

## ESTUDO PETROFÍSICO DE ROCHAS CALCÁRIAS DA BEIRA LITORAL

POR

P. M. R. R. PROENÇA CUNHA (1)

**RESUMO** — O estudo de treze rochas calcárias é iniciado pela caracterização petrográfica, com o recurso à observação macroscópica, ao microscópio óptico e à análise química. Seguidamente o estudo incide sobre as características petrofísicas, nomeadamente a porosidade aberta, massas volúmicas, porometria (estudo qualitativo da distribuição dos poros em função dos seus acessos), superfície específica, coeficiente de saturação e velocidade sónica longitudinal.

**ABSTRACT** — Petrophysical study of calcareous rocks from Beira Litoral (Portugal). The first part deals with the petrographic characterization by means of macroscopical and microscopical description, and chemical analysis. The second part describes some physical characteristics of the rock material such as: porosity, unit weight, pore size distribution (distribution of the volume of pores as a function of their diameter), specific surface, saturation coefficient, and measure of the longitudinal waves velocity.

### 1. INTRODUÇÃO

O estudo de rochas carbonatadas reveste-se de um certo interesse, não só pela grande variedade de texturas que

---

(1) Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico, Universidade de Coimbra, 3049 Coimbra Codex.

podem apresentar, mas também pela diversidade das suas utilizações.

Recentemente tem-se vindo a atribuir uma importância crescente ao conhecimento do meio poroso, principalmente porque é do volume e das dimensões dos poros que vai depender em larga medida a capacidade de retenção e de movimentação de diversos fluidos no interior da rocha. É indiscutível que a água desempenha uma acção fundamental, uma vez que a sua presença em poros modifica os comportamentos mecânicos e térmicos, e é causa de «deteriorizações» das rochas, quer por via física ou química.

## 2. CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA DAS AMOSTRAS ESTUDADAS

### 2.1. Caracterização através da observação directa

A posição geográfica das amostras pode observar-se na fig. 1. Apresenta-se na tabela 1 uma descrição analítica sintética e uma classificação (tendo sido adoptada a proposta pelo grupo de ELF-AQUITAINE construída a partir das classificações de FOLK e de DUNHAM).

### 2.2. Análise química

As determinações de MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, e Sr foram feitas por absorção atómica, após ataque das amostras com ácido azótico, perclórico, fluorídrico e solubilização em HCl (6N) dos respectivos resíduos secos obtidos. A reprodutibilidade analítica para o Mg foi de 2,0. O Ca foi determinado por titulação com EDTA, segundo o método descrito em VOINOVITCH *et al.* (1962). A reprodutibilidade analítica obtida para o Ca foi de 2,0. Na tabela 2 apresentam-se os valores encontrados para o CaO, MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Sr em cada uma das amostras, e também os valores das relações Ca/Mg e Sr/Ca.

Nas amostras A1, A2, SO e CN não foi observado resíduo após solubilização em HCl. Estas amostras e também a PO, podem ser consideradas calcários puros com um teor em CaCO<sub>3</sub> superior

a 95 % (PO —95,4 %; SO —96,1 %; CN —96,4 %; VE —97,8 %; A1 —98,8 % e A2 —99,4 %).

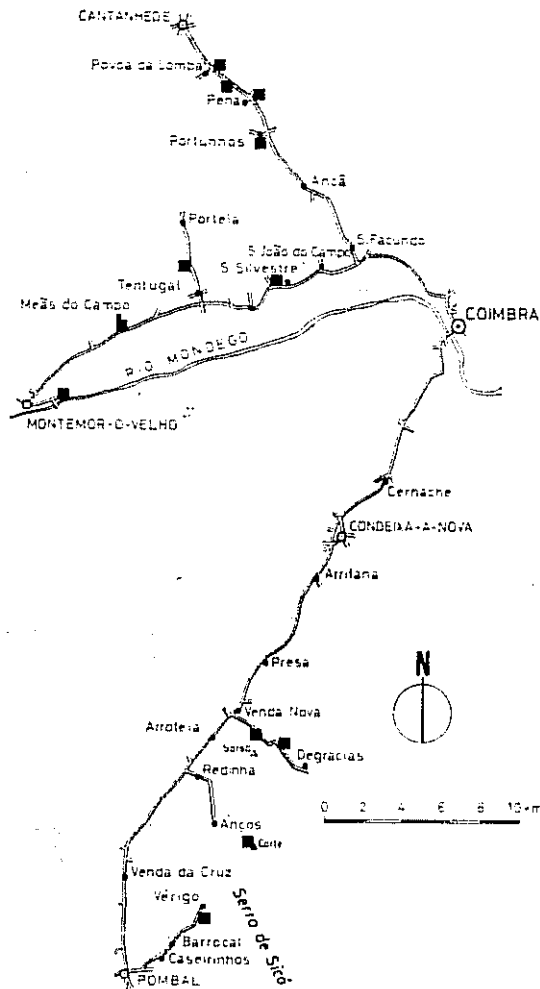


Fig. 1 — Localização dos lugares de colheita das rochas estudadas.

Verificou-se que os menores valores da relação Sr/Ca e os maiores da relação Ca/Mg são os das amostras: SO, VE, A1 e A2, podendo ser explicados por evolução diagenética das rochas carbonatadas, com desenvolvimento de calcite espática «não magnésiana» num processo de cimentação.

Tabela 1.

Amostra	Localização	Idade	Estratificação	Litologia	Microscopia				Sistemática
					Elementos figurados carbonatados	Grãos não carbonatados	Ortoquímicos	Observações	
PL	EN 234-1 EN 234-1 (Póvoa da Lomba)	Toarciano	Sub-horizantal	Calcário mar-goso cinzento acastanhado	Ostracodos (R)	Quartzo $\left\{ \begin{array}{l} \approx 5\% \\ \varnothing < 50 \mu \end{array} \right.$ Opacos (1-2%) Fosfatos (MR) Glauconite (MR) Frag. vegetais (MR)	Microsparrite (A) Micrite (F) Esparrite (R)	Fissuras preenchidas por esparrite e óxidos de ferro	Microsparrite fossilífero (Mudstone)
LP	EN 234-1 (Km 3,6)	Bajociano inferior	N 65°; 24°S	Calcário mar-goso cinzento claro	Lamelibrânquios pelâ-gicos $\left\{ \begin{array}{l} (R) \\ \varnothing < 1,5 \text{ mm} \end{array} \right.$	Quartzo $\left\{ \begin{array}{l} 5\% \\ \varnothing < 50 \mu \end{array} \right.$ Pirite (MR)	Micrite (A) Microsparrite (R) Esparrite (R)		Micrite fossilífero (Mudstone)
PE	EN 234-1 (Peña)	Bajociano inferior	N 20°; 10°S	Calcário mar-goso cinzento	Ostracodos (R)	Quartzo $\left\{ \begin{array}{l} (R) \\ \varnothing < 50 \mu \end{array} \right.$ Opacos (1-2%)	Micrite (A) Microsp. (R) Esparrite (MR)	Raras fissuras preenchidas por microsparrite (Figura 11-a)	Micrite fossilífero (Mudstone)
PO	Portunhos	Bajociano médio	N 330°; 10°S	Calc. branco fino, ceroso	Bioclastos (R)	Quartzo $\left\{ \begin{array}{l} (R) \\ \varnothing < 20 \mu \end{array} \right.$	Micrite (A) Microsp. (R) Esparrite (MR)		Micrite (Mudstone)
ME	EN 111 (Meas do Campo)	Turoniano inferior	Horizontal	Calcário róseo fossilífero	Pelotas (A) Bioclastos (F): brizoários algas moluscos ostracodos radiólas	Quartzo $\left\{ \begin{array}{l} (R) \\ \varnothing < 100 \mu \end{array} \right.$ Pirite (MR)	Micrite	Pequenos estiolólitos (Figura 11-b)	Pelbiomicrito (Grainstone)

Tabela 1 — (Continuação).

Amostra	Localização	Idade	Estratificação	Litologia	Microscopia				Sistemática
					Elementos figurados carbonatados	Grãos não carbonatados	Ortoquímicos	Observações	
CN	Casal Novo do Rio (Montemor-o-Velho)	Cenomaniano superior	Sub-horizontal	Calc. branco fossilífero	Intraclastos (A) Pelotas (A) Bioclastos (F): foraminíferos moluscos celenterados outros	Quartzo (R) $\varnothing < 80 \mu$	Microsparrite		Intrapelbio- microspar- rito (Grainstone)
ZO	EN 111 (Zouparria)	Cenomaniano superior	N 35 <sup>10</sup> ; 8°W	Calcário grosseiro de cor creme	Foraminíferos (F)	Quartzo (30% bimodal) $\varnothing < 2 \text{ mm}$ Grãos angul. de esfericidade baixa Feldsp. $\pm$ alterados ( $\varnothing < 0,25 \text{ mm}$ ) Turmalina, Moscovite, Opacos (R)	Microsparrite		Biomicrospar- rito grosseiro (Packstone)
TE	Tentugal	Turoniano inferior	Horizontal	Calcário bege fossilífero	Algas (A) Moluscos Radíolos Serpútilos	Pirite (MR) Glauconite (MR)	Microsparrite (A) Esparrite (F) Micrite (R)	Fissuras preenchidas por esparrite	Biomicrospar- rito (Grainstone)

Tabela 1 — (Continuação).

Amostra	Localização	Idade	Estratificação	Litologia	Microscopia				Sistemática
					Elementos figurados carbonatados	Grãos não carbonatados	Ortoquímicos	Observações	
SO	Vértice de Sorsa	Batoniano	NS; 45°W	Calc. branco	<p>Pelotas (A) Oncólitos (R) Bioclastos (F): radiólas moluscos algas foraminíferos</p>	Pirite (MR)	Microsparrite (A) (Esparrite + micrite)	Fissuras preenchidas por esparrite (Figura 12-a)	Pelmicrosparrito (Grainstone)
DE	EN 232 (Km 34,0) (Degracias)	Bajociano	EV; 10°S	Calcário mar-goso cinzento	<p>Calpionelas Corpos esféricos Ostracodos Foraminíferos Crinóides Outros</p>	Opacos (com pirite) (R) Fragmentos carbonosos (MR)	Micrite (A) Microspar. (F) Esparrite (R)	Algumas fissuras e estiolitos (Figura 12-b)	Disbionmicrito (Mudstone)
AI	Vértice de Corte (Anços)	Batoniano	NS; 70°N	Calc. creme	<p>Oólitos (A) Oncólitos (F) Pelotas (R) Intraclastos (R) Bioclastos (F): algas crinóides moluscos celenterados foraminíferos radiólas</p>	Pirite (MR)	Microsparrite (A) Esparrite (F)	Fissuras preenchidas por esparrite (Figura 13-b)	Oobionmicroparrito (Grainstone)

Tabela I — (Continuação).

Amostra	Localização	Idade	Estratificação	Litologia	Microscopia				Sistemática
					Elementos figurados carbonatados	Grãos não carbonatados	Ortoquímicos	Observações	
A2	Vértice de Corte (Anços)	Batoniano	NS; 70°N	Calc. creme	Oólitos (A) Oncólitos (R) Bioclastos (F): celenterados moluscos algas crinóides foraminíferos ostracodos	Pirite (MIR)	Esparrite (A) Microsparrite (F)	Vênulas de esparrite Estilólitos (Figura 14)	Oobiosparrite (Grainstone)
VE	EN 348-1 (Km 16,9) (Vérigo)	Oxfordiano	N 40°; 150°N	Calcário grosseiro de cor creme acastanhada	Oólitos (A) Intraclastos (F) Pelotas (F) Agregados (R) Bioclastos (F): moluscos radiólas	Quartzo (5%) Feldspatos (R)	Esparrite + Microsparrite	Tem estratificação obliqua planar de pequena escala e exibe caráter tempestivo. (Figura 13-a)	Oosparrite (Grainstone)

(A) — Abundante (F) — Frequente (R) — Rara (MIR) — Muito rara

Tabela 2 — Resultados da análise química efectuada.

Amostra	Química				Relações	
	CaO (%)	MgO (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Sr ppm	Ca/Mg	(Sr/Ca) × 10 <sup>3</sup>
PL	47,29	0,96	0,98	368	58,28	1,1
LP	50,29	0,41	0,63	265	143,76	0,7
PE	52,90	0,67	0,23	279	94,53	0,7
PO	53,46	0,44	0,15	382	141,52	1,0
ZO	40,38	0,45	0,51	198	106,89	0,7
TE	50,66	0,54	0,53	235	109,73	0,6
ME	52,15	0,45	0,23	206	138,04	0,6
CN	54,02	0,34	0,13	176	183,86	0,5
SO	53,84	0,30	0,09	103	213,78	0,3
DE	53,46	0,58	0,20	237	109,17	0,6
A1	55,33	0,18	0,09	74	359,45	0,2
A2	55,71	0,17	0,06	105	398,20	0,3
VE	54,77	0,23	0,38	103	279,57	0,3

### 3. CARACTERIZAÇÃO PETROFÍSICA

#### 3.1. Características físicas globais do volume rochoso

Na tabela 3 indicam-se algumas características das rochas, determinadas (segundo os métodos descritos no documento RILEM — P. E. M. 78/182) utilizando provetes com 2,5 a 5 cm de diâmetro e 0,3 a 0,8 cm de espessura, tendo dependido o número destes da homogeneidade da rocha a ensaiar.

Os resultados obtidos permitem as seguintes considerações:

- 1.<sup>a</sup> As rochas com porosidade baixa correspondem a rochas cimentadas ou com dissolução imperceptível.
- 2.<sup>a</sup> Os valores de porosidade média pertencem a rochas parcialmente recristalizadas, ou apresentando também ligeira dissolução.
- 3.<sup>a</sup> O calcário de Portunhos (PO), escassamente recristalizado, tem porosidade alta.
- 4.<sup>a</sup> Os desvios padrões que afectam os valores de porosidade, deixam prever uma forte heterogeneidade para as rochas CN,



ME e TE. A dispersão dos valores resultantes da medição de porosidade é essencialmente devida à heterogeneidade e muito pouco aos erros analíticos (inferiores a 0,1 %).

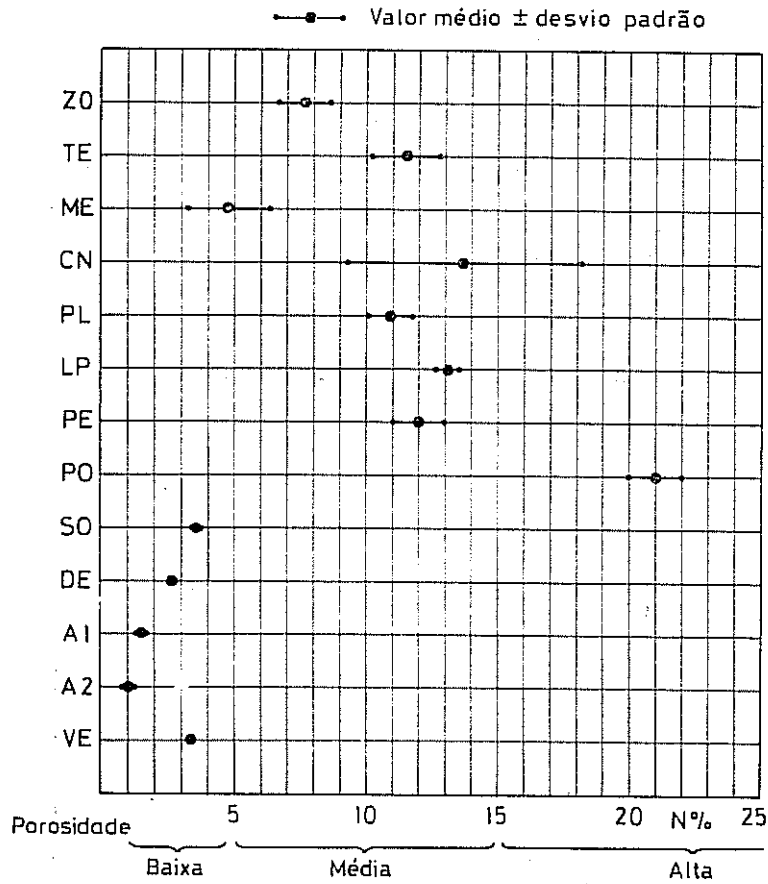


Fig. 2 — Porosidades das amostras estudadas.

5.<sup>a</sup> Para calcários puros verifica-se que existe uma relação linear entre a porosidade e a massa volúmica aparente. Os desvios resultam da presença de outros minerais com diferentes densidades (ex.: quartzo —2,6 a 2,7; pirite —4,9 a 5,1).

Tabela 3 --- Características físicas das rochas.

Amostras	N.º de valores	Massas volumicas (Kg/m³)			Teor em água máximo (%)	Porosidade acessível à água (%)	Sish
		aparente		real (ρr)			
		seca (ρa)	sat. (ρaw)				
PL	15	2496 ± 26	2604 ± 27	2799 ± 38	4,34 ± 0,33	10,82 ± 0,82	0,98
LP	17	2506 ± 30	2637 ± 30	2884 ± 36	5,24 ± 0,19	13,12 ± 0,44	0,96
PE	13	2473 ± 59	2592 ± 66	2808 ± 91	4,81 ± 0,32	11,89 ± 0,95	0,97
PO	10	2205 ± 69	2414 ± 71	2789 ± 100	9,50 ± 0,54	20,93 ± 1,09	0,97
ZO	18	2482 ± 25	2560 ± 17	2691 ± 8	3,12 ± 0,39	7,74 ± 0,89	0,90
TE	18	2462 ± 75	2577 ± 72	2783 ± 82	4,70 ± 0,58	11,56 ± 1,28	0,89
ME	18	2588 ± 41	2636 ± 27	2719 ± 15	1,87 ± 0,64	4,81 ± 1,56	0,94
CN	20	2335 ± 115	2474 ± 73	2711 ± 6	6,03 ± 2,17	13,85 ± 4,28	0,96
SO	17	2610 ± 9	2646 ± 6	2708 ± 2	1,39 ± 0,13	3,64 ± 0,34	0,90
DE	17	2636 ± 7	2664 ± 5	2710 ± 4	1,03 ± 0,06	2,72 ± 0,14	0,93
A1	15	2652 ± 65	2667 ± 65	2693 ± 65	0,58 ± 0,11	1,53 ± 0,29	0,86
A2	15	2681 ± 9	2692 ± 6	2709 ± 2	0,38 ± 0,12	1,03 ± 0,31	0,81
VE	17	2628 ± 7	2660 ± 7	2715 ± 7	1,22 ± 0,09	3,21 ± 0,22	0,90

### 3.2. Coeficiente de saturação

Este coeficiente pode definir-se como sendo a relação entre o volume de água que uma rocha pode absorver por imersão durante 48 horas à pressão atmosférica e o volume total dos seus poros acessíveis à água sob vácuo. Exprime a capacidade natural da rocha para absorver água. Os valores deste coeficiente determinados para as várias amostras são elevados ( $S_{48h} > 80\%$ ), que acarreta maiores probabilidades de alteração por processos aquosos e conseqüentemente menor durabilidade.

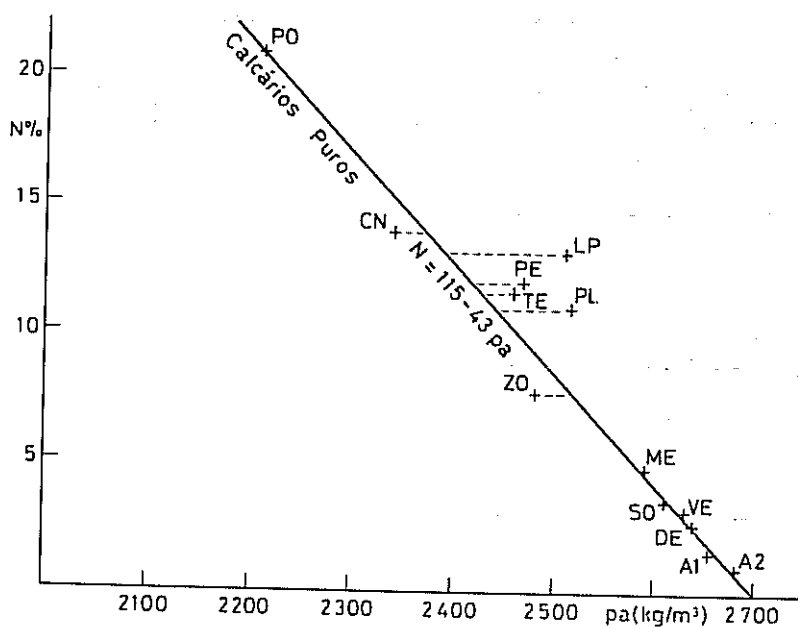


Fig. 3 — Projeção dos valores de porosidade, contra as respectivas massas volúmicas aparentes.

A projeção do coeficiente de saturação em função da porosidade acessível à água (fig. 4) permite verificar que as amostras A2, A1, VE, SO e DE se apresentam mais favoráveis a uma maior durabilidade.

### 3.3. Porometria

Para obter curvas completas de sucção ou de porometria, foram empregues três métodos com o seguinte campo de aplicação:

- Placa de sucção, para valores de sucção equivalentes à pressão de uma coluna de água com 1 a 1000 cm de altura (pF de 0 a 3) e diâmetros máximos dos poros em que a água fica retida entre cerca de 2973  $\mu$  e 2,97  $\mu$ . (O pF é o logaritmo decimal da altura em centímetros da coluna de água que exerce uma pressão equivalente à força de retenção ou atracção da água pelo material.)
- Membrana de pressão, para valores de pF de 3 a 4,2 e diâmetros de poros entre cerca de 2,97  $\mu$  a 0,19  $\mu$ .
- Exsiccador de vácuo, para pF de 4,5 a 7 e diâmetros de 0,09  $\mu$  a 0,0003  $\mu$ .

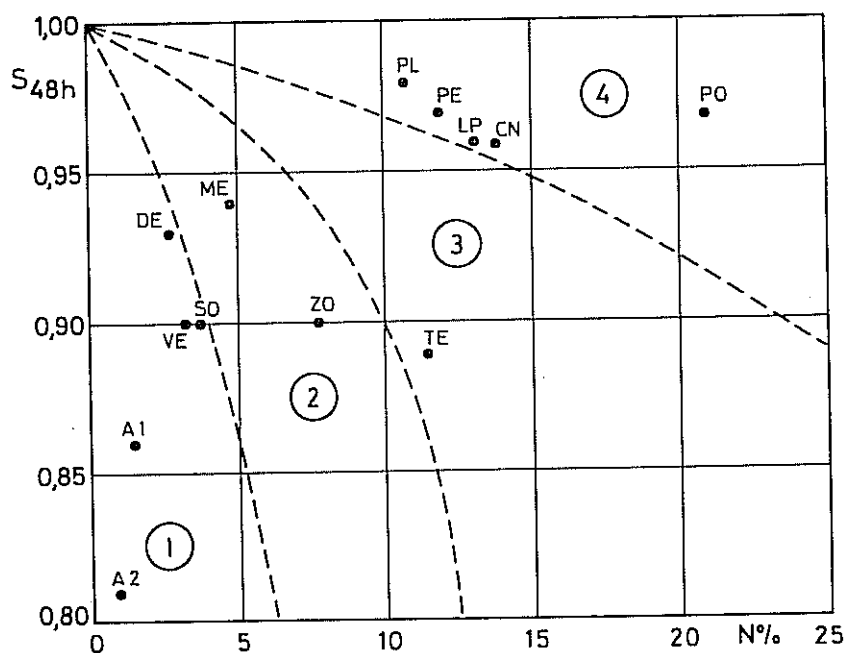


Fig. 4 — Projecção do coeficiente de saturação ( $S_{48h}$ ) em função da porosidade ( $N$ ). Modificado de MAMILLAN (1972).

Os métodos de sucção permitem determinar directamente a capacidade de retenção da água, isto é, o teor em água que a rocha retém para uma determinada sucção (curva de sucção), e através de cálculos, o diâmetro dos poros em que se encontra retida (porometria) e a superfície específica (aproximadamente).

Neste estudo foram preferidos os métodos de sucção (descritos no documento RILEM 25 P. E. M. 74/51, por ELDA DE CASTRO) ao invés da utilização do porosímetro de mercúrio, uma vez que fornecem resultados equivalentes, possuem um intervalo de aplicação maior e embora sendo mais morosos a aparelhagem utilizada é muito mais barata.

Nas figuras 5, 6, 7 e 8 apresentam-se as curvas de sucção ou de porometria respeitantes às amostras estudadas e a tabela 4 fornece os vários parâmetros obtidos. Para cada amostra, além da curva de porometria média e do respectivo histograma, só se representaram as curvas extremas pois todas as outras se situam no interior da zona por elas delimitada e possuem um andamento gráfico similar.

A superfície específica, que é a área dos poros (abertos) por unidade de volume aparente, foi calculada de um modo aproximado a partir da porometria segundo o método descrito em CASTRO (1977). Como os poros muito finos têm grande influência no valor da superfície específica, o método de cálculo apenas fornece indicações aproximadas e torna-se conveniente a apresentação dos valores correspondentes às superfícies específicas dos poros de diâmetros superiores e inferiores a  $0,05 \mu$ . Os processos de alteração acarretam modificação da superfície específica, e quanto maior for esta menor tenderá a ser a durabilidade de um dado tipo de rocha.

A capacidade de uma rocha em absorver vapor de água a partir da humidade relativa do ar é função da sua porometria e, muito especialmente, da percentagem de poros de diâmetro inferior a  $0,1 \mu$ , tal como é referido por CASTRO (1979).

O exame das curvas de porometria das rochas carbonatadas ensaiadas permite verificar que existe sempre uma, por vezes duas, e mais raramente três (caso de PL, TE, ME) famílias de poros, definidas graficamente pelos pontos de truncatura ou pelas modas das curvas. As rochas estudadas apresentam escassa macroporosidade (percentagem de poros de diâmetro superior a  $2 \mu$ , embora outros autores só a considerem a partir de  $5 \mu$ ).

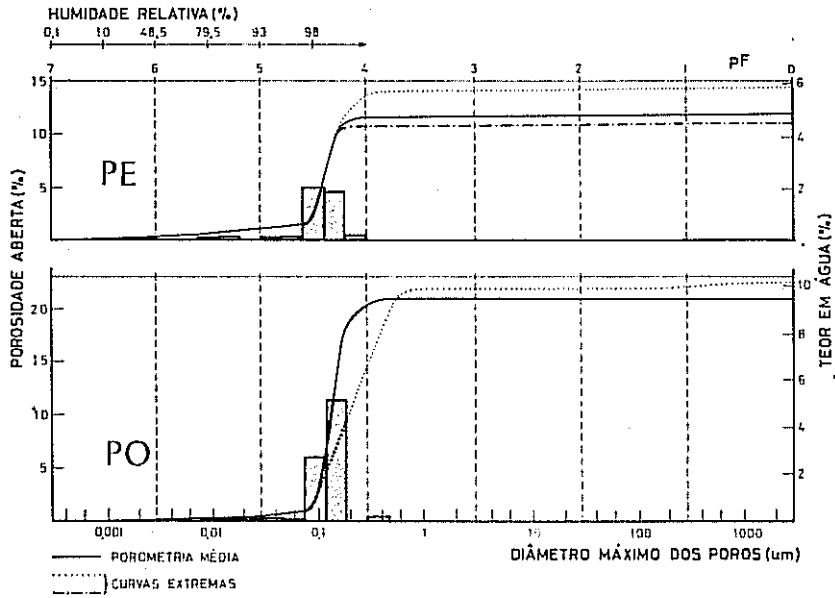


Fig. 5 — Curvas de porometria e de sucção com os respectivos histogramas, das amostras PE e PO.

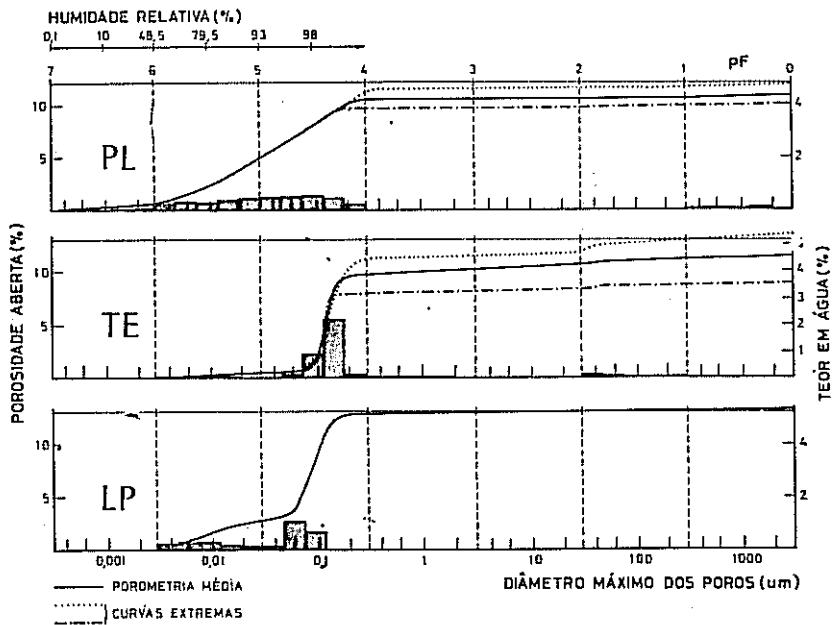


Fig. 6 — Porometrias das amostras PL, LP e TE.

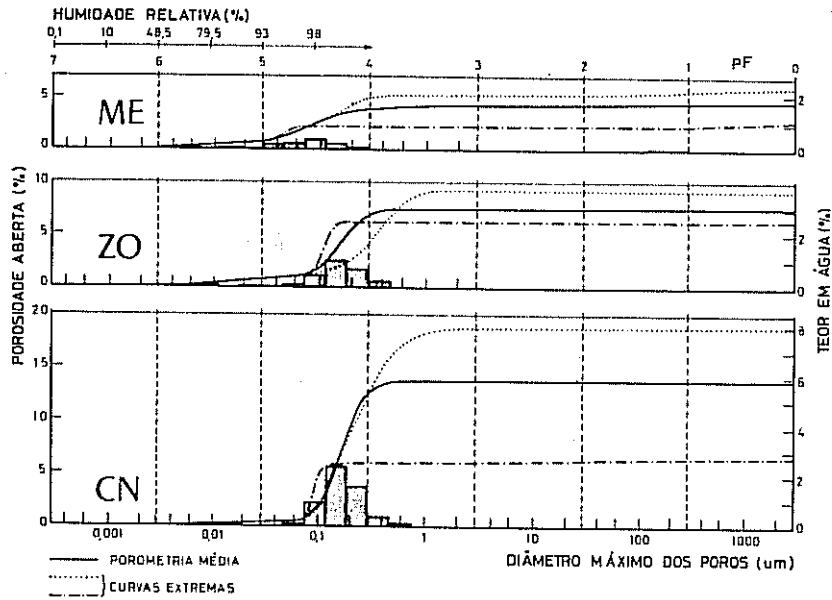


Fig. 7 — Porometrias das amostras ME, ZO e CN.

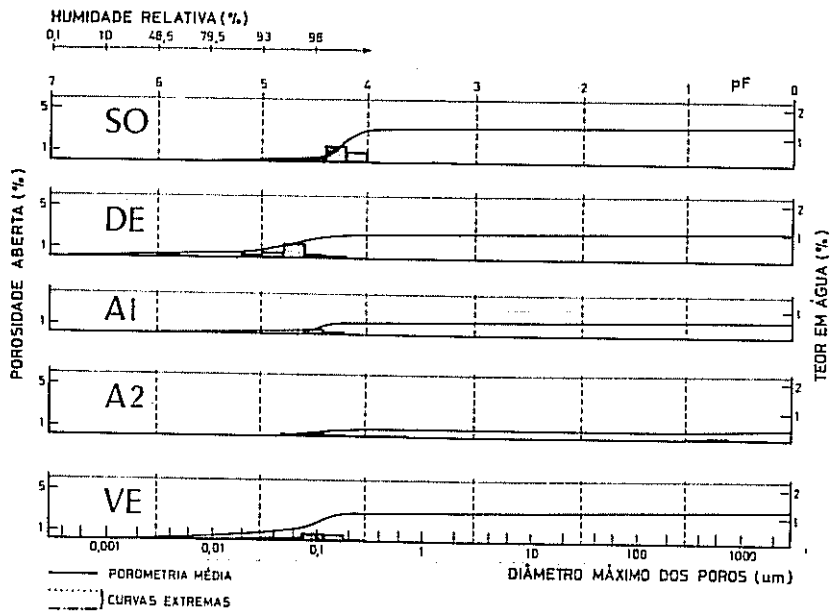


Fig. 8 — Porometrias das amostras SO, DE, A1, A2 e VE.

Tabela 4 — Parâmetros obtidos a partir do ensaio de porosimetria de sucção.

Amostra	Total	Porosidade (%)						Superfície específica (cm <sup>-1</sup> )		
		Poros de diâmetro (μ):						d < 0,05	d > 0,05	Total
		< 2	> 2	< 0,1	> 0,1	< 0,05	> 0,05			
PL	10,82	10,50	0,32	8,20	2,62	6,10	4,72	524 504	18 615	543 119
LP	13,12	12,90	0,22	9,10	4,02	3,30	9,82	160 413	44 274	204 687
PE	11,89	11,70	0,19	3,00	8,89	1,25	10,64	134 959	36 327	171 286
PO	20,93	20,93	0,00	2,50	18,43	0,75	20,18	31 321	61 692	93 013
ZO	7,74	7,50	0,24	1,90	5,84	0,95	6,79	126 274	17 422	143 696
TE	11,56	10,20	1,36	2,00	9,56	0,57	10,99	76 048	30 716	106 764
ME	4,81	4,30	0,51	2,75	2,06	1,30	3,51	120 016	11 321	131 337
CN	13,85	13,85	0,00	1,75	12,10	0,45	13,40	72 743	34 775	107 518
SO	3,64	3,39	0,25	0,35	3,29	0,16	3,48	86 863	7 787	94 650
DE	2,72	2,41	0,31	1,90	0,82	1,20	1,52	197 065	11 557	208 622
A1	1,53	1,29	0,24	0,55	0,98	0,30	1,23	22 710	3 523	26 233
A2	1,03	0,75	0,28	0,45	0,58	0,00	1,03	0	3 190	3 190
VE	3,21	2,75	0,46	1,60	1,61	1,00	2,21	94 339	6 961	101 300



É interessante observar que existe truncatura acerca dos  $0,02 \mu$  nas amostras: TE, LP, PE, DE, A1, VE, ME, ZO e CN, facto que ainda não estava descrito na literatura (é de lembrar que o limite inferior de investigação do porosímetro de mercúrio localiza-se em diâmetros de acesso de  $0,01 \mu$ ). Contudo, convém não esquecer que a porosidade não possui uma morfologia granular mas, pelo contrário, pode ser considerada como um meio contínuo constituído por um rosário de acessos estreitos que interconectam com poros de maiores dimensões.

Um dos provêtes da amostra CN (fig. 7) apresenta maior cimentação; tal facto traduz-se por uma curva de porometria particular. Isto deve-se ao crescimento de cristais de calcite espática em poros, diminuindo-lhes o diâmetro de acesso; conseqüentemente, os poros de menores diâmetros aumentam de percentagem e a porosidade total diminui, tal como refere PAVONE (1982).

Nas amostras PO, ZO e ME podem encontrar-se provetes exibindo a existência de dissoluções. Este processo aumenta a porosidade total e alarga os diâmetros dos poros, afectando a quase totalidade do meio poroso (os poros mais finos aparentemente não sofrem modificação).

### 3.4. Medição das ondas sónicas longitudinais

Estas medições foram efectuadas com o objectivo de obter o valor, para cada amostra, de um parâmetro correntemente utilizado para a identificação das rochas calcárias e sua classificação. Foram utilizados provetes secos (até peso constante) numa estufa a  $60^{\circ}\text{C}$ . Estes provetes, apresentando comprimentos variáveis, foram cortados segundo três planos ortogonais.

Os resultados obtidos (ver tabela 5 e as figs. 9 e 10) permitem verificar que existem correlações lineares nítidas entre a porosidade aberta e a velocidade medida, assim como entre esta última e a massa volúmica aparente seca. Na figura 9 a maior dispersão corresponde à amostra ZO, o que é facilmente explicável pela presença nesta rocha de cerca de 30 % de quartzo provocando um abaixamento da velocidade sónica (a velocidade teórica para o quartzo é de  $6030 \text{ m/s}$ , enquanto que para a calcite é de  $6600 \text{ m/s}$ ).

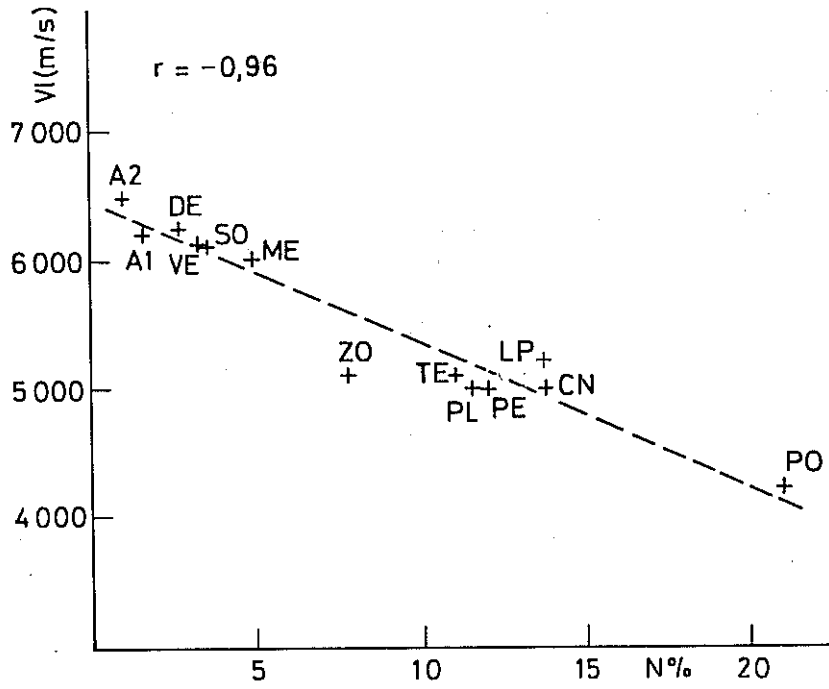


Fig. 9 — Existência de correlação linear entre a porosidade total (aberta) e a velocidade sónica longitudinal.

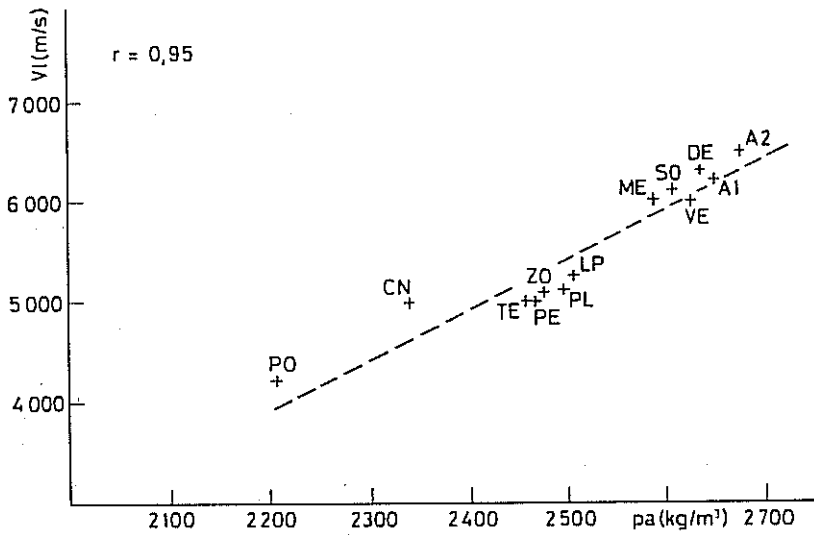


Fig. 10 —  $V_l$  versus massas volúmicas aparentes.

Tabela 5 — Valores médios da velocidade sónica longitudinal.

Amostra	VI (m/s)	$\rho_a$ (Kg/m <sup>3</sup> )	N (%)
PL	$51,0 \times 10^2$	2496	10,82
LP	$52,3 \times 10^2$	2506	13,12
PE	$49,9 \times 10^2$	2473	11,89
FO	$42,1 \times 10^2$	2205	20,93
ZO	$50,9 \times 10^2$	2482	7,74
TE	$50,1 \times 10^2$	2462	11,56
ME	$60,0 \times 10^2$	2588	4,81
CN	$50,0 \times 10^2$	2335	13,85
SO	$61,1 \times 10^2$	2610	3,64
DE	$62,8 \times 10^2$	2636	2,72
A1	$62,5 \times 10^2$	2652	1,53
A2	$65,1 \times 10^2$	2681	1,03
VE	$61,2 \times 10^2$	2628	3,21

#### 4. CONCLUSÕES

A investigação das rochas carbonatadas através da utilização conjunta de ensaios indirectos de caracterização (porometria de sucção, velocidade sónica longitudinal), de ensaios de comportamento (embebição) e a observação directa, visou contribuir para um melhor conhecimento destas rochas, principalmente no que diz respeito às principais propriedades do meio poroso, de modo a que se possam fornecer indicações úteis que auxiliem na escolha do material em função da utilização em vista (construção, ornamentação e cimenteiras) e até a prever o seu comportamento face à colocação em obra e perante os agentes de alteração (nomeadamente no que diz respeito às poluições urbanas e industriais). Se bem que o utilizador desempenha o papel principal na selecção das características das matérias-primas, pode-se reconhecer no presente estudo que:

1.º Os calcários margosos PL, LP, PE e DE apresentam-se com um teor em CaO superior a 43 % e contêm menos de 3 % de MgO sendo, por isso, óptima matéria-prima para o fabrico de cimento e dispensando o recurso à adição de calcários puros.

2.ª Com excepção dos calcários margosos, todas as outras rochas permitem uma utilização na agricultura (correção de solos, alimentação animal) e na precipitação de impurezas.

3.<sup>a</sup> Os calcários puros PO e CN, de alta porosidade, permitem fácil britagem e moagem; podem também ser considerados boa matéria-prima para tratamentos de águas e de fumos.

4.<sup>a</sup> A determinação da capacidade natural da rocha para absorver água e de outras características petrofísicas tem interesse para avaliar a durabilidade e facilita a classificação das rochas em diferentes categorias. É conveniente ressaltar que a presença de minerais argilosos em calcários modifica as propriedades destas rochas, assim como origina uma maior sensibilidade à alteração.

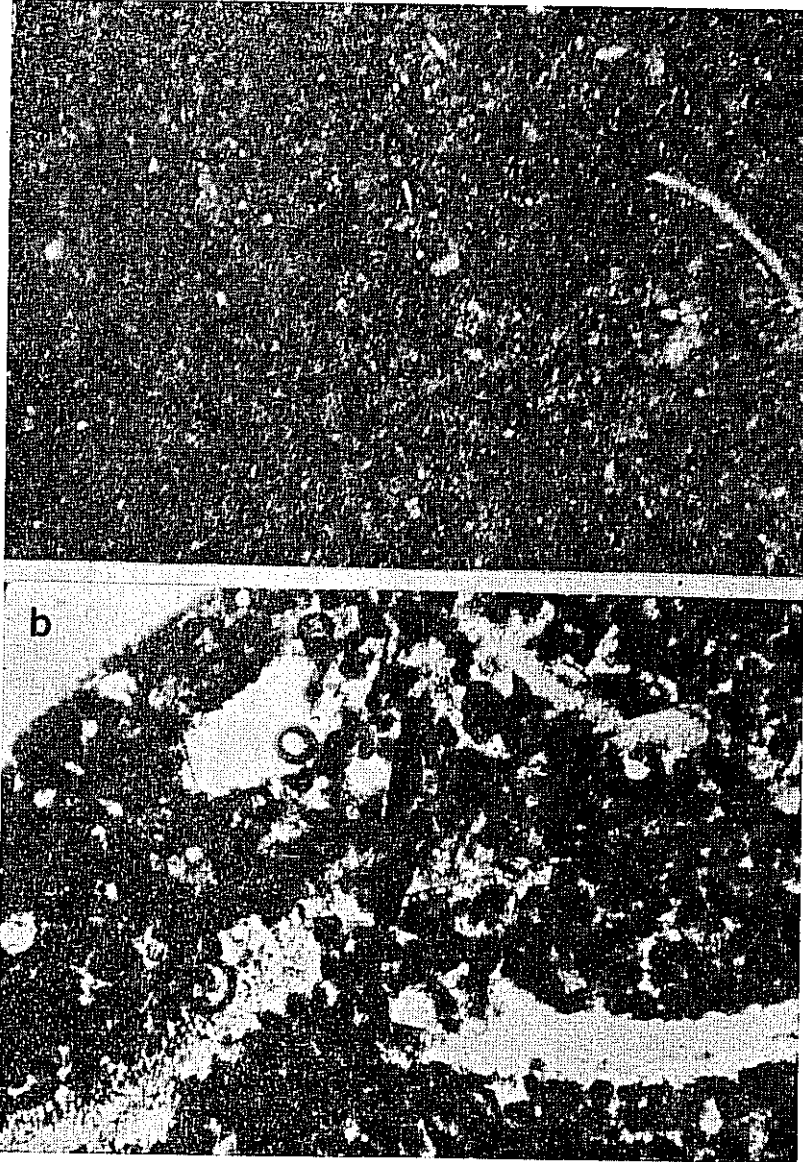


Fig. 11 — a: Amostra PE. Micrito parcialmente recristalizado, no seio do qual se visualizam raros organoclastos e pirite disseminada. Micrito fossilífero (Mudstone). ( $\times 32$ ); b: Amostra ME. Pelbiomicrito (Grainstone). Organoclastos recristalizados. ( $\times 32$ )

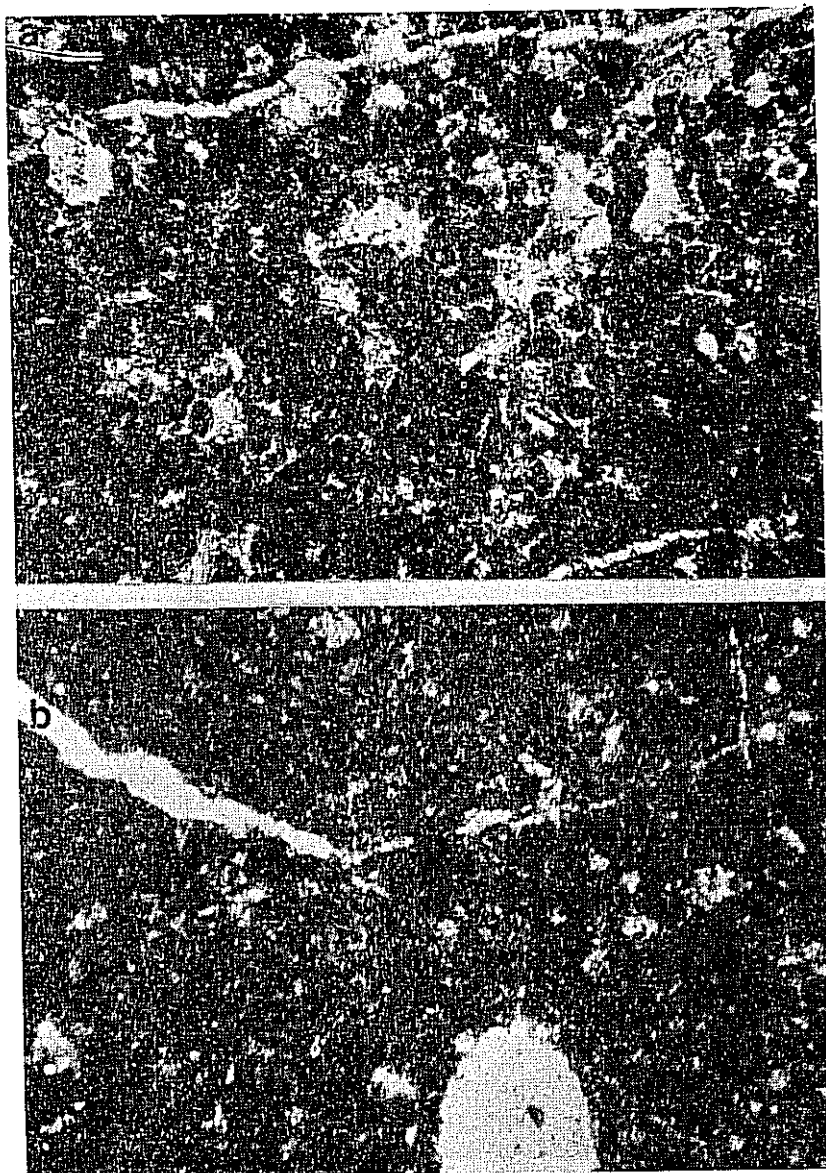


Fig. 12 — a: Amostra SO. Vénulas de esparrite interceptando organoclastos. Pelmicrosparrito (Grainstone). (x 32); b: Amostra DE. Organoclastos recristalizados; pirite disseminada; vénulas de esparrite. Disbiomicrito (Mudstone). (x 32)

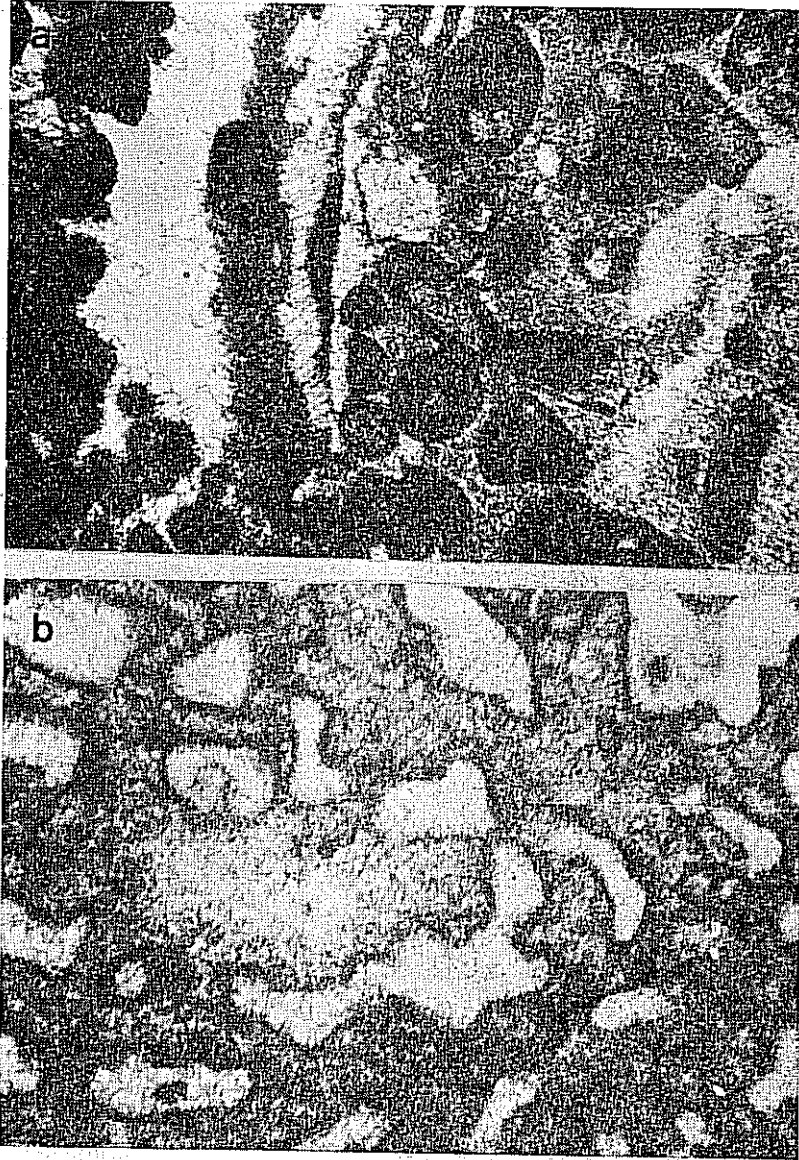


Fig. 13 — a: Amostra VE. Presença de oólitos, intraclastos, pelotas e organoclastos. Oosparrito (Grainstone). (x 32); b: Amostra A1. Fragmento de celenterado recristalizado. Oobiomicrosarrito. (Grainstone). (x 32)

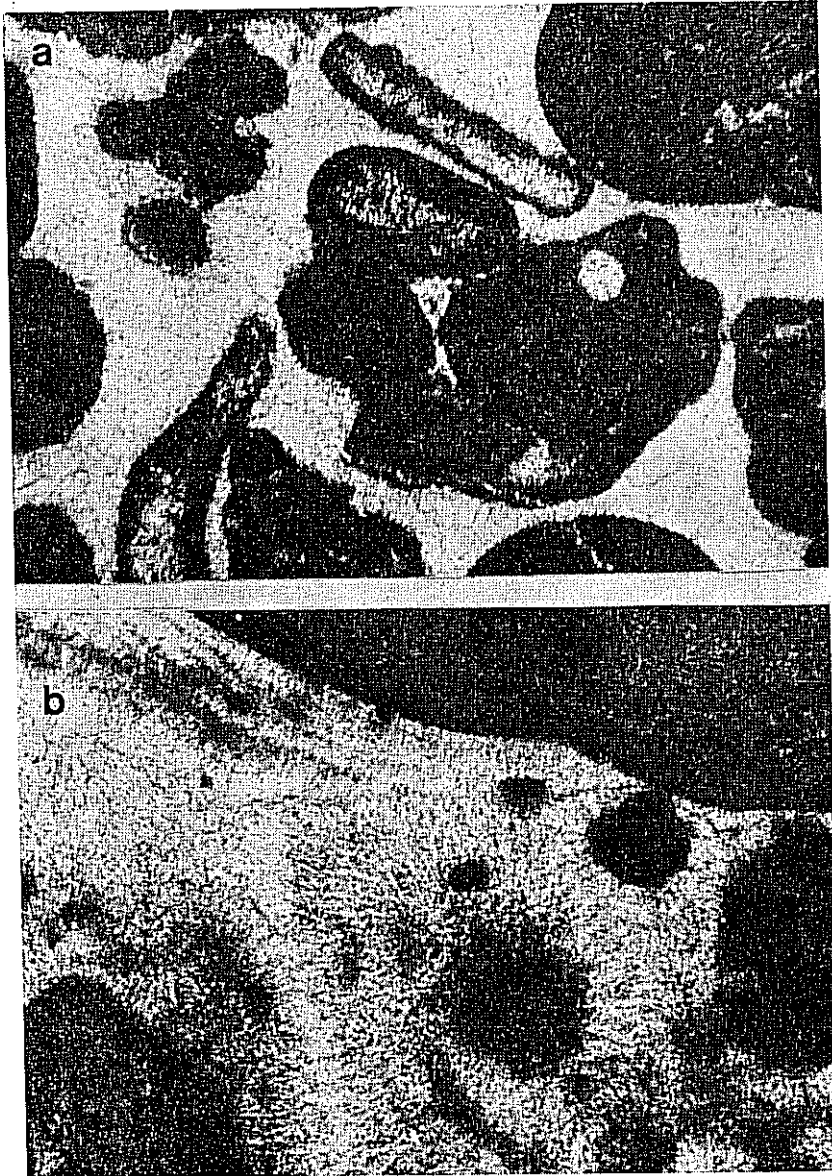


Fig. 14 — a: Amostra A2. Presença de oólitos, agregados e organoclastos. Oobiosparrito (Grainstone). (x 32); b: Amostra A2. Aspectos da recristalização. Calcite em paliçada e fibrorradiada com diluição do limite dos calciclastos. Oobiosparrito (Grainstone). (x 32)



*Agradecimentos* — Este trabalho foi iniciado no âmbito do estágio científico da Licenciatura em Geologia na Faculdade de Ciências de Coimbra. Em primeiro lugar, os meus agradecimentos vão para o Prof. Doutor A. Ferreira Soares, que esteve na origem do tema e orientação do trabalho, bem como o auxílio prestado na caracterização petrográfica e na revisão cuidadosa que fez do manuscrito. Ao Dr. António L. Almeida Saraiva, expresso o meu reconhecimento pelo valioso apoio prestado em diversos trabalhos de laboratório, bem como pelas suas numerosas sugestões. Os meus agradecimentos vão ainda para o Dr. F. Gomes da Silva a quem fiquei a dever as determinações de CaO, MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Sr; ao Sr. R. Coutinho pela sua colaboração na ilustração fotográfica; e ao Dr. Humberto Moura pelos desenhos que acompanham o texto.

#### BIBLIOGRAFIA

- BATHURST, R. (1971) — Carbonate sediments and their diagenesis. Elsevier Publishing Company.
- BOUSQUIE, P. (1979) — Texture et porosité de roches calcaires. Thèse Doct.-Ing., ENSM, Paris.
- CASTRO, E. DE (1974) — Methods for determining the relationship between suction and moisture content in porous stones and their pore-size distribution. Doc. RILEM 25 P. E. M. 74/51, LNEC, Lisbon.
- CASTRO, E. DE (1977) — Détermination de la porométrie et de la surface spécifique des pierres par des essais de succion. LNEC, Memória n.º 490, Lisboa.
- CASTRO, E. DE (1979) — Les methodes de succion dans l'étude de l'altération des pierres. LNEC, Memória n.º 516, Lisboa.
- CASTRO, E. DE (1979) — Évaluation de l'hygroscopicité des pierres. LNEC, Memória n.º 526, Lisboa.
- ELF-AQUITAINE (1975) — Essai de caractérisation sédimentologique des dépôts carbonatés.
- HUMBLLOT, R. (1977) — Étude géologique et géotechnique des formations superficielles du Buntsandstein moyen et supérieur du Vallon de Champagne. Thèse 3<sup>ème</sup> Cycle, Université Nancy.
- LOPES, L. M. C. A. (1983) — A alteração da pedra em monumentos e as acções da Direcção-Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais. Ed. Museu Nacional Machado de Castro. Coimbra.
- MAMILLAN, M. (1972) — Pathologie et restauration des constructions en pierre. Centre Internationale d'Études pour la Conservation et la Restauration des Biens Culturels, Roma.
- MANUPPELA, G., ZBYSZEWSKI, G. & FERREIRA, O. DA VEIGA (1978) — Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50 000: Notícia explicativa da folha 23-A (Pombal). Serv. Geológicos de Portugal, Lisboa.
- PAVONE, D. (1982) — Pétrographie et pétrophysique d'un calcaire oolithique et d'entroquites. Thèse 3<sup>ème</sup> Cycle, Université Nancy.
- RILEM — P. E. M. 78/182 (1978) — Définitions et descriptions des essais recommandés.

- RUGET-PERROT, C. (1961) — Études stratigraphiques sur le Dogger et le Malm inférieur du Portugal au Nord du Tage. Bajocien, Bathonien, Callovien, Lusitanien. *Mem. Serv. Geol. Portugal*, Lisboa, N. S., n.º 7.
- SOARES, A. F. (1966) — Estudo das formações pós-Jurássicas da região de entre Sargento-Mor e Montemor-o-Velho (margem direita do rio Mondego). *Memórias e Notícias*, Publ. Mus. Lab. Mineral. Geol., Univ. Coimbra, n.º 62.
- TOURENO, C. & ARCHIMBAUD (1974) — Propriétés des calcaires. 2º Congrès Int. de Géologie de l'Ingénieur — AIGI, São Paulo, 1974.
- TOURENO, C., FOURMAINTRAUX, D. & DENIS, A. (1971) — Propagation des ondes et discontinuités des roches. Symp. Soc. Int. Mécan. des Roches, Nancy, 1971.
- VOINOVITCH, I. A., DEBRAS-GUÉDON, J. & LOUVRIER, J. (1962) — L'analyse des silicates. Hermann.