

MORFOLOGIA CÁRSTICA

META

o papel da água como principal agente da espeleogênese.

OBJETIVOS

Ao final desta aula, o aluno deverá:

caracterizar as principais formas típicas do exocarste;

classificar os espeleotemas desenvolvidos não endocarste;

especializar os ambientes cársticos em diferentes escalas de abrangência;

explicar as condições necessárias ao pleno desenvolvimento do modelado cárstico.

PRÉ-REQUISITOS

Geologia Geral, especificamente o conteúdo sobre intemperismo, além do *dicionário Geológico – Geomorfológico*.

INTRODUÇÃO

Dentre as paisagens mais espetaculares da terra ressaltam-se os sistemas cársticos, com cavernas, cânions, paredões rochosos e relevos ruiformes produzidos pela ação geológica da água subterrânea sobre rochas solúveis.

De origem servo-croata, o termo carst (*Karst*) significa campo de pedras calcárias. Inicialmente foi empregado para designar a morfologia regional das formações calcárias encontradas nas proximidades de *Rječka* (Iugoslávia), marcada por rios subterrâneos em cavernas e superfície acidentada dominada por depressões com paredões rochosos e torres de pedras. Atualmente a designação carste possui sentido mais amplo, abrangendo todos os aspectos morfológicos provenientes de processos de dissolução encontrados na topografia característica das rochas calcárias ou dolomíticas. O principal aspecto de uma área cárstica é a presença da drenagem de sentido vertical e subterrânea, seguindo fendas, condutos e cavernas, resultando na completa ausência de cursos de águas superficiais.

Um relevo cárstico deve possuir certa escala, abrangendo uma determinada extensão regional para que as feições não sejam apenas isoladas e insuficientes para a caracterização da assembléia morfológica típica de um verdadeiro carste.

Das áreas continentais da Terra, cerca de 17% são constituídas de rochas carbonáticas que se distribuem pela Europa, leste da América do Norte e Sudeste/leste da Ásia, enquanto apenas 7 a 10% dos continentes originários da fragmentação do antigo supercontinente *Godwana*, de idades relativamente mais antiga, apresentam relevo cárstico, por serem mais pobres em rochas carbonáticas, devido às limitações impostas pelos depósitos superpostos pouco permeáveis, ao clima desfavorável com baixa pluviosidade e relevo suave não proporcionando dissecação mais acentuada (Figura 9.1).

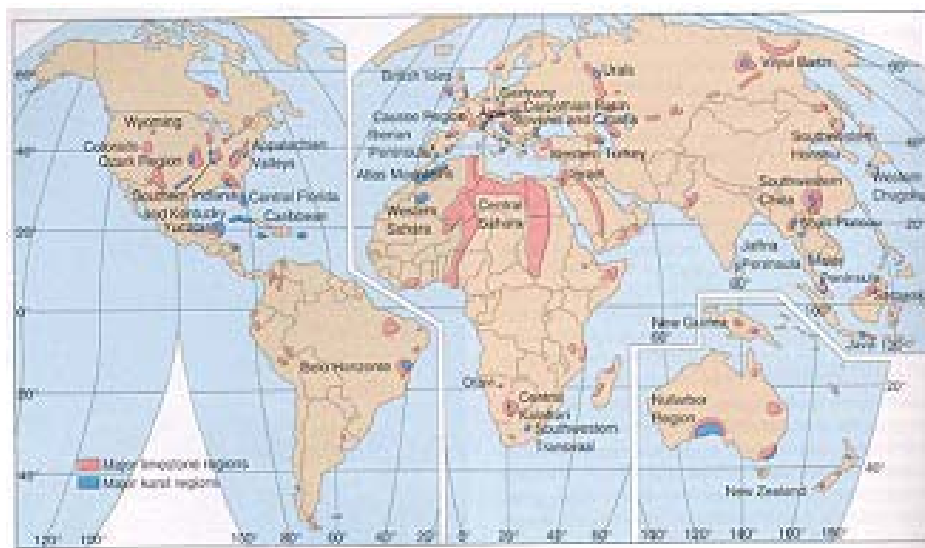


Figura 9.1 – Distribuição de áreas cársticas em escala planetária.

DESENVOLVIMENTO DO MODELADO CÁRSTICO

As rochas calcárias, por seu alto grau de solubilidade e grande resistência mecânica, são muito apropriadas ao desenvolvimento de feições topográficas características, referidas como relevo cárstico. Assim o relevo proveniente dessas rochas é influenciado pela sua posição estratigráfica e hipsométrica em relação a outras seqüências rochosas, bem como pela sua espessura, grau de litificação, porosidade, densidade e composição química.

Para que haja o pleno desenvolvimento do modelado cárstico, é necessário a existência de algumas condições fundamentais, cujas principais são:

a) Rocha solúvel com permeabilidade de fraturas – o tipo de rocha mais comum é o calcário que é acamado, maciço, puro, duro, consolidado e cristalino, com existência na superfície ou próxima dela. A rocha deve ser acamada em bancos delgados, fissurado e fraturada para permitir a passagem fácil da água através dela. Embora os calcários dos ambientes cársticos sejam, em geral, puros, eles podem também conter até 5 a 10% de impurezas.

A dolomita pode apresentar características suficientes, mas não é tão facilmente dissolvida como o calcário. Outras rochas solúveis, como a gipsa e o sal gema, podem também apresentar aspectos cársticos, mas essas rochas não são muito difundidas na superfície terrestre. Em condições extremamente favoráveis e especiais até arenitos e quartzitos que, em geral são insolúveis, podem ser dissolvidos passando a formar verdadeiros relevos cársticos, quando o processo genético não é a dissolução, mas outros mecanismos, tais como, a ação hidráulica (mecânica), movimento tectônico, água de degelo, etc. Tem-se os chamados pseudocarstes.

b) Propriedades físicas das rochas – as rochas do substrato devem está bem litificadas por diagênese ou até por metamorfismo, apresentando grande redução de porosidade e permeabilidade primárias além de intenso diaclasmamento. Os calcários, muito porosos e permeáveis, como o giz (*chalk*) ou de recifes de corais, por exemplo, onde a água circula livremente e em abundância, de modo geral não desenvolvem relevos cársticos muito bem caracterizados.

c) Amplitude topográfica – a altura da área acima do nível do mar deve ser elevada para permitir a livre circulação das águas subterrâneas, efetivando seu trabalho de dissolução e de esculturação das formas cársticas, para em seguida emergir nos rios superficiais, nos locais de ressurgência. Em síntese é necessário que haja uma topografia local com diferença considerável de nível entre o topo da formação calcária e o lençol freático.

d) Condições climáticas – a quantidade de precipitação deve ser suficiente para facilitar a dissolução, sendo a morfologia cárstica altamente desenvolvida nas regiões úmidas, e em climas quentes onde a cobertura vegetal possibilita a existência de um solo ácido, rico em húmus, acentuando a acidez da água e seu poder dissolutivo. Nos terrenos calcários sob clima semi-árido ou árido as feições cársticas são pouco desenvolvidas

ou ausentes, podendo ser explicadas como relíquias formadas durante regimes climáticos mais úmidos.

A ÁGUA COMO PRINCIPAL AGENTE DA ESPELEOGÊNESE

A capacidade de infiltração da água é função de grau de permeabilidade que depende da porosidade da rocha e do seu fraturamento. Assim, o desenvolvimento pleno do carste somente é possível pela presença de estruturas tectônicas pois de outro modo a água escorre apenas na superfície com ação erosiva limitada.

Bigarella et al (1994) explicam que as águas da superfície penetram nas fraturas por gravidade e atingem o nível freático. O limite inferior da zona freática corresponde ao contato com rochas impermeáveis não calcárias. O superior pelo nível hidrostático que acompanha, de modo geral, a topografia do terreno. Esse nível não é estático, e a sua dinâmica depende da maior ou menor quantidade de água para o subsolo, resultante do volume das precipitações. A zona freática geralmente é descontínua pelo fato da rocha calcária não apresentar um fraturamento homogêneo.

A circulação das águas no *carste* compreende três zonas, conforme segue:

- a) Zona vadosa ou superior – na qual a água se infiltra pelo sistema de fissuras das rochas numa circulação livre, predominantemente vertical;
- b) Zona freática – de saturação correspondente à porção permanentemente inundada, limitada na parte superior pela superfície piezométrica. A água sofre um movimento lento em sentido quase horizontal, em direção a uma surgência;
- c) Zona de oscilação - intermediária entre as duas primeiras, com alternância seca ou inundada devido à flutuação do nível hidrostático, causada pela variação de períodos chuvosos e secos.

A dissolução do calcário ocorre através da água que, ao percolar nos solos, enriquece em CO₂ e reage com o calcário para formar bicarbonato de cálcio solúvel, de acordo com a seguinte reação química: $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Esta reação é reversível, pois o bicarbonato de cálcio só existe em solução iônica na presença de excesso de CO₂. As condições ótimas para a dissolução dos calcários implicam em suprimentos abundantes da matéria orgânica e de água, em atividade microbiana intensa, em temperatura alta e numa frente de intemperismo bem drenada.

ASPECTOS MORFOLÓGICOS EXOCÁRSTICOS

O conjunto morfológico superficial do carste pode adquirir uma grande variedade de tipologias em função do conjunto de variáveis que se ajustam para configurar o relevo (Figura 9.2). Apesar dessa diversidade, é possível identificar as formas típicas, destacando-se entre elas:

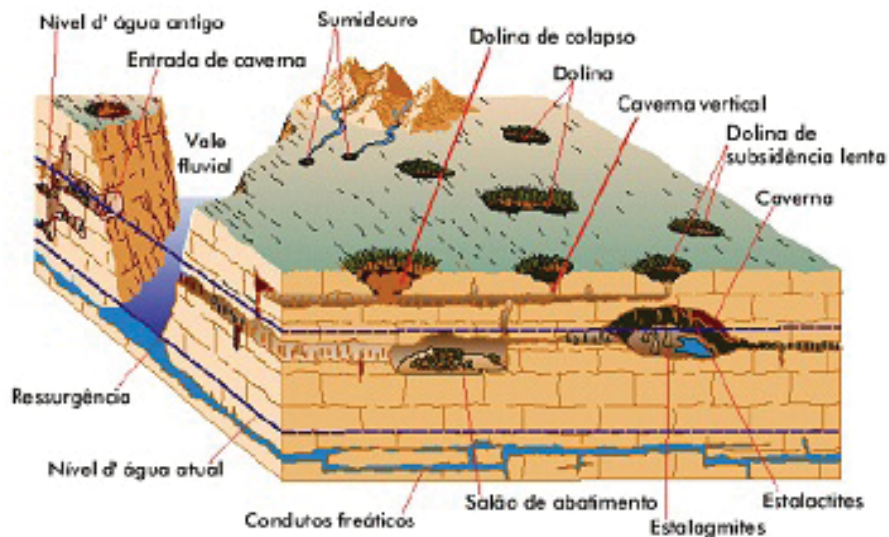


Figura 9.2 – Componentes principais do sistema cárstico. (Fonte: Karman, 2001).

a) Dolinas – as dolinas constituem as formas mais particulares do exocarste. São depressões fechadas circulares ou ovais que se formam na superfície, em decorrência da dissolução de rochas solúveis, normalmente em sub-superfície. Elas podem atingir de poucos metros a centenas de metros de profundidade por várias centenas de metros de diâmetro.

Em termos morfogenéticos existem quatro tipos: Dolinas de dissolução (quando ocorre maior dissolução em pontos mais susceptíveis da rocha-fratura, juntas, planos de acamamento formando pequenas depressões) Figura 9.3 A e B; dolinas de colapso (quando teto ou paredes de cavernas, localizadas abaixo da superfície sofrem abatimentos-quedas); dolinas aluviais ou de subsidência (quando existem espessas coberturas de solo ou outro material móvel cobrindo a rocha, sendo o mesmo introduzido gradualmente nas fraturas da zona epicárstica ocasionando pequenas subsidências na superfície de cobertura, com a conseqüente criação de dolinas) Figura 9.4 A e B. Dolina de colapso resultante de rocha subjacente ao carste (formadas pela dissolução de rochas carbonáticas sobrepostas por outros tipos de rochas).



Figura 9.3 A e B – Dolinas de dissolução.

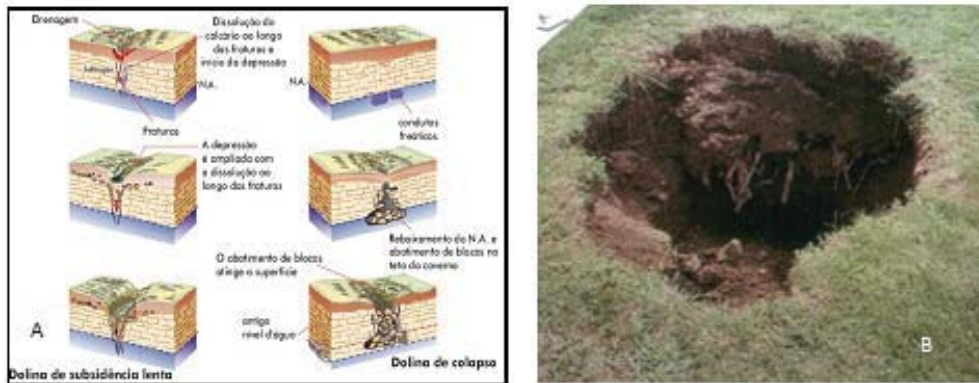


Figura 9.4 – Dolinas de Subsidência (A) Colapso (B).

b) Uvalas – é uma depressão alongada resultante da coalescência de duas ou mais dolinas. Essas morfologias evoluem mais rapidamente em superfície do que em profundidade, originando uma depressão mais ampla, de contornos sinuosos, com formas elipsoidais quando formada pela junção de duas dolinas. Entretanto, quando se juntam a outras os contornos podem tornar-se muito irregulares (Figura 9.5).

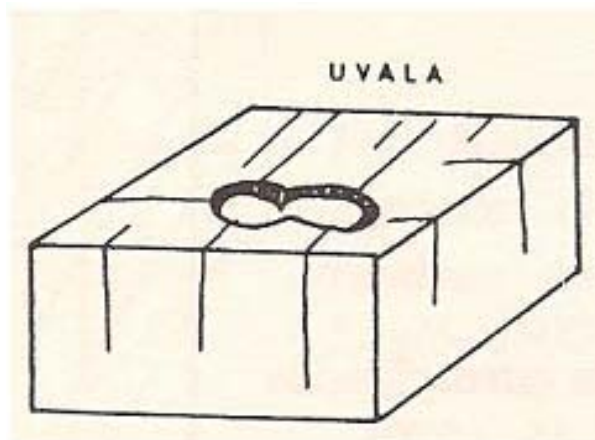


Figura 9.5 – Coalescência de dolinas com formação de Uvalas. (Fonte: Lladó, 1970).

c) Poljé – o termo significa campo ou área cultivada. Designado na literatura geomorfológica internacional de planície cárstica ou depressão muito grande, resultante da dissolução extensiva de áreas calcárias, pela ação das águas, originando uma planura controlada pelo nível de base local. Apresentam comprimentos e larguras que chegam a dezenas de quilômetros, com paredes abruptas. O fundo apresenta-se como uma bacia nivelada (plano), preenchida com aluviões ou coberta com “terra rossa” trata-se da área do carste de maior fertilidade (Figura 9.6).

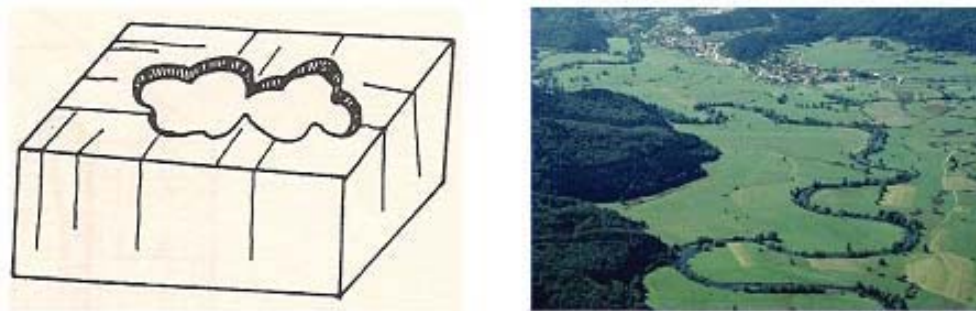


Figura 9.6 – Coalescência de dolinas com formação de Poljés. (Fonte: Lladó, 1970).

d) Lapiás – são formas de relevo que indicam o estágio inicial da evolução cárstica. Corresponde as caneluras ou sulcos superficiais de dissolução encontrados na superfície das rochas calcárias, O fator responsável pelo seu desenvolvimento é o escoamento superficial das águas pluviais, que ao fluírem pelas vertentes em direção às formas de absorção exercem uma ação química preponderante e eventualmente, mecânica sobre as rochas calcárias, corroendo-as e erodindo-as (Figura 9.7 e 9.8).

Observa-se que o tamanho e a orientação das canaletas são variáveis e as cristas existentes entre elas apresentam-se agudas pela corrosão das paredes laterais dos sulcos.



Figura 9.7 – Lapiás.



Figura 9.8 – Lapiás no topo do morro, Bom Jesus da Lapa-BA.

- e) Canhões – apresentam-se como uma sucessão de paredes escarpadas, dissecadas e taludes pouco salientes dispostos segundo a alternância dos bancos de rochas calcárias. Possuem vales de flancos retos e íngrimes.
- f) Cones cársticos – constituem morros de vertentes fortemente inclinados e paredes rochosas, representando morros testemunhos que resistiram à dissolução. São típicos de áreas carbonáticas com relevo acidentado. Frequentemente abrigam trechos de antigos sistemas de cavernas em diferentes níveis.



Figura 9.9 – Cones cársticos na China.



Figura 9.10 – Cones cársticos na Baía de Halong (Vietnam).

ASPECTOS MORFOLÓGICOS ENDOCÁRSTICOS

O termo endocárste foi utilizado por diversos autores, para designar essa zona do carste, onde se incluem os condutos subterrâneos e seus depósitos químicos, clásticos e orgânicos (PILÓ, 2000).

A pesquisa científica das cavernas calcárias, espeleologia (do grego: “*spelaiion*” = caverna; *logos* = estudo) desenvolveu-se principalmente na Europa, no século XIX e no Brasil as primeiras referências às cavernas encontram-se nas crônicas de viagem de naturalistas e visitantes que percorreram o interior do país nos séculos XVII, XVIII e início do século XIX.

As cavernas referem-se a todos os vazios subterrâneos horizontais e verticais, incluindo os abismos. Entretanto, a maioria dos espeleólogos considera como caverna apenas as formas de desenvolvimento horizontal. Segundo Suguio (2001) a definição é bastante antropocêntrica e deste modo, somente as redes de condutos acessíveis ao homem seriam a rigor, denominados de cavernas.

De acordo com a União Internacional de Espeleologia, as cavernas devem apresentar um comprimento superior a 10 m, e os buracos ou poças, uma profundidade maior de 5 metros. As cavernas correspondem a todas as feições espeleológicas cujo canal principal encontra-se na horizontal ou inclinada no máximo até 45°.

A origem das cavernas é influenciada pelos horizontes não carbonáticos e por todos os fatores condicionantes para o desenvolvimento da morfologia cárstica (fraturas, planos de estratificação, descontinuidade, inclinações dos estratos, etc.). No seu desenvolvimento existem quatro fases: a) fase pre-

paratória dependente das ações tectônicas pretéritas; b) fase de dissolução com águas frias ou quentes; c) fase de corrosão; d) fase de desabamentos ou de desmoronamentos.

Os compartimentos internos de uma caverna são formados por corredores (forma alongada e estreita), galerias (de dimensões razoavelmente amplas), salas, salões (representam os espaços de maiores dimensões e acidentes verticais com desníveis abruptos que ocorrem em galerias escalonados) Figuras 9.11 e 9.12.



Figura 9.11 – A Participação de baixa macividade na dissolução dos carbonatos (Formas especiais). (Fonte: Casseti, 1990).



Figura 9.12 – Vista da galeria principal da caverna da Lapa Doce no município de Iraquara-BA.

ORIGEM E CLASSIFICAÇÃO DOS ESPELEOTEMAS

Os espeleotemas formados pelas águas circulantes originam-se da deposição de CaCO_3 , contido em soluções aquosas que se movem no carste subterrâneo, principalmente pela ação da gravidade. Resultam da atuação de alguns mecanismos básicos de deposição: gotejamento, escorrimento e turbilhonamento (Figuras 9.13 e 9.14). Ocorrem no teto, nas paredes e no piso das cavernas, referidos por Lladó (1970) como formas zenitais, parietais e pavimentárias, conforme apresentadas a seguir:

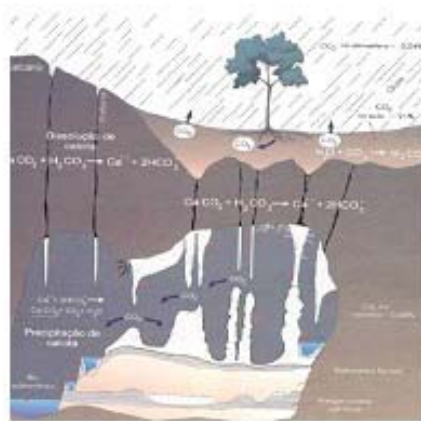
- Formas de cimeira ou zenitais – as estalactites constituem os espeleotemas mais freqüentes. Originam-se a partir de gotas de água contendo bicarbonato de cálcio em solução que liberando parte do gás carbônico (CO_2) dissolvidos nas gotas, supersatura a solução precipitando-se em calcita no contato das gotas com o teto. Outros espeleotemas nessa classificação são as cortinas de estalactites que se originam quando a gota de água emerge de uma parede ou teto inclinado e escorre pela sua superfície, deixando um fino rastro de calcita; com a continuação do processo, cresce verticalmente originando a lâmina de calcita ondulada, branca e translúcida em forma de cortina.
- Formas parietais – as formas de deposição encontradas nas paredes das cavernas são mais simples do que aquelas situadas no teto com maior desenvolvimento nas cavidades verticais do que nas horizontais. São elas:

escorrimentos, crostas, além de feições maciças, colunares, em cortinas e em bandeiras.

c) Formas pavimentarias – as estalagmites, são, provavelmente, as mais importantes do ponto de vista sedimentológico pela sua forma e posição no registro estratigráfico. As gotas de água que saem dos tubos estalactíticos caem no chão (rochoso), levando consigo uma porção de CaCO_3 dissolvido que ali se deposita pela evaporação parcial da água, formando progressivamente uma estalagmite que cresce em sentido vertical. A junção entre uma estalagmite e uma estalactite forma uma coluna unindo o piso ao teto da caverna. Resultam do crescimento excessivo de uma delas. Geralmente atinge grande proporção tanto em altura como em diâmetro.

d) Escorrimento de calcitas – formam-se pela deposição de películas sucessivas de cristais de calcita, orientados perpendicularmente à superfície de crescimento. A coloração varia de branco ao vermelho com diversas tonalidades castanhas e alaranjadas. Quando esses escorrimentos adquirem certo volume, originam as “cascatas de pedra”.

e) Represa de travertino – constitui escorrimento com pequenas barragens, que represam em patamares ou “piscinas” escalonadas a água que escorre pelos pisos das cavernas. Formam-se, igualmente, em pisos inclinados ou horizontais, originando escadas com patamares alagados. A coloração das represas de travertino, via de regra, é castanha devido a presença de impurezas na água, mas no entanto, podem ocorrer cores alaranjadas e vermelhas, como as encontradas nas cavernas de Goiás e Lage Branca, em Iporanga no Estado de São Paulo.



Figuras 9.13 – Dissolução e precipitação de calcita num perfil cárstico e principais tipos de espeleotemas. (Fonte: Karmann, 2001).

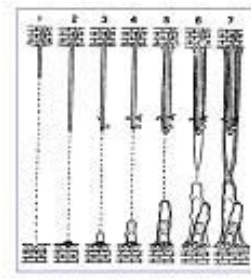


Figura 9.14 – Formação de estalactite e estalagmite proporcionando a formação de coluna. (Fonte: Kuenen, 1955).

AMBIENTES CÁRSTICOS NO BRASIL

Cerca de 5 a 7% do território brasileiro é ocupado por carste carbonático, constituindo um componente importante nas paisagens do Brasil.

A maior área de rochas carbonáticas corresponde aos grupos Bambuí e Una, do neoproterozóico. O grupo bambuí é uma sequência sedimentar do tipo epicontinental, com pelo menos dois ciclos transgressivos – regressivos, cobrindo, portanto, porções do noroeste de Minas Gerais, leste de Goiás, sudeste de Tocantins e oeste da Bahia. No contexto desse grupo, a região mais estudada é o carste de Lagoa Santa (MG), localizada próxima à cidade de Belo Horizonte, que representa uma densa assembléia de feições cársticas e uma alta concentração de fósseis pleistocênicos, incluindo a mega fauna extinta, e vestígios da ocupação humana pré-histórica (CARVALHO JUNIOR et al, 2008).

O Grupo Una é um dos principais sítios de ambientes cárstico na região semi-árida do Brasil. Situa-se no centro do cráton do São Francisco, nas bacias de Utinga e Irecê, na chapada Diamantina. Predominam calcários e dolomitos pouco deformados e drenagens de baixo gradiente, com relevos suaves e vastas depressões com dolinas de abatimento e vales cársticos. Muitas cavernas são conhecidas nessas áreas, inclusive a toca da Boa Vista (município de Campo Formoso, BA), considerada a mais extensa do país, com padrão labiríntico e aproximadamente 80 Km de galerias mapeadas. Além de cavernas e vistosas paisagens abrigam também importantes aquíferos (KARMANN, 2001).

Em Sergipe a paisagem cárstica não se apresenta de forma bem caracterizada quando comparada a outras localidades do território nacional e demais partes do mundo em que se evidencia a sua ocorrência. Esse fato, justifica-se entre outros aspectos, pelas variações climáticas pretéritas, principalmente durante o Quaternário onde as glaciações, com cerca de 100 mil anos de duração, se alternaram com fases de temperatura mais quentes e de menor duração (cerca de 20 mil anos), os interglaciais, não permitindo no cenário local o pleno desenvolvimento do modelado ao ponto de apresentar nos dias atuais uma morfologia mais específica (dolinas, vales cegos, paredões, entre outros) limitando em poucas áreas a ocorrência de cavernas e/ou grutas de pequenas dimensões. Neste sentido, a incipiente drenagem subterrânea, condição essencial não favoreceu um excelente desenvolvimento dos depósitos químicos representados pelos espeleotemas, resultantes das interações químicas carbonato-água-dióxido de carbono, envolvendo, portanto, as formas de cimeira (estalactites), parietais (cortinas) e pavimentarias (estalagmites), bem como os depósitos clásticos e orgânicos característico do cárste subterrâneo.

CONCLUSÃO

O critério fundamental para a identificação de áreas mais propícias a formação de cavernas e de relevos cársticos é, em geral, o geológico. Este critério está relacionado à espeleogenese, principalmente as rochas carbonáticas, sendo complementado pelos dados geomorfológicos e paleoclimáticos.

Em Sergipe, por exemplo, os estudos geoespeleológicos são ainda incipientes. As pesquisas exploratórias versam sobre poucas cavernas em diferentes províncias geológicas com reduzidas informações básicas. Assim, não se tem conhecimento de informações relacionadas às datações geocronológicas e/ou geoquímicas e isotópicas.



RESUMO

O estudo do carste tem passado por sucessivas mudanças nas concepções teóricas e na utilização de novas técnicas. Segundo Piló (2000) no Brasil, é possível reconhecer alguns eixos de pesquisa sobre a geomorfologia cárstica. O primeiro está relacionado a análises descritivas da geomorfologia regional, as quais prevaleceram até o início da década de 1990 do século XX. Um outro enfoque, ainda nascente no país, diz respeito às questões relativas ao estudo das cavernas (carste subterrâneo) em destaque especial para aqueles relacionados ao Quaternário. Por último, crescem os estudos mais aplicados à questão ambiental.



ATIVIDADES

1. Liste as condições necessárias ao pleno desenvolvimento do modelado cárstico, explicando cada uma delas.
2. Qual a importância da água na evolução da espeleogênese?
3. Apresente a diferença básica entre dolinas de dissolução, de colapso e de subsidência.
4. Justifique a existência de cavernas na morfologia cárstica.

COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

As questões elaboradas podem ser respondidas com base no conteúdo dessa aula. Caso você queira mais subsídios para responder às perguntas de números 2 e 4, sugerimos fazer outras leituras de aprofundamento do conteúdo segundo o elenco de livros da referência bibliográfica apresentada.

PRÓXIMA AULA

Na 10^a e última aula, trataremos de formas residuais de relevo (os *inselbergs*) resultantes dos processos de pediplanação.



REFERÊNCIAS

- BIGARELLA, João José, et al. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Ed. UFSC, vol.i, 1994.
- CARVALHO JÚNIOR, O. A. de. et al. Ambientes cársticos. In: FLOREZANO, Tereza Galloti. (org). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: oficina de textos, 2008. p. 185-205.
- KARMAN, Ivo. Carste e cavernas; paisagens subterrâneas. In: **Decifrando a Terra**. (orgs, Wilson Texeira, et al.). São Paulo: Ed. Oficina de textos, 200. P. 129-138.
- KOHLER, Heinz Charles. Geomorfologia Cárstica. In: **Geomorfologia; Uma atualização de bases e conceitos**. (orgs. GUERRA. A. J. T., CUNHA, S. B. da). Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 1994. p. 309-329.
- PILÓ, Luis B. Geomorfologia Cárstica. **Rev. Brasileira de Geomorfologia**. Rio de Janeiro. V. 1, n° 1, 2000. p. 88-102.
- SUGUIO, Kenitiro. O relevo cárstico e a geoespeleologia. In: **Geologia do quaternário e mudanças ambientais: (passado + presente = futuro?)**. São paulo's comunicações e artes gráficas, 2001.