

**Silva, M. L., C. Almeida (1989)**

**Aspectos Hidrogeológicos das Formações Miocénicas  
do Algarve**

Geolis, revista da Secção de Geologia Ec. e Aplicada,  
vol. II(2), p. 115-132.

## ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS DAS FORMAÇÕES MIOCÉNICAS DO ALGARVE

M. Lourenço da Silva e C. Almeida (\*)

## RESUMO

As formações miocénicas do litoral do Algarve Central, embora relativamente homogéneas em termos litológicos, possuem comportamento hidrogeológico diferenciado.

O Miocénico compreendido entre Ferragudo e Armação de Pêra-Alcantarilha é pouco produtivo e possui água de fraca qualidade enquanto que na região entre Albufeira e Monte Negro-Faro constitui aquíferos importantes.

O estudo comparativo de diversos parâmetros físico-químicos determinados em águas provenientes de pontos situados em ambas as zonas, assim como os índices de saturação em relação a alguns minerais, confirma aquela diferenciação.

## ABSTRACT

Although the miocene formations of coastal Algarve are lithologically homogeneous to a certain extent, they have a variable hydrogeological behaviour.

The miocene rocks between Ferragudo and Armação de Pêra-Alcantarilha have little water production and its quality is poor whereas at the Albufeira-Monte Negro-Faro region they form important aquifers.

Comparison of several physical and chemical parameters determined from the waters of both zones, as well as the values obtained for the saturation indices of some minerals, confirm that differentiation.

**INTRODUÇÃO.** As formações carbonatadas do Miocénico do Algarve constituem o suporte de importantes aquíferos que contribuem de forma decisiva para abastecimentos urbanos e para o regadio em toda a zona litoral de Albufeira até Olhão (Fig. 1).

Neste trabalho apresentam-se alguns resultados preliminares de estudos hidrogeológicos que têm vindo a ser efectuados desde 1979 no Miocénico, entre Ferragudo e Olhão, e que constituiram temas de dissertação de doutoramento (ALMEIDA, 1985 e SILVA, 1988).

Trabalhos de hidrogeologia e cartografia realizados pelo Centro de Geologia da Universidade de Lisboa, onde os autores estão integrados, (Carta de Aptidão Hidrogeológica do Algarve, escala 1:100.000 e Carta Litológica do Algarve, escala 1:50.000) indicam que a região compreendida entre Alvor e Alcantarilha é pouco

produtiva: as captações ali existentes são insuficientes para o abastecimento das populações, ao contrário do que acontece na região compreendida entre Albufeira e Olhão.

O presente trabalho tenta caracterizar as propriedades físico-químicas de águas colhidas em pontos pertencentes àquelas regiões e relacioná-las com a circulação subterrânea.

## GEOLOGIA

O Miocénico do Algarve estende-se desde a Praia de Porto de Mós a Oeste, até às imediações de Cacela a Este, possuindo litologia variada e idades que vão do Miocénico Inferior (Burdigaliano) para Oeste de Albufeira, ao Miocénico Superior (Tortoniano) na área de Cacela (RIBEIRO et al., 1979 e PAIS, 1982).

(\*) Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências de Lisboa, Centro de Geologia da Universidade de Lisboa (INIC), Lisboa.

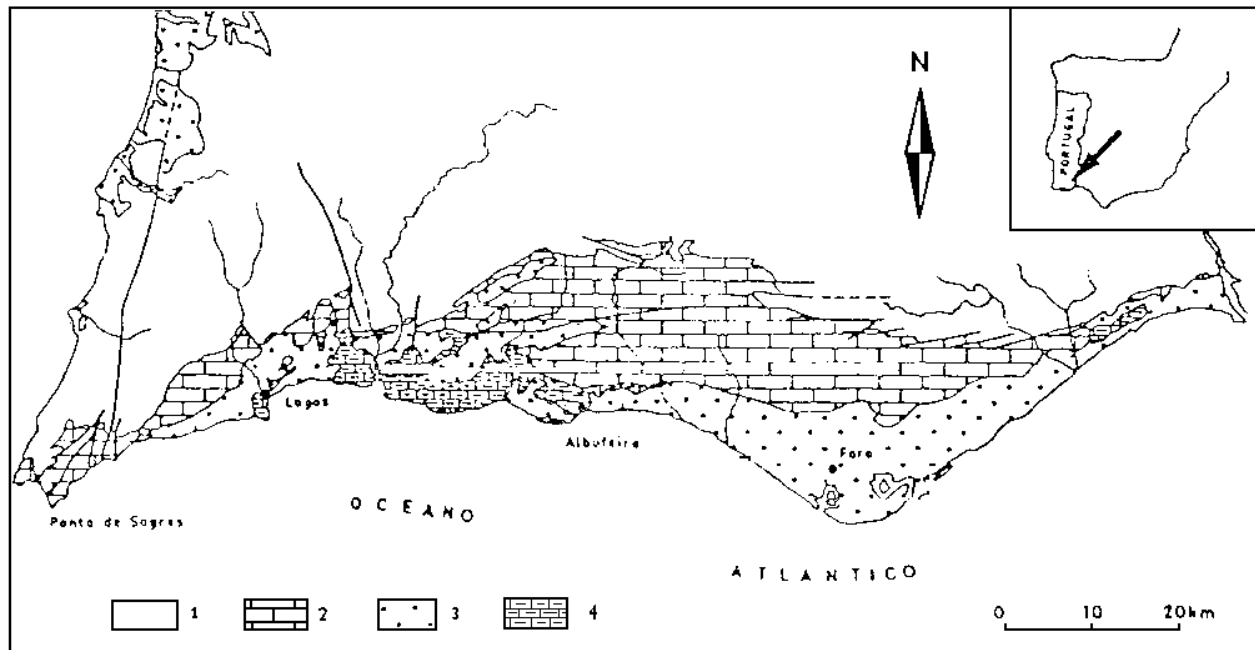


Fig. 1 - Esquema geológico da Orla Meridional (adaptado de Carta Geológica da Portugal é escala 1:500 000).

1 - soco impermeável (Carbónico e Triásico); 2 - calcários e dolomitos permeáveis (Jurássico); 3 - terrenos com permeabilidade baixa a moderada, calcários margosos, margas a arenitos (Cretácico) e arenitos argilosos, aluviões e areias (Plio-Quaternário e Quaternário); 4 - calcários fossilíferos a arenitos carbonatados permeáveis (Miocénico).

A Oeste de Albufeira predominam formações de fácies marinha com bancadas mais ou menos carbonatadas com espessuras que podem atingir 2-3 metros. Para Leste de Olhos de Água as formações carbonatadas desaparecem sob uma cobertura detritica constituída por areias fluviais e marinhas (ROMARIZ et al., 1979; ANTUNES et al., 1981), arenitos argilosos vermelhos plio-quaternários, aluviões e terraços, de idade recente.

O Miocénico carbonatado apresenta-se por vezes bastante carsificado e assente sub-horizontalmente, em discordância, sobre formações jurássicas ou cretácicas. É constituído dum modo geral, da base para o topo, por biocalcarenitos, com grande abundância de fósseis, calcarenitos, calcários margosos e arenitos de cimento carbonatado.

Em Albufeira o Miocénico é interrompido por diapiro pós-Miocénico (TEIXEIRA et al., 1980).

A espessura do conjunto miocénico desde Alvor a Olhão é variável. Sondagens efectuadas para captação de água na Quinta do Lago atravessaram uma espessura total superior a 150 metros. Trabalhos de prospecção geoelectrica efectuados por GEIRNAERT et al. (1982), na zona compreendida entre Faro e Quarteira levaram aqueles autores a sugerir que o Miocénico atinge ali profundidades que variam entre os 100 e os 300 metros. Na área de Carreiros, na Campina de Faro uma sondagem para captação de água mostrou que o

Miocénico se prolonga até uma profundidade que ultrapassa os 280 metros.

Para Oeste de Carvoeiro até Alvor o Miocénico é menos espesso não ultrapassando algumas dezenas de metros. Entre Alcantarilha e Ferragudo é predominantemente aflorante.

## HIDROGEOLOGIA

De acordo com os dados disponíveis de piezometria e com base na estrutura geológica, parece ser de considerar quatro unidades hidrogeológicas distintas, relativamente independentes umas das outras:

- Alvor-Albufeira
- Albufeira-Ribeira de Quarteira
- Ribeira de Quarteira-Montenegro
- Campina de Faro-Olhão

A unidade de Alvor-Albufeira é limitada a Leste pelo anticlinal de Albufeira e é formada pelas subunidades de Alvor a Oeste e de Caramujeira a Leste, separadas pela barreira física que é o rio Arade (SILVA, 1988). O afloramento cretácico de Porches divide parcialmente esta última subunidade.

A piezometria evidencia a existência, na vertical, de diferentes camadas aquíferas, não se dispondo, todavia, de dados que permitam avaliar a intensidade de trocas entre elas.

A unidade de Alvor-Albufeira recebe recarga por infiltração directa e através dos depósitos detríticos que a cobrem nalguns locais e por transferência subterrânea a partir dos calcários jurássicos, a Oeste. Apenas é conhecida uma saída natural, e Fonte do Baraço, na Praia do Barranquinho, aliás de caudal fraco e esporádico.

A unidade de Albufeira-Ribeira de Quarteira é separada da de Ribeira de Quarteira-Montenegro por uma barreira que coincide aproximadamente com o troço final da referida ribeira. De facto os pontos de água situados na sua margem esquerda indicam níveis piezométricos alguns metros (4-5 m) mais elevados do que os da margem direita.

A unidade de Albufeira-Ribeira de Quarteira é um dos sectores hidricamente mais explorados do Miocénico. As extracções para abastecimento público ultrapassam os 2 milhões de metros cúbicos por ano e as extracções para regadio, embora difíceis de contabilizar, são certamente de mesma ordem de grandeza,

Tendo em conta a superfície aflorante do Miocénico e a precipitação média na respectiva bacia hidrográfica de 700 mm/ano (ALMEIDA, 1985), mesmo atribuindo uma percentagem de infiltração superior à que é provável, ter-se-ia uma situação de desequilíbrio grave. No entanto a evolução dos níveis piezométricos não parece corroborar essa hipótese, pelo que há que admitir a recarga do Miocénico a partir dos afloramentos jurássicos situados a Norte (RAZACK et al., 1980) e ALMEIDA, (op. cit.).

Tal recarga não só explicaria o relativo equilíbrio do aquífero como as suas excelentes propriedades hidráulicas que seriam resultado de uma pronunciada carsificação só explicável por uma intensa circulação.

A unidade de Ribeira de Quarteira-Montenegro é constituída por duas zonas separadas pelo afloramento cretácico de Escanxinhas.

Tal como na unidade anterior o Miocénico da região de Quarteira recebe recarga a partir das formações jurássicas situadas a Norte pois encontra-se quase totalmente coberto por depósitos detríticos pouco permeáveis, nalguns pontos francamente impermeáveis, como acontece em Quarteira.

Para Leste do afloramento cretácico acima mencionado a cobertura detrítica assume maior importância, do ponto de vista hidrogeológico, pela sua maior espessura que pode ter valores da ordem dos 80 m constituindo um aquífero freático. Não se dispõem de dados que permitam avaliar a importância das trocas entre as várias camadas aquíferas mas essa troca é pelo menos certa nas captações que dispõem de diversas zonas drenantes.

Os terrenos miocénicos da unidade de Campina de Faro afloram em Galvana e encontram-se geralmente cobertos por arenitos argilosos vermelhos pouco permeáveis ou por depósitos recentes mais permeáveis ande se pratica agricultura intensiva,

Os referidos terrenos foram compartimentados por falhas (GEIRNAERT et al., 1982 e SILVA et al., 1988), onde localmente ocorreu a ascensão de rochas evaporíticas que afloram junto à ponte da Ribeira das Lavadeiras,

Na unidade de Alvor-Albufeira, os caudais obtidos em 7 captações oscilam entre 1,2 e 8 l/s. O único valor de transmissividade disponível (13790 m<sup>2</sup>/dia) foi obtido de ensaio de bombeamento na captação camarária de

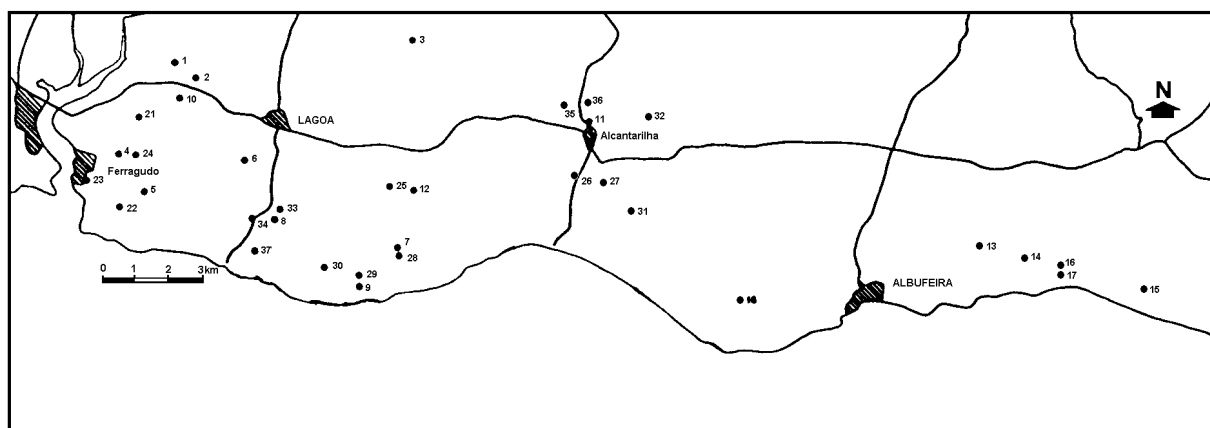


Fig. 2 – Localização dos pontos de amostragem.

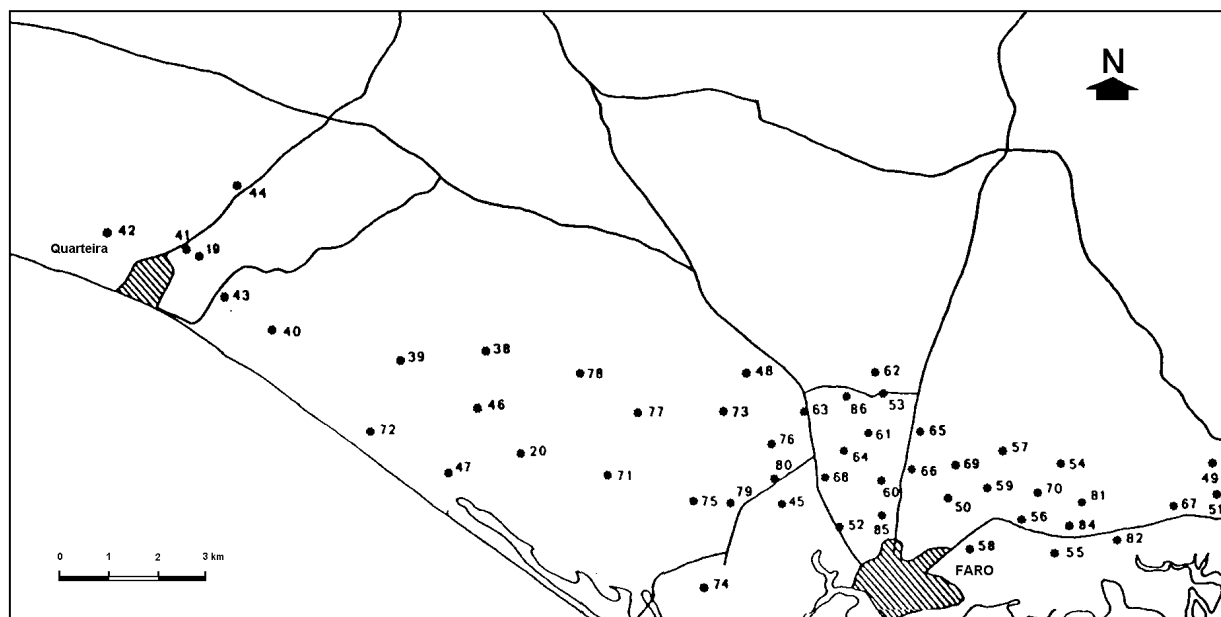


Fig. 3 – Localização dos pontos de água amostrados.

Estômbar (F-6), que decerto capta também das formações mesozóicas subjacentes (SILVA, op. cit.).

Na unidade de Albufeira-Ribeira de Quarteira os caudais oscilam entre 1,3 e 71 l/s (114 captações) e as transmissividades entre 84 e 3080 m<sup>2</sup>/dia (ALMEIDA, op. cit.). Nas unidades de Ribeira de Quarteira-Montenegro e na de Campina de Faro os mesmos estão compreendidos respectivamente entre 1-34,5 l/s (69 captações) e entre 3-36 l/s (32 captações). Valores de transmissividade obtidos na primeira unidade oscilam entre 18 e 2800 m<sup>2</sup>/dia e entre 170 e 285 m<sup>2</sup>/dia na unidade de Campina de Faro (SILVA, op. cit.).

As difusidades hidráulicas obtidas a partir do efeito de maré entre Alvor e imediações de Montenegro estão compreendidas entre 483 e 223130 m<sup>2</sup>/h (ALMEIDA e SILVA, 1983).

#### AMOSTRAREM E ANÁLISES

Entre Outubro de 1982 e Maio de 1983 foram colhidas amostras de água em 88 pontos (Fig. 2 e 3) de que se determinou, no campo, a temperatura, a condutividade, o pH, a alcalinidade e o CO<sub>2</sub>.

No Laboratório de Águas do Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências de Lisboa foram analisados os seguintes parâmetros, usando os métodos indicados:

- sulfato, gravimetria
- cloreto, método de Mohr
- cálcio e magnésio, complexometria pelo EDTA
- dureza total, idem

- sílica, espectrofotometria de absorção
- sódio e potássio, espectrofotometria de absorção atômica

- nitrato, potenciometria

A alcalinidade e o CO<sub>2</sub> foram determinados por titulação com controlo de pH.

As amostras para a análise de nitratos foram previamente tratadas com ácido bórico e a respectiva determinação feita num intervalo de tempo não superior a 24 horas.

Os resultados das análises foram tratados usando uma versão para microcomputador do programa HIDROQ (ALMEIDA, 1979) tendo sido excluídas aquelas que apresentavam um erro de balanço superior a 5%.

Nas tabelas I e II apresentam-se os resultados das medições e análises efectuadas, bem como os índices de saturação, em relação à calcite e dolomite, calculados e a relação Mg/Ca.

#### CÁLCULO DE EQUILÍBRIOS

Para o cálculo dos índices de saturação em relação à calcite, dolomite e gesso utilizou-se o programa INDSAT (ALMEIDA, 1982),

O programa efectua a especiação em nove complexos (CaSO<sub>4</sub><sup>0</sup>, NaSO<sub>4</sub><sup>-</sup>, MgSO<sub>4</sub><sup>0</sup>,

CaHCO<sub>3</sub><sup>+</sup>, MgHCO<sub>3</sub><sup>+</sup>, NaHCO<sub>3</sub><sup>0</sup>, CaCO<sub>3</sub><sup>0</sup>,

MgCO<sub>3</sub><sup>0</sup>, NaCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, calculando as actividades dos iões

HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> e Ca<sup>2+</sup>.

$\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ , a partir das moles livres.

Os coeficientes de actividade foram calculados usando a equação de DEBYE-HUCKELL expandida:

$$\log \gamma_i = -\frac{A z_i^2 \sqrt{I}}{1 + B a_i \sqrt{I}} + bI$$

(TRUESDELL e JONES, 1974)

onde:

$$I = \frac{1}{2} \sum m_i z_i^2, \text{ em que } m_i \text{ representa a molalidade do}$$

ião i (moles livres) e  $z_i$  a respectiva carga.

A e B são constantes dependentes da temperatura

$a$  e  $b$  são parâmetros característicos de cada ião.

Os coeficientes de actividade dos complexos assim como o do  $\text{H}_2\text{CO}_3$  foram considerados iguais a unidade. A presença de outros complexos nomeadamente de potássio, foi ignorada por se considerar que não afecta significativamente os resultados.

Os índices de saturação adoptados neste trabalho foram os seguintes:

$$IS_{\text{calc}} = \frac{a_{\text{CO}_3^{2-}} \cdot a_{\text{Ca}^{2+}}}{KC}$$

$$IS_{\text{dolom}} = \frac{a_{\text{CO}_3^{2-}}^2 \cdot a_{\text{Ca}^{2+}} \cdot a_{\text{Mg}^{2+}}}{KD}$$

$$IS_{\text{gesso}} = \frac{a_{\text{SO}_4^{2-}} \cdot a_{\text{Ca}^{2+}} \cdot a_{\text{H}_2\text{O}}^2}{K_{\text{gesso}}}$$

onde  $a_i$  = actividade do ião i.

A actividade da água foi calculada pela expressão:

$$a_{\text{H}_2\text{O}} = 1 - 0,017 \sum m_i \text{ (GARRELS e CHRIST, 1965).}$$

A especiação acima mencionada foi feita por um método de aproximações sucessivas.

O programa utilizou as equações de equilíbrio constantes da tabela III e, ainda, as seguintes equações de balanço de massa:

$$\text{Ca (total)} = (\text{Ca}^{2+}) + \text{CaSO}_4^0 + \text{CaCO}_3^0 + \text{CaHCO}_3^+$$

$$\text{Mg (total)} = (\text{Mg}^{2+}) + \text{MgSO}_4^0 + \text{MgCO}_3^0 + \text{MgHCO}_3^+$$

$$\text{Na (total)} = (\text{Na}^+) + \text{NaSO}_4^- + \text{NaCO}_3^- + \text{NaHCO}_3^0$$

$$\text{SO}_4 \text{ (total)} = \text{NaSO}_4^- + \text{CaSO}_4^0 + \text{MgSO}_4^0$$

$$\text{HCO}_3 \text{ (total)} = \text{HCO}_3^- + \text{NaHCO}_3^0 + \text{CaHCO}_3^+ +$$

$$\text{MgHCO}_3^+$$

$$\text{CO}_3 \text{ (total)} = \text{CaCO}_3^0 + \text{MgCO}_3^0 + \text{NaCO}_3^-$$

Para verificação da validade dos cálculos efectuados por este programa, fez-se a comparação entre os valores de  $\text{CO}_2$  calculados e os valores efectivamente determinados, tendo-se obtido uma correlação de  $r=0,918$  com uma recta de regressão com pendor praticamente igual à unidade,

## INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

A tabela IV onde se assinala a média empírica ( $\bar{X}$ ), a mediana (M), o desvio padrão empírico (s), o máximo e o mínimo de cada parâmetro, mostra que as unidades de Alvor-Albufeira e de Campina de Faro-Olhão são caracterizados por possuírem teores mais elevados de cloreto e de sódio. O sector de Campina de Faro-Olhão destaca-se dos restantes por possuir concentrações mais elevadas de sulfato, nitrato e de cálcio.

O triângulo aniónico dos diagramas de PIPER (Fig. 4 a 6) mostra que todas as águas se situam entre os tipos bicarbonatado e cloretado.

Exceptuando a unidade de Campina de Faro-Olhão, onde a componente sulfato tem um peso considerável, vê-se que as águas se distribuem entre o tipo bicarbonatado, de mineralização total baixa, e o tipo cloretado de mineralização elevada. Este facto sugere que as águas do primeiro tipo sofreram mistura, em diferentes proporções, com águas cloretadas.

Em geral, nas águas com condutividade superior a  $1200 \mu\text{S/cm}$  predomina o ião cloreto enquanto que nas restantes predomina o ião bicarbonato (Fig. 7). Exceptua-se uma zona central no sector de Alvor-Albufeira onde as águas são do tipo cloretado, embora com condutividade inferior a  $1200 \mu\text{S/cm}$ . Tais águas distinguem-se das restantes, entre outras características, por possuírem um CID (Carbono Inorgânico Dissolvido) muito inferior à média

TABELA III

Equações de equilíbrio e respectivas constantes para temperaturas entre 10 e 25°C

reação	pK				ref.
	10°C	15°C	20°C	25°C	
$K_{CO_2} = a_{H_2CO_3^*} / P_{CO_2} \gamma_{CO_2}$	1,27	1,34	1,41	1,47	(1)
$K1 = a_{HCO_3^-} \cdot a_{H^+} / a_{H_2CO_3}$	6,43	6,43	6,38	6,35	(2)
$K2 = a_{CO_3^{2-}} \cdot a_{H^+} / a_{H_2CO_3}$	10,48	10,42	10,37	10,32	(2)
$KC = a_{CO_3^{2-}} \cdot a_{Ca^{2+}}$	8,42	8,43	8,45	8,48	(3)
$KD = a_{Ca^{2+}} a_{Mg^{2+}} (a_{CO_3^{2-}})^2$	14,52	14,34	14,16	14,00	(2)
$KG = a_{Ca^{2+}} \cdot a_{SO_4^{2-}} \cdot (a_{H_2O})^2$	4,86	4,85	4,85	4,85	(2)
$K3 = a_{Ca^{2+}} \cdot a_{SO_4^{2-}} / a_{CaSO_4^0}$	2,25	2,27	2,29	2,32	(1)
$K4 = a_{Mg^{2+}} \cdot a_{SO_4^{2-}} / a_{MgSO_4^0}$	2,07	2,13	2,19	2,25	(1)
$K5 = a_{Na^+} \cdot a_{SO_4^{2-}} / a_{NaSO_3}$	0,23	0,23	0,23	0,23	(2)
$K6 = a_{Ca^{2+}} \cdot a_{HCO_3^-} / a_{CaHCO_3^+}$	1,01	1,10	1,18	1,26	(2)
$K7 = a_{Mg^{2+}} \cdot a_{HCO_3^-} / a_{MgHCO_3^+}$	0,53	0,66	0,80	0,93	(2)
$K8 = a_{Na^+} \cdot a_{HCO_3^-} / a_{NaHCO_3^0}$	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	(3)
$K9 = a_{Ca^{2+}} \cdot a_{CO_3^{2-}} / a_{CaCO_3^0}$	3,08	3,12	3,15	3,19	(1)
$K10 = a_{Mg^{2+}} \cdot a_{CO_3^{2-}} / a_{MgCO_3^0}$	3,40	3,40	3,40	3,40	(1)
$K11 = a_{Na^+} \cdot a_{CO_3^{2-}} / a_{NaCO_3}$	0,92	1,04	1,16	1,27	(2)

(1) – Calculado a partir da expressão

$$\log K(T) = \frac{\Delta S_r^0(T_r)}{2,303RT} \left\{ T_r - \frac{\theta}{\omega} \left[ 1 - \exp(\exp(b + aT) - c + (T - T_r)/\theta) \right] \right\} - \frac{\Delta H_r^0(T_r)}{2,303RT}$$

(Helgeson, 1969)

onde	$\theta$	=	219	$c$	=	$7,84 \times 10^{-4}$
	$\omega$	=	1,00322	$R$	=	1,9872 (Constante dos Gases)
	$a$	=	0,01875	$T_r$	=	298,15 °K
	$b$	=	-12,741	$T$	=	Temperatura °K

Os dados de  $\Delta S_r^0$  e  $\Delta H_r^0$  foram obtidos em Helgeson (1969)(2) Na ausência de dados de  $\Delta S_r^0$  as constantes de equilíbrio calcularam-se usando a equação de van't Hoff:

$$\log K(T) = \log(T_r) - \frac{\Delta H_{T_r}^0}{2,303R} (1/T - 1/T_r) \text{ os valores de } K(T_r) \text{ e } \Delta H_{T_r}^0 \text{ foram obtidos em}$$

Truesdell &amp; Jones (1974)

(3) Garrels &amp; Thompson (1962)

(4) – segundo SASS et al., 1983

(5) – STUMM e MORGAN, 1970

geral.

Na unidade de Campina de Faro-Olhão a presença da elevado teor da sulfato dá origem a tipos da água um pouco diferentes dos restantes sectores, embora nunca atinjam o tipo sulfatado.

Nos triângulos catiónicos os fenómenos modificadores, nomeadamente a troca iónica, tornam a interpretação menos linear, embora quase todas as águas se distribuam entre os tipo cálcico a sódico,

Verifica-se que, em relação ao nitrato, exceptuando a unidade de Campina da Faro-Olhão, os teores não excedem os valores recomendados pela OMS. No entanto, pode-se afirmar que quase sempre os referidos teores excedem o que seria natural em águas isentas de poluição. Conclui-se, portanto, que, em quase toda a área de estudo, começa a ser preocupante a poluição por nitrato das águas subterrâneas. Essa poluição é certamente motivada pelo uso excessivo de fertilizantes embora possa haver contribuição de outras origens, nomeadamente contaminação orgânica.

É na unidade de Campina de Faro-Olhão que a poluição por nitrato atinge proporções mais alarmantes. Tal deve resultar do facto de ser uma zona onde há muito se pratica uma agricultura intensiva e onde desde há muito se recorre às águas subterrâneas em quantidades significativas, ao contrário das outras

unidades, onde só há poucos anos tal utilização é corrente.

Na unidade referida, em mais da metade dos pontos analisados o nitrato excede 20% do total dos aniões, atingindo num caso os 42%.

Há ainda, que mencionar a ocorrência de teores anormalmente elevados de sulfato, certamente com origem em actividades agrícolas. De facto, verifica-se uma correlação elevada entre o sulfato e o nitrato (Fig. 91). A respectiva recta da regressão, dada pela equação

$$SO_4 = NO_3 \times 0,58 + 11$$

confirma que a proporção média, em peso, daqueles aniões é de cerca de 3 para 5 (ALMEIDA e SILVA, 1987),

Nalguns locais existe uma contribuição proveniente da dissolução da gesso como parece ser o caso do ponto 58 que apresenta o teor mais elevado de sulfato e que fica perto do afloramento gipsífero da Ponte da Ribeira das Lavadeiras.

Nas restantes unidades o sulfato está sobretudo relacionado com a contaminação por águas de origem marinha ou com lixiviação de evaporitos presentes em estruturas diapíricas, como mostra a figura 9 onde se observa claramente dois conjuntos; um correspondente à unidade de Campina de Faro-Olhão e outro aos restantes.

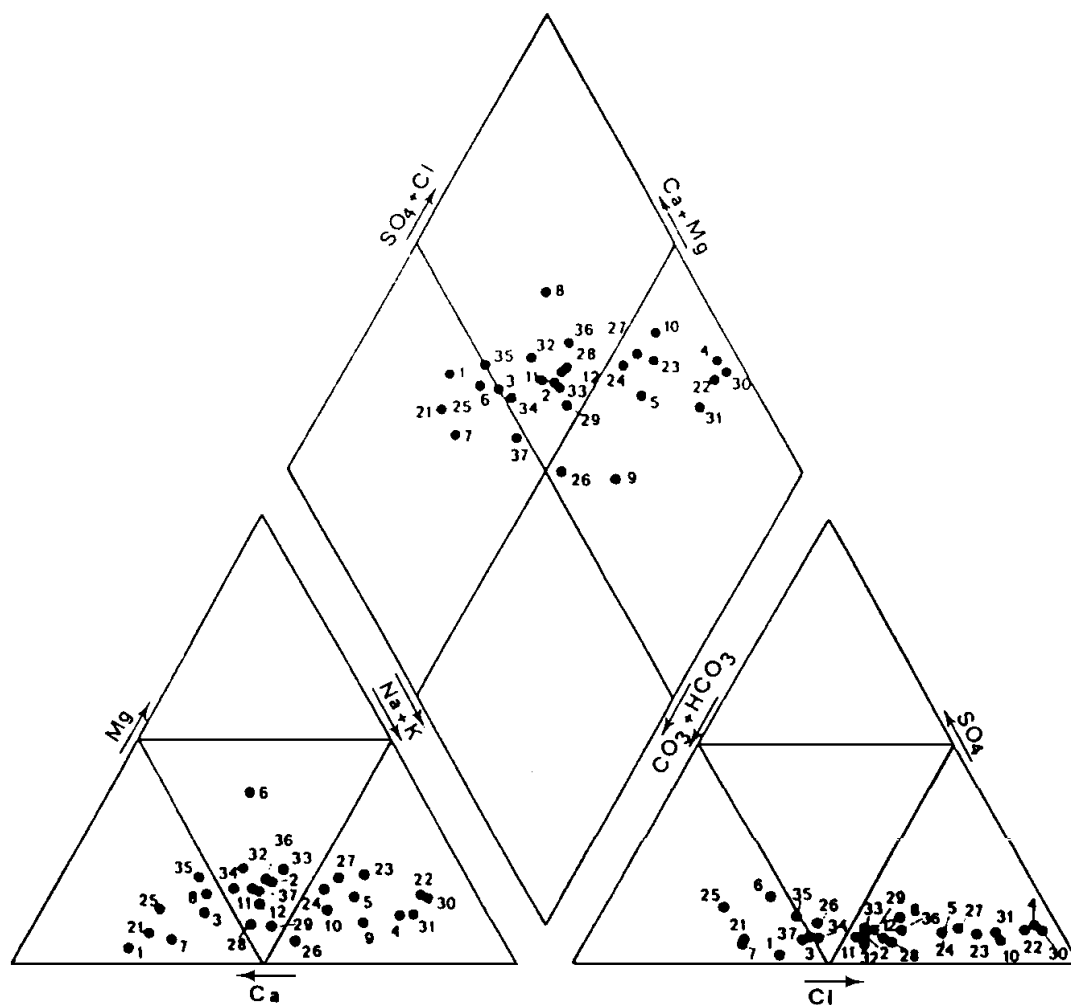


Fig. 4 – Unidade Alvor-Albufeira



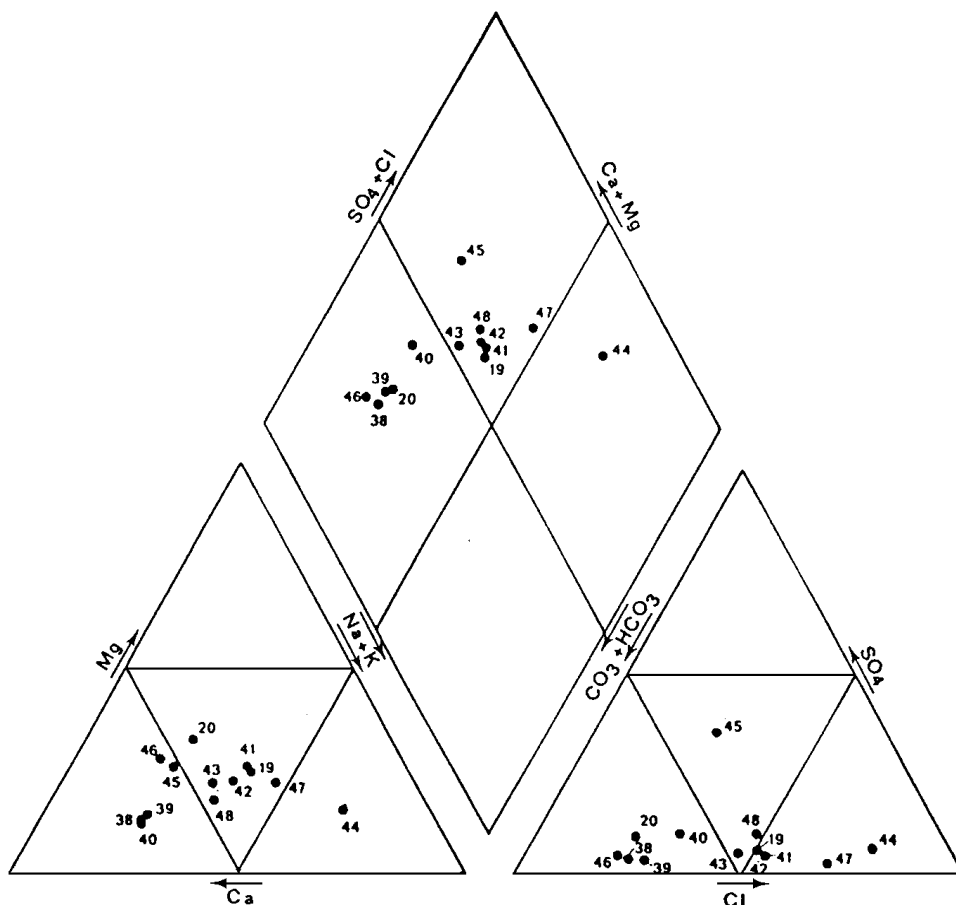


Fig. 5 – Unidade de Ribeira de Quarteira – Monte Negro

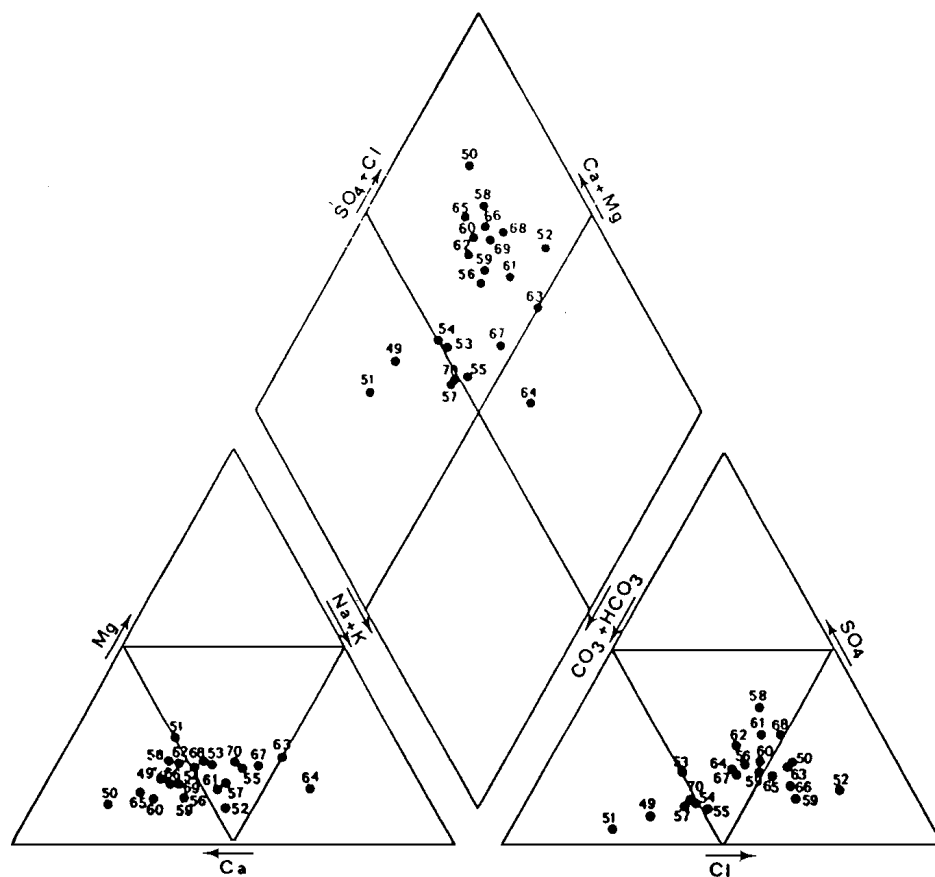


Fig. 6 – Unidade de Campina de Faro

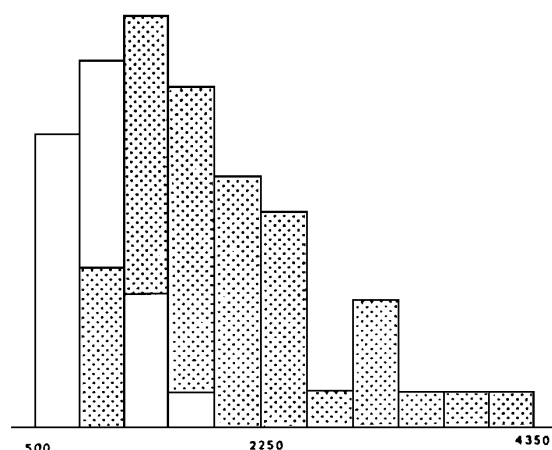


Fig. 7 - Histograma duplo das condutividades das águas bicarbonatadas (a branco) e cloretadas (a ponteadas).

Neste segundo conjunto é nítida a elevada correlação entre o cloreto e o sulfato.

Também a projecção da razão  $r(\text{SO}_4/\text{Cl})$  vs  $\text{NO}_3$  se mostra particularmente elucidativa (Fig. 10), pois em casos de poluição agrícola aquela razão cresce muito, concomitantemente com o aumento de nitrato. Se houver dissolução de gesso não acompanhada da dissolução de cloreto, a razão referida cresce mas não se verifica o aumento de nitrato. Nos casos de aumento de nitrato por decomposição da matéria orgânica a aumento daquela razão não é acentuada.

Na unidade Alvor-Albufeira a distribuição do cloreto e do sulfato é irregular. São frequentes pontos de água com teores elevados, situados em locais afastados do litoral. A elevada mineralização que geralmente se verifica deverá estar relacionada com a presença de estruturas diapíricas não aflorantes, de águas marinhas congénitas ou infiltradas durante a última transgressão e ao insuficiente transporte de sais devido à escassa circulação que esta unidade apresenta.

Na unidade de Ribeira de Quarteira-Montenegro ocorre uma zona a Oeste onde os teores de sulfato e cloreto são mais elevados. As características hidroquímicas de referida zona são semelhantes às encontradas na margem direita daquele ribeira, isto é, no limite Leste do sector de Albufeira-Ribeira de Quarteira (BAPTISTA e CABRAL, 1979; ALMEIDA, 1985).

Tendo em conta e aparente independência daqueles dois sectores, como foi referida anteriormente, e excluindo a hipótese de contaminação por infiltração ao longo do leito daquele ribeira, por este ser efluente,

parece provável que a mineralização provenha de leixivação de rochas evaporíticas injectadas.

Já foi referido anteriormente que os arenitos plio-quadernários formam aquíferos com relativa importância nas unidades de Ribeira de Quarteira-Montenegro e da Campina de Faro-Olhão.

Em geral é difícil de obter amostras representativas destes aquíferos por haver mistura com águas dos aquíferos miocénicos, nos pontos de amostragem. Apesar desta limitação verifica-se a existência de algumas características próprias. Assim, as referidas águas apresentam geralmente temperatura, pH e alcalinidade mais baixas. No entanto o critério distintivo mais seguro é o da forte subsaturação em relação à calcite e à dolomite, podendo os respectivos índices atingir valores 10 e 100 vezes menores do que os dos aquíferos miocénicos (Tabelas I e II).

É evidente também a maior vulnerabilidade em relação à contaminação por actividades agrícolas, existindo em muitos dos pontos amostrados, elevados teores de nitrato e de sulfato.

### EQUILÍBRIO EM RELAÇÃO AOS CARBONATOS

Em geral observa-se uma predominância do equilíbrio, seguindo-se os casos de sobressaturação em calcite e subsaturação em dolomite.

Em relação à calcite, 41% das amostras

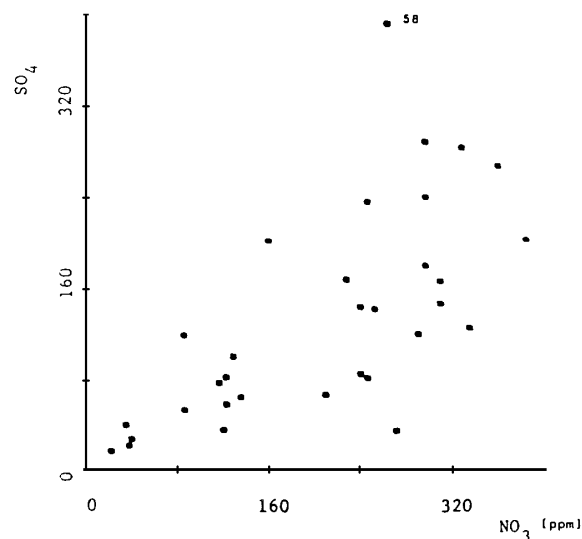


Fig. 8 – Projecção  $\text{NO}_3$  vs  $\text{SO}_4$

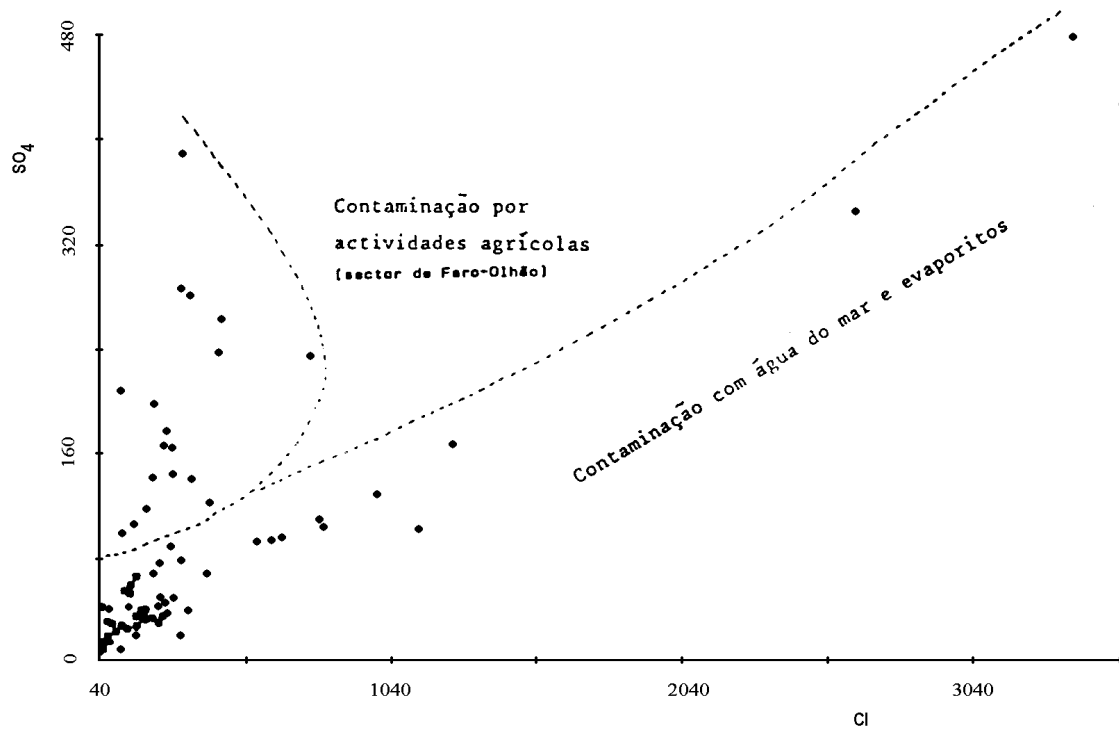
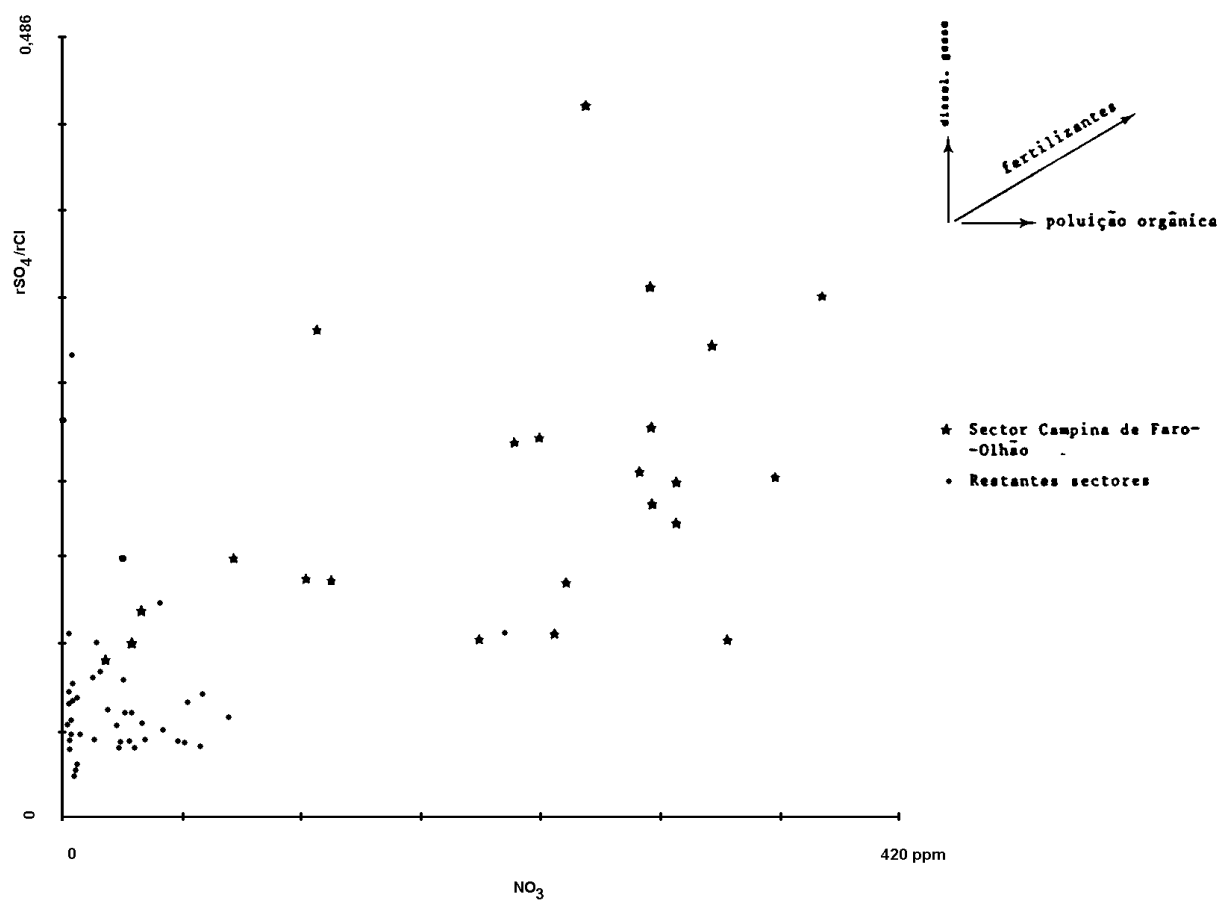
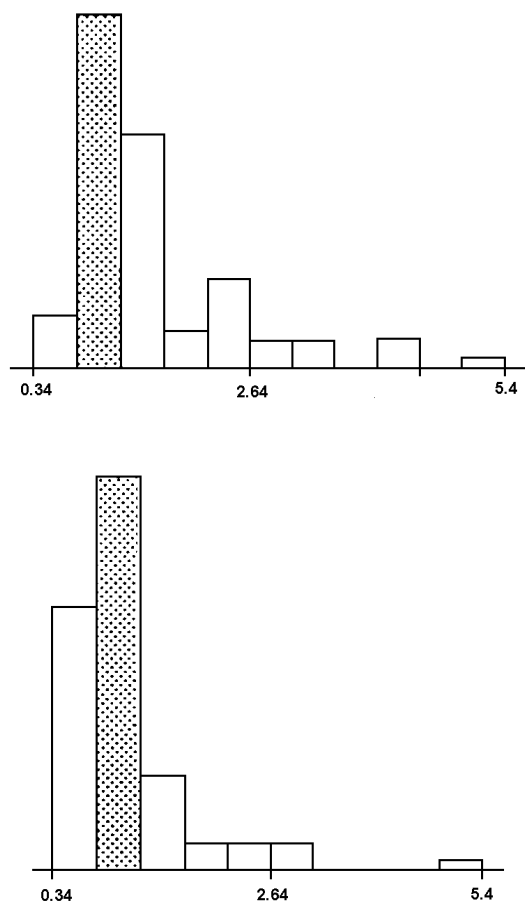


Fig. 9 – Projecção cloreto vs sulfato

Fig. 10 – Projecção de  $NO_3$  – (ppm) vs  $rSO_4/rCl$



Figs. 11a e 11b – Histogramas dos índices de saturação em relação à calcite (11a) e dolomite (11b). A classe correspondente à saturação está sombreada.

estudadas apresentam-se em equilíbrio, 6% estão subsaturadas e 53% sobressaturadas (Fig. 11a). Há, portanto, um ligeiro predomínio da sobressaturação.

Em relação à dolomite, 46% das amostras apresentam-se em equilíbrio, 31% subsaturadas e os restantes 23% sobressaturadas (Fig. 11b). Neste caso predomina o equilíbrio e a subsaturação.

A tendência dos índices de saturação da dolomite serem inferiores aos de calcite é referida frequentemente na bibliografia e foi observada noutros trabalhos (ALMEIDA, 1982). Verifica-se, neste caso, que apenas quatro valores constituem excepção àquela tendência.

Quanto à distribuição regional dos índices de saturação, verifica-se que a unidade de Alvor-Albufeira é caracterizada pela existência de uma zona central de águas mais frias e sobressaturadas, ladeadas por águas mais quentes em equilíbrio (Fig. 12). A Oeste existe, ainda, uma faixa de águas sobressaturadas e mais frias. A sobressaturação destas águas parece ser explicável pela exsolução de  $\text{CO}_2$ . De facto tratando-se de um aquífero livre, cuja parte superior é constituída por areias, estas facilitariam a exsolução, pois o  $\text{CO}_2$  das águas subterrâneas encontra-se sempre a uma pressão parcial superior à daquele gás, na atmosfera. Nenhum dos outros fenómenos a que se recorre habitualmente para explicar a

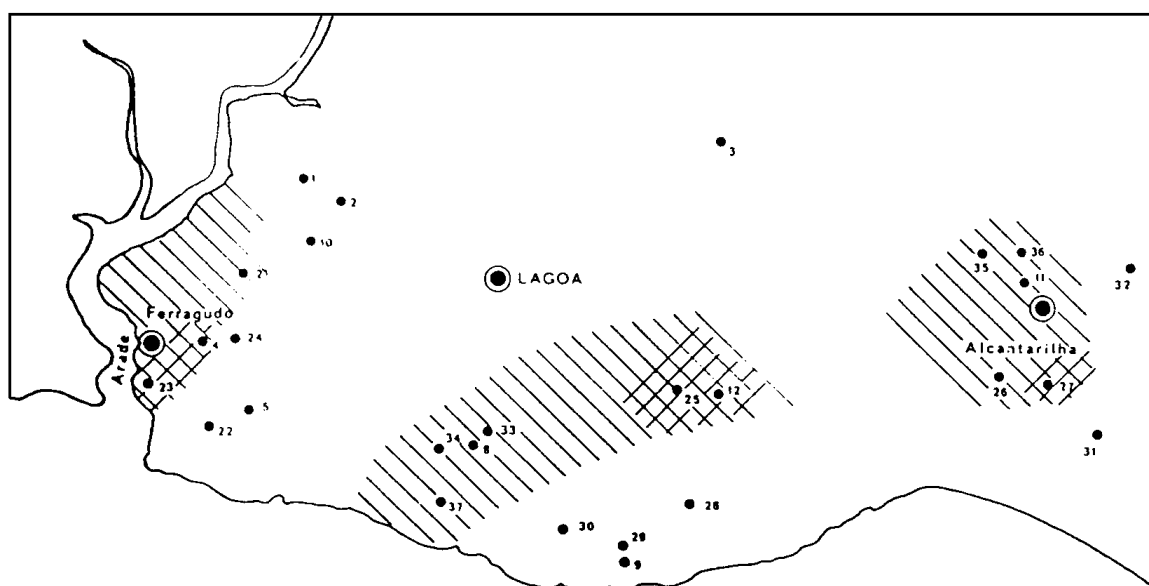
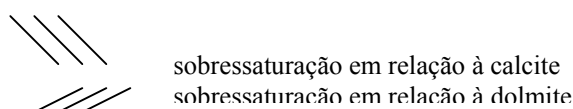


Fig. 12 – Distribuição das zonas de sobressaturação na unidade Alvor-Albufeira.



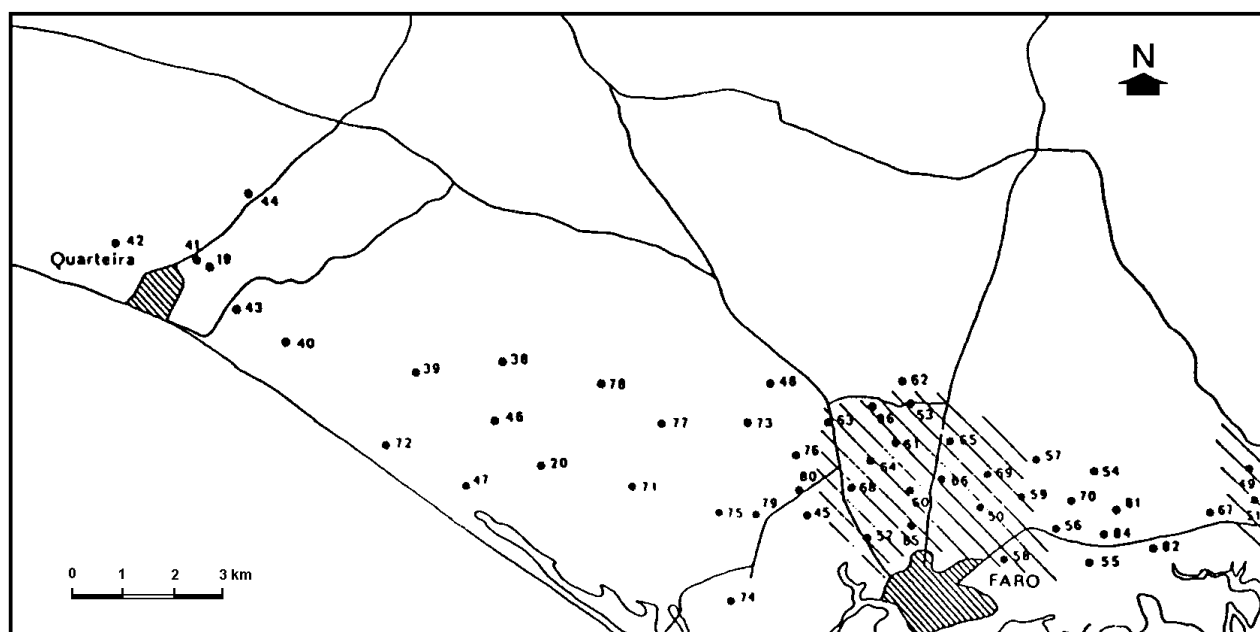


Fig. 13 – Distribuição das zonas de sobressaturação em calcite (a tracejado) na unidade da Campina de Faro-Olhão.

sobressaturação (dissolução de gesso, troca iónica, aumento de temperatura, etc.) é suficientemente consistente com o observado na região.

Nas unidades de Ribeira de Quarteira-Montenegro e Albufeira-Ribeira de Quarteira predomina o equilíbrio. A sobressaturação de algumas águas (pontos de águas 20 e 45) poderá ser explicada pelo aumento de temperatura.

Trata-se provavelmente, de água infiltrada nos afloramentos jurássicos situados a Norte, que circulando em profundidade sofreu aumento de temperatura ficando sobressaturada.

A mistura provável com águas do plio-quadernário, bem como o aumento da força iónica tornariam essa sobressaturação menos acentuada.

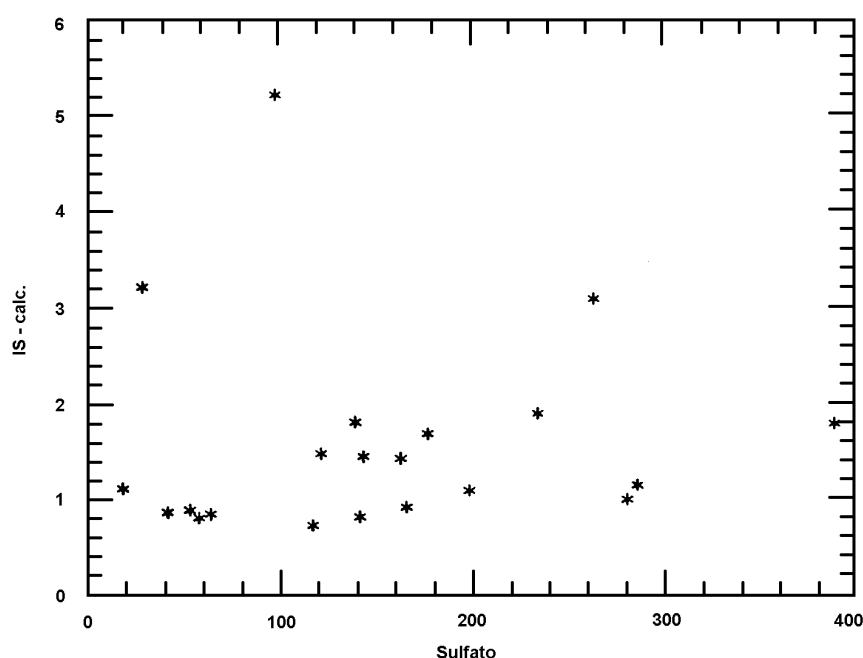


Fig. 14 – Projeção de (ppm) versus Iscalcite das Águas na unidade da Campina de Faro-Olhão. O ponto 53 sai dos limites do gráfico.

Finalmente, há numerosos casos de subsaturação que poderão ser explicados pela mistura de águas. De facto muitas vezes faz-se a captação por um poço com um, ou mais, furos no fundo, sendo, portanto, impossível evitar a mistura de águas de aquíferos diferentes.

Na unidade da Campina de Faro-Olhão predomina a sobressaturação. Apenas há uma mancha de águas em equilíbrio, entre as Ribeiras de Rio Seco e Bela Mandil (Fig. 13).

A causa principal da sobressaturação parece estar associada à actividade agrícola e, localmente, à dissolução de gesso.

A utilização de fertilizantes poderá promover a libertação dos iões  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , adsorvidos, por troca com o ião amónio.

Estas hipóteses parecem ser confirmadas a partir da projecção de valores do ião sulfato versus os índices de saturação (Fig. 14) onde se observa uma correlação bastante significativa entre estas duas variáveis.

## CONCLUSÕES

Na unidade de Alvor-Albufeira a recarga realiza-se *in situ* e as águas são, em geral, fortemente mineralizadas o

que se atribui à existência de águas marinhas congénitas ou infiltradas e ainda não eliminadas por a circulação ser pouco intensa e à presença de estruturas diapíricas.

Nas unidades de Ribeira de Quarteira-Montenegro e de Albufeira-Ribeira de Quarteira parece evidente que além de recarga superficial também existe alimentação em profundidade através de infiltração em formações jurássicas situadas a Norte.

A unidade de Campina de Faro constitui uma zona de agricultura intensiva estando as suas águas sujeitas à contaminação por fertilizantes: os teores de nitrato e sulfato encontrados são alarmantes para a saúde pública.

A existência, em todas as unidades, de pontos de água com elevados teores de cloreto pode ser atribuída a deformações locais da interface (digações e empolamentos), lixiviação de rochas evaporíticas e recirculação da água causada pelo uso continuado desta em regadio.

Em relação aos carbonatos, as águas estão muitas vezes em equilíbrio, sendo os casos de sobressaturação explicados pela exsolução do  $\text{CO}_2$ , adição de cálcio ou aquecimento resultante de circulação profunda.

## BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA, C. (1979) - Programas para calculadora de bolso com aplicações em Hidrogeologia. Boletim do Museu Mineralógico e Geológico da Fac. de Ciências de Lisboa, vol. 16 (1), p. 101-122, Lisboa.

ALMEIDA, C. (1982) – Hidrogeoquímica dos aquíferos carbonatados do Algarve Central. V Semana de Geoquímica, Resumos das Comunicações, Aveiro.

ALMEIDA, C. (1985) - Hidrogeologia do Algarve Central. Dissertação para a obtenção do grau de Doutor em Geologia, Departamento de Geologia da F.C.L. Universidade de Lisboa, pp. 333.

ALMEIDA, C. e SILVA, M. L. (1967) - Incidence of agriculture on water quality at Campina de Faro. Simpósio de Hidrogeologia, Palma de Mallorca, Hidrogeología e Recursos Hídricos (XII), Asociación Española de Hidrología Subterránea, pp. 249-257.

ANTUNES, M. T.; BIZON, G. ; NASCIMENTO, A. ; PAIS, J. (1981) - Nouvelles données sur la datation des dépôts miocènes de l'Algarve (Portugal) et l'évolution géologique regionale. Ciências da Terra, vol. 6, p. 153-168, U.N.L. Lisboa.

BAPTISTA, R.; CABRAL, J. (1979) - Contribuição para o Estudo Hidrogeológico do Miocénico de Albufeira - Algarve. Relatório da Estágio inédito, Departamento de Geologia da F.C.L.

GARRELS, R. M.; CHRIST, C. L. (1965) - Solutions, Minerals and Equilibria. Harper and Row, New York.

GARRELS, R. M.; THOMPSON, M. E. (1962) - A chemical model for sea water at 25°C and one atmosfera total pressure. Am. Jour. of Science, vol. 260, p. 57-86.

GEIRNAERT, W.; VAN BEERS, P. H.; DE VRIES, J. J.; HOOGEVEN, H. (1982) - A geoelectric survey of the Miocene aquifer between Quarteira and Olhão, Algarve, Portugal. III Semana do Hidrogeologia, Volume das Comunicações, Departamento de Geologia da F.C.L.

HELGESON, H. C. (1969) - Thermodynamics of Hydrothermal systems at elevated temperatures and pressures. Am. Jour. of Science, v. 267, p. 729-804.

PAIS, J. J. C. (1982) - Miocénico do Litoral Sul Português - Ensaio de síntese. Estudo complementar para obtenção do grau de Doutor, Universidade Nova de Lisboa.

RAZACK, M.; DROGUE, C.; ROMARIZ, C.; ALMEIDA, C. (1980) - Étude de l'effet de marée océanique sur un aquifère carbonaté cotier (Miocène de l'Algarve - Portugal). Journal of Hydrology, 45, p. 57-69.

RIBEIRO, A.; ANTUNES, M. T.; FERREIRA, M. P.; ROCHA, R. B. et al. (1979) - Introduction à la Géologie de Portugal. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

ROBINSON, R. A.; STOKES, R. H. (1955) - Electrolyte solutions. London Butterworths Scientific Publications.

ROMARIZ, C.; OLIVEIRA, M.; ALMEIDA, C.; BAPTISTA, R.; CARDOSO, J. (1979) - Contributions to the geology of Algarve, Portugal. Bol. Museu Min. e Geológico da F.C.L., vol. 16 (I), p. 243-251.

SASS, E.; MORSE, J. W.; MILLERO, F. J. (1983) - Dependence of the values of calcite and aragonite thermodynamics solubility products on ionic models. Amer. Jour. of Science, vol. 283, p. 218-229.

SILVA, M. J. B. L. (1988) - Hidrogeologia do Miocénico do Algarve. Dissertação para a obtenção do grau de Doutor em Geologia. Departamento de Geologia da F.C.L., Universidade de Lisboa, pp. 496.

SILVA, V. A.; PORTUGAL, A.; FREITAS, L. [1988] - Modelo da fluxo subterrâneo e salinização dos aquíferos costeiros entre Faro e Fuseta. Comun. Serv. Geol. Portugal, t. 72, fasc. 112, pp. 71-87.

STUMM, W.; MORGAN, J. J. (1970) - Aquatic Chemistry. John Wiley and Sons, New York.

TEIXEIRA, C. e GOLÇALVES, F. (1980) - Introdução à Geologia de Portugal. Instituto Nacional de Investigação Científica, Lisboa.

TRUESDELL, A.; JONES, B. F. (1974) - WATEQ A Computer Program for calculating Chemical Equilibria of Natural Waters. U.S.G.S. Jour. Research, vol. 2, p. 233-248.