

**Almeida, C. (1992)**  
**Aspectos da Exploração e Protecção de Recursos**  
**Hídricos em Regiões Calcárias**

Indústria da Água, Revista da Epal, nº 6, p. 51-53.

# Aspectos da Exploração e Protecção de Recursos Hídricos em Regiões Calcárias

CARLOS ALMEIDA

Geólogo. Departamento de Geol. da FCUL e Centro de Geologia da Univ. de Lisboa (INIC)

As regiões calcárias apresentam, quase sempre, um conjunto de características tão particulares que não podem passar despercebidas a quem as percorre. A superfície é caracterizada por uma acentuada aridez, as rochas apresentam, muitas vezes, formas caprichosas, altamente irregulares, cortadas por inúmeras fendas, cujas dimensões variam desde valores quase imperceptíveis até às de autênticos corredores muitas vezes com o fundo preenchido por solos que permitem a existência de vegetação.

Um olhar mais atento permite verificar a existência de outras formas de relevo, raras ou desconhecidas noutros terrenos: abundância de depressões fechadas, desde tamanhos modestos, as dolinas, até dimensões que podem atingir vários quilómetros (polja), ocorrência de cavidades naturais (grutas e algares), vales com paredes abruptas, etc.

Este tipo de relevo é conhecido por modelado cársico, ou kárstico, do nome de uma região situada na actual Eslovénia, perto da fronteira com a Itália, denominada kras ou carso pela população eslovena e italiana, respectivamente. A palavra karst entrou na literatura científica internacional, a partir do século passado, devido aos trabalhos de autores alemães.

A existência das formas de relevo, atrás referidas deve-se ao facto dos minerais fundamentais que constituem as rochas calcárias, calcite e dolomite (carbonatos de cálcio e de cálcio e magnésio), serem solúveis em água contendo CO<sub>2</sub>. A quantidade de rocha



que pode ser dissolvida depende de diversas condições, como sejam o seu grau de pureza e composição, espessura e tipo de solos e de factores climáticos, nomeadamente a temperatura e precipitação.

O caso mais representativo, no nosso país, de região cársica é o maciço calcário constituído pelas Serras dos Candeeiros, Santo António, Aire e Planalto de S. Mamede, conhecido por Maciço Calcário Estremenho (Martins, 1949). No entanto, podem-se referir muitas outras regiões com características semelhantes, nomeadamente na Estremadura, Beira Litoral e Algarve.

A dissolução da rocha calcária não se faz uniformemente, pelo contrário tende a concentrar-se em fracturas pré-existentes, pelo que estas vão sendo progressivamente alargadas, originando sulcos mais ou menos profundos, no fundo dos quais existe muitas vezes um depósito argiloso, constituído por resíduos insolúveis, quase sempre de cor avermelhada, a *terra rossa*.

No que diz respeito à circulação da água, também as regiões calcárias apresentam aspectos particulares. De facto, ao contrário do que sucede em rochas porosas, onde a água preenche

os poros da rocha de forma mais ao menos uniforme, nos maciços calcários a circulação faz-se preferencialmente através de fendas alargadas, que constituem por vezes galerias de grandes dimensões.

As características acima apontadas dão às regiões cársicas uma elevada capacidade de infiltração das águas das chuvas, pelo

que, em geral, se verifica uma ausência quase total de recursos hídricos superficiais e uma abundância relativa de recursos hídricos subterrâneos.

Esta abundância fez com que os aquíferos cársicos tenham sido, desde há muito, encarados como uma das principais fontes de água para abastecimento das populações e para o regadio, como acontece no nosso país, onde o abastecimento de água à capital começou por ser feito, fundamentalmente, à custa de águas daquela origem. O abastecimento domiciliário iniciou-se após a construção do aqueduto do Alviela, que transportava para a capital uma parte do caudal da nascente do rio com o mesmo nome. Posteriormente, o abastecimento foi reforçado com caudais captados por furos, perto das nascentes da Ota e de Alenquer.

Muitos outros concelhos são abastecidos por águas com origem em calcários. Esses concelhos situam-se sobretudo na Estremadura e Beira Litoral (Cantanhede, Condeixa-a-Nova, Alcobaça, Alvaiázere, Leiria, Peniche, Pombal, Porto de Mós, etc.), Alentejo (Borba, Estremoz, Alandroal, etc.) e Algarve, onde os aquíferos cal-

cários contribuem com mais de 80% das águas para consumo e regadio (Peixinho de Cristo, 1988, Ramos *et al.*, 1988).

A exploração dos recursos hídricos das regiões calcárias tem incentivado numerosos estudos com vista por um lado, à optimização dessa exploração e, por outro, à protecção contra a poluição. Em seguida, far-se-á uma breve síntese dalguns dos principais aspectos abordados nesses estudos.

## ASPECTOS DA CIRCULAÇÃO EM MACIÇOS CALCÁRIOS

Como já foi referido, as características particulares da circulação nos maciços calcários deriva fundamentalmente do facto daqueles maciços possuírem, em geral, uma extensa rede de fracturas e estas serem susceptíveis de alargamento progressivo, por dissolução, dando origem a um sistema de drenagem subterrâneo, por vezes altamente organizado e hierarquizado. O alargamento progressivo por dissolução é uma das características que permite distinguir os maciços calcários dos outros maciços fracturados, onde aquele alargamento não se verifica.

Para que um maciço calcário evolua no sentido atrás apontado são necessárias algumas condições: o maciço deve apresentar à partida uma rede mais ou menos desenvolvida de descontinuidades (fracturas, diaclases, planos de estratificação, etc.); terá de existir uma zona de recarga e uma zona de descarga a fim de se dar a evacuação, para o exterior, do material dissolvido. A título de exemplo pode-se referir que só a nascente do Alviela extrai, anualmente, cerca de 24 000 toneladas de calcário, correspondentes à excavação de um volume de quase 10 000 m<sup>3</sup>.

A medida que se dá a evolução da drenagem de um maciço, acentua-se a sua anisotropia e heterogeneidade pois os sistemas de fracturas, inicialmente mais aptos à circulação, serão os mais alargados por dissolução, evoluindo no sentido de constituírem eixos principais de drenagem. Assim, com o tempo, acentua-se o contraste entre as permeabilidades dos vários sistemas de fracturas, estabelecendo-se uma hierarquização semelhante à de uma rede hidrográfica subaérea. Isto

conduz à existência de grandes variações no espaço, das propriedades hidráulicas. Este aspecto constitui um dos grandes problemas quando se pretende captar as águas através de furos, pois por vezes, lado a lado a uma nascente caudalosa ou a um furo muito produtivo podemos ter outro ou outros, praticamente secos.

Para descrever o comportamento hidráulico dos aquíferos cársicos podemos, conceptualmente, considerar a existência de dois meios com propriedades muito diferentes: um constituído por uma rede de colectores com permeabilidade elevada mas capacidade de armazenamento escassa e outro constituído por blocos possuindo permeabilidade baixa mas uma capacidade de armazenamento considerável, devido à existência de numerosas fissuras e poros de pequenas dimensões. Às grandes fracturas e galerias cabe a papel transmissivo, isto é o de transportar a água através do maciço, na direcção das zonas de descarga, enquanto que, ao conjunto dos blocos cabe a papel capacitivo, isto é o de armazenar a água (Almeida & Oliveira, 1990).

A existência daqueles dois domínios entrosados reflecte-se no regime de escoamento das nascentes cársicas, podendo o hidrograma destas ser decomposto em troços, correspondentes ao esgotamento de cada um dos subsistemas. Assim, o caudal forte que sucede a uma forte recarga diminui, em geral, bastante rapidamente, em consequência da elevada permeabilidade e fraco poder de armazenamento dos sistemas de fracturas. Segue-se um período prolongado, caracterizado por caudais mais fracas mas com um decréscimo mais lento, correspondente ao escoamento do sistema de blocos. Muitas vezes é possível identificar, ainda, no hidrograma troços correspondentes a sistemas com características intermédias entre as dois atrás referidos, por exemplo redes de galerias de pequeno tamanho.

Pelo que foi dito, pode-se concluir que o poder regulador dos aquíferos calcários repousa sobretudo no sistema de blocos, pois neste o tempo de residência da água é muito mais prolongado.

A contabilização dos recursos hídricos em regiões calcárias apresen-

ta alguns problemas devido, por um lado, à escassez ou ausência de alguns dados fundamentais, como a precipitação, pois muitas vezes apenas existem dados relativos a postos de observação com altitudes que não são representativas da altitude média das áreas de recarga, e por outro lado, a reconhecida dificuldade de delimitar as bacias drenadas pelas nascentes.

Essa delimitação exige um investimento elevado em meios e trabalho, sendo feita com base em critérios litológicos, estruturais, observações geofísicas, experiências de traçagem e observações espeleológicas.

Por vezes as experiências de traçagem fornecem resultados inesperados: zonas drenadas, simultaneamente, por mais do que uma nascente, outras em que a direcção de drenagem muda durante a ano, etc. (Crispim, 1986, Crispim, 1987, Almeida e Crispim, 1987). Assim, mesmo após prolongados estudos o grau de incerteza é sempre elevado.

Uma primeira tentativa de quantificação dos recursos hídricos subterrâneos da bacia de uma das nascentes que drenam o Maciço Calcário Estremenho, ainda que afectada das incertezas atrás referidas, aponta para um valor de cerca de 115 Mm<sup>3</sup>/ano correspondendo a uma infiltração da precipitação de 50±8%. Este valor enquadra-se bastante bem na gama de valores que tem sido estimada para os maciços calcários situados num contexto climático semelhante (Almeida, 1985). A sua aplicação a todo a maciço elevaria os recursos totais a cerca de 500 Mm<sup>3</sup>/ano.

A prevista instalação de uma rede de observações pluviométricas, da responsabilidade do PNSAC permitirá uma estimativa muito mais correcta daqueles valores.

## VULNERABILIDADE À POLUIÇÃO DOS AQUIFEROS CÁRSICOS

Os aquíferos cársicos possuem uma capacidade pequena de reacção à poluição das águas subterrâneas devido a uma ausência quase total de filtração e uma velocidade de circulação elevada que pode atingir vários quilómetros por dia.

No que diz respeito ao primeiro aspecto, os aquíferos calcários distinguem-se claramente dos aquíferos porosos, pois estes apresentam uma eficácia elevada na eliminação de matérias em suspensão. Por exemplo, numa areia fina um percurso de 1 a 10 m pode ser suficiente para eliminar a 99,9% a maior parte das matérias em suspensão, incluindo muitos micro-organismos.

As elevadas velocidades de circulação que se observam na maior parte dos aquíferos calcários permite que um poluente injectado, deliberada ou acidentalmente, possa atingir uma captação num curto lapso de tempo. Além disso dado o tempo de residência dos poluentes ser, em geral, muito curto, o decaimento natural, devido a diversos tipos de reacções, é muito pouco perceptível.

Nalguns casos particulares, os terrenos calcários possuem, no entanto, um poder elevado de amortecimento da contaminação, como acontece com as chuvas ácidas, em relação aos quais são muito menos vulneráveis que outros terrenos.

Além disso, as águas dos aquíferos cársicos possuem, em geral, um teor elevado de oxigénio dissolvido, o que lhe confere algum poder purificador.

A grande importância dos recursos hídricos nas regiões calcárias e a elevada vulnerabilidade à poluição destas tem incentivado os técnicos e investigadores, especializados naqueles problemas, a juntar esforços no sentido de delinear políticas de protecção eficazes. Foi nesse âmbito que nasceu o Projecto COST65 “Aspectos hidrogeológicos da protecção de águas subterrâneas em áreas cársicas” que reúne especialistas de numerosos países europeus e de que o signatário é um dos delegados nacionais ao respectivo comité de gestão.

## A EXPLORAÇÃO DOS AQUÍFEROS CÁRSICOS

A exploração dos recursos hídricos em aquíferos cársicos apresenta numerosos problemas devido, entre outros factores, à pequena capacidade de regulação dos reservatórios cársicos, irregularidade do padrão de

circulação subterrânea e elevada vulnerabilidade à poluição, como foi referido.

A irregularidade do padrão de circulação faz com que a tarefa de captar água através de furos verticais constitua um verdadeiro quebra-cabeças. É possível estabelecer alguns critérios gerais que podem servir de guia à selecção dos locais mas nenhum é garantido. Mesmo nalguns casos, raros, em que os espeleólogos tiveram acesso às galerias activas, pequenos erros na implantação da localização à superfície ou pequenos desvios da verticalidade da sondagem conduzem a insucessos. Para contornar estas dificuldades tem-se recorrido com frequência à exploração das próprias nascentes, ou implantando captações na sua vizinhança.

O outro problema prático a ultrapassar prende-se com a escassa capacidade de regularização dos aquíferos cársicos. De facto, os recursos, embora abundantes, devido a uma elevada capacidade de infiltração, são escoados rapidamente através das nascentes.

A utilização de parte dos caudais escoados, em regime natural, permite apenas a utilização dos recursos armazenados temporariamente na zona semi-húmida, isto é a zona saturada de água apenas uma parte do ano.

Para mobilizar os recursos armazenados na zona húmida, aumentando assim o poder regularizador, será necessário encarar esquemas de exploração que provoquem um rebaixamento de níveis na região das nascentes, rebaixamento esse que se irá propagar para montante daquelas. Os recursos assim mobilizados na estação seca seriam repostos na estação húmida. Esta problemática e alguns exemplos de aproveitamentos deste tipo são discutidos por Mendes de Sousa (1962), a cuja iniciativa se devem alguns deles.

A protecção dos recursos hídricos em regiões cársicas passará forçosamente por uma consciencialização das populações com o objectivo de acabar com o pernicioso hábito de utilizar os algarres como esgotos ou como cemitérios de animais e por uma

política adequada de saneamento básico dos agregados populacionais ali existentes.

Terá que passar, ainda, por uma definição das áreas de protecção das captações, onde deverá ser implementada uma regulamentação das actividades nelas desenvolvidas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, C. (1985) – Hidrogeologia do Algarve Central, Dissertação para obtenção do grau de doutor em Geologia da FCUL, 333 p. Lisboa

Almeida, C. e Crispim, J. A. (1987) - Traçagens com Uranina no Algar do Escarpão (Albufeira, Algarve), *Algar, Bol. da Soc. Portuguesa de Espeleologia*, nº 1, p. 9-16.

Almeida, C. & M. M. Oliveira (1990) - Caracterização hidráulica de aquíferos fracturados, Livro de Homenagem a Carlos Romariz, p. 30-64, Departamento de Geologia da FCUL, Lisboa.

Crispim, J. A. (1986) – Traçagens com Uranina em Minde, *Maleo, Bol. Informativo da Soc. Geológica de Portugal*, vol. 2 (13), p. 16-17.

Crispim, J. A. (1987) - Circulação subterrânea na zona Norte das Serras de Ansião (Maciço de Sicó-Alvaiázere; Portugal). *Geolis, Rev. de Geologia Aplicada e do Ambiente*, Vol. I, p. 92-99.

Martins, A. F. (1949) - Maciço Calcário Estremenho, ed. autor, Coimbra.

Peixinho de Cristo, F. (1988) - Análise dos Sistemas de Abastecimento de Água nos Distritos de Aveiro, Coimbra e Leiria, Ministério do Planeamento e da Administração do Território, 403 p.

Ramos, L., Nuncio, T., Borralho, M. E., Pais, J. R. e Vlachos, E. (1988)- Os recursos hídricos no sul de Portugal, vol II, Ministério do Planeamento e da Administração do Território, 461 p.

Sousa, V. Mendes de (1962) - Casos de aplicação da Espeleologia ao estudo de Águas subterrâneas e a problemas de Engenharia, *Revista Técnica* nº 323, I. S. T., p.213-220, Lisboa.