musgo verde. Nos dias de hoje esse projetor está apagado e a camada de matéria orgânica está praticamente morta e em decomposição.

Recomendações

As recomendações para a melhoria dos aspectos ambientais da Caverna do Diabo poderiam ser divididas em várias categorias de ações, de acordo com a urgência das ações ou a necessidade de estudos mais apurados e específicos.

1. Recomendações de ações imediatas

Algumas ações podem e devem ser tomadas imediatamente, pois não exigem mão de obra especializada nem estudos específicos e praticamente não demandam recursos financeiros.

Dentre outras possíveis recomendações destaca-se a **Coleta do lixo específico**. Uma vistoria

detalhada ao redor de cada um dos aparelhos de iluminação, quadros e caixas de passagem permite identificar e recolher todo o lixo abandonado, principalmente lâmpadas queimadas e quebradas. Cuidado especial deve ser tomado ao recolher cacos de vidro de lâmpadas queimadas, principalmente os cacos minúsculos. Talvez seja interessante o uso de um aspirador de pó, já que as tomadas de uso geral o permitiriam.

Essa faxina geral da caverna inclui a remoção não só de lâmpadas queimadas e seus cacos, mas também todo e qualquer rejeitos da instalação (refletores danificados, reatores queimados, pedaços de condutores, restos de isolamento, pedaços de eletrodutos, etc.).

2. Recomendações técnicas que dispensam estudos específicos

Algumas ações técnicas podem e devem ser implementadas, mesmo sem um prévio estudo técnico. São ações baseadas nos Projetos Elétricos elaborados por ocasião da Revitalização da Caverna e que não foram executados, ou foram executados apenas parcialmente, ou de forma inconveniente, ou mesmo desativados.

Todas estas recomendações demandam profissionais e recursos financeiros, porém não vultosos.

3. Recomendações técnicas que necessitam estudos específicos

Algumas ações técnicas só podem (e devem) ser implementadas após estudos técnicos prévios. São ações baseadas em novos Projetos Elétricos (específicos e detalhados), ou como resultados de estudos de equipe multidisciplinar.

Todas estas recomendações demandam profissionais especializados, estudos específicos e recursos financeiros.

Dentre essas recomendações, que refletem diretamente nos aspectos ambientais da caverna, as seguintes medidas são desejáveis de serem tomadas:

- **Estudo da Iluminação de Emergência**, como alternativa de iluminação de circulação.
- **Revisão do Projeto Elétrico e Instalações Elétricas Existentes**, para reconsideração da filosofia da iluminação, tipos de lâmpadas em uso, fixação e direcionamento de refletores e comando da iluminação, pois são todos fatores que influem diretamente nas qualidades ambientais da caverna.
- **Manutenção das qualidades ambientais**. Aqui estão elencados alguns procedimentos desejáveis no manejo da caverna, que, embora não sendo ações diretas no sistema de iluminação, afetam o

seu funcionamento, o seu rendimento e os seus impactos nas qualidades ambientais do meio.

- **Limpeza geral da caverna**

Cada caverna aberta ao turismo periodicamente tem as suas instalações limpas, tanto passarelas e circuitos de visitação, quanto os equipamentos elétricos de iluminação. Algumas cavernas são varridas semanalmente, como a Cueva del Guacharo na Venezuela, outras têm suas passarelas e escadas lavadas, como é o caso da Gruta de Frasassi na Itália. O mesmo cuidado que se tem com a limpeza das passarelas e escadas, deve se ter também com os equipamentos instalados para facilitar a visitação turística, onde se incluem os sistemas de iluminação. Se o descuido com a limpeza dos circuitos de visitação transmite ao turista uma filosofia de desleixo com a caverna e com os próprios visitantes, o descuido com a limpeza dos equipamentos, principalmente dos projetores e luminárias, implica em uma queda do rendimento e da qualidade da iluminação.

A limpeza das passarelas e equipamentos é uma constante nas cavernas turísticas européias. A Caverna do Diabo faz jus a um planejamento de limpeza, que determine frequência e métodos a serem utilizados.

- **Desinfecção do ar**

Algumas cavernas européias de alta visitação turística, úmidas, repletas de formações delicadas e iluminadas ao turismo em massa, que, portanto reúnem condições para o desenvolvimento de organismos clorofilados, têm suas atmosferas internas aspergidas com soluções diluídas de hipoclorito de sódio, que tem por finalidade inibir o desenvolvimento de esporos, e, portanto serve como tentativa de controle da “doença verde”, como é chamado o desenvolvimento clorofiliano nas cavernas. Estas são informações

pessoais recebidas na Gruta de Postojna (a mais famosa gruta turística do mundo, situada na Eslovênia), e na Gruta de Frasassi (a mais famosa gruta turística da Itália). Valeria a pena uma pesquisa do assunto para verificar a possibilidade de se aplicar esse procedimento na Caverna do Diabo.

- **Pintura de anteparos de projetores**

Muitos anteparos construídos com finalidades de camuflar ou dissimular as lentes dos projetores são fortemente iluminados nas suas partes internas e causam ofuscamento às lentes de câmaras, além de tornar a cena da caverna menos agradável aos olhos de visitantes mais exigentes. Uma constante limpeza da parte interna dos anteparos e a aplicação de uma pintura escura fosca (preto ou marrom) diminuiria esses efeitos, mas exigiria um estudo específico prévio.

- **Medidas ambientais**

É fato concreto e inegável a influência maléfica dos efeitos da iluminação sobre anteparos da luz produzida (formações, substrato rochoso ou mesmo anteparos construídos), nas imediações dos projetores e luminárias. Até que distâncias, e em quais condições, esses efeitos colaterais da iluminação são sentidos? São perguntas às quais as respostas ainda são empíricas, ainda não existem as respostas equacionadas. Dentre as cavernas turísticas brasileiras, sem risco de dúvidas, a Caverna do Diabo é a que melhor reúne condições para o desenvolvimento de um trabalho de pesquisa no sentido. Dados experimentais, analisados à luz da ciência, poderiam estabelecer as coordenadas para o dimensionamento da iluminação de cavernas, de tal forma a minimizar os efeitos colaterais da iluminação. A Caverna do Diabo poderia ser um modelo de referência internacional.

Referências Bibliográficas

- **LABEGALINI, J. A.** Levantamento dos impactos das atividades antrópicas em regiões cársticas - Estudo de caso: Proposta de mínimo impacto para implantação de infra-estrutura turística na Gruta do Lago Azul - Serra da Bodoquena (Município de Bonito - MS). Dissertação (Mestrado), USP, EESC, 185p, São Carlos, 1996.
- **LABEGALINI, J. A.** PEJ – Parque Estadual de Jacupiranga – Caverna do Diabo – Relatório Técnico das Instalações Elétricas, Relatório Técnico, 71p, 2006.
- **SMA-SP** - Processo nº 1230/2001 de 03 de dezembro de 2001.
- **Grottes de France – Guide des Grottes aménagées pour le tourisme.** Boulogne, France, Editions du Cawstelet : 1993. ISBN N° 2-908 555-65-4.