

A FORMAÇÃO MACAU NA PORÇÃO SUBMERSA DA BACIA POTIGUAR

THE MACAU FORMATION IN THE SUBMERSED PORTION OF THE POTIGUAR BASIN

Ana Maria Pimentel Mizusaki

RESUMO — Derrames de olivina basalto e diabásios associados com rochas vulcanoclásticas compõem a Formação Macau na porção submersa da Bacia Potiguar. Com base em critérios petrográficos e petrológicos, são reconhecidas três fácies distintas na Formação Macau: de lava, de brecha e de hialoclastito. Associações de fácies similares têm sido relacionadas com extrusões de lavas básicas em ambientes subaquosos rasos. As rochas ígneo-básicas e vulcanoclásticas desta formação estão associadas com intervalos de rochas sedimentares. Tais intervalos, quando presentes em complexos vulcânicos, são indicativos de períodos de quiescência entre os derrames consecutivos. Em função dos dados obtidos, verifica-se que, sob o ponto de vista de reservatório de hidrocarbonetos, somente as rochas vulcanoclásticas hidroclásticas apresentam valores significativos de porosidade móldica. Tem-se atribuído idade terciária a estas rochas com base nos resultados obtidos por datações radiométricas pelo método potássio-argônio (K/Ar).

(Originais recebidos em 14.06.89.)

ABSTRACT — In the submerge portion of the Potiguar Basin, the Macau Formation is composed of olivine basalt lava flows and diabase associated to volcanoclastic rocks. Petrographic and petrological criteria reveal three distinct facies within this formation: lava, breccia, and hyaloclastite. Associations of similar facies have been linked to basic lava extrusions in shallow subaqueous environments. The igneo-basic and volcanoclastic rock of this formation are associated with intervals of sedimentary rock. The presence of sedimentary rock intervals in volcanic complexes indicates periods of quiescence between consecutive lava flows. As far as hydrocarbon reservoirs, data collected indicate that only the hydroclastic volcanoclastic rocks display significant moldic type porosity values. Radiometric dating using the potassium-argon method (K/Ar) assigns these rocks to the Tertiary.

(Expanded abstract available at the end of the paper.)

1 — INTRODUÇÃO

A Formação Macau da Bacia Potiguar (fig. 1) é constituída por derrames de olivina basalto, localmente vesicular, afanítico, algumas vezes com textura botrioidal (MAYER, 1974).

Esta unidade, segundo as datações baseadas nos microfósseis dos sedimentos associados, abrange as épocas do Oligoceno e Mioceno. Estes derrames se intercalam nas formações Tibau, Guamaré e Ubarana (fig. 2).

Neste estudo, foram analisadas amostras dos poços com testemunhos da Formação Macau, visando a descrever as características petrográficas e a composição

química das rochas ígneo-básicas, além das vulcanoclásticas, que ocorrem associadas na porção submersa da Bacia Potiguar.

A análise das características petrográficas destas rochas permitiu a identificação dos mecanismos de formação e o reconhecimento de três fácies distintas.

O modelo vulcano-sedimentar proposto foi construído com base nas fácies, em sua distribuição em área e nas características das diferentes litologias.

2 — METODOLOGIA

Os testemunhos selecionados (tabela I) foram descritos macroscopicamente na

1 - Setor de Geologia (SEGEL),
Divisão de Exploração (DIVEX),
Centro de Pesquisas (CENPES),
Cidade Universitária, Quadra 7,
Ilha do Fundão, CEP 21910,
Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

escala 1:200 e amostrados. A partir das diferenças macroscópicas das amostras, foram confeccionadas lâminas petrográficas e realizadas análises químicas e datações radiométricas pelo método K/Ar (potássio-argônio).

A análise petrográfica das amostras de testemunhos e de calha permitiu a caracterização textural e mineralógica das rochas.

O tratamento das amostras de calha in-

cluiu a descrição detalhada dos fragmentos, através da lupa binocular, quando aquelas foram triadas das partículas de desmoronamento das paredes do poço (*cavings*). As lâminas petrográficas foram confeccionadas com os fragmentos dos tipos litológicos dominantes, selecionados em função do menor grau de alteração e da menor contaminação pelo fluido de perfuração.

A composição química das amostras de rochas ígneo-básicas da Formação Ma-

cau foi determinada com vistas à classificação destas por meio de parâmetros químicos.

As amostras selecionadas foram pulverizadas em gral de ágata e analisadas por espectrofotometria de emissão de plasma (EFP), usando-se um *Jarrel Ash Atomcomp* para obtenção dos multielementos em percentagem em peso. Os valores de FeO foram determinados segundo o esquema proposto pelo laboratório de química do Departamento de Geologia do Instituto de Geociências da UFRJ.

3 - CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA

O estudo petrográfico das amostras da Formação Macau permitiu o reconhecimento de rochas ígneo-básicas e vulcanoclásticas.

As rochas ígneo-básicas, segundo critérios texturais e mineralógicos, são classificadas como:

A. Basaltos

As rochas basálticas, em função da presença de matriz vítrea, são subdivididas em:

Holoialinos — são os basaltos vítreos com raros micrólitos de plagioclásio e abundantes cristais de magnetita. O vidro vulcânico, cuja coloração varia do amarelo-acastanhado ao preto, está quase totalmente substituído por argilas do grupo da esmectita que podem apresentar hábito fibrorradiado.

Hemicristalinos — são aqueles onde os cristais de plagioclásio e piroxênio (augita) com até 0,5 mm de comprimento formam uma trama cujos interstícios são preenchidos por vidro vulcânico. Este encontra-se alterado para argilas do grupo da esmectita. Secundariamente, observam-se cristais de magnetita e raras olivinas alteradas.

Holocristalinos — são as amostras caracterizadas pela ausência de resíduos vítreos. A textura subofítica mostra cristais de plagioclásio e piroxênio que

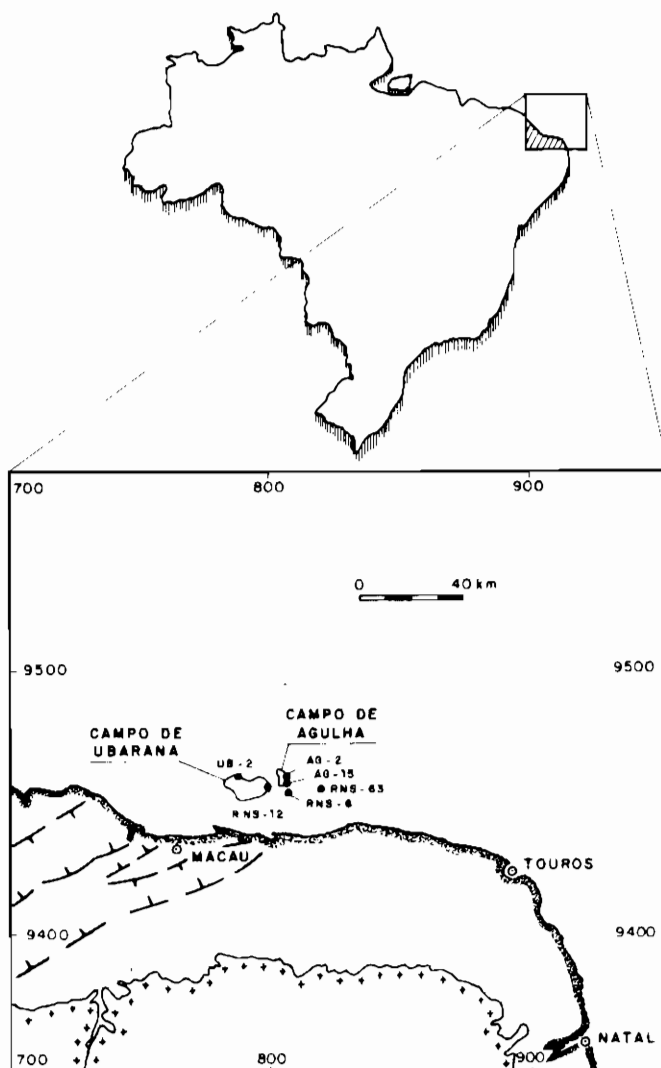


Fig. 1 - Mapa de localização da área estudada (modificado de SOUZA, 1982); (+) Embasamento; (*) Poço citado.

Fig. 1 - Location map (modified from SOUZA, 1982); (+) Basement; (*) Well.

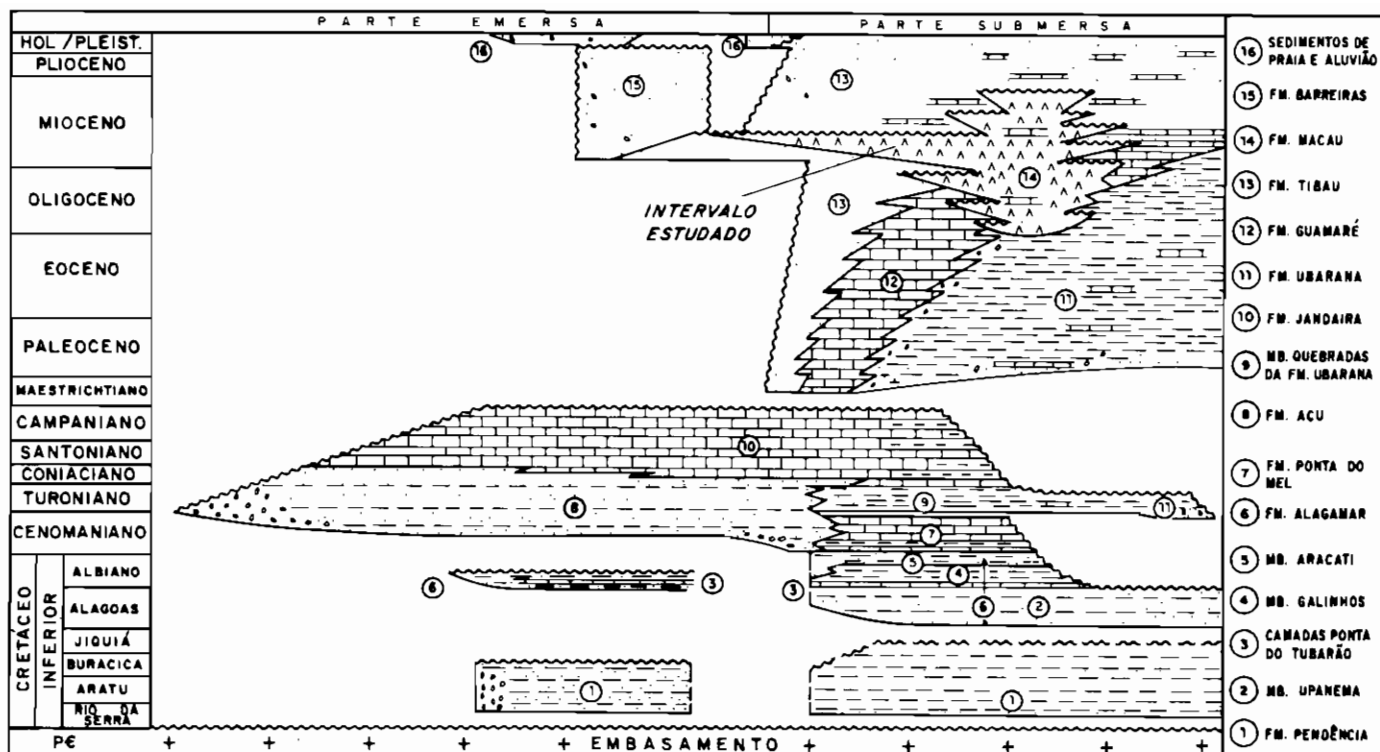


Fig. 2 - Coluna estratigráfica da Bacia Potiguar (modificada de SOUZA, 1982).
 Fig. 2 - Potiguar Basin stratigraphic column (modified from SOUZA, 1982).

podem atingir até 2,0 mm de comprimento. O plagioclásio, levemente alterado, ocorre como ripas tabulares com maclas e/ou zoneamento.

Os piroxênios bem formados (euédricos) apresentam cor castanho-azulada, indicando augita titanífera.

A olivina ocorre como microfenocristais,

mas, em geral, é rara. A magnetita que apresenta formas "esqueléticas" é bastante comum.

B. Diabásios

São rochas que se caracterizam por apresentarem textura ofítica e cristais que atingem até 4,0 mm de comprimento.

A composição mineralógica inclui piroxênio (augita) e plagioclásios. Nestes, as olivinas são raras, mas a magnetita é abundante.

C. Rochas vulcanoclásticas

Denominam-se rochas vulcanoclásticas (FISCHER, 1961, 1966) os sedimentos clásticos que, independentemente do processo deposicional, apresentam predomínio de fragmentos de origem vulcânica. Em função da gênese dos fragmentos, são reconhecidas (LAJOIE, 1979) quatro categorias de rochas vulcanoclásticas:

Autoclásticas — formadas a partir da fragmentação de lavas sólidas ou semi-sólidas por processos de quebra mecânica ou explosão de gases;

Hidroclásticas — resultantes do rápido resfriamento do magma quando em con-

tato com águas rasas ou sedimentos saturados;

Piroclásticas — associadas a explosões vulcânicas subaéreas;

Epiclásticas — formadas por fragmentos resultantes de processos intempéricos que agem nas rochas vulcânicas.

Na Formação Macau, até o momento, foram reconhecidas somente rochas vulcanoclásticas dos tipos autoclástica e hidroclástica.

C.1 - Rochas vulcanoclásticas autoclásticas

Autobrechas vulcânicas — (foto 1) são constituídas por fragmentos de basalto vítreo e basalto hemicristalino, angulosos, subangulosos, com diâmetros que variam de 2 mm até 3,0 cm, imersos em matriz vítrea parcialmente substituída por zeolitas fibrorradiadas, material argiloso e carbonatos. Nestes, observam-se raros fragmentos de cristais (olivinas) e microfósseis associados.

C.2 - Rochas vulcanoclásticas hidroclásticas

Pseudoaloclastitos — são amostras constituídas de vidro vulcânico com abun-

TABELA I/TABLE I

POÇOS COM TESTEMUNHAGEM NA
 FORMAÇÃO MACAU DA BACIA
 POTIGUAR (RN)
 CORE-SAMPLED WELL IN
 POTIGUAR BASIN'S MACAU
 FORMATION (STATE OF RIO
 GRANDE DO NORTE)

Poço	Intervalo Testemunhado (m)
1-RNS-06	1 744,7-1 759,3
1-RNS-12	1 300-1 318
1-RNS-63	782-790
3-UB-02-RNS	935-941
3-AG-02-RNS	1 002,8-1 009,6
7-AG-03-RNS	1 662-1 670
3-AG-15-RNS	1 700-1 718

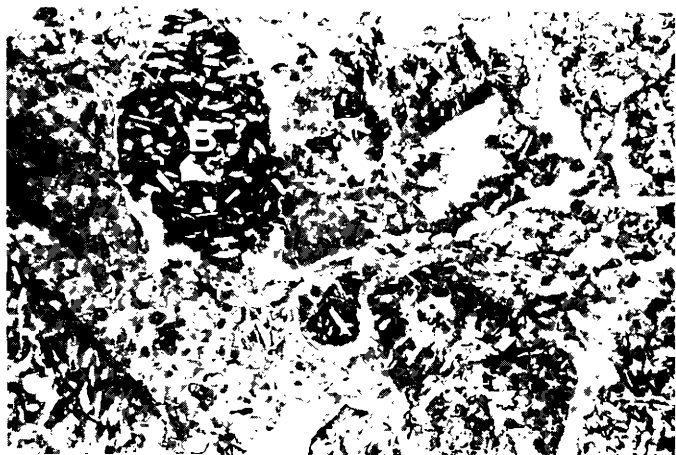


Foto 1 - Autobrecha vulcânica onde se destacam fragmentos de basalto (B) vítreo a hemicristalino imersos em matriz vítrea parcialmente alterada. Formação Macau, poço 3-AG-2-RNS; 1 003,3 m; 25 x; nicóis paralelos.

Photo 1 - Volcanic auto-breccia marked by fragments of vitreous and hemicrystalline basalt (B) immersed in partially altered vitreous matrix. Macau Formation, well 3-AG-2-RNS; 1,003.3 m; 25 x; parallel nicols.

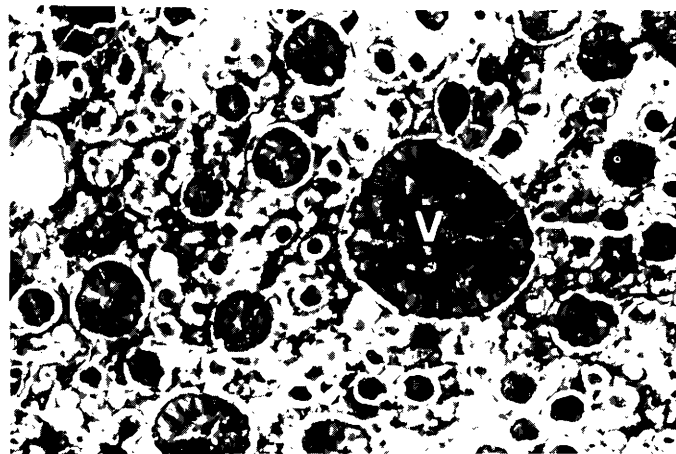


Foto 2 - Pseudo-hyaloclastito constituído de vidro vulcânico com abundantes vesículas (V) preenchidas por calcita ou clorita. Formação Macau, poço 1-RNS-12; 1 304,6 m; 63 x; nicóis paralelos.

Photo 2 - Pseudo-hyaloclastite comprised of volcanic glass with abundant vesicles (V) filled with calcite or chlorite. Macau Formation, well 1-RNS-12; 1,304.6 m; 63 x; parallel nicols.



Foto 3 - Hialoclastito onde se destacam fragmentos vítreos (V) e raras vesículas em matriz 3-UB-2-RNS; 936,1 m; 63 x; nicóis paralelos.

Photo 3 - Hyaloclastite characterized by the presence of vitreous fragments (V) and sparse vesicles in matrix 3-UB-2-RNS; 936.1 m; 63 x; parallel nicols.

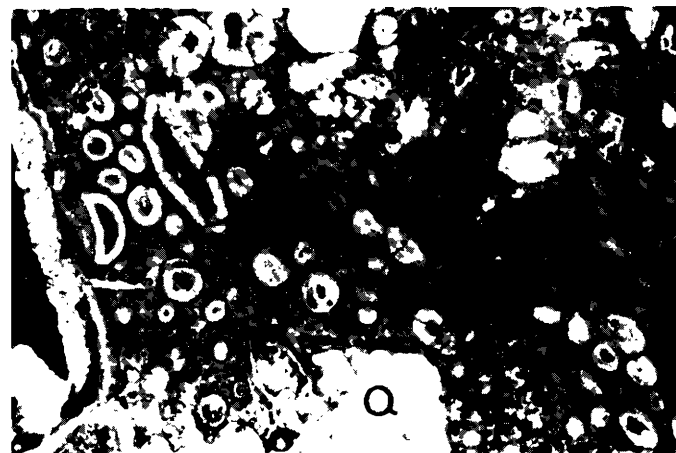


Foto 4 - Hialoclastito retrabalhado caracterizado pela presença de fragmentos de quartzo (Q). Formação Macau, poço 1-RNS-63; 782,1 m; 25 x; nicóis paralelos.

Photo 4 - Reworked hyaloclastite characterized by the presence of quartz fragments (Q). Macau Formation, well 1-RNS-63; 782.1 m; 25 x; parallel nicols.

dantes vesículas preenchidas por calcita ou clorita (foto 2). As vesículas arredondadas têm diâmetros que variam de 0,5 mm a 2,0 mm. O vidro vulcânico, neste caso, encontra-se pouco alterado.

Hyaloclastitos — são rochas constituídas por fragmentos vítreos, de angulosos a subangulosos, com vesículas preenchidas por calcita, clorita, calcedônia e zeolitas (foto 3). Estes fragmentos, algumas vezes, apresentam em seu interior microlitos de plagioclásio e/ou piroxênio e intensa pigmentação por óxidos de fer-

ro. A matriz é constituída por vidro vulcânico (cinzas?) parcialmente alterado para minerais argilosos e zeolitas. Entre os fragmentos, a cimentação por calcita recristalizada é comum.

Hyaloclastitos retrabalhados — são semelhantes aos anteriores, porém com grãos arredondados de quartzo e feldspato (raro) associados (foto 4). Outras feições observadas são as vesículas orientadas, que evidenciam fluxo, e as microfaturas preenchidas por carbonatos.

4 — SISTEMA PERMOPOROSO DAS ROCHAS ÍGNEO-BÁSICAS E VULCANOCLÁSTICAS

As rochas ígneo-básicas e vulcanoclásticas da Formação Macau, até o momento, não constituem reservatórios de hidrocarbonetos. Uma análise destas rochas indica que o sistema permoporoso pode ser dividido em: porosidade por fraturamento, porosidade móldica e permeabilidade.

4.1 – Porosidade por Fraturamento

A observação dos testemunhos das rochas ígneo-básicas da Formação Macau indica o predomínio de fraturas subverticais e, secundariamente, fraturas horizontais.

As fraturas subverticais são descontínuas por pequenas distâncias, abertas, e apresentam as paredes recobertas por minerais secundários, tais como pirita e calcita. Estas fraturas têm aberturas que variam de poucos milímetros até 2 ou 3 cm quando se apresentam totalmente cimentadas por calcita.

As fraturas horizontais parecem estar ligadas ao processo de testemunhagem, pois não mostram associação com minerais secundários ou alterações.

As rochas vulcanoclásticas, de modo geral, são caracterizadas por intenso microfraturamento. Como microfaturas designam-se aquelas fraturas irregulares, abertas ou preenchidas por calcita. Estas fraturas têm aberturas muito pequenas, eventualmente atingindo 1,0 mm. São feições originadas por contração térmica durante o resfriamento do material.

4.2 – Porosidade Móldica

Os basaltos e os diabásios apresentam localmente porosidade móldica resultante da dissolução de cristais de olivina ou piroxênio. Os poros têm formas irregulares, diâmetro máximo entre 1 mm e 2 mm e aparentemente não têm comunicação.

Os intervalos com porosidade móldica não ultrapassam espessuras de 5 cm a 10 cm. Supõe-se que, caso as rochas vulcânicas da Formação Macau possam ser reservatório de hidrocarbonetos, a porosidade resultante da dissolução de cristais não será significativa.

No caso das rochas vulcanoclásticas, a porosidade móldica resultante da dissolução dos grânulos de vidro é importante. MAYER & CESERO (1975) obtiveram, em laboratório, um valor de 28% para a porosidade de uma amostra de hialoclastito (poço 1-RNS-12; testemu-

TABELA II/TABLE II

RESULTADOS DE DATAÇÕES RADIOMÉTRICAS RESULTS FROM RADIOMETRIC DATING

Poço	Material Datado	Resultado (m.a.)
1-RNS-03	rocha total (calha)	42 ± 3
1-RNS-05	rocha total (calha)	33 ± 1
1-RNS-06	plagioclásio	44,6 ± 6,6

nho 1; 1 300-1 318 m).

4.3 – Permeabilidade

A permeabilidade primária das rochas ígneo-básicas e vulcanoclásticas está relacionada ao microfraturamento. A permeabilidade efetiva destas rochas, no entanto, é secundária e relacionada às fraturas maiores, conforme demonstrado por AGUILLERA (1980).

5 – DATAÇÕES RADIOMÉTRICAS

Os basaltos da Formação Macau foram datados radiometricamente pelo método potássio-argônio (K/Ar). Na maioria das vezes, estas amostras estão alteradas, o que tem ocasionado problemas analíticos quanto à determinação do potássio e do argônio.

O teor de potássio foi dosado por espectrofotometria de absorção atômica. O argônio, após extração por fusão da amostra em alto vácuo, foi analisado pelo método da diluição isotópica. Estas análises foram realizadas no Laboratório de Geocronologia da Universidade de São Paulo.

A seleção das amostras para datação radiométrica foi baseada em critérios petrográficos, evitando-se aquelas que continham vidro vulcânico e minerais secundários. Os resultados obtidos acham-se na tabela II.

FODOR & McKEE (1986) apresentaram resultados de datação K/Ar por rocha total em duas amostras do poço 1-RNS-06, obtendo 29,0 ± 0,9 e 36,3 ± 1,0 m.a.

A idade K/Ar representa o tempo decor-

rindo após o último resfriamento experimentado pelo sistema, coincidindo, em geral, com a época de formação da rocha para os vulcanismos básicos do Cenozóico e Mesozóico.

Assim, com base nos dados obtidos, têm-se idades radiométricas que variam de 29,0 ± 0,9 m.a. a 44,6 ± 6,6 m.a., confirmando a idade terciária para a Formação Macau.

6 – CLASSIFICAÇÃO QUÍMICA

Análises químicas de rochas ígneo-básicas são consideradas de boa qualidade quando os valores de perda ao fogo (H_2O^+) são inferiores a 5%. Estes valores são obtidos somente com amostras que não apresentam alterações, fraturas ou vesículas.

Os basaltos da Formação Macau estão muito alterados. O vidro vulcânico, minerais máficos e o plagioclásio são substituídos por fases hidratadas (esmectitas e zeolitas), cloritas e carbonatos, ocasionando valores de perda ao fogo excessivamente elevados (até 22,16%). Estas análises (tabela III), apesar de não serem consideradas de qualidade superior, foram utilizadas para se obter uma classificação química inicial destas rochas.

A figura 3 mostra um diagrama P_2O_5 x TiO_2 , no qual, conforme já verificado por FODOR & McKEE (1986), observa-se que estas concentrações são mais elevadas em relação àquelas normalmente obtidas nos basaltos da Cordilheira Meso-Oceânica (MORB), nos basaltos toleíticos associados com a abertura do Atlântico Norte, nos basaltos da Bacia

TABELA III/TABLE III

RESULTADOS DE ANÁLISES QUÍMICAS DE AMOSTRAS DA FORMAÇÃO
MACAU DA BACIA POTIGUAR
RESULTS OF CHEMICAL ANALYSES PERFORMED ON SAMPLES FROM
THE POTIGUAR BASIN'S MACAU FORMATION

	Poço 1-RNS-06					Poço 1-RNS-12	
	1*	2*	Amostra 3*	4**	5*	Amostra 1**	2*
SiO ₂	52,66	52,41	52,79	53,60	52,53	51,39	45,89
TiO ₂	2,33	2,05	2,34	2,50	2,41	2,18	2,74
Al ₂ O ₃	15,41	15,95	14,84	15,96	15,39	14,13	16,57
FeO	3,91	3,30	3,69	2,74	3,84	2,83	5,46
Fe ₂ O ₃	3,82	2,74	6,94	5,24	6,03	5,52	6,76
MnO	0,10	0,11	0,09	0,10	0,10	0,13	0,16
MgO	4,62	5,01	6,77	6,04	5,27	11,43	6,77
CaO	9,01	9,34	4,35	5,93	8,19	5,78	13,43
Na ₂ O	4,93	5,80	3,30	5,82	4,42	5,01	2,02
K ₂ O	2,31	2,73	3,85	1,48	1,50	1,10	1,24
P ₂ O ₅	0,56	0,47	0,48	0,52	0,61	0,42	0,59
SrO	0,05	0,04	0,05	0,06	0,07	0,04	0,06
Perda ao fogo	4,65	12,24	3,64	12,30	3,14	22,16	12,00

* FODOR & McKEE (1986).

** Divisão de Química do Centro de Pesquisas da PETROBRÁS (1987).

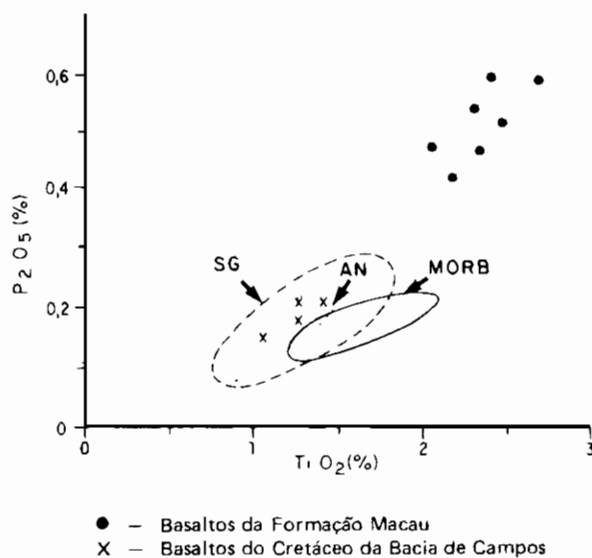


Fig. 3 - Diagrama P₂O₅ x TiO₂ para amostras de basalto da Formação Macau. Os campos definidos por SG, AN e MORB indicam a posição de amostras da Formação Serra Geral (Bacia do Paraná), de amostras dos basaltos do Atlântico Norte e amostras da cordilheira meso-oceânica, respectivamente (modificado de FODOR & McKEE, 1986).

Fig. 3 - P₂O₅ x TiO₂ diagram for basalt samples from the Macau Formation. Fields SG, AN, and MORB indicate the location of Serra Geral Formation samples, (Paraná Basin), Northern Atlantic basalt samples, and mid-ocean ridge samples, respectively (modified from FODOR & McKEE, 1986).

do Paraná e nos de Campos (MIZUSAKI, 1986). FLOYD & WINCHESTER (1975) sugerem que valores de P₂O₅ superiores a 0,4%, como os obtidos para os basaltos da Formação Macau, são um bom indicador de afinidade alcalina.

O diagrama triangular TiO₂ x P₂O₅ x K₂O (PEARCE *et alii*, 1975) tem sido utilizado para discriminar as rochas de origem continental das oceânicas (fig. 4). A linha divisória entre os campos oceânico e continental foi obtida a partir do estudo de grande número de análises de rochas típicas destes dois ambientes. As amostras da Formação Macau posicionam-se no campo II, indicando origem continental.

Na figura 5, as análises químicas dos basaltos da Formação Macau foram plotadas num diagrama (Na₂O + K₂O) x SiO₂. Estes resultados, quando comparados aos limites estabelecidos na literatura (COX *et alii*, 1979; MACDONALD & KATSURA, 1964; KUNO, 1968; SAGGERSON & WILLIAMS, 1964), indicam uma natureza alcalina (de moderada a fortemente alcalina).

7 - FÁCIES VULCÂNICAS DA FORMAÇÃO MACAU

O estudo das associações de rochas vulcanoclásticas e de ígneo-básicas em sub-superfície é dificultado pela complexidade petrográfica apresentada por estas rochas, pela ação intensa da diagênese e também pela interação entre processos vulcânicos e sedimentares.

Nestes casos, o uso de critérios petrográficos e petrológicos para o estabelecimento da fácies tem sido aplicado com sucesso, permitindo o estudo de suas relações estratigráficas.

Na Formação Macau, em função destes critérios, são reconhecidas três fácies distintas: de lava, de brecha e de hialoclastito (tabela IV).

As associações de fácies similares têm sido relacionadas com extrusões de lavas básicas em ambientes subaquosos rasos. Estas associações são caracterizadas pela

presença de complexos de lava localizados, interdigitados com brechas e hialoclastitos.

A descrição dos testemunhos, amostras laterais e de calhas disponíveis para a Formação Macau indica que a fácies de lava (A) apresenta maior espessura na área do poço 1-RNS-06.

Os basaltos ocorrem sob a forma de derrames com processo de diferenciação textural das bordas para o centro do corpo, em função da velocidade de resfriamento da lava. Os basaltos com textura holoalinal são observados na base e no topo dos derrames. Os basaltos hemicristalinos caracterizam as porções mais centrais dos derrames, enquanto o de textura holocristalina é descrito somente no núcleo dos corpos mais espessos.

As vesículas* observadas nos basaltos são pequenas (< 1 mm) e pouco numerosas. Existe uma relação entre o número e o volume das vesículas com a profundidade da água onde houve o extravasamento da lava. Vesículas centimétricas e numerosas são associadas com vulcanismos subaéreos; vesículas com pequeno diâmetro identificam derrames subaquosos rasos, enquanto a ausência destas feições associa-se a vulcanismo marinho profundo (MOORE, 1965). Assim, a fácies de lava (A) da Formação Macau provavelmente está relacionada com extrusões em águas rasas.

Os diabásios, quando associados ao vulcanismo basáltico, indicam preenchimento das fissuras de alimentação dos derrames ou representam pequenos sills intrudidos na seqüência vulcânica (HUGUES, 1982).

A fácies de lava (A) passa gradualmente para a fácies de brecha (B). As autobre-

* Como vesículas são denominadas as cavidades que ocorrem principalmente na base e no topo dos derrames. Podem estar total ou parcialmente preenchidas por minerais secundários (clorita, zeolita e calcedônia), sendo então denominadas amígdalas por alguns autores (LEINZ & AMARAL, 1975).

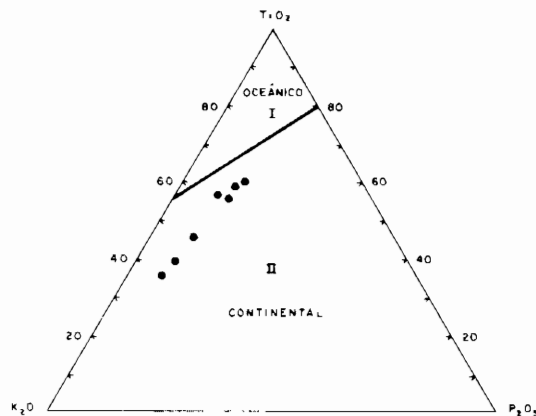


Fig. 4 - Diagrama $TiO_2 \times K_2O \times P_2O_5$ (PEARCE et alii, 1975) para amostras da Formação Macau.

Fig. 4 - $TiO_2 \times K_2O \times P_2O_5$ diagram (PEARCE et alii, 1975) for Macau Formation samples.

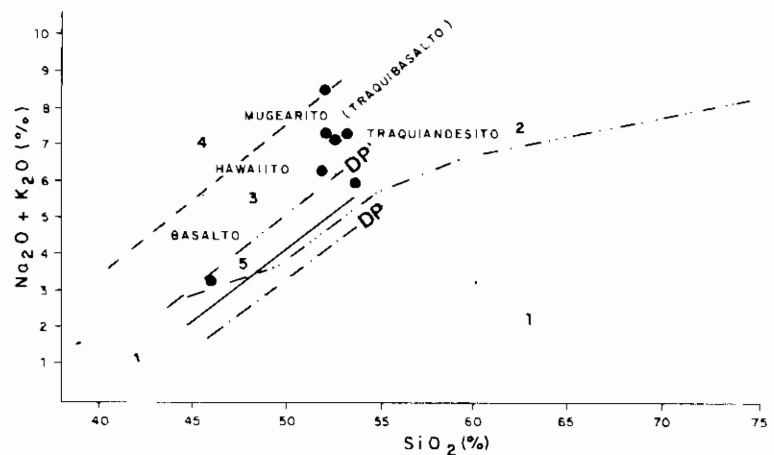


Fig. 5 - Diagrama $(Na_2O + K_2O) \times SiO_2$ para amostras de basalto da Formação Macau. Os campos de classificação generalizada (linhas pontilhadas) são de COX et alii (1979). O campo 1 define rochas toléiticas (KUNO, 1968); o campo 2 indica rochas subalcalinas (MACDONALD & KATSURA, 1964); o campo 3 indica rochas moderadamente alcalinas (SAGGERSON & WILLIAMS, 1964); o campo 4 mostra rochas fortemente alcalinas. As linhas DP e DP' definem o campo 5, que corresponde às rochas basálticas do tipo transicional segundo BELLINI et alii (1981).

Fig. 5 - $(Na_2O + K_2O) \times SiO_2$ diagram for Macau Formation basalt samples. The generalized classification fields (dotted lines) are from COX et alii (1979). Field 1 indicates tholeiitic rocks (KUNO, 1968); field 2, subalkaline rocks (MACDONALD & KATSURA, 1964); field 3, moderately alkaline rocks (SAGGERSON & WILLIAMS, 1964), and field 4, highly alkaline rocks. Lines DP and DP' define field 5, which corresponds to transitional type basalt rocks, according to BELLINI et alii (1981).

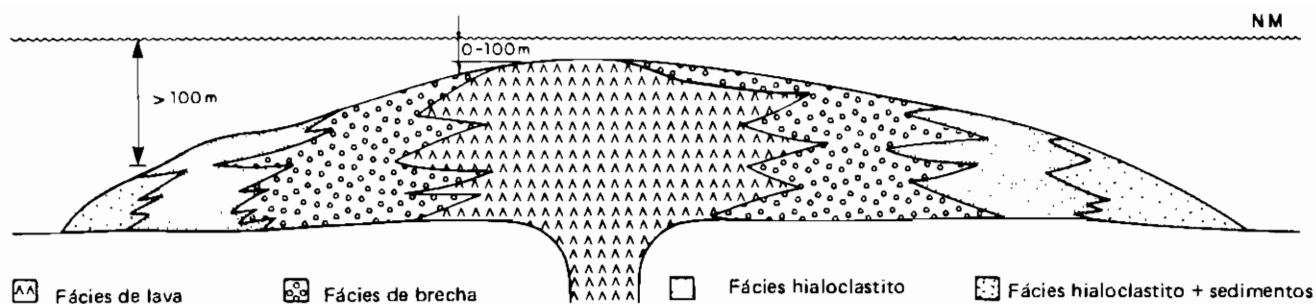


Fig. 6 - Seção esquemática mostrando a distribuição das fácies vulcânicas da Formação Macau.
Fig. 6 - Schematic section showing distribution of volcanic facies in the Macau Formation.

chas vulcânicas são indicativas da fragmentação de lavas sólidas ou semi-sólidas pela expansão dos gases ou pelo próprio movimento do fluxo. Esta litologia pode ser associada a derrames tanto subaéreos como subaquosos rasos. Nos testemunhos analisados, a eventual presença de microfósseis (foraminíferos bentônicos) nas autobrechas vulcânicas confirma o vulcanismo subaquoso raso. As autobrechas, neste caso, associam-se a depósitos do tipo tálus ou até a turbiditos.

Na porção mais distal, fácies de hialoclastitos (C), as pequenas dimensões dos fragmentos vítreos e a alta vesicularidade indicam um resfriamento extremamente rápido da lava e ausência de atividade piroclástica. Os hialoclastitos indicam extravasamento da lava em águas mais profundas (em geral até 500 m), sendo, freqüentemente, retrabalhados por correntes quando depositados nas porções mais distais juntamente com material sedimentar (hialoclastito retra-

balhado). Esta fácies de hialoclastito (C) foi identificada principalmente nos poços do Campo de Agulha.

Na Formação Macau, intercalados nas diferentes fácies, são encontrados intervalos de folhelho, calcarenito e arenito. Estas intercalações são indicativas de períodos de quiescência mais ou menos longos durante os episódios vulcânicos.

A figura 6 mostra uma seção esquemática da distribuição das fácies vulcânicas descritas.

8 - CONCLUSÕES

- A Formação Macau (Bacia Potiguar), formada por derrames de composição básica associados com rochas vulcanoclásticas, tem idades radiométricas, determinadas pelo método potássio-argônio, que variam de $29,0 \pm 0,9$ m.a. a $44,6 \pm 6,6$ m.a. (Eoceno-Oligoceno);
- As análises químicas de amostras se-

leccionadas das rochas ígneo-básicas da Formação Macau indicam que estas fazem parte de uma associação vulcânica de natureza subalcalina/alcalina, segundo os critérios de COX *et alii* (1979), MACDONALD & KATSURA (1964), KUNO (1968) e SAGGERSON & WILLIAMS (1964). Estas mesmas amostras, plotadas num diagrama $TiO_2 \times K_2O \times P_2O_5$ (PEARCE *et alii*, 1975), indicam origem continental para estas rochas;

- As rochas ígneo-básicas são representadas por derrames de basalto com diabásios associados. Os derrames apresentam processos de diferenciação textural que originam basaltos com texturas do tipo holoalinalina, hemicristalina e holocristalina;
- As rochas vulcanoclásticas associadas aos derrames resultam na interação das lavas com o meio ambiente. Assim, na Formação Macau, foram identificadas rochas vulcanoclásticas autoclásticas e hidroclásticas;
- As rochas sedimentares (folhelhos, calcarenitos e arenitos), quando presentes, representam intervalos de quiescência entre os derrames consecutivos;
- As rochas ígneo-básicas e vulcanoclásticas, tendo por base os dados obtidos até o momento, não constituem rochas-reservatório de hidrocarbonetos. Somente a porosidade móldica resultante da dissolução dos grânulos de vidro das rochas vulcanoclásticas hidroclásticas é significante em alguns intervalos;
- Em função de critérios petrográficos e petrológicos, são reconhecidas três fácies distintas na Formação Macau: de lava, de brecha e de hialoclastito;
- A associação destas fácies indica ex-

TABELA IV/TABLE IV

FÁCIES PETROGRÁFICA DA FORMAÇÃO MACAU MACAU FORMATION PETROGRAPHIC FACIES

Fácies	Tipo Petrográfico
Lava (A)	basalto diabásio
Brecha (B)	autobrecha vulcânica
Hialoclastito (C)	pseudoialoclastito hialoclastito hialoclastito retrabalhado

travasamento de lavas básicas em ambiente subaquoso raso;

- A fácies de lava identifica um complexo vulcânico localizado (área do poço 1-RNS-06). Esta fácies grada para a fácies de brecha, que identifica depósitos do tipo tálus ou turbiditos;
- Nas porções mais distais, a fácies hialoclastito evidencia o rápido resfriamento do magma;
- Os hialoclastitos são retrabalhados por correntes, sendo depositados juntamente com material sedimentar.

AGRADECIMENTOS

Ao geólogo Pedro de Cesero, pela revisão do texto e sugestões. Ao Auxiliar Técnico de Geologia Rogério Pires, pelo excelente trabalho de seleção e coleta de amostras de calha para a confecção de lâminas petrográficas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUILLERA, R. 1980. *Naturally fractured reservoirs*. Oklahoma, Pennwell. 703 p.
- BELLIENI, G.; PICCIRILLO, E. M.; ZANETTIN, B. 1981. Classification and nomenclature of basalts. s. l., IUGS. Subcommission on the systematics of igneous rocks. p. 1-19. (Circular, 34; Contribution, 87).
- COX, K. G.; BELL, J. D.; PANKHURST, R. J. 1979. *The interpretation of igneous rocks*. London, Allen & Unwin. 445 p.
- FISCHER, R. V. 1961. Proposed classification of volcanoclastic sediments and rocks. *Geological Society of America Bulletin*, 72: 1409-14, Sept.
- FLOYD, P. A. & WINCHESTER, J. A. 1975. Magma type and tectonic setting discrimination using immobile elements. *Earth and Planetary Science Letters*, 27 (2): 211-8, Sept.
- FODOR, R. V. & MCKEE, E. H. 1986. Tertiary basaltic rocks from offshore northeastern Brazil: Geochemistry and K-Ar ages. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, 58 (2): 233-41, jun.
- HUGUES, C. J. 1982. *Igneous petrology*. New York, Elsevier. 551 p. (Developments in Petrology, 7).
- KUNO, H. 1986. Differentiation of basalt magmas. In: HESS, H. H. & POLDEVAART, A., eds. *Basalts treatise on rocks of basaltic compositions*. New York, Wiley & Sons. v. 2, p. 623-88.
- LAJOIE, S. 1979. Volcanoclastic rocks. In: WALKER, R. G., ed. *Facies models*. Toronto, Geological Association of Canada. p. 191-200. (Geoscience Canadian Reprint Series, 1).
- MACDONALD, G. A. & KATSURA, T. 1964. Chemical composition of Hawaiian lavas. *Journal of Petrology*, 5: 82-133, Oct.
- MAYER, E. 1974. *Estratigrafia preliminar da Plataforma Continental da Bacia Potiguar*. Rio de Janeiro, PETROBRÁS. DEPEX. Relatório interno.
- MAYER, E. & DE CESERO, P. 1975. *Descrição petrográfica do testemunho nº 1 do poço 1-RNS-12 (1 300-1 318 m)*. Rio de Janeiro, PETROBRÁS. DEPEX. Relatório interno.
- MIZUSAKI, A. M. P. 1986. *Rochas ígneo-básicas do Neocomiano da Bacia de Campos - caracterização e comportamento como reservatório de hidrocarbonetos*. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Geociências. 104 p.
- MOORE, J. G. 1965. Petrology of deep-sea basalt near Hawaii. *American Journal of Science*, 263: 40-52, May.
- PEARCE, T. G. H.; GORMAN, B. E.; BIRKETT, T. C. 1975. The TiO₂ - K₂O - P₂O diagram: a method of discriminating between oceanic and non oceanic basalts. *Earth and Planetary Science Letters*, 24 (3): 419-26, Jan.
- SAGGERSON, E. P. & WILLIAMS, L. A. J. 1964. Ngurumamnite from Southern Kenya and its bearing on the origins of rocks in the Northern Tanganyika alkaline district. *Journal of Petrology*, 5: 40-81.
- SOUZA, S. M. de. 1982. Atualização da litoestratigrafia da Bacia Potiguar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32, Salvador, 1982. *Anais...* Salvador, Sociedade Brasileira de Geologia. p. 2392-406.

BIBLIOGRAFIA

- FISCHER, R. V. 1966. Rocks composed of volcanic fragments. *Earth Science Review*, 1: 287-98.
- LEINZ, V. & AMARAL, S. E. 1975. *Geologia geral*. São Paulo, Companhia Editora Nacional. 360 p.
- SILVESTRI, S. C. 1979. Proposal for a genetic classification of hyaloclastites. *Bulletin Volcanologique*, 25: 315-27, Sept.
- SUTHREN, R. J. 1985. Facies analysis of volcanoclastic sediments. In: BRENCHLEY, P. J. & WILLIAMS, B. P. J., eds. *Sedimentology; recent developments and applied aspects*. [Great Britain], Blackwell Scientific Publications. 342 p.

EXPANDED ABSTRACT

The Potiguar Basin's Macau Formation is comprised of locally vesicular and aphanitic olivine basalt, which sometimes presents a botryoidal texture (MAYER, 1974). The petrographic characteristics and chemical compositions of igneo-basic rocks in Macau Formation core samples collected in the submersed portion of the basin were analyzed and radiometrically dated. Resultant data subsidized a volcanic model proposed for the area. Igneo-basic rocks are represented by associated basalt and diabases. Basalt flows present processes of textural differentiation giving rise to basalts with holohyaline, hemicrystalline, and holocrystalline

textures.

Volcanoclastic rocks were identified associated to these basalt-lava flows. Clastic sediments characterized by a predominance of fragments of volcanic origin, whatever the depositional process, are denominated volcanoclastic rocks (FISCHER, 1961). Using these criteria, hydroclastic and autoclastic rocks can be recognized in the Macau Formation. The latter are volcanic auto-breccia formed during the fragmentation of solid or semi-solid lavas, in turn caused by a process of mechanical break-up or gas explosion. The former consist of ►

pseudo-hyaloclastites and hyaloclastites formed during the rapid cooling of magma upon contact with water or saturated sediments. Reworked hyaloclastites are those which are subjected to depositional processes following fragmentation. The presence of sedimentary rocks associated to igneo-basic rocks in the Macau Formation is indicative of intervals of quiescence between consecutive lava flows.

Petrographic and petrological criteria

reveal three distinct facies in the Macau Formation: lava, breccia, and hyaloclastite. The association of these facies suggests the occurrence of extrusions of basic lava in a shallow subaqueous environment. The lava facies corresponds to a localized volcanic complex. This grades into the breccia facies, with talus or turbidite type deposits. The hyaloclastite facies, identified in more distal portions, indicates rapid cooling of lava in contact with water. The igneo-basic and

volcanoclastic rocks display fracturing and moldic porosity. So far, only moldic porosity resulting from the dissolution of hyaloclastite glass granules is significant in some intervals. Chemical analyses conducted on selected samples of basic igneous rock indicate that these are part of a subalkaline/alkaline volcanic association of continental origin.

Based on radiometric dating (K/Ar), this formation has been identified as belonging to the Tertiary.