



O carste nas Formações Muribeca, Riachuelo e Cotinguiba na Bacia SE/AL em Sergipe

A.L. P. Carvalho¹, I. Karmann² & G.C. Silva Júnior³

1 Companhia Vale do Rio Doce – Unidade Operacional Taquari Vassouras, SE-206, km 0, Campo de Santa Bárbara – Rosário do Catete – Sergipe 49760000, afonso.carvalho@cverd.com.br

2 Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo, Rua do Lago 562 Butantã – São Paulo, ikarman@usp.br

3 Instituto de Geociências – Universidade Federal do Rio de Janeiro Ed. CCMN Bloco G Sala J0-05 21949-900 Ilha do Fundão Rio de Janeiro gerson@acd.ufrj.br

Abstract The main goal of this work was the identification of karstic process and related features in one area located Sergipe state coastal zone, Brazil. Geologically, the area of study comprises Mesozoic and Cenozoic units from Sergipe/Alagoas sedimentary basin, where the active karst system in limestones of cretaceous Riachuelo and Cotinguiba Formations and the paleokarst developed in evaporites of the Muribeca Formation are present. Based on hydrological, hydrochemical and O and H stable isotope data, the relation of groundwater flux between the karst aquifer and the evaporite zone was investigated. Values of $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$, combined with hydrochemical data, allowed to distinguish between groundwater related to modern meteoric recharge and the Oiterinhos member groundwater, which was interpreted as paleowaters. The karst features in these areas are dolines associated with centripetal drainage basins; the largest doline has a 500 m diameter, and is known as “Lagoa dos Cachorros”. Karren in different morphologies occurs at the epikarst zone. A significant karst conduit system has been identified through the geological mapping of quarries. The conduits show a network pattern following the main fractures direction of N15W, N65E, N45W and E-W compatible with the hydrological interpretation of a typical karst aquifer behavior obtained by other authors based on pumping tests of wells in the Sapucari and Maruim aquifers.

Keywords: Karstic system, paleokarst, stable isotopes, Sergipe-Alagoas basin, evaporites.

Resumo O objetivo deste trabalho foi a identificação de feições e processos cársticos que ocorrem na região litorânea de Sergipe na bacia sedimentar de Sergipe/Alagoas, caracterizando o sistema cárstico ativo nos calcários das Formações Riachuelo e Cotinguiba e o paleocarste associado aos evaporitos da Formação Muribeca, todas do Cretáceo. No contexto dos aquíferos da área de estudo, investigou-se a relação de fluxo entre os aquíferos cársticos e a zona dos evaporitos, com base em dados hidrogeológicos, hidroquímicos e de isótopos estáveis de O e H. Os valores de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$, combinados com as características hidroquímicas, permitiram distinguir os diferentes ambientes de fluxo, diferenciando as águas subterrâneas dos aquíferos cársticos associadas à recarga meteórica atual das águas do aquífero Oiterinhos, as quais foram interpretadas como sendo paleoáguas. As feições cársticas nesses setores correspondem a dolinas associadas a bacias de drenagem centrípeta, com diâmetros decamétricos, atingindo um máximo de 500 m (Lagoa dos Cachorros). No epicarste ocorrem feições do tipo *karren*, formando um topo rochoso com torres soterradas e *karren* arredondados com caneluras de dissolução. O mapeamento geológico em pedreiras revelou a ocorrência de um importante sistema de condutos, não acessíveis à exploração espeleológica, o qual possui um padrão em rede acompanhando o sistema de fraturas da área, com direções preferenciais segundo N15W, N65E, N45W E-W. Esse sistema de condutos é compatível com os resultados disponíveis de ensaios de bombeamento em poços do aquífero Maruim e Sapucari, os quais foram interpretados por autores anteriores como típicos de aquíferos cársticos.

Palavras chave: Sistema cárstico, paleocarste, isótopos estáveis, condutos, evaporitos.

INTRODUÇÃO A grande maioria dos terrenos cársticos no Brasil, compartimentados por Karmann e Sanchez (1986) em Províncias espeleológicas, estão associados a rochas carbonáticas proterozóicas (Grupos Una, Bambuí, Corumbá e Açungui); existindo poucas citações referentes à ocorrência de sistemas cársticos nas rochas carbonáticas e em evaporitos das bacias paleozóicas interiores e bacias cretáceas da margem continental brasileira.

O carste é um terreno com hidrologia e paisagens distintas resultantes da combinação de rochas com elevada solubilidade e porosidade secundária bem desenvolvida (Ford & Williams 1992).

Os terrenos e a hidrografia cárstica estão relacionados à ocorrência de rochas específicas, portanto os seguintes grupos de rochas podem apresentar carstificação (Bögli 1980):

- evaporitos: gipsita, anidrita, halita (rochas salíferas);



- rochas carbonáticas: calcário, dolomita, e
- rochas siliciclásticas: arenitos e quartzitos.

O carste nas rochas siliciclásticas é ainda uma questão polêmica e não será objeto desta pesquisa, entretanto foi descrito pela primeira vez por White em 1960 (*apud* Bögli 1980), na Formação Roraima no escudo das Guianas no sudoeste da Venezuela; onde o autor observou dolinas e estalactites de sílica em uma pequena caverna.

O carste em carbonatos resulta da dissolução ácida que é uma reação química reversível, obedecendo aos limites de impurezas e disponibilidade de íons H^+ fornecidos por ácidos (ácido carbônico, sulfúrico e outros) em águas naturais (Bögli 1980).

O carste em evaporitos resulta de uma dissolução simples que é um processo reversível que ocorre sem participação de ácidos. O NaCl ou o $CaSO_4$ formam um arranjo iônico, no qual a dissolução em água ocorre por meio da dissociação do sal em cátions e ânions.

Os estudos realizados nos terrenos cársticos no Brasil, até a presente pesquisa, investigaram fenômenos cársticos condicionados por recarga livre que se enquadram no modelo idealizado por Ford & Williams (1992), não tendo sido enfatizada a carstificação intraestratal.

Ford & Williams (1992) mencionam a carstificação intraestratal em calcários e evaporitos; anidrita, gipsita e halita são extremamente solúveis e estão sobrepostas por rochas menos solúveis ou insolúveis como folhelhos. Independentemente dessas camadas de proteção estar sobrepostas aos evaporitos, águas de circulação são capazes de atacar essas camadas e seletivamente removê-las em grandes áreas, mesmo que as camadas estejam a 1000 m de profundidade.

Lohman (1972) distingue formações cársticas de lixiviação de sais, mencionando que o primeiro processo avança predominantemente em um padrão linear ao longo de fraturas e partes frágeis da rocha enquanto a lixiviação de sais é um ataque frontal. A topografia cárstica em carbonatos é caracterizada por feições do terreno, como dolinas, cavernas e estruturas de colapso, entretanto não ocorre a remoção completa de uma unidade estratigráfica, enquanto nas rochas salíferas pode ocorrer a remoção completa da camada restando apenas resíduos insolúveis.

Entretanto, White (1988) menciona que exposições de camadas de sais, devido à extrema solubilidade, somente são possíveis em climas áridos e onde o sal está exposto são encontradas feições semelhantes as de outros carstes.

A distinção feita por Lohman (1972) reside no fato de que a alta solubilidade dos evaporitos possibilita a dissolução de sais em grandes áreas e a uma taxa

superior à dos calcários. À medida que evaporitos são soterrados, a plasticidade das halitas impede que cavernas ou cavidades permaneçam abertas, entretanto mesmo soterrados e sobrepostos por rochas menos solúveis, ocorrem processos de erosão subterrânea em profundidade.

Torna-se necessário, nesse ponto, mencionar a definição do termo erosão subterrânea que por analogia ao termo *subrosion*, alguns autores preferem denominar de suberosão. Associado aos processos de erosão subterrânea é também necessário mencionar a definição do termo carste intraestratal.

A erosão subterrânea ou suberosão (*subrosion*) é a erosão em subsuperfície, conseqüente da dissolução de sais e subseqüente ajuste/colapso (Bates & Jackson 1979).

Lohman (1972) menciona que suberosão (*subrosion*) é um termo análogo à erosão superficial, sendo utilizado na literatura alemã desde 1930, para processos de dissolução em subsuperfície e é um fenômeno comum em depósitos evaporíticos.

Os evaporitos por serem rochas com maior solubilidade que as demais rochas sedimentares são susceptíveis ao processo de dissolução subterrânea. A gipsita e a halita evaporitos mais comuns, são respectivamente 150 vezes e 7.500 vezes mais solúveis que o calcário (Martinez 1999).

Existem 4 requisitos básicos para as dissoluções ocorrerem nos Evaporitos (Johnson 1992):

- a camada de sal deve permitir fluxo de água;
- a água deve estar insaturada em NaCl;
- a água de superfície infiltra-se por intermédio de condutos, cavernas ou outras feições cársticas em áreas onde ocorrem gipsita, dolomita ou calcários em superfície, e
- a água infiltra-se através de fraturas particularmente nas áreas onde existem zonas de colapso no sal e as camadas sobrepostas estão fraturadas.

No complexo de Hormoz no Iran as seguintes feições cársticas nos sais são semelhantes as que ocorrem nos calcários: Karren, condutos de dissolução, dolinas de solução com diâmetros variáveis maiores que 100m, dolinas de colapso com diâmetros de 20 a 30m e profundidades de 45m, uvalas, poljes e cavernas com formas e tamanhos variáveis (Bosák *et al.* 1999).

Seleção da área cárstica Selecionou-se uma área que engloba terrenos carbonáticos e unidades evaporíticas na bacia cretácea de Sergipe/Alagoas. Por tratar-se de um tema ainda pouco desenvolvido no Brasil, especial atenção é estudo de feições cársticas intraestratais em uma área com evaporitos e calcários.

A área está localizada na porção sergipana da bacia sedimentar de Sergipe Alagoas na região centro - leste do estado de Sergipe (Fig. 1) e corresponde aos afloramentos de calcários das Formações Riachuelo e Cotinguiba, assim como a área de ocorrência de evaporitos da Formação Muribeca em subsuperfície na sub-bacia de Taquari Vassouras.

O sistema cárstico atual desenvolve-se nos calcários da Formação Cotinguiba, Membro Sapucari e nos calcários da Formação Riachuelo, Membro Maruim. Nesse sistema cárstico prevalece a drenagem superficial, existindo zonas restritas com predomínio de feições cársticas.

Existe um paleocarste associado às rochas evaporíticas da Formação Muribeca cujas feições de dissolução estão preservadas no registro geológico da bacia. Esses processos de dissolução subterrânea foram identificados nas camadas do Membro Ibura da Formação Muribeca na sub-bacia Taquari Vassouras através da caracterização de zonas de colapso, desaparecimento brusco ou redução significativa da espessura da camada de sal, presença de resíduos insolúveis e salmouras subterrâneas. Critérios estratigráficos permitem identificar esses eventos como ocorridos no Cretáceo, durante a deposição da Formação Riachuelo.



Figura 1. Localização da área cárstica (Modificado de Machado 1989)

SISTEMA DE CONDUTOS A faixa carbonática aflora descontinuamente, pois em parte está recoberta por tabuleiros residuais da Formação Barreiras em um faixa de 52 km de comprimento na Bacia de Sergipe, com planos de acamamento bem desenvolvidos e direção geral de camadas N50E, com mergulho de 30 para SE. Os contatos entre as unidades carbonáticas e as não carbonáticas são bem definidos e além dos planos de acamamento, existe um padrão de fraturamento bem desenvolvido, caracterizando uma permeabilidade secundária, embora existam áreas com calcarenitos e porosidade primária ainda presente. Essas estruturas correspondem aos segmentos mais

susceptíveis para criar as condições para espeleogênese nas rochas carbonáticas.

As feições cársticas de superfície não são contínuas ao longo de toda a faixa carbonática, confirmando a característica anisotrópica encontrada durante a perfuração de poços no aquífero Sapucari, existindo zonas com feições cársticas de superfície, zonas com feições cársticas em subsuperfície e zonas sem carstificação. Com o objetivo de caracterizar a permeabilidade secundária associada às rochas carbonáticas da área, realizou-se uma observação sistemática de afloramentos naturais e cortes de rocha em estradas e pedreiras, identificando fraturas e



feições de dissolução que pudessem evidenciar a presença de condutos cársticos associados ao sistema de fraturas, atualmente expostos na zona vadosa. A morfologia dos condutos em seção transversal apresenta formas irregulares que variam de elíptica a circular, com eixos maiores paralelos aos planos de fratura, às vezes com seções em fendas. As paredes internas dos condutos são sinuosas, com saliências e reentrâncias, representando dissolução diferencial entre estratos. As dimensões dos eixos maiores desses condutos são muito variáveis, desde centimétricos a métricos, com máximo observado de até 5m. Os comprimentos observados desses condutos na pedreira da Mussuca variam entre dezenas a centenas de metros.

Com base nas observações de campo e no histograma de frequência de condutos, interpreta-se que alguns setores nas rochas carbonáticas da área de estudo possuem um sistema de condutos cársticos em rede, composto por ramos principais na direção N15W e secundários N65E, N40W e E-W, interconectados com o sistema de fraturas.

A maior frequência de condutos pode ser observada em afloramentos na área da Mussuca em calcários do Membro Sapucari, local em que pode ser caracterizada uma malha de condutos. Observam-se também condutos em calcários do Membro Marum,

entretanto a frequência desses nos afloramentos observados é menor que na da área da Mussuca. Nas demais áreas com rochas carbonáticas, não foram observados condutos. Com base nessa distribuição de condutos, conclui-se que a unidade mais favorável para desenvolvimento de condutos cársticos é o Membro Sapucari.

CONCLUSÃO A faixa carbonática aflora descontinuamente, pois em parte está recoberta por tabuleiros residuais da Formação Barreiras em um faixa de 52 km de comprimento na Bacia de Sergipe, com planos de acamamento bem desenvolvidos e direção geral de camadas N50E, com mergulho de 30 para SE. Os contatos entre as unidades carbonáticas e as não carbonáticas são bem definidos e além dos planos de acamamento, existe um padrão de fraturamento bem desenvolvido, caracterizando uma permeabilidade secundária, embora existam áreas com calcarenitos e porosidade primária ainda presente. Essas estruturas correspondem aos segmentos mais susceptíveis para criar as condições para espeleogênese nas rochas carbonáticas.

Nesse sistema cárstico prevalece a drenagem superficial, existindo zonas restritas com predomínio de feições cársticas.

Referências

- BATES R.L. & JACKSON A.J. (eds.) 1979. *Glossary of geology*. American Geological Institute, Alexandria, VA, 788pp.
- BÖGLI A. 1980. *Karst hydrology and physical speleology*. Springer-Verlag, Berlin, 284pp.
- BOSÁK P., BRUTHANS J., FILIPPI M., SVOBODA T., SMID J. 1999. Karst and caves in salt diapirs, SE Zagros mts (Iran). *Acta Carsologica*, **28**:41-75.
- FORD D. & WILLIAMS P.W. 1992. *Karst Geomorphology and Hydrology*. Unwin Hyman, London, 601pp.
- JOHNSON K.S. 1992. Evaporite Karst in the Permian Blaine Formation and associated strata in western Oklahoma. In: *Hydrogeology of Selected Karst regions*, 13, Verlag Heinz Heise, Hannover, pp.: 405-420
- KARMANN I. & SANCHEZ L.E. 1986. Speleological Provinces in Brazil. In: *Anales do Congresso Internacional de Espeleologia*, **9**(1):151-153
- LOHMAN H.H. 1972. Salt dissolution in subsurface of british north sea as interpreted from seismograms. *The American Association Petroleum Geologists Bull.* **56**(3):472-479.
- MACHADO E.C.V. 1989. *Tectônica dos evaporitos na Bacia de Sergipe - Alagoas*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, 102p.
- MARTINEZ J.D., JOHNSON K.S., NEAL J.T. 1999. Sinkholes in Evaporite Rocks. *American Scientist*, **86**:38-48.
- WHITE W.B. 1988. *Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains*. Oxford University Press. 580 pp.