

Ameaças ao geopatrimônio do Carste e a perda da memória da Terra

Threats to the karst geoheritage and the loss of Earth's memory

Amenazas al geopatrimonio del karst y la pérdida de la memoria de la Tierra

Úrsula de Azevedo Ruchkys
Universidade Federal de Minas Gerais
tularuchkys@yahoo.com.br

Luiz Eduardo Panisset Travassos
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
luizepanisset@gmail.com

Mariana Barbosa Timo
Spelayon Consultoria
mariana.timo@spelayonconsultoria.com.br

Resumo

Os estudos relacionados à visão patrimonial da geodiversidade buscam compreender a Terra sob uma perspectiva holística associada à Teoria de Gaia. Um dos marcos dessa abordagem é a Declaração dos Direitos à Memória da Terra, elaborada em 1991 em Digne-le-Bains na França. Essa Declaração mostra a necessidade de conservarmos a memória do planeta que fica registrada nas rochas, solo, relevo, fósseis, enfim, nas paisagens. Nesse contexto o artigo tem por objetivo apresentar os impactos decorrentes das atividades antrópicas sob as paisagens cársticas, em especial, das atividades de mineração. Esses impactos causam danos ambientais e sociais, sendo que muitos deles levam a perda de patrimônio. Os geossistemas cársticos possuem importantes valores patrimonial, além de elevado valor econômico, sendo constantes alvos de atividades de mineração, não só do calcário, mas também de outros bens minerais associados a essas paisagens. Assim medidas que levem ao desenvolvimento sustentável de atividades promovidas no carste são urgentes e necessárias, bem como a valorização dessas paisagens por meio da difusão de sua importância e significado buscando garantir a conservação da memória da Terra.

Palavras-chave: Geodiversidade. Geopatrimônio. Carste.

Abstract

Studies on the patrimonial view of geodiversity seek to understand Earth from a holistic perspective associated with Gaia Theory. One of the milestones of this approach is the Declaration of the Rights of the Memory of the Earth, prepared in 1991 in Digne-le-Bains in France. This Declaration shows the need to preserve the planet's memory recorded in rocks, soil, relief, fossils, finally, and landscapes. In this context, the article aims to present the impacts of anthropic activities in karst landscapes, especially mining activities. These impacts cause environmental and social damage, and many of them lead to the loss of geoheritage. Karst geosystems have important property values and high economic value, being constant targets of mining activities, not only limestone but also other mineral goods associated with these landscapes. Thus, measures that lead to the sustainable development of activities promoted in the karst are urgent and necessary. The valorisation of these landscapes by diffusion of their importance and meaning-seeking ensures the Earth's memory conservation.

Keywords: Geodiversity. Geoheritage. Karst

Resumen

Los estudios sobre la visión patrimonial de la geodiversidad buscan entender la Tierra desde una perspectiva integrada asociada a la Teoría de Gaia. Uno de los hitos de este enfoque es la Declaración de los Derechos de la Memoria de la Tierra, elaborada en 1991 en Digne-le-Bains en Francia. Esta Declaración muestra la necesidad de preservar la memoria del planeta grabada en rocas, suelos, relieves, fósiles, en fin, y paisajes. En este contexto, el artículo tiene como objetivo presentar los impactos de las actividades antropogénicas en los paisajes kársticos, especialmente las actividades mineras. Estos impactos provocan daños ambientales y sociales, y muchos de ellos conducen a la pérdida del geopatrimonio. Los geosistemas kársticos tienen importantes valores patrimoniales y alto valor económico, siendo objeto constante de actividades mineras, no solo de calizas, sino también de otros bienes minerales asociados a estos paisajes. Por ello, son urgentes y necesarias medidas que conlleven al desarrollo sostenible de las actividades que se promueven en el karst. La valorización de estos paisajes mediante la difusión de su importancia y la búsqueda de sentido asegura la conservación de la memoria de la Tierra.

Palabras clave: Geodiversidad. Geopatrimonio. Karst.

Introdução

O *Carste* é uma paisagem tipificada por uma ampla gama de depressões fechadas superficiais, um sistema de drenagem subterrânea bem desenvolvido e uma forte interação entre a circulação da água em superfície e no subterrâneo. A carstificação é uma característica geológica, muito importante para a circulação e armazenamento da água, sendo um processo contínuo favorecido pelas interações naturais e/ou antropogênicas (WHITE, 1988; BONACCI, 2001; 2004 FORD; WILLIAMS, 2007).

Os geossistemas cársticos são ambientes altamente frágeis que vem sofrendo uma degradação progressiva causada pela atividade antrópica em muitas regiões do nosso planeta. A literatura nos mostra que as intervenções antropogênicas na superfície da Terra diferem dos processos naturais e transformam os ambientes naturais em

ambientes construídos. Tais interações entre o homem e o carste têm sido relevantes desde a Antiguidade Clássica, com os gregos e romanos (NICOD *et al.*, 1997; PARISE *et al.*, 2009), mas os efeitos prejudiciais resultantes tornaram-se particularmente significativos a partir da Revolução Industrial. De acordo com Ford e Williams (2007) e Parise *et al.* (2009), apesar da longa história de impactos induzidos pelo ser humano nos ambientes cársticos e os danos causados pelos processos cársticos (e.g.: abatimentos), tais problemas foram “esquecidos” pela comunidade científica até o início dos anos 1990. Felizmente, tanto a percepção da importância dos sistemas cársticos, quanto os esforços científicos dedicados à sua compreensão, aumentaram consideravelmente nos últimos tempos.

A evolução da compreensão da paisagem cárstica evidencia que o entendimento dos processos superficiais é apenas uma primeira abordagem para o entendimento de um sistema complexo com uma longa história natural. Esses estudos aumentaram a consciência de que cada área de relevo cárstico é única e muito complexa, diferente de qualquer outra em muitas características, e que é quase impossível obter um entendimento abrangente, mesmo com programas de pesquisa muito específicos (SAURO, 2013)

Talvez os processos naturais de subsidência sejam os mais perigosos ao ser humano, especialmente em áreas urbanizadas. Outros problemas ambientais típicos em terrenos cársticos estão relacionados tanto a qualidade quanto a quantidade de água, podem ser causados pela construção de infraestrutura (e.g.: barragens, rodovias, túneis etc.), agricultura, pecuária, silvicultura, disposição de resíduos e a mineração. Embora necessária, a atividade minerária altera drasticamente as funções da paisagem, resultando em modificações geralmente irreversíveis às feições, cobertura do solo e vegetação.

As modificações nas paisagens cársticas, para além dos prejuízos destacados, traz também a perda de geopatrimônio. O geopatrimônio está associado a parcelas da geodiversidade (variedade dos elementos abióticos da natureza tais como rochas, solos, relevo, minerais, fósseis e outros) cujos atributos científicos, educativos, culturais e outros justifiquem sua conservação. Geopatrimônio e geodiversidade são conceitos associados a visão holística da natureza baseada na Teoria de Gaia (LOVELOCK, 1995), a mãe Terra (RUCHKYS *et al.*, 2018; ALVARENGA; RUCHKYS, 2020). As paisagens criadas por Gaia podem ser consideradas como memória de sua história e são o resultado de um balanço que ocorre ao longo do tempo entre forças endógenas e exógenas que atuam no planeta influenciadas, muitas vezes por elementos bióticos, culturais e antrópicos. O registro da memória da Terra nas rochas, minerais, fósseis, solos, enfim, na paisagem constitui um patrimônio que deve ser protegido e não silenciado nem destruído pelas intervenções humanas.

O carste e seu geopatrimônio

O termo *carste* é utilizado para designar uma paisagem singular elaborada, principalmente, pela dissolução da rocha em superfície e subsuperfície. Comumente o termo é associado aos carbonatos, embora uma corrente científica venha se firmando

para utilizar o termo para outros tipos de rocha que apresentam algum grau de dissolução. Por definição clássica, Ford e Williams (2007) afirmam que esse tipo de relevo ocorre em regiões desenvolvidas em rochas carbonáticas e perfazem cerca de 10 a 15% da superfície terrestre (FORD; WILLIAMS, 2007). Williams (2008) afirma que os afloramentos carbonáticos compreendem cerca de 15.000.000 km² da área continental não congelada da Terra (11% da superfície). Já os carbonatos subsuperficiais envolvidos na circulação da água subterrânea são consideravelmente maiores: cerca de 14% da área mundial. Em um trabalho recente, uma nova proposição dessas porcentagens, especialmente no tocante aos afloramentos rochosos, foi realizada por Williams e Fong (2008). Nesta nova proposta, os autores demonstram que cerca de 12,5% da superfície terrestre mundial apresentam afloramentos carbonáticos. Os autores se propõem a diferenciar as áreas onde as rochas carbonáticas são relativamente puras e contínuas daquelas relativamente impuras e descontínuas (Figura 1).

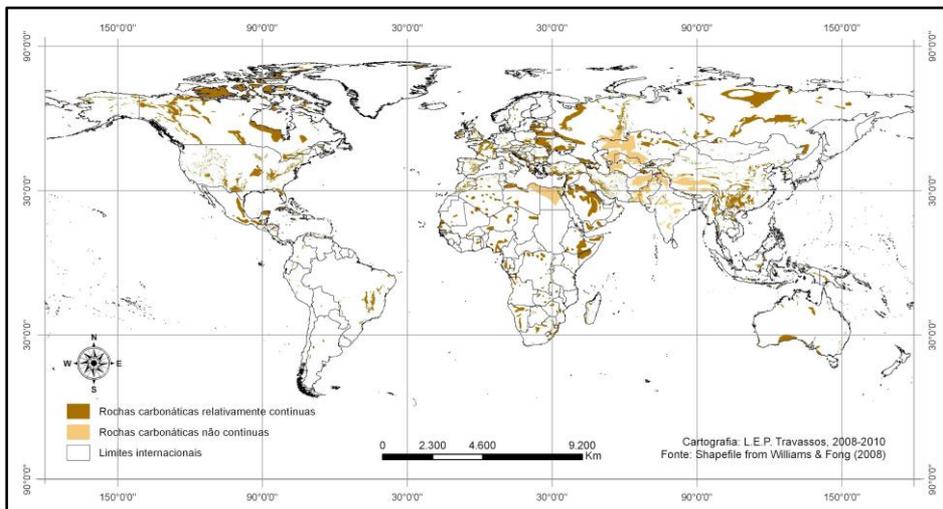


Figura 1: Distribuição espacial das rochas carbonáticas de acordo com Williams; Fong (2008). As áreas escuras correspondem a regiões carbonáticas relativamente contínuas. As áreas de cor mais clara correspondem a regiões abundantes em rochas carbonáticas não contínuas.

Se detalharmos as informações e estendermos o conceito para outros tipos de rocha, em especial no Brasil, percebe-se o quão distribuído são as paisagens cársticas nacionais (Figura 2). Assim, além de feições topográficas características, esse tipo de terreno apresenta características hidrogeológicas igualmente peculiares (WALTHAM; BELL; CULSHAW, 2005), que devem ser seriamente estudadas a fim de se conduzir qualquer intervenção de engenharia. Tais obras no carste podem induzir a formação de subsidência e abatimento da superfície devido ao aumento ou diminuição drástica da recarga hídrica, bem como em função do uso de maquinário pesado e de eventuais explosões em superfície.

Além do carste tradicional em carbonatos e do carste não-tradicional em outras rochas, muitas cavidades naturais subterrâneas brasileiras são encontradas nos denominados Geossistemas ferruginosos. Essas cavernas se desenvolvem de forma diferenciada e têm também potencial para o desenvolvimento de atividades turísticas e educativas, conforme demonstrado por Ruchkys *et al.* (2015) e Santos, Ruchkys e Travassos (2021).

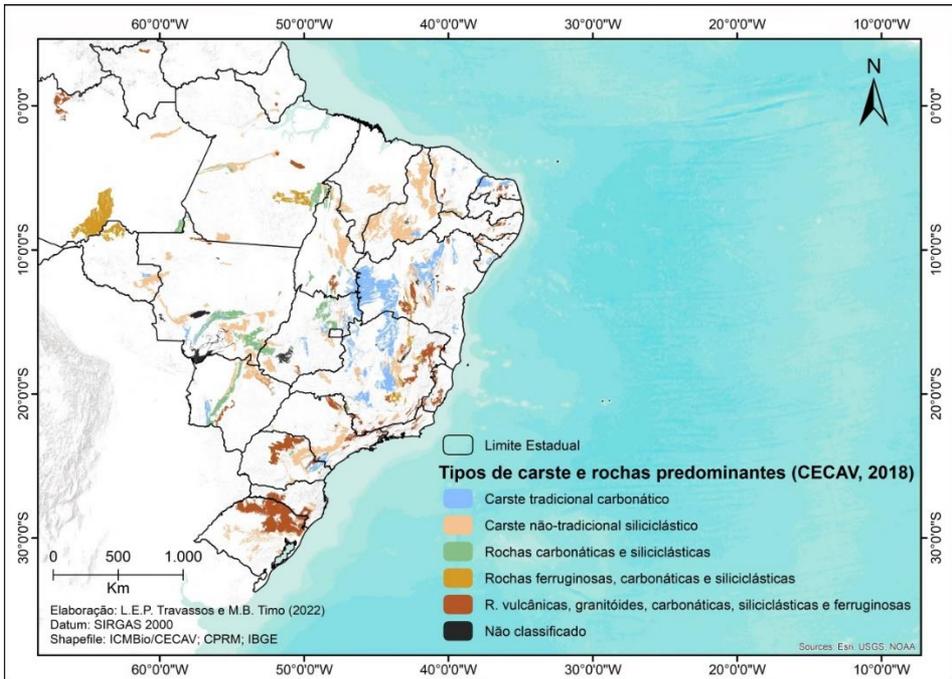


Figura 2: Distribuição espacial das principais Províncias Espeleológicas Brasileiras.
 Fonte: TRAVASSOS; TIMO (2022, p. 11)

Observando o Brasil (Figura 3) e o mapa do Estado de Minas Gerais, percebe-se que as áreas carbonáticas e ferruginosas são expressivas. Perante este cenário surge a necessidade de abordar mecanismos que possam suprir a carência e a demanda por métodos modernos na definição de áreas prioritárias para conservação do geopatrimônio associada à geossistemas cársticos e as cavernas. Geossistemas com ocorrência de cavernas, em especial os Geossistemas cársticos e ferruginosos, estão sujeitos a grandes pressões de atividades minerárias.

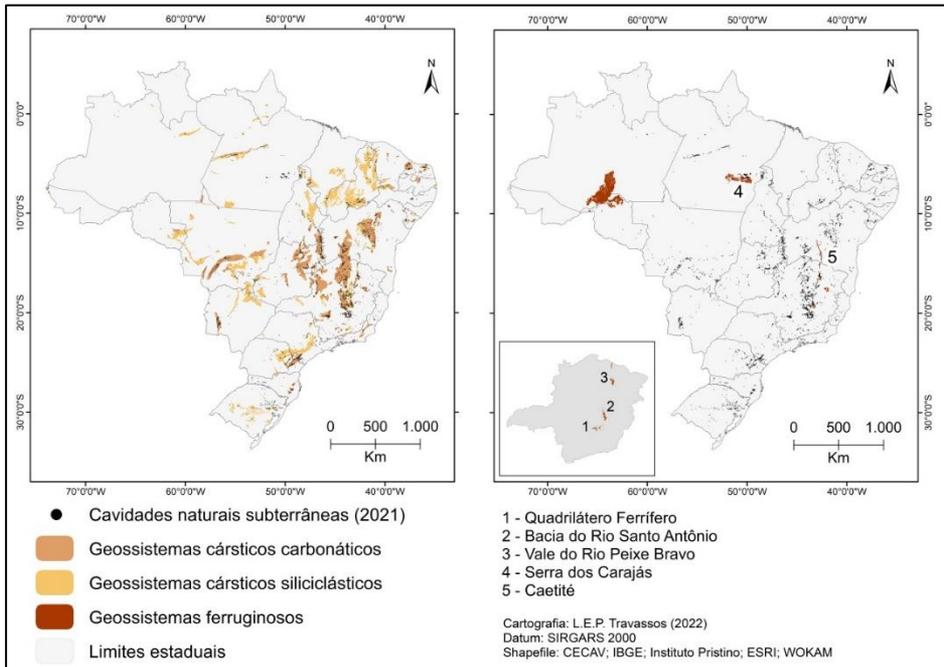


Figura 3: Distribuição espacial dos geossistemas cársticos e sua relação com as cavidades naturais subterrâneas no Brasil.

Os fenômenos cársticos que definem a paisagem e sobre os quais são desenvolvidas obras de infraestruturas necessárias ao bem-estar do ser humano, apresentam feições similares em todo o mundo, desde que tais áreas possuam hidrologia tipicamente subterrânea e ativa sobre rochas solúveis e com porosidade secundária desenvolvida (JENNINGS, 1985; FORD; WILLIAMS, 2007). Devido à rugosidade natural da paisagem cárstica, a instalação de equipamentos urbanos necessários à elaboração de uma rede de infraestrutura mínima apresenta um desafio para o desenvolvimento humano. Tal fato ocorre, pois o carste apresenta uma vasta gama de riscos naturais, além de serem geossistemas altamente vulneráveis a mudanças ambientais.

A morfologia cárstica é responsável por uma paisagem de grande beleza e diversidade cênica com abismos; paredões e maciços rochosos aflorantes ou parcialmente encobertos; dolinas e sumidouros; lagos; planícies rebaixadas; além de abrigos e cavernas caracterizados por complexa trama de condutos subterrâneos que podem estar conectados com o relevo superficial. As memórias que essas paisagens portam nos contam parte da evolução da Terra associada a processos que levam a dissolução das rochas, aos registros fósseis além de oferecer importantes evidências de climas passados. A necessidade de proteção à Memória da Terra veio à tona como o evento realizado em Digne-les-Bains (França) em 1991 onde foi apresentada a designada Carta de Digne – Declaração Internacional dos Direitos à Memória da Terra, que mostra

em seus nove artigos: que essa memória deve ser considerada única, assim como cada vida humana; que o Planeta é o elo entre todos nós; que o longo processo de evolução da Terra nos deu o ambiente em que vivemos hoje; que o futuro da Terra é o nosso futuro; que o ser humano é apenas um dos momentos da Terra; que a memória da evolução do planeta está registrada e que pode ser lida e decifrada; que essa memória deve ser protegida como legado, como patrimônio; que qualquer forma de desenvolvimento deve levar em conta esse valor patrimonial.

A gestão de ambientes naturais é particularmente difícil em países em desenvolvimento e em áreas onde falta uma verdadeira consciência em relação à proteção dos recursos naturais como em muitos países dos tropicais (DAY, 1993; DAY; KOENIG, 2002; DAY, 2007; LEÓN; PARISE, 2009) especialmente quando o assunto é a extração de diferentes depósitos minerais encontrados no carste (FILIPPOV, 2004).

Impactos da mineração na memória terra

As regiões carbonáticas acomodam importantes depósitos minerais, como chumbo, zinco, ferro e manganês. Além disso, quase metade do petróleo mundial está localizada em reservatórios de carbonato (FORD; WILLIAMS, 2007). O calcário é uma matéria-prima vital para as sociedades industriais modernas e a ampla gama de propósitos para os quais é usado é uma explicação para a demanda cada vez maior para sua exploração (GUNN, 1993).

A humanidade tende a se comportar como modificadora dos processos e equilíbrios naturais. Dependendo dos diferentes tipos de recursos explorados, suas atividades (e.g.: construção, remoção de floresta, agricultura, pecuária, pecuária, extração) causam mudanças no solo e na cobertura vegetal. Isso acelera processos, como erosão do solo, remoção da rocha natural, cobertura de superfícies com asfalto e concreto, introdução de resíduos sólidos e líquidos no meio ambiente etc.

Os impactos ambientais da mineração no carste e nas cavernas podem ocorrer de várias formas, favorecendo uma vasta gama de consequências negativas para o meio. Estes abrangem desde a destruição (supressão) total da caverna, até os impactos localizados de baixa magnitude (TIMO; TRAVASSOS; VARELA, 2018). Como exemplos é possível citar: a destruição parcial ou total de cavernas alteração dos padrões e integridade da paisagem, alteração na hidrografia natural, alteração nos ecossistemas preexistentes e o substrato, destruição do habitat natural e interrupção à sucessão natural, aumento na emissão de poeira, poluição sonora e tráfego de e para o local de extração - por esses motivos, a mineração pode ser considerada uma das atividades mais destrutivas do homem para áreas cársticas (PARISE, 2009; DARWISH *et al.*, 2011).

A história dos assentamentos humanos em regiões cársticas teve impacto diferenciado ao longo do tempo. O tipo de extrativismo mais comum realizado nas cavernas durante a pré-história foi a mineração de argila, rochas e minerais para serem utilizadas como ferramentas e pigmentos diversos (WERKER; WERKER, 2006). Durante o período colonial das Américas, nas cavernas eram minerados sedimentos ricos

em nitrato de potássio ou salitre, prática que voltou a ser comum nas décadas de 1930 e 1940 (FERRAZ, 2000; WERKER; WERKER, 2006). Para Hubbard Jr. (2012) historicamente, o salitre era considerado uma das commodities mais estratégicas, ocorrendo naturalmente em cavernas e abrigos sob rocha com certa raridade. Contudo, nitratos ocorrem em muitas cavernas e a mineração e processamento de sedimentos enriquecidos com nitratos nas cavernas é um processo relativamente simples.

Mais conhecida do público em geral, tem-se a mineração em “pedreiras” que consistem na remoção completa da rocha para uso direto e indireto a partir do beneficiamento mineral (Figura 4). Para Gunn (2004a), o calcário tem sido trabalhado por milhares de anos, inicialmente para a construção e, mais recentemente, para uma ampla gama de usos construtivos e industriais. Na Europa e América do Norte, a revolução industrial do Século XIX levou a um rápido aumento da demanda por calcário que, junto ao carvão, era uma das principais commodities.

Com o aumento global da demanda para uso na fabricação de cimento, três grupos primários de técnicas de extração passaram a ser utilizadas: a mecânica, o uso de pólvora e as técnicas modernas que usam altos explosivos que atualmente são uma mistura combinada de hidrocarbonetos líquidos com nitrato de amônio (GUNN, 2004b). Assim, percebe-se a evolução ou progressão tecnológica, mas não em relação às perdas do geopatrimônio em função das explosões e desmonte da rocha, justamente devido ao fato do projeto de perfuração e detonação buscar escavar com segurança a maior quantidade possível de rocha.

A extração mineral geralmente apresenta três impactos ambientais principais: o estético, o geomorfológico e o hidrogeológico. Os impactos estéticos são óbvios, e para a maioria dos empreendimentos representa uma poluição visual na paisagem (Figura 4). A disposição dos estéreis também provoca mudanças significativas, principalmente quando requerem grandes áreas. De acordo com Gunn (2004b), em termos de impacto geomorfológico e de processo, a extração mineral representa um agente erosivo extremamente potente. Além disso, a remoção de rocha pela extração resulta na modificação ou na destruição de formas de relevo cársticas naturais na área extraída (GUNN, 1993).



Figura 4: Aspectos mais óbvios dos impactos visuais da mineração na paisagem e possível perda da memória da Terra.

Foto: Dos autores.

A extensão do impacto será uma função da localização e do tamanho da pedreira em relação à paisagem geral e às formas de relevo locais. Durante o século XX, por exemplo, estima-se que a mineração removeu mais calcário da região do Peak District (Reino Unido) do que a quantidade removida por processos naturais durante todo o Holoceno, cerca de 10.000 anos. Assim, tem-se a destruição e modificação de formas de relevo superficiais e subterrâneas, incluindo maciços, depressões fechadas e sistemas de cavernas, por exemplo (Figura 5).



Figura 5: Detalhe de uma depressão fechada (dolina) destruída pela atividade antrópica.
Foto: Dos autores.

O conflito mais sério surge quando a caverna se coloca como um obstáculo na instalação e expansão das áreas de extração (Figura 6). Em muitos casos, é uma situação em que as perdas para um lado se tornam inevitáveis. As extrações de qualquer depósito de minério afetam profundamente a paisagem cárstica. Além da perda da própria caverna, ocorrem intensa fragmentação e desfiguração da superfície devido à construção de vias de acesso, depósitos estéreis e barragens de rejeitos (TIMO; TRAVASSOS; VARELA, 2018).

O terceiro tipo de impacto ambiental mais significativo é o impacto hidrogeológico da extração que é frequentemente associada à poluição das águas subterrâneas, principalmente por materiais finos, mas também, por óleo combustível. Em algumas pedreiras, o bombeamento de água subterrânea permite o trabalho de extração, mas rebaixa o lençol freático resultando no ressecamento de nascentes e cursos d'água superficiais intimamente relacionados com a água subterrânea.

Uma modificação indireta do processo resultante da extração mineral é a modificação do processo de absorção da água na zona subcutânea no entorno da área de extração. Com a modificação do relevo nesta região. A extração também pode afetar

adversamente a qualidade da água de nascente e, em regiões cársticas cobertas, o rebaixamento do lençol freático para permitir a extração de pedras pode resultar no desenvolvimento generalizado de subsidência e colapso de dolinas (GUNN, 1993). Importante planejar também a eliminação de resíduos sólidos e líquidos destes empreendimentos, devido à possibilidade de contaminação do abastecimento de água.

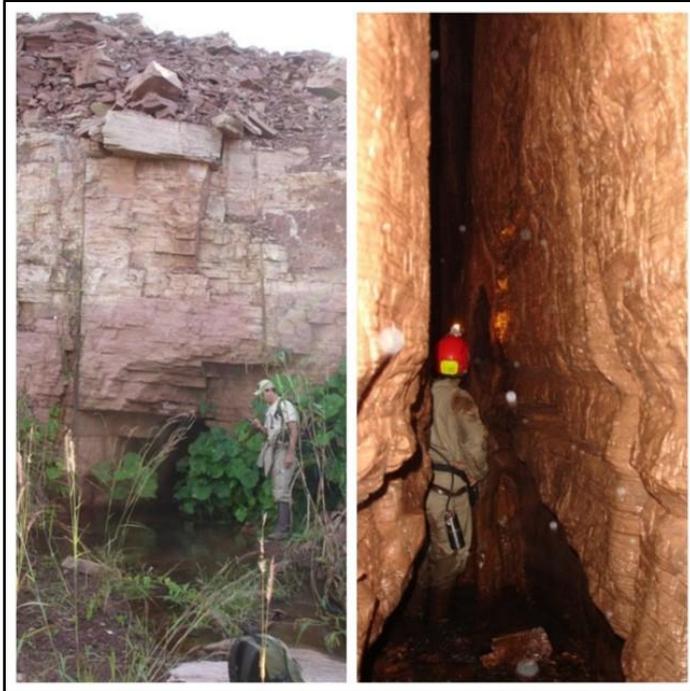


Figura 6: Cavidade oclusa que teve sua entrada aberta durante atividade de extração mineral de calcário.

Foto: Dos autores.

Além dos impactos acima citados, podemos dizer também que a extração mineral pode causar rapidamente a extinção de um grande número de espécies de invertebrados subterrâneos devido à perda do habitat promovida pela remoção da rocha. A seleção dos locais de extração deve primeiro levar em consideração o tamanho e o isolamento do ecossistema que será impactado, já que nenhuma remediação será possível posteriormente. Esta deve ser a regra fundamental para uma exploração sustentável de calcário em termos de seu impacto sobre a biodiversidade (SAURO, 1999). De acordo com Trajano e Neri (2016), a supressão da vegetação para implantação da extração implica na diminuição do aporte de nutrientes ao ambiente subterrâneo, afetando negativamente suas teias alimentares à medida que sua disponibilidade diminui tanto na superfície (especialmente para morcegos) quanto no subterrâneo. O aumento da erosão superficial e a consequente redução da capacidade de retenção de água no solo

causam uma diminuição nos fluxos de água que chegam às cavernas por percolação. Como consequência, causa diminuição da umidade do ar subterrâneo, fato que pode ser fatal para animais especializados. O ar mais seco desequilibra várias outras espécies na base da cadeia alimentar (ou seja, fungos, ácaros, colêmbolos etc.).

A propagação de vibrações no maciço rochoso devido à detonação de cargas explosivas é outro impacto potencial da atividade. Além disso, é observada a sobrepressão acústica, que corresponde à parte da energia liberada e transmitida pelo ar no ato da detonação (Figura 7). Destacamos também a possível interferência nos sistemas hidrológicos e na poluição dos aquíferos. Extrações minerais localizadas a montante de cavernas podem degradar cursos de água que posteriormente se tornam subterrâneos, alterando a integridade física e biológica do sistema cárstico.



Figura 7: Detonação com a utilização de explosivos promovendo a vibração do terreno e a geração de poeira.

Foto: Dos autores.

A poeira também pode ser considerada como impacto. Este é um dos impactos mais visíveis e invasivos associados à exploração mineral (Figura 8). A poeira pode ocorrer como poeira fugitiva da exploração, das estradas de transporte e da detonação, ou pode ser de fontes pontuais, como perfuração, britagem e peneiramento. As condições do local que afetam o impacto da poeira gerada durante a extração de agregados e rochas ornamentais incluem propriedades da rocha, umidade, qualidade do ar do ambiente, correntes de ar e ventos predominantes, o tamanho da operação, proximidade de centros populacionais e outras fontes próximas de poeira (LANGER, 2002). A poeira pode ser transportada pelo escoamento para dentro das cavernas, preenchendo seus salões e condutos e pode ser depositada sobre seus depósitos clásticos e químicos (espeleotemas).



Figura 7: Poeira fugitiva observada no entorno de extração de calcário.

Foto: Dos autores.

Vários desses impactos levam a descaracterização da paisagem cárstica e estão associados à perda de memória da história de evolução da Terra. Do ponto de vista patrimonial, como memória de parte da história da Terra, as paisagens cársticas se associam a morfologia específica e a processos predominantes de dissolução. A interação entre elementos como o clima (disponibilidade hídrica e temperatura), solo (infiltração e armazenagem de água), vegetação (matéria orgânica que acidifica o solo) levam a alteração química dos carbonatos que aliados a alterações físicas resultam na morfologia típica com karren, depressões, sumidouros, ressurgências, formas residuais e cavernas que podem ser suprimidos por atividades de mineração.

No caso do carste, a destruição de sítios arqueológicos e paleontológicos é outro possível impacto. Exemplos de destruição total ou parcial desses locais por extração mineral podem ser citados em todo o mundo. Um exemplo importante desse impacto é a destruição total da caverna da Lapa Vermelha, que estava localizada em Pedro Leopoldo, Minas Gerais, Brasil. A caverna ficou famosa pelo trabalho do cientista Peter Lund, que ali descobriu, entre 1835 e 1845, milhares de fósseis de animais extintos do Pleistoceno. Peter Lund ainda descobriu cerca de 30 crânios humanos em estado fóssil que ficou conhecido como o “Homem de Lagoa Santa”. Depois disso, no início dos anos 1970 a equipe da arqueóloga Annette Laming-Emperaire encontrou nesta caverna, durante escavações, o fóssil humano mais antigo (*Homo sapiens*) encontrado na América, com cerca de 12.500 a 13.000 anos, denominado “Luzia”.

Considerações finais

O aumento na população da consciência sobre a necessidade de conservação do meio ambiente e do valor de alguns recursos estratégicos é relativamente lento. Por isso, é importante estudar e monitorar o meio ambiente, em particular os geossistemas cársticos, que são particularmente frágeis e vulneráveis, na tentativa de reduzir os impactos através da aplicação de um plano de gestão sustentável. Somente uma análise cuidadosa da dinâmica ambiental pode fornecer informações básicas para o correto planejamento e gestão dos recursos hídricos. Também é fundamental um monitoramento contínuo de alguns parâmetros ambientais para poder entender a evolução e as mudanças dentro do geossistema (SAURO, 1999).

É importante compreender que tão importante quanto a paisagem cárstica são, sem dúvida, as atividades de extração mineral. Existem diferenças óbvias entre uma empresa ambientalmente responsável, que produz benefícios econômicos e sociais reais para o contexto em que opera, e uma empresa que traz benefícios pontuais que não compensam os danos ambientais inerentes à extração. Nesse caso, não pode haver justificativa para impactos na paisagem cárstica, principalmente os irreversíveis, se não houver reais benefícios sociais e econômicos e se o empreendimento não zelar pela proteção ambiental (AULER, 2006).

Para estabelecer uma correlação entre a magnitude dos impactos ao geopatrimônio e a importância do empreendimento no licenciamento, é necessário estabelecer uma relação entre os agentes econômicos envolvidos na exploração dos recursos naturais e os direitos socioambientais dos cidadãos interessados.

A proteção eficaz de um sistema cárstico somente ocorrerá quando for definida uma área de influência que seja grande o suficiente para que as atividades antrópicas em torno deste perímetro tenham pouco ou nenhum impacto sobre o ecossistema cavernícola. Quando adequado, uma área de influência deve incluir a bacia hidrográfica total do carste. A bacia hidrográfica do carste não é uma única linha que pode ser desenhada num mapa, pois é uma zona dinâmica que apresenta um limite externo dependente dos aspectos geológicos locais, de suas interações subterrâneas, bem como das condições meteorológicas (TIMO; TRAVASSOS; VARELA, 2018).

A Declaração de Digne completa 30 anos em 2021 e estabelece uma visão diferenciada sobre o uso dos recursos abióticos que passam a ser vistos como registros da história de evolução da Terra, uma memória que deve ser conservada e valorizada. Essa Declaração tem inspirado vários países, especialmente na Europa, na adoção de medidas que levem a fruição desse patrimônio para o público leigo fundando o respeito pelo registro da história do planeta presente nas rochas, minerais, fósseis, solos, paisagens.

Os Direitos à Memória da Terra podem ser relacionados de forma direta as paisagens cársticas, fazendo aqui uma adaptação, para os Direitos à Memória do Carste:

1. Assim como cada vida humana é considerada única, não é chegado o tempo de reconhecer também a condição única do carste?
2. O carste é base e suporte para muitas comunidades e, dentre os fósseis humanos, os mais antigos são encontrados nessas paisagens: um elo de união entre todos nós.
3. As paisagens cársticas, em especial as cavernas, são o berço para muitas formas de vida. Seu longo processo de evolução desenvolveu morfologias únicas que contemplamos hoje.
4. Nossa história e a história do carste estão intimamente entrelaçadas. A história do carste assim de como todas as paisagens da Terra é nossa história.
5. A memória do carste está gravada em níveis profundos ou superficiais: nas cavernas, nos paredões, nas dolinas, nos abismos, sumidouros e ressurgências.
6. Precisamos entender que a paisagem cárstica é frágil, sensível e única, e qualquer depredação é uma mutilação que conduz a sua destruição, a uma perda irremediável. Todas as formas do desenvolvimento devem respeitar e levar em conta o valor e a singularidade deste geopatrimônio.

Ao longo desses 30 anos muitos avanços já foram conquistados, mas é importante reforçar a importância de se conservar a memória da Terra. No caso das paisagens cársticas que apresentam valores econômicos, é fundamental incluir seu valor patrimonial como ativo ambiental. Celebrar o carste como registro da memória do planeta Terra deve ser motivo de comemoração e alerta para que as atividades que nele se desenvolvam sejam feitas cada vez mais de forma sustentável.

Referências

ALVARENGA, L.; RUCHKYS, Ú. Paisagens geológicas. In: CUSTÓDIO, Marluce Maria; SANTOS, F. B.; MÁXIMO, M. F. (orgs.). *Direito de paisagem – aspectos jurídicos e interdisciplinares*. Belo Horizonte – São Paulo: D'Placido, 2020. p. 75-93.

AULER, A. Relevância de Cavidades Naturais Subterrâneas – Contextualização, Impactos Ambientais e Aspectos Jurídicos. Projeto BRA/01/039, Apoio à Reestruturação do Setor Energético. *Ministério das Minas e Energia*, Brasília, julho de 2006.

BONACCI, O. Hazards caused by natural and anthropogenic changes of catchment area in karst. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, v. 4, n. 5/6, p. 655-661, 2004.

DARWISH, T., KHATER, C., JOMAA, I., STEHOUWER, R., SHABAN, A. AND M. HAMZE. Environmental impact of quarries on natural resources in Lebanon. *Land Degradation & Development*, v.22, n.3, p. 345–358, 2011.

DAY, M. J. Human impacts on Caribbean and Central American karst. *Catena. Supplement (Giessen)*, n. 25, p. 109-125, 1993.

DAY, M. J. Natural and anthropogenic hazards in the karst of Jamaica. In: PARISE, Mario; GUNN, John (Ed.). *Natural and anthropogenic hazards in karst areas*. European Geosciences Union, 2005.

DAY, M; KOENIG, S. Cave monitoring priorities in Central America and the Caribbean. *Acta Carsologica*, v. 31, n. 1, 2002.

FERRAZ, M. H. M. A produção do salitre no Brasil colonial. *Química Nova*, v. 23, p. 845-850, 2000.

FILIPPOV, A. G. Mineral deposits in Karst. In: GUNN, John. (ed). *Encyclopedia of caves and Karst science*. Fitzroy Dearborn, New York, 2004. p. 1098-1102.

FORD, D. C.; WILLIAMS, P. W. *Karst geomorphology and hydrology*. United Kingdom: Wiley, 2007.

GAMS, I.; NICOD, J.; JULIAN, M.; ANTHONY, E.; SAURO, U. Environmental Change and Human Impacts on the Mediterranean Karsts of France, Italy, and the Dinaric Region. *Catena Supplement (Giessen)*, n. 25, p. 59-98, 1993.

GUNN, J. Limestone as a mineral resource. In: GUNN, J. (ed). *Encyclopedia of caves and Karst science*. Fitzroy Dearborn, New York, 2004a. p. 1047-1050.

GUNN, J. Quarrying of limestone. In: GUNN, J. (ed). *Encyclopedia of caves and Karst science*. Fitzroy Dearborn, New York, 2004b. p. 1302-1306.

GUNN, J. The geomorphological impacts of limestone quarrying. *Catena Supplement (Giessen)*, n. 25, p. 187-197, 1993.

JENNINGS, J. N. *Karst geomorphology*. New York: Basil Blackwell, 1985.

LANGER, W. H. *Potential environmental impacts of quarrying stone in karst: a literature review*. US Department of the Interior, US Geological Survey, 2001.

LEON, L. M; PARISE, M. Managing environmental problems in Cuban karstic aquifers. *Environ. Geol.*, v. 58, n. 2, p. 275-283, 2009.

LOVELOCK, J. *Gaia: Um novo olhar sobre a vida na Terra*. Lisboa: Edições 70, 1995. 168p.

NICOD, J.; JULIAN, M.; ANTHONY, E. A historical review of man-karst relationships: miscellaneous uses of karst and their impacts. *Rivista geografica italiana*, v. 103, n. 3, p. 289-338, 1996.

PARISE, M. Hazards in karst. In: Bonacci, O. (ed.). *Sustainability of the karst environment: Dinaric karst and other karst regions*. International Interdisciplinary Scientific Conference, Croatia, 185 p. 2009.

PARISE, M.; DE WAELE, J; GUTIERREZ, F. Current perspectives on the environmental impacts and hazards in karst. *Environ. Geol.*, v.58, p.235-237, 2009.

PODOBNIKAR, T. *et al*. Spatial analysis of anthropogenic impact on karst geomorphology (Slovenia). *Environ. Geol.*, v. 58, n. 2, p. 257-268, 2009.

ROSE, M. D; FEDERICO, A.; PARISE, M. Sinkhole genesis and evolution in Apulia, and their interrelations with the anthropogenic environment. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, v. 4, n. 5/6, p. 747-755, 2004.

- RUCHKYS, Ú. *et al.* Abordagem metodológica da geodiversidade e temas correlatos em Geossistemas Ferruginosos. *Cadernos de geografia.*, v.28, p. 1-17, 2018.
- RUCHKYS, U; TRAVASSOS, L.E.P.; FARIA, L. E.; RASTEIRO, M. A. (Orgs.). *Patrimônio espeleológico em rochas ferruginosas: propostas para sua conservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. Campinas: Sociedade Brasileira de Espeleologia, 2015. 352p.
- SANTOS, D.J; RUCHKYS, U. A.; TRAVASSOS, L.E.P. The educational potential of geodiversity in Ferruginous Geosystem: the example of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Geoheritage*, v.13, n.32, 2021. <https://doi.org/10.1007/s12371-021-00550-2>
- SAURO, U. Towards a preliminary model of a Karst Geo-Ecosystem: the example of the Venetian Fore-Alps. *Karst*, v. 99, p. 165-170, 1999.
- TIMO, M. B.; TRAVASSOS, L.E.P.; VARELA, I.D. *Espeleologia no Licenciamento Ambiental*. Belo Horizonte: Instituto Minere, 2018.
- TRAJANO, E.; NERI, A.C. Biodiversidade em áreas cársticas. In: SANCHEZ, L.H.; LOBO, H.A(Orgs.). *Guia de boas práticas ambientais na mineração de calário em áreas cársticas*. Campinas: Sociedade Brasileira de Espeleologia, 2016.
- TRAVASSOS, L. E. P.; TIMO, M. B. Introdução. In: TRAVASSOS, Luiz Eduardo Panisset; VARELA, Isabela Dalle. (Org.). *Vivendo no Carste: Compreendendo os processos naturais desta paisagem*. Brasília: ICMBio, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/icmbio/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/publicacoes-diversas/outros/vivendo_no_carste_final-1.pdf. Acesso em: 10 nov. 2022.
- TRAVASSOS, L. E. P. *Princípios de carstologia e geomorfologia cárstica*. Brasília: ICMBio/CECAV, 2019.
- WALTHAM, T.; BELL, F. G.; CULSHAW, M. G. *Sinkholes and subsidence: karst and cavernous rocks in engineering and construction*. Berlin: Springer, 2005.
- WERKER, H. V.; WERKER, J. C. *Cave conservation and restoration*. Huntsville/USA: National Speleological Society, 2006.
- WHITE, W. B. *Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains*. Oxford: Oxford University Press, 1988.
- WILLIAMS, P. *World Heritage Caves and Karst: A Thematic Study: A global review of karst World Heritage properties: present situation, prospects and management requirements*. Switzerland: IUCN, 2008.
- WILLIAMS, P.; FONG, Y.T. *World Map of Carbonate Rock Outcrops v3.0*. SGGES/University of Auckland: New Zealand, 11 Apr. 2008. Disponível em: https://www.fos.auckland.ac.nz/our_research/karst/. Acesso em 10 nov. 2021.

Úrsula de Azevedo Ruchkys

Bolsista de Produtividade do CNPq Nível 2. Doutora em Geologia pela UFMG, mestre em Geografia pela PUC Minas e graduada em Geologia pela UFMG. Atualmente é Professora Associada do Departamento de Cartografia e dos Programas de Pós-graduação em Geografia e em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais.

Av. Antônio Carlos, 6627 - Instituto de Geociências, Pampulha, Cep: 31270-901 - Belo Horizonte, MG

E-mail: tularuchkys@yahoo.com.br

Orcid: 0000-0002-4708-2897

Luiz Eduardo Panisset Travassos

Bolsista de Produtividade do CNPq Nível 2. Doutor em Carstologia pela University of Nova Gorica (Eslovênia), Doutor e Mestre em Geografia pela PUC Minas e graduado em Geografia pela PUC Minas. Atualmente é professor do Departamento de Geografia da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, além de professor dos Programas de Pós-Graduação em Geografia da PUC Minas (Permanente) e da UFMG (Colaborador)

Av. Dom José Gaspar, n. 500, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Coração Eucarístico, Cep: 30535-610 - Belo Horizonte, MG

E-mail: luizepanisset@gmail.com

Orcid: 0000-0001-6264-2429

Mariana Barbosa Timo

Doutora em Carstologia pela University of Nova Gorica (Eslovênia), Doutora e Mestre em Geografia pela PUC Minas e graduada em Engenharia Ambiental pela UFOP. Atualmente é diretora da Spelayon Consultoria - EPP.

R. Francisco Rodrigues de Miranda, 284 - Fernão Dias, Belo Horizonte - MG, 31920-200

E-mail: mariana.timo@spelayonconsultoria.com.br

Orcid: 0000-0001-9628-5036

Recebido para publicação em março de 2023.

Aprovado para publicação em maio de 2023.