

CONSIDERAÇÕES SOBRE GESTÃO AMBIENTAL EM ÁREAS CÁRSTICAS

*Considerations about the environmental
management on karstic areas*

Leandro Fedin VESTENA*
Masato KOBAYAMA**
Leonardo J. C. SANTOS***

RESUMO

O artigo aborda a problemática do uso e ocupação de áreas cársticas, destacando os possíveis impactos destas ações no meio ambiente. Propõe uma forma integrada de planejamento e gestão, associando os aspectos físicos aos socioeconômicos.
Palavras-chave: cárstis, planejamento, gestão, riscos ambientais.

ABSTRACT

The present work approaches the problem of use and occupation of karstic areas, highlighting the possible impacts of these actions on the environment. An integrated form of planning and management, associating the physical aspects to the socioeconomic ones is proposed.
Key-words: Karst, planning, management, environmental impacts.

* Professor Substituto do Departamento de Geografia - Universidade Federal do Paraná (UFPR), Mestrando em Geografia - UFPR.
** Professor Adjunto II do Departamento de Solos - UFPR, Doutor em Engenharia Florestal pela UFPR desde 1994.
*** Professor Adjunto I do Departamento de Geografia - UFPR, Doutor em Geografia Física pela USP desde 2000.

INTRODUÇÃO

O crescimento urbano vem impulsionando o uso e a ocupação do solo e do subsolo em áreas sujeitas à ocorrência de acidentes geotécnicos, dentre elas as áreas cársticas. No Brasil, as cidades de Cajamar (SP), Sete Lagoas (MG), Almirante Tamandaré (PR), Colombo (PR), entre outras, são exemplos de áreas carste ocupadas por atividades antrópicas.

As áreas de carste, por sua natureza física específica, sofrem com a ação antrópica em virtude da ocupação urbana da terra, das atividades agrícolas, da captação de água subterrânea e da mineração, principalmente da extração de calcários para correção da acidez do solo e para a construção civil, mármore, entre outros.

Estas atividades, desenvolvidas de forma desorganizada e predatória, sem critérios técnicos adequados e sem planejamento, acabam deflagrando processos que induzem os acidentes geológicos – como subsidências e colapsos de solo e rocha –, degradam áreas de valor espeleológico e poluem aquíferos, pois o carste é um grande armazenador de água.

Analisar a problemática de ocupação e exploração de áreas carste é primordial para se ordenar adequadamente o uso e exploração do solo e subsolo, mas, normalmente, nessas áreas, tais ações desconsideram as características físicas do ambiente carste no uso da terra, como a potencialidade e os riscos geotécnicos que especificam essas paisagens.

O presente trabalho tem como objetivo discutir os possíveis efeitos e causas do uso e ocupação de áreas cársticas, destacar os impactos dessas ações no meio ambiente e propor uma metodologia conceitual de gestão ambiental.

ÁREAS CÁRSTICAS E RISCOS GEOTÉCNICOS

“A gênese e evolução de uma paisagem cárstica depende do grau de dissolução da rocha, da quantidade e volume de água associada às características ambientais da litosfera, biosfera e atmosfera”, destaca KOHLER (1995). As feições topográficas do carste são caracterizadas pela dissolução das rochas carbonáticas, e por feições morfológicas particulares. As formas cársticas são muito variadas, sendo as mais importantes: as lapês, as dolinas, os sumidouros, as úvais, os poljês, as ressurgências.

A dissolução é comandada pela percolação de águas provindas da superfície, de caráter necessariamente ácido, por conter ácido carbônico e/ou ácidos da decomposição de matéria orgânica como: os

húmicos, o tânico e o fúlvico. Conseqüentemente, o processo de dissolução nas rochas carbonáticas cria cavidades em seu interior.

Neste contexto, os colapsos de solo e rocha e as subsidências são decorrentes do estágio de evolução do modelado cárstico e do grau de dissolução da rocha, ligados à evolução de cavidades no subsolo que trazem riscos, prejuízos econômicos e até mesmo perdas de vidas humanas quando estas áreas são ocupadas.

Os colapsos de solo e rocha são movimentos bruscos, circulares, em forma de cratera, com seção lateral de tronco invertido. Sua ocorrência se processa mesmo sem sinais prévios denunciadores, sendo os principais causadores de acidentes graves em áreas de carste (figura 1).

As subsidências são processos de adensamento ou rebaixamento do solo, movimentos lentos e causadores de trincas, rachaduras e desabamentos de pequenas proporções (figura 1).

O maior acidente relacionado a colapsos de solo no Brasil foi verificado em 1986 na cidade de Cajamar (SP). Outros de menores proporções foram verificados nas cidades de Sete Lagoas (MG), Colombo (PR) e Almirante Tamandaré (PR) (MINEROPAR, 1986).

Os problemas de colapso e subsidência em áreas cársticas podem ocorrer tanto sob condições naturais da evolução da morfologia cárstica, como podem ser acelerados pelas atividades antrópicas, ou seja, podem ser induzidos.

Nesse sentido, é importante salientar que a diferença entre as causas naturais e as induzidas é a velocidade na deflagração dos efeitos resultantes dos processos de dissolução (ALBRECHT, 1996).

As principais atividades do uso e ocupação de áreas cársticas são: as atividades da construção civil, a implantação de pedreiras, as implantações de aterros sanitários, indústrias produtoras de agentes tóxicos, desmatamentos, captação de água subterrânea e superficial, as alterações físicas, químicas e biológicas em parques turísticos, entre outras.

FIGURA 1 - MODELO DE AFUNDAMENTOS CÁRSTICOS

1 - COLAPSO DE SOLO - MOVIMENTOS BRUSCOS - ESTRUTURA DE TRONCO INVERTIDO, SEÇÕES CIRCULARES - DESABAMENTOS ALTO RISCO





FIGURA 1 - SUBSIDÊNCIAS

As consequências principais do uso e da ocupação desordenada de áreas cársticas são: as mudanças rápidas nos regimes hidroclimáticos superficiais e subterrâneos (desaparecimento de fontes, diminuição na vazão dos cursos de água, inundações), impermeabilização do solo, vibrações (indução dos acidentes geotécnicos - subsidências e colapso de solo e rocha), poluição rápida do aquífero, entre outros.

OCUPAÇÃO URBANA

Nas áreas urbanas as atividades de construção civil (obras de engenharia) são intensas, contribuindo no desencadeamento dos fenômenos cársticos através da implantação de elevação de estruturas; serviço de terraplanagem; estradas; fundações; barragens; desvio de cursos de água; coletores de água pluviais; implantações de rodovias, ferrovias, pedreiras; atividades industriais; vibrações no terreno; produção de lixo e esgotos; impermeabilização; entre outras. Estas interferências atuam modificando as condições físicas das áreas de carste - influem no nível do lençol freático, escoamento e infiltração das águas superficiais - podendo acelerar a ocorrência dos acidentes geotécnicos (figura 2), conforme destaca ALBRECHT (1996).

Geralmente, nestas áreas, a ocupação urbana é desordenada, e quando vinculada a algum tipo de planejamento desconsidera as características físicas, geológicas e hidrogeológicas do ambiente.

OLIVEIRA (1997) destaca que muitas vezes as planícies cársticas (pojés), por apresentarem características topográficas favoráveis, "tomam-se convidativas e atraentes para a ocupação urbana indiscriminada, com grandes e pesadas edificações, encobrendo, porém a complexidade da dinâmica do ambiente cárstico, suas estruturas subterrâneas (cavidades, cavernas etc.) e zonas de extrema sensibilidade".

FIGURA 2 - ASPECTOS DA OCUPAÇÃO URBANA EM REGIÕES CÁRSTICAS

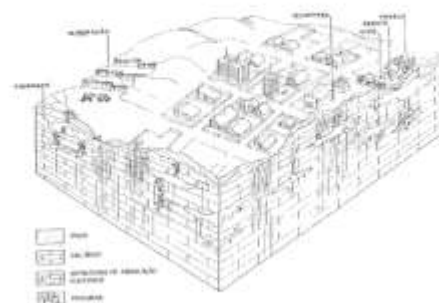


FIGURA 2 - ASPECTOS DA OCUPAÇÃO URBANA EM REGIÕES CÁRSTICAS

As principais consequências da urbanização em áreas de carste resultam em acidentes geotécnicos (subsidências e colapso de solo e rocha) decorrentes de vibrações ocasionadas pelas atividades de construção civil, provocando danos às instalações públicas e privadas; comprometimento de residências; danos à integridade física da população; poluição dos corpos de água, pela rapidez do fluxo de chorume e dos efluentes industriais e domésticos.

MINERAÇÃO

As rochas calcárias e dolomíticas aflorantes constituem a matéria-prima para a indústria produtora de cimento, cal e corretivo do solo.

A mineração torna-se uma atividade atrativa economicamente, mas pode acelerar os acidentes geotécnicos através das vibrações produzidas pelo uso de explosivos nas pedreiras (figura 3), que se propagam na subsuperfície. Estas vibrações quando desenvolvidas próximas de áreas urbanas ou moradias podem causar danos e avarias às estruturas e fundações, como provocar trincas e desestabilizar o teto das cavidades subterrâneas, potencializando o risco de abatimentos do terreno, como evidencia OLIVEIRA (1997). Além disso, quando realizada a céu aberto, ocasiona também poluição visual, sonora e do ar.

A mineração de rochas calcárias é a principal atividade mineral do Estado do Paraná, em termos de quantidade e valor de produção, segundo dados da MINEROPAR. A Região Metropolitana de Curitiba é a principal região fornecedora de calcário, contando com inúmeras empresas distribuídas principalmente pelos municípios de Rio Branco, Almirante Tamandaré e Colombo.

Segundo o GEEP-Açungui (Grupo de Estudos Espeleológicos do Paraná), existem na Região Metropolitana de Curitiba 197 cavidades, distribuídas em diversos municípios. Nas proximidades destas cavidades com formações cársticas se assentam núcleos urbanos – Rio Branco do Sul, Almirante Tamandaré, Colombo (Tranqueira) – que ameaçam as grutas existentes, devido a expansão urbana. Esta ação demonstra a falta de planejamento e integração de planos de aproveitamento de recursos naturais das paisagens cársticas. O patrimônio espeleológico também é ameaçado pela atividade mineradora através das vibrações e da própria destruição – a retrada dos recursos minerais. O GEEP- Açungui afirma que 50% do patrimônio espeleológico do Estado do Paraná foi destruído pela atividade mineradora (OLIVEIRA, 1997).

FIGURA 3 - AFUNDAMENTOS ASSOCIADOS A VIBRAÇÕES PELO USO DE EXPLOSIVOS



FONTE: OLIVEIRA (1997).

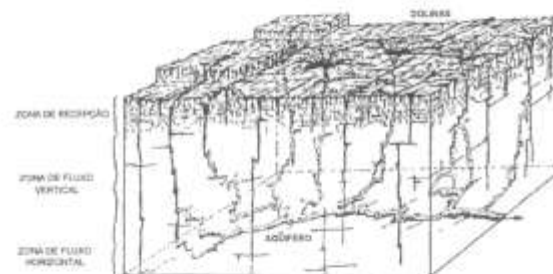
SESSEGOLO et al. (1996), citado por OLIVEIRA (1997, p. 19) evidencia que a atividade mineradora é antiga na região, existindo registros de que o povoado de Rio Branco do Sul surgiu em 1790, em torno dos arraiais de mineração. "Relatos de moradores dão conta que, no século passado [séc. XIX], a mineração de calcário iniciava na entrada das cavernas".

ATIVIDADES AGRÍCOLAS

As atividades agrícolas convencionais, em áreas de carste, associadas à exploração de água (irrigação), constituem um grande problema ao alterarem o ciclo hidrológico, aumentando o escoamento superficial e transportando os elementos químicos tóxicos à saúde humana por meio da aplicação de agrotóxicos (herbicidas, fungicidas, inseticidas, entre outros) na agricultura.

Por causa da morfologia cárstica, as águas superficiais que percorrem o solo carregam consigo os agrotóxicos escoando até as dolinas e úvulas, tendo estas acesso direto ao lençol freático, contaminando rapidamente o aquífero (figura 4).

FIGURA 4 - DINÂMICA DO FLUXO DE ESCOAMENTO, DOLINAS E ÚVULAS LIGADAS POR DUTOS COM O AQUIFERO



FONTE: POLOC (1977).

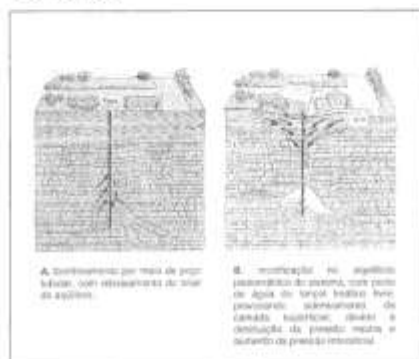
A extração de água e sua utilização para fins humanos passa por estações de tratamento de água que não são eficientes para combater os elementos químicos (organo clorado) provenientes da utilização de agrotóxicos. É importante destacar que esses agrotóxicos possuem elevada meia-vida, ou seja, após sua aplicação ficam por longo tempo no solo, até mesmo por décadas.

EXTRAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

A extração de água subterrânea em áreas carste deve ser realizada de forma ordenada e após estudos do ciclo hidrológico para se estimar a

quantidade e a frequência da retrada de águas, pois a extração descontrolada acarreta alterações no ciclo hidrológico, como evidenciam PRANDINI et al. (1987); JUNIOR, FILHO (1998); MURCK et al. (1995). Estes autores indicam o rebaixamento do nível d'água como o fator de maior peso na deflagração e aceleração de subsidências e colapsos a partir da evolução de cavidades formadas na porção saturada dos solos ou sedimentos que envolvem o calcário (figura 5).

FIGURA 5 - MODELO INTERPRETATIVO DA DINÂMICA DO NÍVEL HIDROSTÁTICO E AS SUBSIDÊNCIAS



FONTE: MINEROPAR (1998).

ATERROS SANITÁRIOS

A construção de aterros sanitários em áreas cársticas constitui um risco potencial na poluição dos recursos hídricos devido ação do *chorume* – produzido pela deposição do lixo – que atinge facilmente as águas subterrâneas por meio dos dutos e fissuras presentes nas rochas calcárias (figura 4). O *chorume* contamina rapidamente o aquífero com metais pesados que são extremamente tóxicos, além de possuir efeito cumulativo no corpo humano. Tanto o *chorume* produzido pelos aterros sanitários como os agrotóxicos utilizados na agricultura em áreas cársticas agem rapidamente, comprometendo a qualidade do solo e da água.

ATIVIDADES TURÍSTICAS

As formas cársticas, campos de lapíás e cavernas constituem excelentes recursos turísticos. A implantação de infra-estrutura no interior das cavernas – tais como a abertura artificial de entradas, elevadores, sistema de ventilação, holofotes, escadas, corrimãos – afetam o meio abiótico e biótico.

As atividades turísticas nessas áreas, como intensa visitação, podem causar impactos ambientais pelo depósito de lixo, destruição de espeleotemas, entre outros, que alteram o fluxo de energia e o meio biótico, provocando no solo e na água variações de temperatura, umidade relativa, pH, concentração de CO₂, luminosidade etc.

GESTÃO DE ÁREAS CÁRSTICAS

O agravamento dos problemas ambientais nas últimas décadas vem impondo a necessidade da sustentabilidade, ou seja, de um desenvolvimento sustentável.

De acordo com *The World Commission on Environment and Development* (1987), o desenvolvimento sustentável é um processo de mudança na qual a exploração dos recursos naturais, a orientação dos investimentos e do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional estão em harmonia e melhoram o potencial existente e futuro para satisfazer as necessidades humanas.

Uma conceitualização operacional estabelece que o desenvolvimento sustentável é o "cenário que associa ao crescimento econômico atual e futuro, a equidade social e a sustentabilidade ambiental" (DOUROJEANNI, 1993).

"A gestão ambiental é uma atividade voltada para formulação de princípios e diretrizes, estruturação de sistemas gerenciais e tomadas de decisão, tendo por objetivo final promover, de forma coordenada, o uso, proteção, conservação e monitoramento dos recursos naturais e sócio-econômicos em um determinado espaço geográfico, com vistas ao desenvolvimento sustentável" (LANNA, 1995).

A gestão ambiental é um processo a ser desenvolvido em conjunto com a sociedade na organização do espaço, contínuo e permanente e deve ser fundamentada na política ambiental e ter como instrumento o planejamento do ambiente. A figura 6 mostra um fluxograma para a gestão ambiental, elaborado a partir dos preceitos preconizados por LANNA (1995).



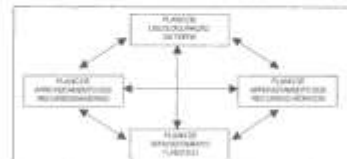
O planejamento, como instrumento da gestão, deve ser contínuo, buscando resolver e prevenir problemas e explorar as condicionantes e as potencialidades do espaço numa sociedade dinâmica e em transformação.

As regiões cársticas em todo o mundo, requerem gerenciamento específico e interdisciplinar, principalmente pelo risco de desencadeamento de processos de abatimento do terreno.

No Brasil, afundamentos cársticos em áreas urbanas na forma de colapsos e subsidências refletem as condições de uso inadequado do solo e a falta de planejamento no processo de ocupação e expansão urbana. Soma-se a isto a exploração descriteriosa dos recursos naturais do carste – a extração de água subterrânea, mineração de calcário – desvinculada de programas de preservação do patrimônio espeleológico. O conjunto destes fatores torna as atividades conflitantes e incompatíveis, que, somadas, potencializam a deflagração de acidentes geológicos.

Nas áreas de carste, os instrumentos legais para viabilizar estas ações se materializam na forma de planos diretores e planos de uso e ocupação do solo, nos mais diversos setores de abrangências, compondo o Plano Integrado de Desenvolvimento do Carste (figura 7).

FIGURA 7 - PLANO INTEGRADO DE DESENVOLVIMENTO DO CARSTE



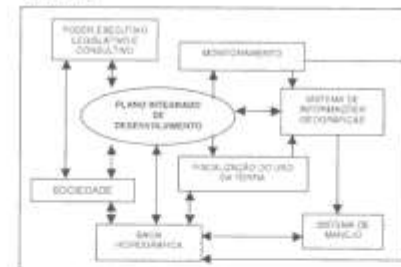
FONTE: MODIFICADO DE OLIVEIRA (1997).

Para tanto, o ambiente cárstico deve ter tratamento especial e diferenciado em qualquer programa de desenvolvimento territorial e urbano. Não somente pelo seu valor econômico, que atrai a ocupação urbana, industrial e agrícola, mas também pelos riscos associados.

O processo de execução da gestão ambiental, em áreas carste, necessita permanentemente de monitoramento dos processos naturais e de fiscalização do uso da terra que, aliados a um sistema de informações geográficas, possibilita compor um banco de informações. Banco este que permite diagnosticar e fundamentar ações mitigadoras e compensatórias, ou seja, medidas que visem a minimizar os efeitos das deteriorizações, bem como compensar ou mesmo corrigir as eventuais poluições ambientais.

A figura 8 exemplifica o modelo proposto para a execução da gestão ambiental. O plano de desenvolvimento integrado deve compor os fatores específicos de cada região, no caso das áreas cársticas, o Plano Integrado de Desenvolvimento do Carste (figura 7).

FIGURA 8 - MODELO PROPOSTO PARA O PROCESSO DE EXECUÇÃO DA GESTÃO AMBIENTAL



CONSIDERAÇÕES FINAIS

As áreas cársticas são naturalmente susceptíveis a colapso e subsidência de solo e rocha decedentes do estágio evolutivo das formas cársticas.

O uso e a ocupação dessas áreas altera o meio abiótico e biótico, afeta a qualidade dos recursos naturais e pode acelerar os processos de colapso de solo e subsidência.

A gestão ambiental nas áreas cárste é possível e viável através de uma equipe interdisciplinar que leve em consideração as potencialidades e fragilidades, por meio de análises dos principais elementos, das paisagens cársticas.

O plano de desenvolvimento integrado das áreas cárstica se torna um instrumento fundamental e essencial para o uso racional dos recursos e potencialidades ineridas nessas áreas.

REFERÊNCIAS

- ALBRECHT, K. J. *Avaliação dos problemas geológico-geotécnicos em terrenos cársticos. Base para o mapeamento geotécnico*. São Paulo, 1996. Dissertação (Pós-Graduação em Geologia) – Universidade de São Paulo.
- DOUROJEANNI, A. *Procedimientos de gestión para el desarrollo sustentable aplicado a microrregiones y cuevas. Ensayos*, Santiago, n. 1, 05. ago. 1993.
- JUNIOR, N. I.; FILHO, N. F. *Processos de Dinâmica Superficial*. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A. de. *Geologia de engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. p. 131-152.
- LANNA, A. E. L. *Gerenciamento de bacia hidrográfica. Aspectos conceituais e metodológicos*. Brasília: IBAMA, 1995.
- KÖHLER, H. C. *Geomorfologia cárstica*. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. *Geomorfologia. Uma atualização de bases e conceitos*. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. p. 309-334.
- MINEROPAR. *Guia de Preservação de Acidentes Geológicos Urbanos*. Curitiba, 1998.
- MURCK, B. W.; SKINNER, B. J.; PORTER, S. C. *Environmental geology*. New York: John Wiley & Sons, 1995.
- OLIVEIRA, L. M. *A gestão de riscos geológicos urbanos em áreas de carste*. Curitiba, 1997. Monografia (Especialista em Gestão Técnica do Meio Urbano) – Pontifícia Universidade Católica-PR.
- PALOC, H. *Karsts anciens et eaux actuelles*. In: TOLSON, J. S. *Karst hydrogeology*. Huntsville: University of Alabama in Huntsville, 1977. p. 229-238.
- PRANDINI, F. L. et al. *Cajamar – carst e urbanização. A experiência internacional (síntese bibliográfica)*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 5., 1987, São Paulo. São Paulo: ABGE, 1987. v. 2, p. 431-441.

ZUQUETTE, L. V.; ALBRECHT, K. J. *Avaliação dos problemas geológicos - geotécnicos em terrenos cársticos. Base para o mapeamento geotécnico*. São Carlos: USP, 1996. Seminários Gerais.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. *Our Common Future*. Oxford: University Press, 1987.