

Carste Em Rochas Não Carbonáticas

Rubens Hardt, Doutorando.
Universidade Estadual Paulista – Rio Claro.
rubens_hardt@yahoo.com.br
Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto, Doutor.
Universidade Estadual Paulista – Rio Claro.
sanjos@rc.unesp.br

Abstract

Some landforms on non carbonate rocks closely resemble those commonly found on limestone. These forms are karst, since dissolution has played a critical (but not necessarily dominant) role. This study presents the evolution on the concept of karst applied to non carbonate rocks, suggesting that chemical weathering what originates karst landforms on these rocks, is more frequent in near surface environments than it was originally thought.

Keywords: karst, karst processes, karst landforms.

Resumo

Existem algumas formas de relevo em rochas não carbonáticas que se assemelham ao relevo normalmente encontrado no calcário. Tais formas são carste, a partir do momento em que a dissolução tem um papel fundamental (embora não necessariamente predominante) no desenvolvimento destas. Este estudo apresenta a evolução do conceito de carste, sugerindo que os processos de intemperismo químico que originam formas cársticas em ambientes próximos a superfície, nas rochas não carbonáticas, são mais frequentes que se pensava.

Palavras-chave: carste, processos cársticos, formas cársticas.

1. Introdução

O carste é um tipo de paisagem, onde o intemperismo químico, através da dissolução da rocha encaixante, determina as formas de relevo. O nome provém de uma área no leste da Eslovênia, divisa com o norte da Itália, chamada "*krs*" e significa paisagem nua, pedregosa, sem água (JONES et al, 2003; FORD; WILLIAMS, 1989). Acabou originando os termos *karst* (idênticos no francês, inglês e alemão), *carso* (italiano; português de Portugal) e carste (português do Brasil).

Os primeiros estudos científicos sobre o carste se deram nesta área citada, fazendo com que o termo carste fosse adotado para paisagens semelhantes ao redor do globo.

A paisagem cárstica clássica é caracterizada segundo White (1988, p. 4), por depressões fechadas de vários tamanhos e arranjos; drenagens descontínuas em superfície, e cavernas e sistemas de drenagens subterrâneas. O autor continua ainda, afirmando que o grau de desenvolvimento destas formas de relevo varia grandemente de uma região para

outra. Alguns terrenos cársticos são um conjunto de formas rugosas composto de depressões profundas, torres isoladas e colunas pontiagudas. Outras podem ser planos suaves, recobertas com solo, com talvez apenas delicadas depressões que as denominem carste.

White (1988, p. 4-5) também discute o uso do termo carste na literatura científica. Segundo suas próprias palavras:

In much English-language literature, karst terrain is pictured as an area dotted with sinkholes and sinking streams. Landform development, in short, is required to reach extreme and dramatic stages before the special denotation karst is applied. East European and particularly Soviet writers take a much broader view and consider all landforms produced by the solution process to be karst – regardless of scale, surface expression or rock type. We shall adopt this broader definition here. (WHITE, 1988, p. 4-5)

Neste trabalho, esta definição mais extensa será adotada. Lembrando que em 1988, quando o texto foi escrito, ainda havia muita discussão sobre o desenvolvimento de carste em rochas que não as extremamente solúveis. No entanto, toda rocha, independente do tipo de mineral componente, pode sofrer dissolução (FORD; WILLIAMS, 1989; KLIMCHOUCK; FORD, 2000), em algum tipo de condição ou ambiente específico. Assim sendo, se as condições de dissolução se apresentarem em um determinado tipo de rocha, independente de qual seja ela, em determinado momento da evolução morfológica que seja chave para a definição das formas, é possível, em teoria, que o carste se desenvolva.

Ainda na década de 1980, pesquisadores já identificavam feições cársticas extremamente desenvolvidas em rochas consideradas "insolúveis", principalmente o quartzito. Geógrafos australianos trabalham desde meados da década de 1980 com o conceito de carste em arenito, e mais recentemente, pesquisadores europeus vem desenvolvendo estudos sobre carstificação em granitos (CHALCRAFT; PYE, 1984; YOUNG, 1986; DOERR, 1999; WILLEMS et al, 2002).

Apesar de o carste poder, em teoria, se desenvolver em qualquer tipo de rocha, as ocorrências mais comuns se dão em calcário, dolomito, mármore e gesso. Jones *et al.* (2003, p. 6) descrevem uma seção em corte de um carste hipotético maduro, como em um corte de rodovia ou na face de uma mineração, mostraria, tipicamente, uma fina camada de cobertura de solo, uma zona intemperizada no contato rocha/solo, chamada de epicarste, e algumas juntas rochosas alargadas pela dissolução, que servem de caminho para a água até

uma caverna abaixo.

O carste pode ser definido em termos de três zonas: a zona externa ou exocarste, a zona de contato da rocha com o solo, ou epicarste, e a zona subterrânea, denominada endocarste (FORD; WILLIAMS, 1989; JONES *et al.*, 2003).

O carste apresenta diversas formas de superfície. As mais comuns são: cones e torres, dolinas e *cockpits*, desfiladeiros, cavernas meândricas, pontes naturais, vales cegos e semicegos, vales secos, uvalas, poljes, sumidouros, nascentes e ressurgências, *karren* ou *lapiás*, tufas e travertinos. O endocarste apresenta as cavernas e *pipes*. Para uma extensa descrição destas formas, pode-se consultar Jennings (1985), Ford e Williams (1989), White (1988), Palmer (1991), ou, em português, Kohler (1998) e Hardt (2004).

Em termos de Brasil, é fácil perceber a variedade de ambientes cársticos ao se comparar, por exemplo, as expressões cársticas do Vale do Ribeira, situado entre os estados de São Paulo e Paraná, onde o calcário sofreu forte tectonismo e algum metamorfismo, com áreas do norte de Minas Gerais até o centro-sul da Bahia, acompanhando o vale do rio São Francisco, onde o calcário permanece quase plano, gerando paisagens completamente diferentes entre si, embora ambas sejam cársticas.

Outro elemento importante do carste, e fundamental para o seu estudo, é a compreensão da hidrologia cárstica e seu comportamento diferenciado em relação a terrenos não cársticos.

Em função destas considerações iniciais, o presente trabalho discute dois elementos importantes para que uma paisagem seja considerada carste. O primeiro, o conceito de aquífero cárstico e o segundo, a dissolução como condicionante das formas.

2. Aquíferos cársticos

Formações rochosas que, economicamente, armazenam, transmitem e produzem quantidades significantes de água são conhecidas como aquíferos. Os aquíferos cársticos, assim como outros, podem ser confinados, não confinados e suspensos (FORD; WILLIAMS, 1989).

Entende-se por aquífero confinado aquele que tem, em seu limite superior, uma camada de rocha impermeável. Os suspensos são aquíferos com a base em uma camada de rocha impermeável, que o mantém acima do nível de base local. Já os não confinados não possuem acima, rochas impermeáveis para confiná-los, e o embasamento impermeável permite que este esteja no nível de base local.

Os aquíferos têm, ainda, três zonas distintas: a zona vadosa ou não saturada, a de oscilação (epifreática ou de inundação) e zona saturada ou freática. Essas zonas podem ser subdivididas, de acordo com Ford e Williams (1989), conforme apresentado no quadro 1. Os autores ressaltam, no entanto, que nem todas as zonas estão presentes em todo aquífero cárstico.

Uma das características mais marcantes do carste é a alteração de permeabilidade com o tempo. Quando da formação da rocha o sedimento carbonático se deposita, e adquire uma porosidade primária, que é praticamente eliminada durante a compactação ou a cimentação diagenética. A preservação da porosidade primária, nesses casos, é uma exceção, e não a regra. No entanto, processos químicos diagenéticos posteriores, como a dolomitização e fraturamento pela tectônica, resulta no aparecimento de porosidade secundária, que é ampliada consideravelmente pela dissolução cárstica ao longo das fissuras penetráveis pela circulação da água subterrânea. Os vazios podem continuar a se alargar enquanto persistir a circulação da água subterrânea (FORD; WILLIAMS, 1989).

1 Zona não saturada (vadosa)

1a Solo

1b Subcutânea (zona epicárstica)

1c percolação por drenagem livre

2 Zona de oscilação (epifreática ou de inundação)

3 Zona saturada (freática)

3a Zona freática rasa

3b Zona freática profunda

3c Zona freática estagnada

Cada uma delas pode ser atravessada por cavernas, permanentemente alagadas na zona 3

Quadro 1: Zonas hidrológicas no carste, de acordo com Ford & Williams (1989), modificado.

Klimchouk e Ford (2000) definem uma escala hierárquica de estruturas direcionadoras de fluxo aquático, que podem ser reconhecidas em rochas cársticas. Em uma primeira escala são:

- Poros na rocha matriz – pequenos vazios intergranulares ou entre cristais.
- Fissuras – descontinuidades como planos de acamamento, juntas e falhas nas quais as aberturas (largura) são insignificantes em relação ao comprimento.
- Condutos – aberturas alongadas planares ou tubulares onde as larguras são proporcionalmente significantes em relação ao comprimento.
- Cavernas, que são vazios aparentemente isolados, de forma irregular e diâmetro de conduto em diversas ordens de magnitude.

Em um segundo grau de grandeza, os diversos vazios se combinam em proporções diversas para formar corpos subterrâneos de águas, chamados de aquíferos, que

são separados em categorias, de acordo com o tipo predominante de vazios, sendo chamados de aquífero poroso, aquífero fissural, aquífero em matriz de fissuras e aquíferos canalículo-fissural.

Ainda segundo Klimchouk e Ford (2000), a terceira escala de importância hidrogeológica refere-se ao modo como os aquíferos elementares estão arrançados em relação ao acamamento sedimentar, ou seja, podem ser estratiformes, intra estratal ou inter estratal. Estão distribuídos através de seqüências de rochas, sem qualquer alinhamento com planos de acamamento ou qualquer outro tipo de camada. Estão no interior de rochas não estratificadas.

Os estudos sobre fluxo de água em meio subterrâneo costumam se basear na lei de Darcy. Henri Darcy formulou as bases para descrever o fluxo subterrâneo em meio poroso (num primeiro momento, referindo-se ao fluxo subterrâneo nos interstícios granulares de um aquífero arenoso). A lei foi estendida e a fórmula modificada para incluir o fluxo de fluidos, baseado na assertiva de que o fluxo é laminar e a inércia pode ser ignorada. É atualmente expressa como: $V=p(h/l)$, onde:

V é a velocidade,

h é a altura piezométrica,

l é o comprimento do fluxo entre dois pontos dados e

p é o coeficiente de permeabilidade do aquífero.

Portanto, a lei, atualmente, descreve a taxa de fluxo de fluido homogêneo através de meio poroso isotrópico, como sendo proporcional e em sentido da força diretiva (WHITTOW, 2000).

É fácil observar que, pela própria definição, essa lei não é plenamente aplicável ao carste, pois a porosidade secundária (fissural), ou ainda, a porosidade de condutos (terciária) torna a porosidade do meio, anisotrópica. Assim, o estudo da hidrologia cárstica é regido por características próprias, diferenciando-se dos aquíferos em meios homogêneos.

Essas características são, basicamente, uma mescla em maior ou menor grau, de fluxo difuso; sujeito, portanto às leis de Darcy, e fluxos fissurais e de condutos, não sujeito a essas leis. O carste apresenta, portanto, uma estrutura heterogênea e hierarquizada, resultando na necessidade de uma aproximação mais complexa (GILLI *et al.*, 2004). Isso provoca uma grande dificuldade quando se tenta elaborar um modelo único. As tentativas para se estabelecer tal modelo resultam numa aplicabilidade

localizada. Assim, para elaboração de um modelo que será aplicado a um dado sistema (que não necessariamente se aplicará a outros), é preciso medir o comportamento do fluxo subterrâneo no sistema, avaliar as dimensões dos condutos e suas interconexões, como se dá a recarga do sistema, a porosidade da rocha encaixante, entre outros fatores.

Segundo White (1988), há três componentes nos sistemas hidrológicos cársticos:

1. O aquífero.
2. Os caminhos da bacia de superfície.
3. Os caminhos da bacia subterrânea.

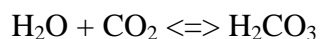
O mesmo autor afirma que as bacias subterrâneas são definidas pela relação entre os sumidouros e os pontos de ressurgência. A bacia subterrânea está relacionada com a bacia de superfície, porque os caminhos apresentados pelo sistema de condutos são rotas alternativas ao fluxo do sistema de canais de superfície. Em alguns casos, os limites das bacias de superfície e de sub-superfície são idênticos, com os condutos subterrâneos servindo meramente como rota alternativa. Em geral, no entanto, bacias subterrâneas não são precisamente congruentes com as bacias de superfície (WHITE, 1988).

A compreensão de que o aquífero em um sistema cárstico determina características importantes, se combina com o processo de intemperismo químico para determinar a existência ou não de carste.

3. Dissolução da rocha

Outra importante característica do sistema cárstico é o condicionamento das formas pelo intemperismo químico. A dissolução possui um papel importante, mas não necessariamente preponderante, no relevo associado ao conceito de carste.

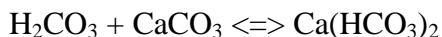
A química da dissolução no ambiente cárstico depende de alguns fatores, como os tipos de ácido disponíveis e a litologia que sofrera a ação desses ácidos. No carste clássico, que ocorre em calcários, a água da chuva absorve o gás carbônico contido na atmosfera e se torna levemente acidulada, pela reação da água com o gás carbônico. A reação pode ser expressa pela fórmula abaixo:



Água + gás carbônico \rightleftharpoons ácido carbônico

O ácido carbônico também se apresenta dissociado em seus íons constituintes. Quando em contato com o carbonato de cálcio, que constitui o calcário, o ácido carbônico

reage de acordo com a formula:



Ácido Carbônico + Carbonato de cálcio \rightleftharpoons Bicarbonato de cálcio

O bicarbonato de cálcio é solúvel na água e pode ser facilmente carregado para fora do sistema. Ambas as reações são reversíveis e, eventualmente, o sistema entra em equilíbrio (JENNINGS, 1985).

Considera-se congruente uma dissolução, quando todos os componentes de um mineral se dissolvem. A tabela 1 apresenta as reações de dissolução congruente para uma gama de minerais. A dissolução é incongruente quando apenas parte dos minerais componentes se dissolvem. Os minerais associados ao carste são congruentes em condições normais. Soluções incongruentes do dolomito e precipitação de calcita podem ocorrer em algumas condições excepcionais (FORD; WILLIAMS, 1989).

O carste pode evoluir sobre rochas com minerais que possam ser dissolvidos. Se a dissolução é congruente, o carste evolui com mais rapidez, e as formas ficam mais nítidas e evidentes. Se a dissolução é incongruente, os resíduos decorrentes da dissolução da rocha irão formar solos e depósitos diversos, que poderão ocultar ou modificar a aparência do relevo, tornando menos evidente à existência do carste sobre determinada área.

Mineral	Reação de dissociação	Solubilidade em pH 7 (mg l ⁻¹)	Faixa de abundância em águas meteóricas (mg l ⁻¹)
Gibbsita	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} = 2\text{Al}^{3+} + 6 \text{OH}^-$	0.001	Traços
Quartzo	$\text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Si}(\text{OH})_4$	12	1-12
Sílica amorfa	$\text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Si}(\text{OH})_4$	120	1-65
Calcita	$\text{CaCO}_3 = \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$	100*, 500#	10-300
Dolomita	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + 2\text{CO}_3^{2-}$	90*, 480#	10-300 (como CaCO_3)
Gipsita	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = \text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$	2400	0-1500
Silvita	$\text{KCl} = \text{K}^+ + \text{Cl}^-$	264000	0-10000
Mirabilita	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O} = 2\text{Na}^+ + \text{SO}_4^{2-} + 10 \text{H}_2\text{O}$	280000	5-10000
Halita	$\text{NaCl} = \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$	360000	5-10000

*Pco₂ = 10⁻³ bar

#Pco₂ = 10⁻¹ bar

Tabela 1 Reações de dissociação e solubilidade de alguns minerais representativos que dissolvem congruentemente em água, aos 25o C e 1 bar (105 Pa) de pressão. (Modificado de FORD; WILLIAMS, 1989).

4. Definição do carste

Para se chegar a entender o que é o carste, é preciso ter em mente que o conceito de carste está em franca evolução, tendo mudado diversas vezes desde a década

de 1960 até o presente. Uma das mais recentes, proposta por Klimchouk e Ford (2000), fala não mais em “relevo cárstico”, mas em “sistema cárstico”, com uma organização peculiar.

Os autores citados definem carste como sendo um sistema de transferência de massa integrado, em rochas solúveis, com permeabilidade estrutural dominada por condutos estabelecidos pela dissolução do material rochoso e organizado para facilitar a circulação de fluídos (KLIMCHOUCK; FORD, 2000).

Esta definição não inclui o tipo de rocha, demonstra a importância da dissolução de rocha (qualquer que seja), e da hidrologia característica de um sistema cárstico. Foca-se menos nas formas e mais nos processos, embora estes processos vão, em maior ou menor grau, originar as referidas formas cársticas.

O carste pode, portanto, originar-se em rochas consideradas pouco solúveis, desde que o intemperismo químico condicione o surgimento da morfologia (ou seja, embora talvez não seja o processo preponderante, a solubilidade da rocha determina a existência da forma cárstica) e a formação de condutos, organizando uma rede de drenagem ao menos parcialmente subterrânea.

5. Áreas potencialmente cársticas em rochas não carbonáticas

Existem áreas que apresentam potencial de desenvolvimento de um carste não carbonático aqui no Brasil. A seguir, são citadas algumas em que evidências morfológicas podem confirmar tal potencial, sendo que em duas delas, estudos preliminares já apresentam resultados que sustentam a classificação como carste.

Chapada Diamantina (BA)

Na região da Chapada Diamantina, no centro da Bahia, encontram-se tanto o carste tradicional quanto evidências de um carste em quartzito. Lá se desenvolve uma das maiores cavernas nesta litologia do Brasil, além de apresentar algumas formas de superfície que podem ser associadas ao carste. Carecem de maiores estudos.

Noroeste da Amazônia Brasileira

Expedição feita aos platôs quartzíticos do noroeste da Amazônia brasileira revelaram a maior caverna em desenvolvimento vertical do Brasil (EPIS, 2006), além de ser uma área com as mesmas características dos “tepuys” venezuelanos, que vem sendo

estudado há décadas, tendo sido considerado carste por diversos autores (CHALCRAFT; PYE, 1984; URBANI, 1986; DOERR, 1999).

Região central de Minas Gerais

A região central do estado de Minas Gerais apresenta extensas áreas de ocorrência de quartzitos, sendo que em alguns pontos, a ocorrência de formas potencialmente cársticas já foi apontada por pelo menos três autores brasileiros (CORREA NETO, 2000; AULER, 2004, SILVA, 2004). A área de Ibitipoca foi a mais estudada, com elementos claros de carstificação. Na região de Diamantina, Willems *et al.* (2004) descrevem diversas formas cársticas, propondo, inclusive, um possível modelo de evolução.

Serra Geral (Do sul de Minas ao Rio Grande do Sul)

A ocorrência de cavernas nos arenitos da formação Botucatu e Pirambóia já eram conhecidas desde fins do Século XIX. Trabalhos científicos relacionados a tais cavernas são publicados pelo menos desde a década de 70 do século XX (WERNICK *et al.*, 1973). Trabalhos mais recentes na área, como em Hardt (2003), demonstram a existência de formas cársticas associadas ao processo de dissolução da sílica. Atualmente, o autor desenvolve o doutorado nesta área, e os resultados preliminares indicam um relevo cárstico em arenito.

Chapada dos Guimarães e dos Parecis

Uma das maiores cavernas em arenito do país se encontra nesta área, a gruta Aroê-Jari. Tal caverna, com um desenvolvimento superior a 1500m, e amplas galerias, tem sido estudada pelo autor. Além de diversas formas de dissolução terem sido encontradas em seu interior, formas cársticas de superfície, como dolinas, hums e kamenitzas, podem ser identificadas em diversos pontos na área. O estudo se encontra em andamento.

Região da Serra da Capivara (PI)

Em rápida visita a área, foram observados alguns indícios de dissolução, além de algumas pequenas cavernas. No entanto, a área ainda precisa ser mais bem estudada. Em Caracol (PI), está a maior caverna em arenito do Brasil, a Toca (sistema) das Confusões, com 1633m (RODET, *apud* CHABERT; COURBON, 1997).

6. Considerações finais

Sem a pretensão de ter esgotado o tema ou todas as áreas potenciais, deve-se enfatizar dois aspectos importantes: Primeiro, a evolução do conceito de carste, que vem sendo amplamente discutido nas últimas décadas e que nos manuais brasileiros continua estacionado na década de 70 do século XX, quando ainda se definia carste associado exclusivamente às rochas carbonáticas, ou quando muito aos evaporitos. Talvez pelo fato do Brasil ter poucos pesquisadores do carste, e estes estarem trabalhando com o carste clássico, a evolução do conceito ficou esquecida no tempo. O segundo, e talvez mais importante, é a ocorrência, aparentemente freqüente, de feições cársticas em rochas não carbonáticas, notadamente o quartzito e o arenito, que são de ocorrência comum na maior parte do território brasileiro.

Os estudos indicam que a exposição prolongada e intensa ao intemperismo, de escudos e plataformas, nos trópicos e subtropicais, permite uma convergência morfológica de rochas mais resistentes aos processos de intemperismo químico, com aquelas mais suscetíveis a estes processos. Restam ainda muitas questões a serem respondidas, em especial do papel da litologia e da estrutura nestes processos, mas é inegável o desenvolvimento do carste, em condições favoráveis, em rochas não carbonáticas.

7. Bibliografia

- Auler, A. S. (2004) Quartzite caves of South America. *In: Encyclopedia of Caves and Karst Science (Gunn, J. ed.)*. Fitzroy Dearborn, New York, p.611-613
- Chabert, C. & Courbon, P. (1997) **Atlas des Cavités non Calcaires du Monde**. Union Internationale de Spéléologie.
- Chalcraft, D.; Pye, K. (1984) Humid tropical weathering of quartzite in Southeastern Venezuela. **Zeitschrift für Geomorphologie**. Berlin: v. 28, n. 3, p. 321-332, Set. 1984.
- Correa Neto, A. V. (2000) **Speleogenesis in Quartzites from Southeastern Minas Gerais, Brazil**. *In* Klimchouk, B. A.; Ford, D. C.; Palmer, A. N.; Dreybrodt, W. (ed.) **Speleogenesis - Evolution of Karst Aquifers**. Huntsville (USA). National Speleological Society, 2000 (pp. 452 - 457).
- Doerr, S. H. (1999) Karst-like landforms and Hydrology in Quartzites of the Venezuelan Guyana Shield: Pseudokarst or "Real" Karst? **Zeitschrift für Geomorphologie**. Berlin: v. 43, n. 1, p. 1-17.
- Epis, L. (2006) Expedição Amazonas 2006. **Informativo SBE**. Campinas, 92: 30-36.
- Ford, D.; Williams, P. (1989) **Karst geomorphology and hydrology**. London: Unwin Hyman.
- Gilli, E.; Mangan, C.; Mudry, J. (2004) **Hidrogéologie – Objets, methods, applications**.

Dunod. Paris. 304p.

Hardt, R. (2003) **Formas Cársticas em Arenito - Estudo de Caso**. Rio Claro, Monografia de Especialização em Geomorfologia. Universidade Estadual Paulista.

Hardt, R. (2004) **Aspectos da morfologia cárstica da Serra do Calcário – Cocalinho – MT**. 98 f. Dissertação (Mestrado em Organização do Espaço) Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

Jennings, J. N. (1985) **Karst geomorphology**. Oxford: Basil Blackwell, 1985.

Jones, W. K.; Hobbs, H. H. Iii; Wicks, C. M.; Currie, R. R.; Hose, L. D.; Kerbo, R. C.; Goodbar, J. R. Trout, J. (2003) **Recommendations and guidelines for managing caves on protected lands**. Charles Town: Karst Waters Institute. (Special Publication 8)

Klimchouk, B. A.; Ford, D. C. (2000) Types of karst and evolution of hydrogeologic Settings. *In*: Klimchouk, B. A.; Ford, D. C.; Palmer, A. N.; Dreybrodt, W. (Ed.) **Speleogenesis: Evolution of karst aquifers**. Huntsville: National Speleological Society.

Kohler, H. C. (1998) **Geomorfologia Cárstica**. *in* GUERRA, J. A. T. & CUNHA, S. B. T. (Org.) **Geomorfologia - Uma atualização de Bases e Conceitos**. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 3a Ed: p. 309 - 334.

Palmer, A. N. (1991) Origin and morphology of limestone caves. **Geological Society of America Bulletin**, New York, v. 103 p. 1-21.

Silva, S. M. (2004) Carstificação em Rochas Siliciclásticas: Estudo de caso na Serra do Ibitipoca, Minas Gerais (Dissertação). Belo Horizonte, UFMG, 143p.

Urbani, F. (1986) Notas Sobre el Origen de las Cavidades em Rocas Cuarcíferas Precambrias Del Grupo Roraima, Venezuela. Caracas, **Interciência** 11 (6): 298-300.

Wernick, E.; Pastore, E. L. & Pires Neto, A. (1973) Cavernas em Arenito. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, 13 (26): 55-67.

White, W. B. (1988) **Geomorphology and hydrology of karst terrains**. New York: Oxford University Press.

Whittow, J. (2000) **The Penguin dictionary of physical geography**. 2nd Edition. London: Penguin Books.

Willems, L. ; Compère, P.; Hatert, F.; Pouclet, A.; Vicat, J. P.; Ek, C.; Boulvain, F. (2002) Karst in granitic rocks, south Cameroon: Cave genesis and silica and taranakite speleothems. **Terra Nova**, Oxford, n. 14, p. 355-362.

Young, R. W. (1986) Tower Karst in Sandstone: Bungle Bungle massif, northwestern Australia. **Zeitschrift für Geomorphologie**. Berlin – Stuttgart, 30 (2): 189-202