

VARIABILIDADE HIDROGEOQUÍMICA NOS AQUÍFEROS CARBONATADOS ENTRE LISBOA E CASCAIS

F. Ferreira¹, M.R. Carvalho¹, C. Silva¹, C. Almeida²

¹Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Departamento Geologia, CeGUL

²Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, CREMINER

RESUMO

Na região entre Lisboa e Cascais ocorrem aquíferos associados às formações carbonatadas do Jurássico e Cretácico (calcários, calcários margosos e margas). As águas aí captadas apresentam grande variabilidade química, com composições que variam entre bicarbonatada cálcica, cloretada sódica e sulfatada cálcica. Algumas apresentam termalismo e outras, enriquecimento em C total dissolvido. O C Total dissolvido e o pH das águas são indicadores da ocorrência de dissolução de carbonatos em sistema aberto, nomeadamente através da dissolução de lignitos.

As águas com maior grau de mineralização apresentam enriquecimento em iões Cl e Na, em consequência de possível: aerossóis; intrusão salina no aquífero; dissolução de rochas evaporíticas que contenham halite. A elevada concentração de SO_4^{2-} em algumas águas poderá ter origem na dissolução de gesso ou contaminação agrícola, mostrando sobressaturação em relação a minerais carbonatados explicável por fenómenos de dissolução sequencial ou corrosão por mistura.

Palavras-Chave: Hidrogeoquímica, calcários, dissolução, mistura, Lisboa-Cascais

INTRODUÇÃO

Na região situada entre Lisboa e Cascais existem diversas formações carbonatadas mesozóicas que constituem o suporte de pequenos aquíferos. Estudos anteriores (Almeida *et al.*, 1991 e Jesus, 1995) mostram que, embora situadas num contexto climático e litológico semelhante, as águas subterrâneas apresentam diferenças significativas na sua composição química. Essas diferenças podem ser atribuídas a variações na composição mineralógica dos calcários, nas condições de infiltração, nomeadamente, tipo e espessura de solo, pressão parcial do CO_2 e outros processos hidroquímicos.

ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

A região entre Lisboa e Cascais é formada por terrenos mesozóicos, de natureza carbonatada (calcários, calcários margosos e margas). As formações aflorantes apresentam idades entre o Jurássico Superior e o Quaternário (Ramalho *et al.*, 2001).

O Jurássico Superior aflora na orla de contacto com as rochas magmáticas do Maciço de Sintra e está disposto em monoclinal inclinando para Sul-Sueste, onde é visível um cortejo filoniano de direcção NW a NNW; é essencialmente formado por rochas de natureza carbonatada, estando ausentes as formações detríticas (Ramalho *et al.*, 2001). Surgem, calcários cristalinos, metamorizados (como resultado dos efeitos do metamorfismo de contacto causado pela proximidade com as rochas eruptivas do Maciço de Sintra) em mármore branco a cinzento azulado, alternância entre calcários compactos, calcários margosos e margas (Ramalho *et al.*, 2001).

O Cretácico está presente essencialmente na zona Sul e central da área em estudo; constituído por calcários compactos cinzentos-escuros, alternância de calcários margosos e margas, calcários recifais, arenitos e argilas.

Na zona Este e Sudeste, afloram essencialmente rochas ígneas extrusivas do Complexo Vulcânico de Lisboa, formadas entre o Cretácico Superior e o Eocénico Inferior (Ramalho *et al.*, 2001). A Sudeste encontram-se, também, formações do Miocénico representadas, da base para o topo, pelas “Argilas dos prazeres”, “Areolas de Estefânea” e “Calcários de Entre-Campos”. No extremo Sudoeste, afloram as formações do Quaternário, constituídas por areias e cascalheiras de antigas praias, areias de praia e dunas.

Os aquíferos presentes desenvolvem-se, essencialmente, nas formações Jurássicas e Cretácicas de natureza carbonatada, proporcionando a ocorrência de aquíferos cársicos; as produtividades conhecidas revelam caudal de

exploração médio, caudal específico médio e transmissividade média, de 1,1 L/s, 0,05 L/s/m e 4,9 m²/dia, respectivamente; o fluxo subterrâneo é predominantemente para o quadrante Sul, devido à inclinação geral das formações.

Do ponto de vista hidroquímico as águas apresentam, de modo geral, fácies bicarbonatada cálcica e bicarbonatada calco-magnésiana (Jesus, 1995). Almeida *et al.*, (1991) referem, que na sua maioria, são bicarbonatadas cálcicas, havendo no entanto águas que se podem classificar como bicarbonatadas sódicas (com circulação nas formações do Turoniano e Cenomaniano) e sulfatadas cálcicas (Cenomaniano).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este trabalho apresenta os resultados obtidos para o estudo de 12 águas subterrâneas com circulação em rochas carbonatadas, amostradas em furos, particulares e camarários, com profundidades entre 65 e 395 metros.

As águas apresentam temperatura entre 16,8 e 26 °C; pH de campo entre 6,8 e 7,74, indicando águas perto da neutralidade; grau de mineralização médio a muito elevado, reflectido pelos valores de condutividade eléctrica que variam entre 692 e 3317 µS/cm.

O anião predominante é o bicarbonato, seguido do cloreto e sulfato; o ião HCO₃⁻ varia de 130 a 420 mg/L; as concentrações de Cl⁻ estão entre 49 e 802 mg/L; o SO₄²⁻ de 50 mg/L a 322 mg/L. O catião predominante é o cálcio, com valores de concentração entre 54 e 202 mg/L; seguido do ião sódio entre 37 e 420 mg/L; o ião Mg²⁺ varia de 16 mg/L a 62 mg/L. A distribuição espacial das fácies hidroquímicas está representada na Fig. 1a, através de diagramas de Stiff.

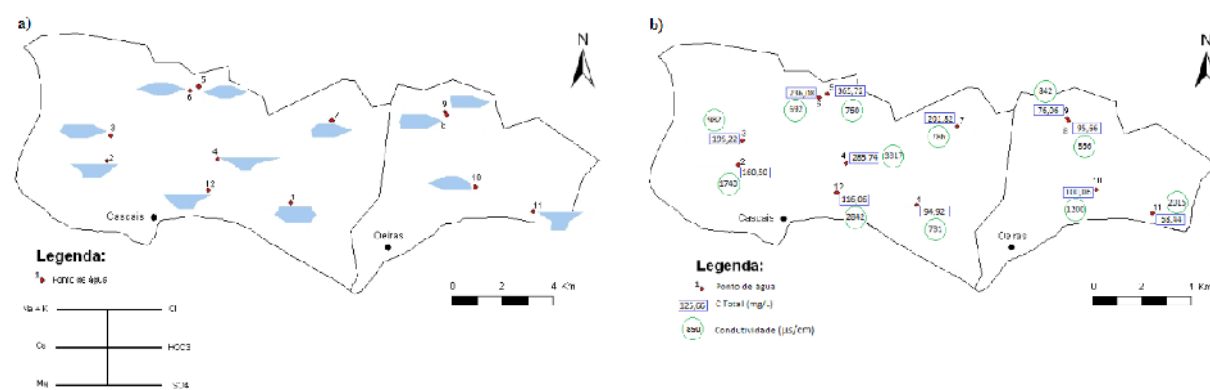


Fig. 1. Distribuição espacial das fácies hidroquímicas das águas estudadas (a) e dos valores de condutividade eléctrica e C Total dissolvido (b).

Tendo em consideração as litologias atravessadas pelas águas em estudo (calcários compactos, calcários margosos e margas) espera-se que a concentração do bicarbonato nas águas varie directamente com o grau de mineralização. A projecção das concentrações de HCO₃ vs Condutividade (Fig. 2a) mostra a ocorrência de um grupo de águas com valores variáveis de HCO₃ para o intervalo de condutividade entre 500 e 1000 µS/cm; outro grupo apresenta valores semelhantes de bicarbonato mas condutividade mais elevada, ultrapassando 3000 µS/cm. Isto é indicador da presença de outros processos de reacção para além dos de simples dissolução de rochas carbonatadas, nomeadamente o enriquecimento em NaCl.

A projecção dos iões Cl vs HCO₃ (Fig. 2b), mostra que as águas mais mineralizadas apresentam maior concentração de cloreto, que é acompanhado pelo aumento do ião de Na. Este enriquecimento pode ter várias origens: 1) dissolução de aerossóis, pela proximidade ao litoral; 2) intrusão salina no aquífero; 3) dissolução de rochas evaporíticas que contenham halite. Todas as águas amostradas estão muito subsaturadas em halite (entre -7 e -5), dando a indicação de que, caso se trate da dissolução de rochas evaporíticas o contacto água-rocha é pequeno; por sua vez este índice estará mais de acordo com processos de mistura com água do mar, apesar da grande distância a que as captações estão do mar.

Não há referências bibliográficas à presença de rochas evaporíticas nesta região, no entanto, Mendonça *et al.* (2004), no estudo das águas termais do Estoril, refere a possibilidade da ocorrência da formação das Margas da Dagorda (*Hetangiano*), em profundidade, tal como acontece em outras áreas da Bacia Lusitânica.

A elevada concentração de SO₄²⁻ em algumas águas poderá ter origem na dissolução de rochas que contenham gesso (CaSO₄), quando acompanhado por valores altos de Ca, ou na contaminação agrícola, quando se verifica a presença de nitratos. À excepção da água de fácies sulfatada cálcica, que apresenta proximidade ao equilíbrio com o gesso, todas as outras estão subsaturadas em gesso; as águas que apresentam valores de SO₄ elevados, mostram sobressaturação em relação à calcite e aragonite, por vezes, em dolomite. Este facto pode resultar da

ocorrência de fenómenos de dissolução sequencial ou corrosão por mistura (Almeida, 1987), com aumento da dissolução de carbonatos devido à dissolução de gesso.

A projecção das concentrações de C Total dissolvido vs pH das águas mostra correlação negativa (Fig. 1b e 2c), dá indicação de outra origem para o C, para além da simples dissolução de rochas carbonatadas, ou a dissolução destes em sistema aberto. Almeida *et al.* (1991) referem que as elevadas quantidades de C nas águas se deve à presença de lignitos como rochas constituintes dos reservatórios. Verifica-se, contudo que as águas com maior concentração de C total estão localizadas sobre alinhamentos definidos na Carta Geológica de Portugal, à escala de 1:50.000, Folha 34C, como falhas. Estudos isotópicos complementares, através da determinação da razão $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ estão a ser efectuados, com o objectivo de, isotopicamente, se separar as diferentes origens do C dissolvido.

As águas estudadas de maior condutividade eléctrica e temperatura (25,7 e 26 °C) (Fig. 2d), captando a profundidades superiores a 102,5 e 96 metros, respectivamente. Estes pontos estão localizados sobre um alinhamento com orientação, sensivelmente, Norte-Sul, que prolongado para Sul coincide com a localização das Termas do Estoril. A água explorada nessas termas emerge à temperatura de 35,5 °C e é captada entre os 135 e 278 m de profundidade (Mendonça *et al.*, 2004). A direcção deste alinhamento coincide com a de falhas de enraizamento profundo presentes na Bacia Meso-Cenozóica Ocidental e associadas a ocorrência de corpos evaporíticos, anomalias térmicas e emergência de águas termais (Ribeiro e Almeida, 1981; Rodrigues da Silva *et al.*, 1996).

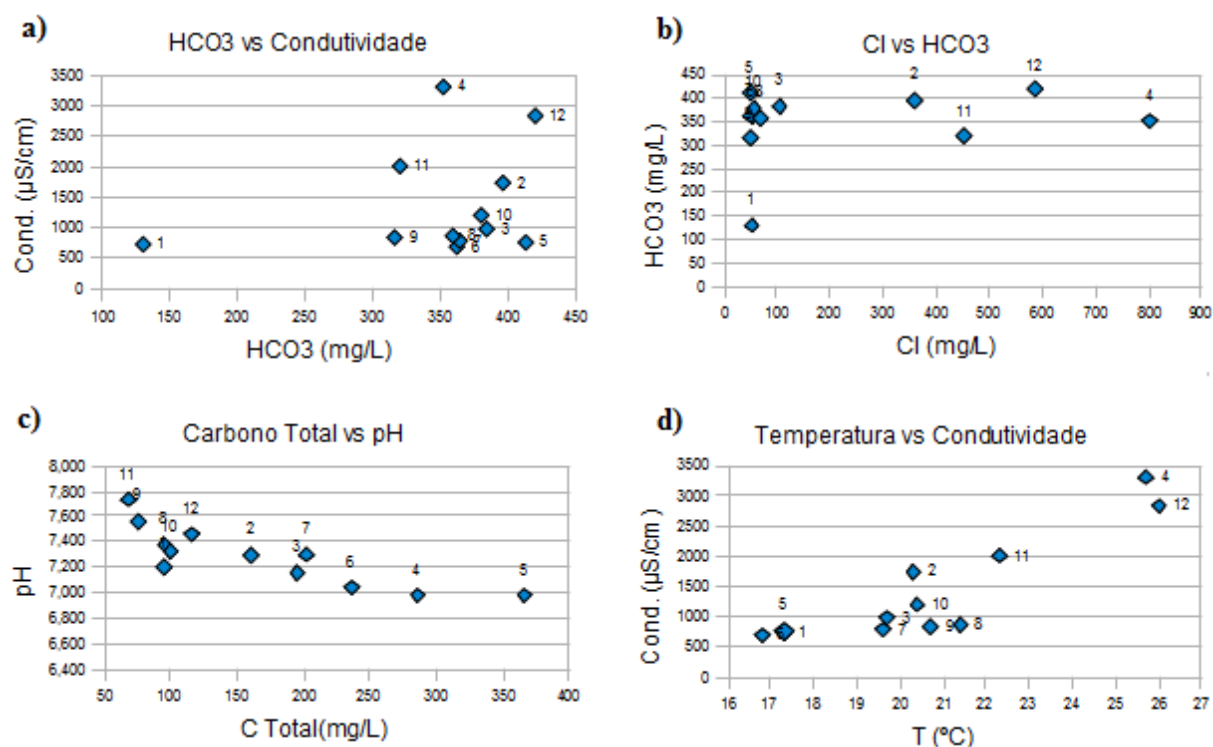


Fig. 2. Relação entre o ião bicarbonato e a condutividade (a), os iões Cloreto e bicarbonato (b), o carbono total e o pH (c) e a temperatura e a condutividade (d).

CONCLUSÃO

Na região entre Lisboa e Cascais ocorrem aquíferos associados às formações carbonatadas do Jurássico e Cretácico (calcários, calcários margosos e margas). As águas aí captadas mostram variabilidade na sua composição química; com fáceis bicarbonatada cálcica, cloretada sódica e a sulfatada cálcica. Algumas apresentam termalismo, com temperaturas entre 21 e 26°C, e outras, enriquecimento em C total dissolvido. As águas termais e cloretadas sódicas são as que possuem maior grau de mineralização. As águas termais dispõem-se ao longo de um alinhamento N-S que engloba as termas do Estoril.

A fáceis cloretada sódica pode ser explicada pela ocorrência de diversos processos: 1) dissolução de aerossóis, pela proximidade ao litoral; 2) intrusão salina no aquífero; 3) dissolução de rochas evaporíticas que contenham halite.

A elevada concentração de SO_4^{2-} em algumas águas poderá ter origem na dissolução de gesso ou contaminação agrícola, mostrando sobressaturação em relação a minerais carbonatados explicável por fenómenos de dissolução sequencial ou corrosão por mistura.

O C Total dissolvido e o pH das águas são indicadores da ocorrência de dissolução de carbonatos em sistema aberto, nomeadamente através da dissolução de lignitos. As maiores concentrações de C total dissolvido são encontradas na zona Oeste da área em estudo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos Serviços de Água e Saneamento de Oeiras, na pessoa do Dr. Domingos Leitão, e a Águas de Cascais, AS, na pessoa do Sr. Eng.º Luís Martins e da Sra. Eng.º. Teresa Vicêncio, pelas facilidades concedidas e ajuda prestada nos trabalhos de amostragem de águas de captações comunitárias. Aos Prof. C. Costa Almeida e Prof. J. Crispim o financiamento e as facilidades concedidas na realização das análises químicas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, C. (1987). Modelação da corrosão por mistura. *Hidrogeologia y Recursos Hidráulicos*, t. XII, p. 755-762.
- ALMEIDA, C.; CARVALHO, M. R.; ALMEIDA, S. (1991) – “Modelação de Processos Hidrogeoquímicos Ocorrentes nos Aquíferos Carbonatados da Região de Lisboa-Cascais-Sintra”. *Hidrogeologia y Recursos Hidráulicos*, t. XVII, oo. 289-304.
- ALMEIDA, C.; MENDONÇA, J.J.L.; JESUS, M.R.; GOMES, A.J., 2000 – “Actualização do Inventário dos Sistemas Aquíferos de Portugal Continental”. Centro de Geologia da Faculdade de Ciências de Lisboa e Instituto da Água.
- JESUS, M. R. R. C (1995) – “Contaminação em Aquíferos Carbonatados na Região de Lisboa-Sintra- Cascais”. Dissertação apresentada à Universidade de Lisboa para a obtenção do grau de Mestre em Geologia Económica e Aplicada, Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências, 137 pp.
- MENDONÇA, J. L.; SILVA, M. O.; BAHIR, M. (2004) - “Considerations the Origin of the Estoril (Portugal) Thermal Water”. *Estudios Geol.*, 60; 153-159.
- RAMALHO, M. M.; REY J.; ZBYSZEWSKI G.; MATOS ALVES C. A.; PALÁCIOS T.; MOITINHO de ALMEIDA, F.; COSTA C.; KULLBERG M. (2001) – “Carta Geológica de Portugal Continental na Escala 1/50000 e Notícia explicativa da Folha 34-C - Cascais”. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- RIBEIRO, A., ALMEIDA, F. M. (1981). Geotermia de baixa entalpia em Portugal Continental. *Geonovas, Rev. Assoc. Portg. Geólogos*, Lisboa, 1(2): 60-71.
- RODRIGUES DA SILVA, A.M., CRUZ, J., LOURENÇO, M.C., RAMALHO, E.C., CORREIA, A. (1996). Low and very low enthalpy geothermal resources in mainland Portugal. *Annual Meeting Portland, Transactions*, vol. 20, 6 pp.