

Boletim IG. Instituto de Geociências, USP, V. 5: 33 – 45 – 1974
**REAVLIAÇÃO HIDROQUÍMICA DA REGIÃO DE CASABLANCA,
MARROCOS**

por

M. Louvrier

Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Orléans, France

M. Szikszay

Instituto de Geociências, Depto de Geologia Geral, USP, São Paulo, Brasil

ABSTRACT

The object of this study was to reinterpret the chemical analyses of the ground waters from the region of Casablanca, Marocco, by the method of automatic treatment (computer IBM 360/40 – 128k octets). For this, various parameters of the programs HYCH, PIPER, HISTO and GRAD (elaborated at the Bureau de Recherches Geologiques et Minières, Orléans, France) were used.

Ground water analyses were arranged in seven groups, according to the lithology of the places where the water samples were collected.

The diagrams of Piper showed three distinct groups, of samples (A, B, C) according to different chemical compositions, irrespective of sampling criteria.

The interpretation of the results was mostly based on the study of the diagrams of Piper. The histograms and graphics completed the study of the diagrams.

There is a relationship between the chemical composition of the ground waters and the lithology of the outcropping rocks. It seems, that the ground waters are more influenced by the rocks they infiltrate, than weathered rocks and sediments where the waters circulate, suggesting mixtures of waters from the ground waters and infiltrated waters.

RESUMO

A finalidade deste estudo foi a reavaliação de dados de análises das águas subterrâneas da região de Casablanca, Marrocos, pelos métodos de processamento automático (computador IBM 360/40 – 128k octetos). Para isto, vários parâmetros dos programas HYCH, PIPER, HISTO e GRAD (elaborados no *Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Orléans, França*), foram utilizados.

As análises da água subterrânea foram agrupadas em sete grupos, de acordo com a litologia do lugar da coleta.

Os diagramas de Piper mostraram tres grupos distintos de amostras (A, B, C) de acordo com a composição química, independente do lugar de amostragem.

A interpretação dos resultados foi baseada, principalmente, no estudo dos diagramas de Piper. Os histogramas e gráficos, completaram o estudo dos diagramas.

Existe uma relação entre a composição química das águas subterrâneas e a litologia das rochas aflorantes. Parece que as águas subterrâneas são mais influenciadas pelas rochas que elas infiltram, do que rochas alteradas e sedimentos em que elas circulam, sugerindo mistura de águas do aquífero e de infiltração.

ABREVIACOES UTILIZADAS

- RS	resíduo seco
- mg/l	milgrama por litro
- meq/l	miliequivalente por litro
- NUM	número de tratamento das análises
- G	número de grupo
- AT	Alcalinoterrosos: Ca = Mg
- AC	Alcalinos: Na = K
- CS	C l = SO ₄

INTRODUAO

Com a finalidade de reavaliar os dados de análises das águas subterrâneas da região de Casablanca, Marrocos, e seu significado, foram utilizados métodos de tratamento automático por computador. Os dados foram obtidos no trabalho de Monition e Nrat de Lesguisé (1960) que reuniram resultados químicos e físicos de 550 pontos de amostragem, das águas subterrâneas na região. Esta se situa na parte setentrional do continente africano e possui clima semi-rido atenuado pela proximidade do Oceano Atlântico. A precipitao anual atinge cerca de 400 mm.

Os autores acima referidos estabeleceram o mapa hidrogeológico de Casablanca, na escala de 1:50000. Este mapa foi elaborado como objetivo de dar apoio a uma série de pesquisas geotécnicas, ao estudo dos problemas de abastecimento de águas da cidade de Casablanca e a utilizao dos lenois subterrâneos na agricultura e indústria.

As análises químicas foram conduzidas no *Laboratoire de la Division des Mines et de la Géologie du Ministre de l'Economie Nationale*, Rabat, Marrocos.

HIDROGEOLOGIA

Monition e Nrat de Lesguisé (1960) distinguiram cinco unidades litológicas na região, que se caracterizam pelos seguintes materiais:

a. Solos e argilas do Quaternário: argilas arenosas, aluvionares de terraos pouco extensos e espessos, não tendo grande influência na hidrologia; argilas aluvionares salgadas do litoral, ricas em cloro, que contribuem no enriquecimento das águas subterrâneas neste elemento, as quais são generalizadamente influenciadas pela proximidade do mar; solos vermelhos areno-argilosos de permeabilidade variável; argilas quaternárias, impermeáveis e com intercalao detrítica.

b. Calcários marinhos com *lumachelles* do Plio-Quaternário: nas quais encontram dunas fósseis que são boas estruturas reservatório.

c. Margas e calcários do Cretáceo e do Mioceno: as margas do Mioceno constituem o nível de base impermeável do lenol dos calcários referidos em b. Os calcários do Cretáceo são mais permeáveis.

d. Rochas do Permo-Triássico: os basaltos encontram-se com localizao restrita, alterados, permeáveis e ligados com as argilas gipsosas de origem lagunar; estas argilas têm grande importância na composio química das águas subterrâneas que circulam em contato com as mesmas.

e. Rochas do Cambriano e Ordoviciano: quartzitos de pouca porosidade e com permeabilidade de fissuras; xistos relativamente pouco permeáveis, mas que permitem circulao da água na parte superficial por estarem alterados; complexo heterogneo alterado de xistos e quartzitos; a circulao da água depende da alterao das rochas e das suas fissuras.

METODOLOGIA

Para a reinterpreto hidroquímica, foram utilizados vários parâmetros dos programas HYCH, PIPER, HISTO e GRAD, elaborados pelo *Bureau de Recherches Géologiques et Minires, B.R.G.M., Orléans, Frana*. Em resumo, esses programas desenvolvem os seguintes cálculos:

HYCH — O programa HYCH faz os cálculos preliminares indispensáveis a todos os estudos hidroquímicos. Ele fornece os seguintes resultados: a transformação dos pesos dos elementos expressos em mg/l em meq/l; o cálculo do erro sobre o balanço iônico para a verificação da validade das análises; as percentagens dos cátions e ânions; os índices de troca de bases; as relações Mg/Ca, Na/Ca e SO₄/Cl; as somas: AT, AC e CS; as somas dos cátions e ânions.

Este mesmo programa pode ainda desenvolver um certo número de cálculos de relações características, cujos numeradores e denominadores podem ser escolhidos à vontade do usuário.

PIPER — O programa PIPER traça automaticamente o diagrama do mesmo nome. O diagrama de Piper compreende um losango e dois triângulos equiláteros, cujos lados são divididos em 10 partes iguais, correspondendo a uma percentagem dos íons ou a soma dos íons do mesmo sinal (Monition, 1966).

A análise é representada por 3 pontos: os correspondentes ao conteúdo em ânions e ao de cátions nos triângulos de base. O terceiro ponto é localizado no losango, indicando os caracteres da água em função dos conteúdos em Na+K, Ca+Mg, CO₃+HCO₃ e Cl+SO₄. Os dados necessários para realização deste traçado são as concentrações, em percentagem, dos elementos maiores, Ca, Mg, Na, K, Cl, SO₄, CO₃ (= HCO₃+CO₃) e NO₃, expressos em meq/l, assim como uma identificação das amostras (NUM).

HISTO — O programa HISTO seleciona e traça na forma de histograma os valores analíticos, ou relações entre eles, obtidos nas amostras, e a respectiva curva de frequência acumulada.

As amostras no diagrama são representadas simultaneamente por: seu número de tratamento (NUM) e seu número de grupo (G), ou ainda simplesmente por uma cruz (+).

Deste programa foi utilizado a relação de resíduo seco com os grupos litológicos.

GRAD — Este programa fornece automaticamente gráficos que relacionam 2 variáveis (na abcissa e ordenada) com os valores limites, inferiores e superiores, determinados pelo usuário.

O diagrama de repartição das amostras em função de todas as combinações de parâmetros 2 a 2 (concentração, pH, resistividade, razão característica, etc.) permite observar se existe correlação entre os parâmetros e se existem famílias de amostras que se distinguem por meio deles. Estes diagramas de repartição são muito mais ricos em informação e menos sujeitos às interpretações tendenciosas que um simples valor de coeficiente de correlação (Soley e Vuillaume, 1970, pág. 5).

Dos gráficos fornecidos por este programa foram utilizados os que relacionam: a concentração dos elementos químicos e a profundidade; o resíduo seco e a profundidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fim de determinar a influência das unidades litológicas sobre a composição química das águas, Monition e Nérat de Lesguisé (1960), reagruparam as unidades descritas anteriormente, tomando por base a litologia do aquífero e não as unidades aflorantes. Esse mesmo reagrupamento foi adotado no presente estudo e ele é referido a seguir:

- Grupo 1 — quartzitos — Paleozóico
- Grupo 2 — xistos — Paleozóico
- Grupo 3 — complexo xisto-arenoso — Paleozóico
- Grupo 4 — argilas vermelhas gipsosas — Permo-Triássico
- Grupo 5 — basaltos — Permo-Triássico
- Grupo 6 — margas e calcários — Cretáceo
- Grupo 7 — calcários arenosos — Plio-Quaternário
- Grupo 8 — litologia sem determinação

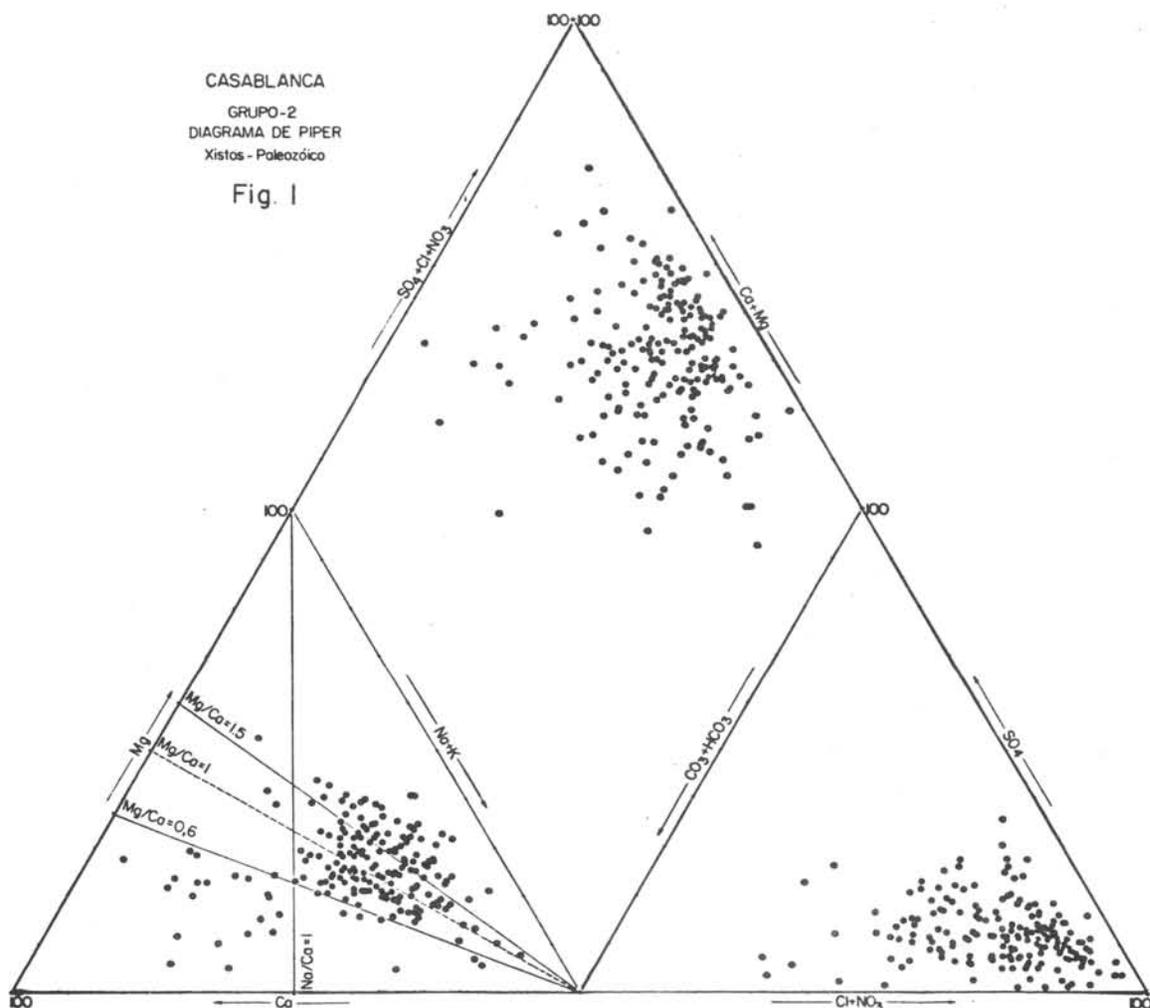
HYCH – O programa HYCH permitiu inicialmente verificar a validade das análises dos Laboratórios de Rabat, Marrocos (análises efetuadas entre 1948 e 1951). Entre 541 amostras de águas estudadas, 41 apresentaram desequilíbrio iônico ($\geq 8\%$). Estas análises foram omitidas. Na verdade, entre os 8 íons maiores considerados, somente Ca, Mg, Cl, SO_4 e CO_3 foram dosados em laboratório. Os nitratos nunca foram dosados e as concentrações em Na e K foram estimadas pela diferença entre as somas de cátions e ânions em miliequivalente por litro.

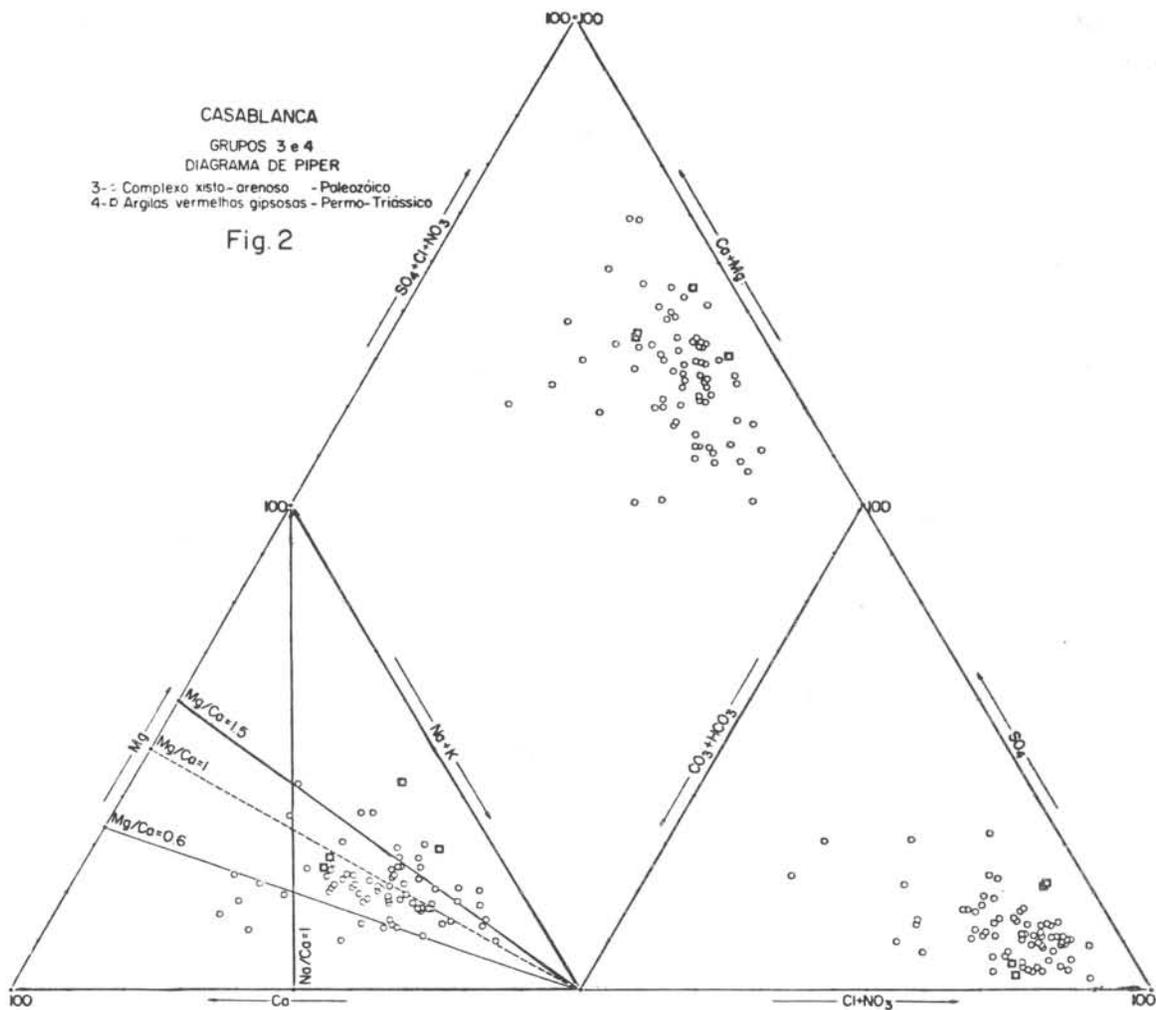
DIAGRAMA DE PIPER – Os dados foram tratados segundo o reagrupamento das unidades litológicas do aquífero descrito acima.

Quando um grupo tinha número reduzido de amostras, vários grupos foram representados sobre o mesmo gráfico. A distribuição das amostras correspondentes aos vários grupos, encontra-se ilustrada nas Figuras 1, 2, 3 e 4.

O losango do diagrama de Piper é a combinação dos dois triângulos dos cátions e ânions. Neste losango duas famílias de águas de características catiônicas e aniônicas diferentes podem se confundir. Portanto, é importante estudar a distribuição dos pontos não somente no losango mas também no triângulo.

Xistos – (Grupo 2, Figura 1): Dois conjuntos se distinguem no triângulo dos cátions. Suas características gerais se encontram na tabela seguinte:





Conjunto A

$Mg < Na < Ca$

$Mg/Ca < 0,6$

$Na/Ca > 1,0$

Conjunto B

$Ca < Mg < Na$

$Mg/Ca > 0,6$

$Na/Ca < 1,0$

No triângulo dos ânions a distinção entre os dois conjuntos não é clara; no entanto, observa-se que as águas do conjunto A são, relativamente mais ricas em bicarbonatos.

No losango observa-se a mesma distinção entre conjuntos A e B que a referida no triângulo dos cátions.

Complexo xisto-arenoso - (Grupo 3, Figura 2): Apesar do número das amostras ser menos representativo, distinguem-se duas famílias que têm as mesmas características que os dos conjuntos A e B do Grupo 2, quer nos triângulos, quer no losango.

Quartzitos - (Grupo 1, Figura 4): As águas que Monition e Nérat de Lesguisé (1960) atribuíram aos quartzitos, apresentam no diagrama de Piper a mesma distribuição que já foi observada nos diagramas precedentes, relativos às águas das rochas paleozóicas.

Calcários arenosos – (Grupo 7, Figura 3): Os pontos correspondentes a estas águas formam um conjunto com as características seguintes:

Conjunto C

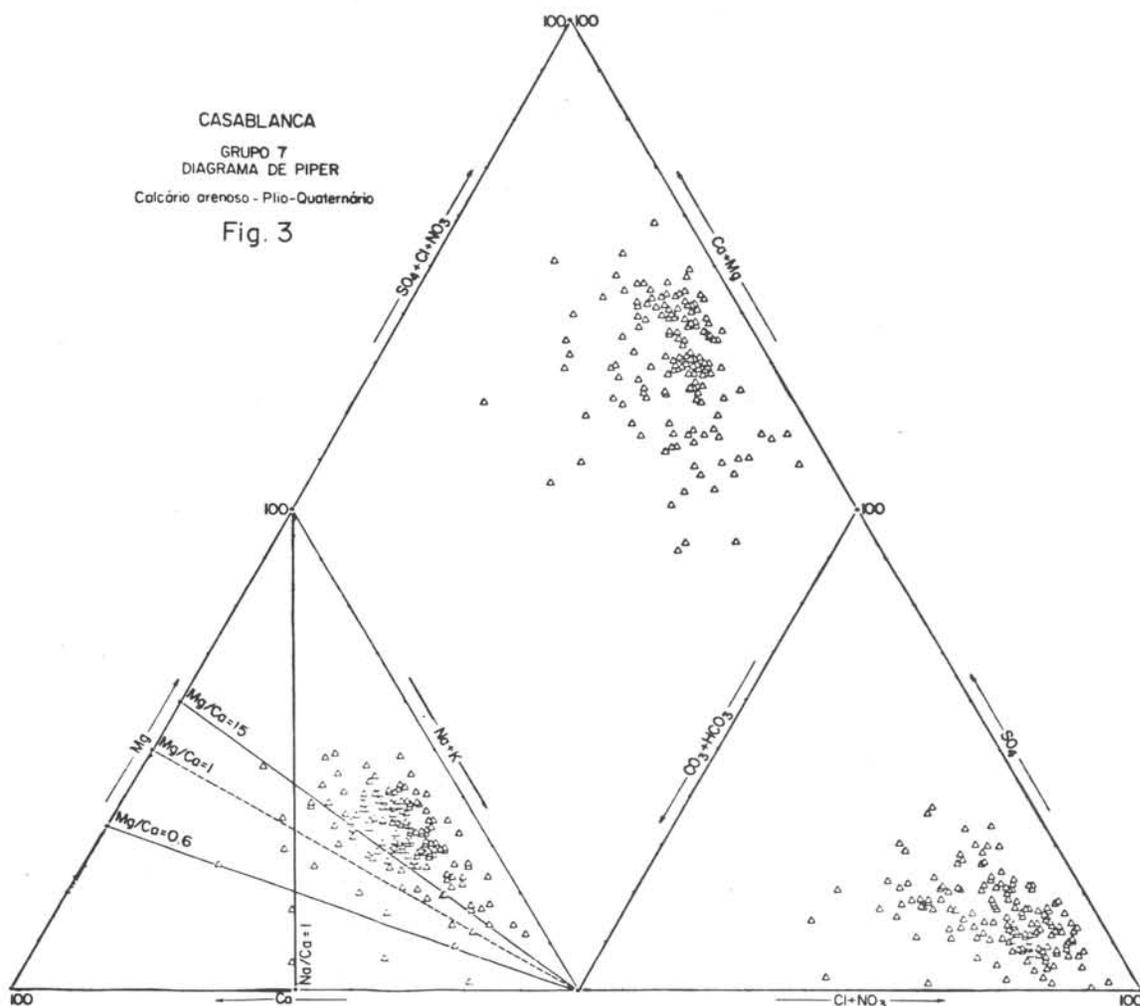
$$\text{Ca} < \text{Mg} < \text{Na} \quad \text{Mg/Ca} > 1,5 \quad \text{Na/Ca} \gg 1,0$$

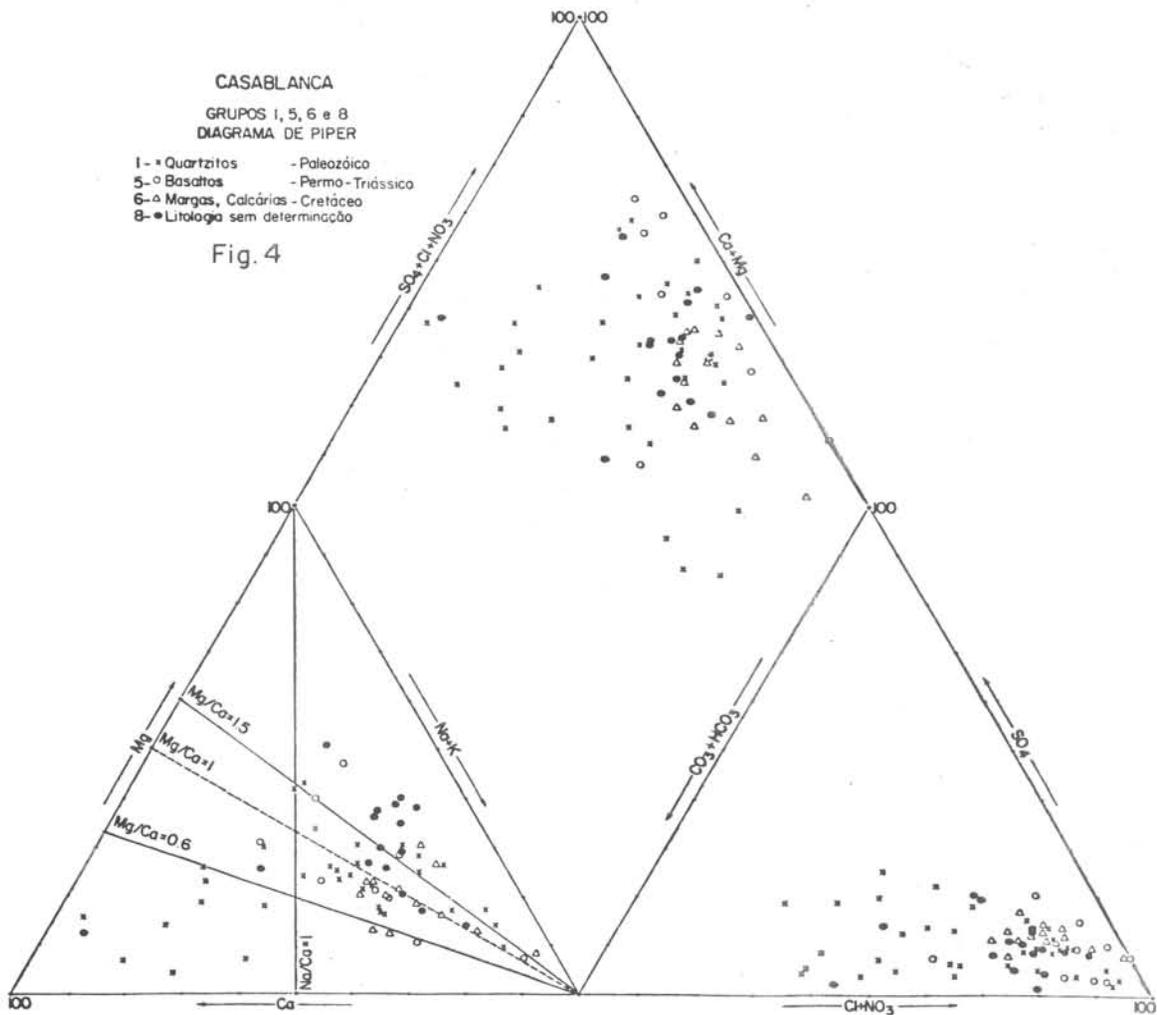
Margas e calcários (Grupo 6, Figura 4): As águas coletadas nas margas e calcários do

Cretáceo são caracterizadas pela razão: $\text{Mg/Ca} = 1,0$.

Algumas águas se distinguem pela razão Mg/Ca , às vezes mais elevada, às vezes mais baixa, por estarem mais ou menos influenciadas por calcários ou argilas superficiais.

Basaltos – (Grupo 5, Figura 4) e *argilas vermelhas gipsosas* (Grupo 4, Figura 2): De acordo com Monition e Nérat de Lesguisé (1960), os basaltos estão quase sempre ligados





às argilas vermelhas gipsosas. Estes dois grupos são representados por um total de 13 análises. Consta-se que tanto os cátions como os ânions se repartem em duas famílias. Os dois apresentam proporções variáveis em Na e Cl, porém, se distinguem pela razão Mg/Ca e SO_4/Cl :

$0,6 < Mg/Ca < 1,5$ $SO_4/Cl < 2$
(semelhantes às águas do conjunto B)

$1,5 < Mg/Ca$ $SO_4/Cl > 2$
(semelhantes às águas do conjunto C)

Litologia sem determinação – (Grupo 8, Figura 4): A litologia para águas deste grupo não foi determinada. As águas deste grupo foram coletadas nos poços situados nas zonas cobertas por argilas quaternárias que parece ter influenciado consideravelmente a composição química destas águas, como indicam os resultados analíticos obtidos.

As águas atribuídas inicialmente às 7 litologias diferentes, reagrupam-se em 3 famílias principais, cujas características gerais são apresentadas na Figura 5.

As águas do tipo *A* são em geral ricas em Ca e os ânions dominantes são HCO_3 e Cl. Sua distribuição geográfica está representada na Figura 6. Elas estão principalmente localizadas ao longo da falha limitando o planalto de Berrechid. Elas foram coletadas na zona onde os quartzitos afloram, ou no limite com eles.

As águas do tipo *B* apresentam concentrações relativamente altas em Na e Cl. Elas localizam-se ao S e SW de Casablanca (Figura 7) onde afloram os cordões de dunas calcárias do Plio-Quaternário e as argilas interdunares. A maioria dessas águas foi coletada nos poços que atingem rochas paleozóicas (xistos).

A distribuição dos pontos correspondentes das águas do tipo *B*, no triângulo dos cátions do diagrama de Piper representa uma composição intermediária entre as águas do

DIAGRAMA DA ANÁLISE DA ÁGUA
(seg. Piper, U.S. GEOLOGICAL Survey)

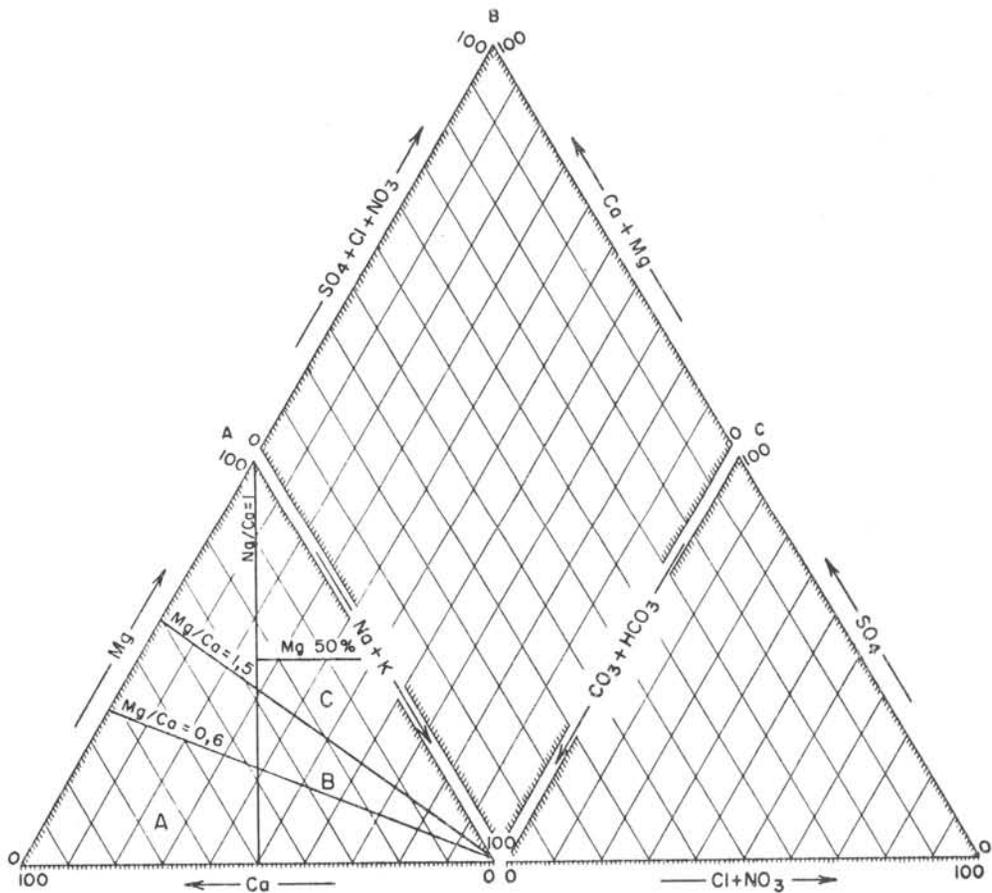


Fig 5- Distribuição das famílias químicas "A", "B" e "C" no diagrama do Piper (triângulo dos cations)

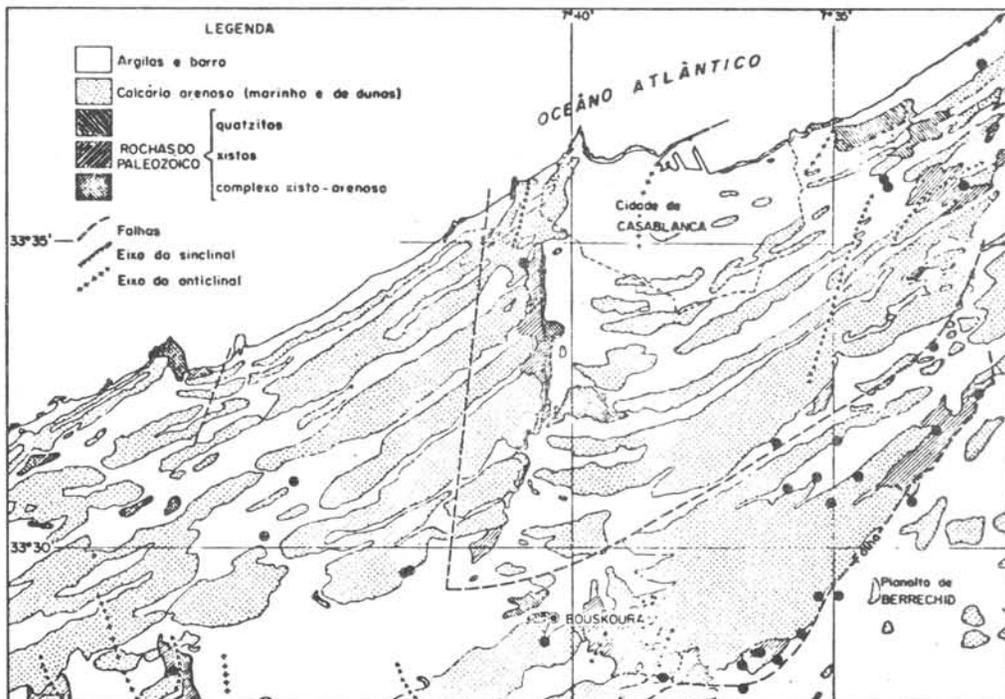


FIG.6

DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DAS ÁGUAS DO TIPO "A" (●)
 (Mapa hidrogeológico seg. L. Monition e M. Nérat, de Lesguise)

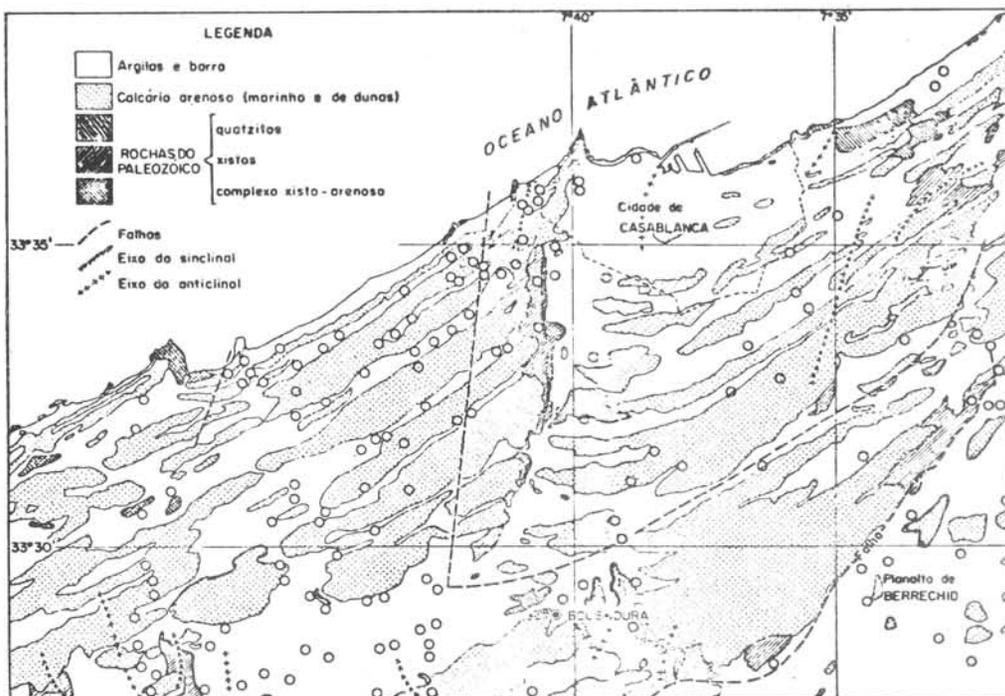


FIG.7

DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DAS ÁGUAS DO TIPO "B" (○)
 (Mapa hidrogeológico seg. L. Monition e M. Nérat, de Lesguise)

tipo A e das do tipo C. O valor da razão característica Mg/Ca indica a influência mais ou menos marcada da litologia da superfície.

Mg/Ca < 1,0 – influência das dunas calcárias
Mg/Ca > 1,0 – influência das argilas

As águas do tipo C são ricas em Na e Cl. A distribuição geográfica dessas águas está representada no mapa da Figura 8. A comparação entre esta distribuição e o mapa hidrogeológico de Casablanca mostra uma coincidência não com os calcários aflorantes, mas com as duas principais zonas recobertas pelas argilas ou seja a banda de terreno abrangendo a cidade de Casablanca, indo à Bouskoura, depois na direção SW e do planalto de Berrechid.

Os resultados foram essencialmente baseados sobre o estudo de dois grandes grupos de águas que Monition e Nérat de Lesguis (1960) atribuíram ao Paleozóico (quartzitos e xistos) e ao Plio-Quaternário (calcários). O número das amostras destes grupos (302 e 155) é suficientemente grande para que conclu-

sões estatísticas sejam aceitas. As outras litologias (margas, calcários, basaltos e argilas vermelhas gipsosas) são representadas por um número pequeno de amostras para que se possa tirar conclusões válidas.

TRAÇADO DOS HISTOGRAMAS – HISTO

Os histogramas de repartição do resíduo seco em relação aos Grupo 2 (xistos), Grupo 3 (complexo xisto-arenoso) e Grupo 7 (calcários), mostram que 95% das águas apresentam resíduo seco entre 200 mg/l e 4200 mg/l. Estes valores foram adotados como limites inferiores e superiores de dispersão da distribuição estatística desses dados. Os valores foram distribuídos em 20 classes (intervalo de classe = 200 mg/l).

Grupo 2: O histograma apresenta 4 modas correspondentes às classes seguintes: 800 mg/l; 1600 mg/l; 2400 mg/l e 3400 mg/l. A classe 2400 mg/l apresenta a frequência máxima.

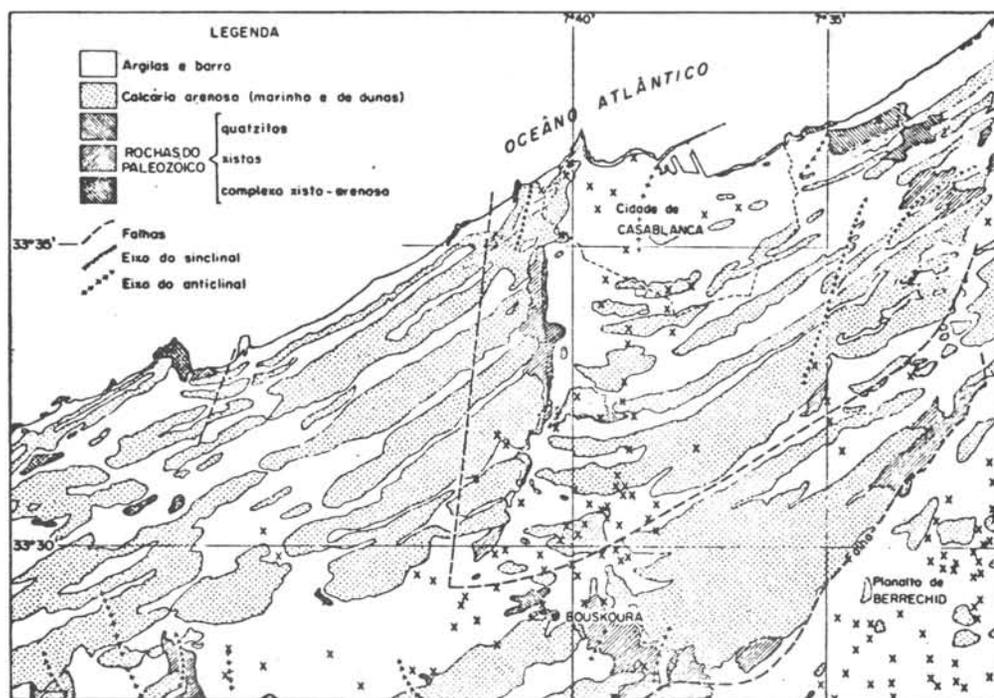


FIG. 8
DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DAS ÁGUAS DO TIPO "C" (x)
(Mapa hidrogeológico seg. L. Monition e M. Nérat de Lesguis)

HISTOGRAMA DOS RESÍDUOS SECOS DAS ÁGUAS DOS TIPOS "A", "B" e "C"

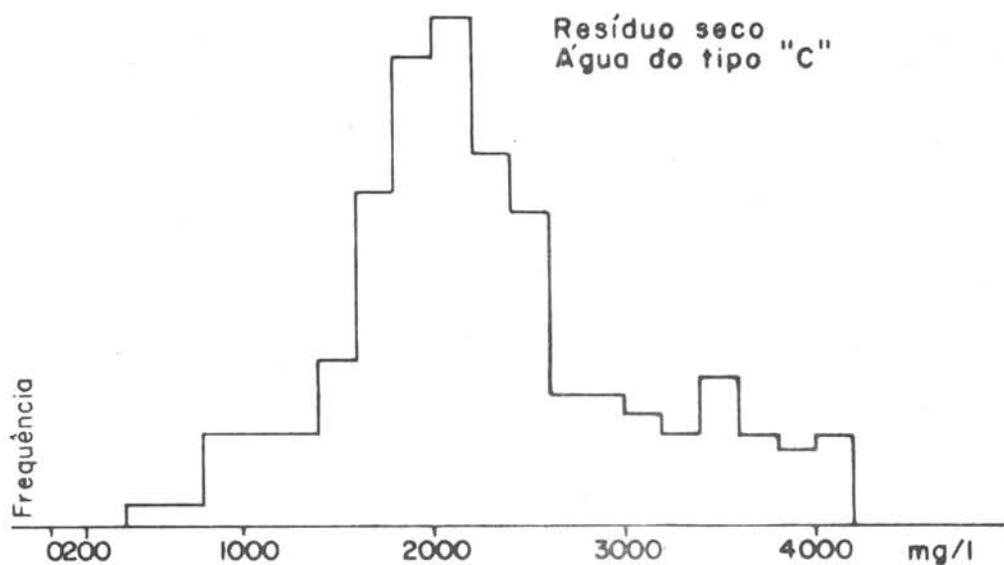
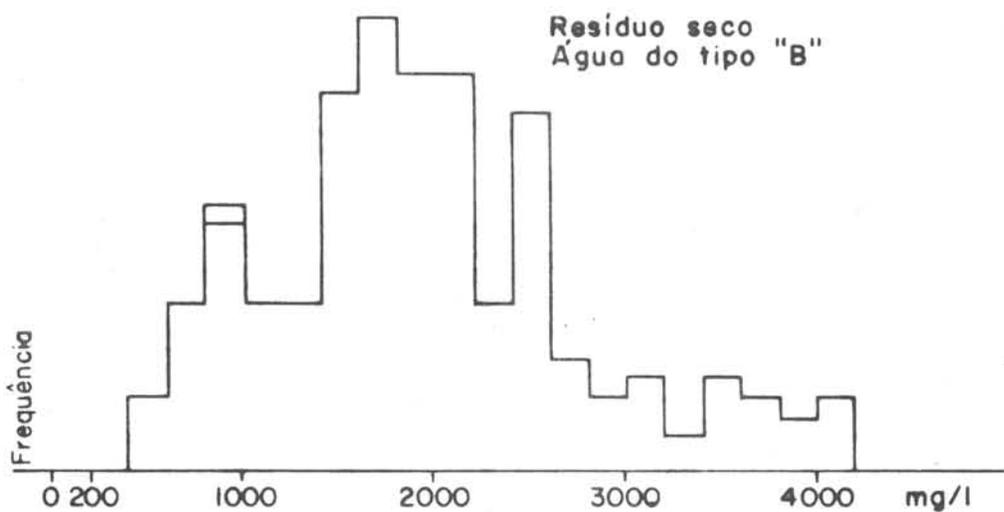
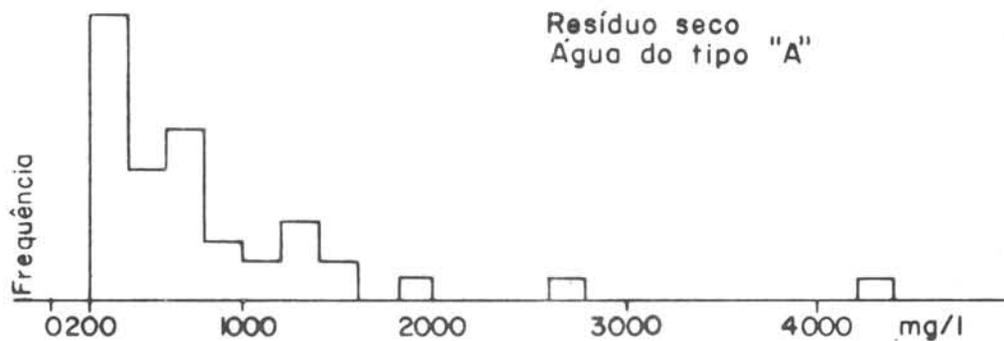


Fig. -9

Grupo 3: Observa-se uma só moda que corresponde ao intervalo: 1600–2000 mg/l.

Grupo 7: Uma moda bem individualizada a classe correspondente a: 2000–2200 mg/l, apresenta a frequência máxima.

Depois do estudo do triângulo dos cátions do diagrama de Piper, tres famílias de águas foram definidas. Os grupos 2, 3 e 7 definidos por Monition e Nérat de Lesguisé (1960), compreendem cada uma das águas das 3 famílias A, B e C. Os histogramas dos resíduos secos (Figura 9) mostram que os valores que caracterizam as 3 famílias das águas são os seguintes (valores de classes com frequência máxima):

200 a 400 mg/l	A
1800 mg/l em média	B
2000 a 2200 mg/l	C

A natureza litológica da rocha onde as águas do tipo A foram coletadas, assim como a forma da circulação dessas águas nas fissuras dos quartzitos e na falha ao longo do planalto de Berrechid, poderia explicar suas fracas concentrações em elementos dissolvidos. O fácies dessas águas é essencialmente aquela das águas de infiltração. As águas que percolam as argilas (tipo C) contem, em geral, mais elementos dissolvidos do que as águas do tipo B, cuja composição química indica influência de várias litologias: xistos, calcários e argilas.

TRAÇADO DOS GRÁFICOS — GRAD

Concentração dos elementos químicos — Profundidade — Não é possível generalizar conclusões a partir de poucas análises. Por isso, não se pode provar que a profundidade e o clima são fatores dos quais depende a composição química das águas subterrâneas. A distribuição estatística das concentrações de diferentes sais em função da profundidade para diferentes tipos de águas, não permite estabelecer que exista uma correlação clara entre concentração e profundidade. Não se pode constatar se há relação direta entre as concentrações de cada

elemento e o teor de resíduo seco.

Resíduo seco — Profundidade — A comparação do mapa de salinidade (resíduo seco em mg/l) e o mapa de profundidade do lençol indica geralmente que zonas de salinidade forte são superpostas às zonas de pouca profundidade do nível piezométrico (Monition e Nérat de Lesguisé, 1960). Esta relação deveria ser evidente sobre um gráfico bidimensional que relaciona o resíduo seco com a profundidade. O gráfico construído pelos autores com o conjunto dos pontos de coleta da região, assim como o obtido neste estudo com as amostras dos grupos 1, 2, 3 e 7, mostram concentração elevada dos pontos com cerca de 20 m de profundidade e resíduos secos variáveis. Alguns pontos de grande profundidade e fraco resíduo seco, ou profundidade pequena e resíduo seco grande, são pouco numerosos para permitir afirmar que o resíduo seco esteja estreitamente ligado à profundidade da superfície piezométrica.

CONCLUSÕES

As diferentes etapas deste estudo foram orientadas, principalmente, pelo estudo do diagrama de Piper, sobretudo pela distribuição dos pontos no triângulo dos cátions. Os histogramas e os gráficos completaram o estudo dos diagramas e permitiram comparações com parâmetros químicos e físicos. Eles são mais explícitos que simples números como médias e coeficientes de correlação.

Este trabalho deve traduzir as relações que existem entre a composição química das águas subterrâneas e a litologia. A cada água, portanto, foi atribuída uma litologia de origem, o que quer dizer, a litologia que o poço atravessou na maior parte. Os resultados dos diagramas de Piper, histogramas e gráficos bidimensionais não permitiram observar uma existência de relação de água-litologia, segundo esta classificação. As águas correspondentes a 7 litologias: quartzitos, complexo xisto-arenoso, xistos, calcários, margas, basaltos e argilas vermelhas gip-

osas, foram reagrupadas em 3 famílias químicas definidas principalmente a partir dos diagramas de Piper. As distinções são, essencialmente, baseadas nos cátions. Constatou-se que existe uma relação entre a composição química das águas e a natureza litológica das rochas da superfície. Parece que as águas que foram coletadas nos poços da região de Casablanca são mais influenciadas pelas rochas nas quais elas se infiltram (argilas, calcários) do que pelas rochas nas quais a água do lençol circula (xistos, calcários). Esta constatação permite dizer que as águas coletadas não traduzem somente a

composição química do lençol, mas uma mistura da água do lençol e água de infiltração. De fato, as coletas foram efetuadas, na maioria das vezes, em poços na superfície do lençol e não nas perfurações seguindo o bombeamento. As águas adquirem composição química durante a travessia da zona não saturada, antes de atingir o lençol.

Agradecimentos — Queremos agradecer ao Dr. L. Monition que nos ajudou, aconselhou e nos beneficiou com seu conhecimento profundo da região de Casablanca.

BIBLIOGRAFIA

1. HAZAN, R. et FERRE, M. — 1964 — *Notice Explicative de la carte Hydrogéologique de la Plaine de Ber-Rechid*. Office Nat. des Irrigations, Serv. des Ressources en Eau, Royaume du Maroc.
2. MARGAT, J. — 1961 — *Les eaux salées au Maroc*, Serv. et Mémoires du Service Géologique, nº 151.
3. MONITION, L. et NÉRAT DE LESGUISÉ, M. — 1960 — *Notice Explicative de la Carte Hydrogéologique de la Région de Casablanca* — Notes et Mémoires du Service Géologique, Maroc, nº 131.
4. MONITION, L. — 1966 — *Les graphiques a base Trilineaire Representatifs de la composition chimique des eaux souterraines. Le diagramme en Losange*. — Direction d'Hydrogéologie du B.R.G.M. — D.S. 66.A01.
5. SCHOELLER, H. — 1962 — *Les Eaux Souterraines* — Massons & Cie., Editeurs, Paris.
6. SCHOELLER, M. — 1963 — *Recherches sur l'acquisition de la composition chimique des eaux souterraines*. — Imprimerie E. Drouillard, Bordeaux.
7. SOLETY, P. et VAUILLAUME, Y. — 1970 *Possibilités actuelles de traitement automatique par ordinateur des données Hydrochimiques*. — Programmes HYCH — HISTO — GRAD — AFACO — Direction du Serv. Géol. National du B.R.G.M. — 70 SGN — 233 HYD.