

PROJETO GAROUPA: ATUALIZAÇÃO DE ALGUNS ASPECTOS DA INTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA

GAROUPA PROJECT: AN UP-TO-DATE OF SOME ASPECTS OF THE GEOLOGICAL INTERPRETATION

Cleyton Schuch Baumgarten ⁽¹⁾

RESUMO — O Campo de Garoupa produz petróleo apenas dos calcarenitos e calcirruditos da Formação Macaé e ocupa a quarta posição entre os campos da Bacia de Campos produtores nesse reservatório. Dois tópicos são abordados, o da evolução da principal falha de Garoupa, coincidente com a própria evolução do campo, e o da delimitação do reservatório. A Falha de Garoupa, na borda leste do campo, encerra três períodos de atividade: do Albiano Superior ao Maastrichtiano, durante o Oligoceno (porção basal e média da seção correspondente) e do Mioceno Inferior ao Mioceno Médio. Das sete zonas de produção, a zona X, no topo, acunha-se em todos os sentidos, não sofrendo influxo lateral de água. As zonas I e II acunham-se para leste e para oeste do campo, com aquífero lateral atuante a norte-nordeste e a sul-sudoeste, o que provavelmente também ocorre com as zonas III, IV, V e VI.

ABSTRACT — *The Garoupa Field produces petroleum solely from Macaé Formation calcarenites and calcirrudites and ranks fourth among Campos Basin fields producing in this reservoir. The evolution of the Garoupa Field's main fault, which coincides with the evolution of the field itself, and the demarcation of the reservoir are discussed. Located on the eastern edge of the field, the Garoupa Fault covers three periods of activity: from the Late Albian to the Maastrichtian; during the Oligocene (basal and median portion of the corresponding section), and from the Early to the Middle Miocene. Of the seven production zones, zone X, at the top, pinches out in all directions and suffers no lateral inflow of water. Zones I and II pinch out to the east and west of the field with an active edge aquifer from the NNE and SSW. The same probably holds true for zones III, IV, V, and VI.*

(Originais recebidos em 17.01.89.)

1 — INTRODUÇÃO

A experiência adquirida, com relação ao reservatório Macaé, no desenrolar do Projeto Bonito (BAUMGARTEN *et alii*, 1984) e durante os estudos desenvolvidos no Campo de Pampo (BAUMGARTEN & SCUTA, 1986; 1988), mostra a necessidade de revisão e atualização de alguns conceitos emitidos no relatório do Projeto Garoupa (BAUMGARTEN *et alii*, 1982). O Campo de Garoupa, com $102,094 \times 10^6 \text{ m}^3$ de óleo *in place* no reservatório Macaé, situa-se na Bacia de Campos, em cotas batimétricas de 120 a 130 m (fig. 1).

Naturalmente, para alcançar esses resultados, tivemos a colaboração de vários outros trabalhos, quer no âmbito de campos produtores no Macaé (SPADINI & PAUMER, 1983; FRANZ, 1984;

DULTRA, 1986; FARIA *et alii*, 1986; SPADINI & PRAÇA, 1987), quer no âmbito de bacia (FIGUEIREDO *et alii*, 1983; FIGUEIREDO & MOHRIAK, 1984; ESTEVES *et alii*, 1987). Contatos formais e informais com colegas do DEPEX/DIRSUL, CENPES/DIGER e DEPRO/DIREV também contribuíram para aperfeiçoar esses conhecimentos.

2 — EVOLUÇÃO DA FALHA DE GAROUPA

A Falha de Garoupa (fig. 2), do tipo lístrica, esteve em atividade durante três épocas distintas, que são analisadas em ordem inversa à cronológica por facilidade de explanação:

3º pulso — Foi contemporâneo à deposição de parte das formações Campos e

1 - DEPEX/DIRSUL/SEDESU
Av. República do Chile, 65,
Centro, CEP 20132, Rio de
Janeiro, RJ, Brasil.

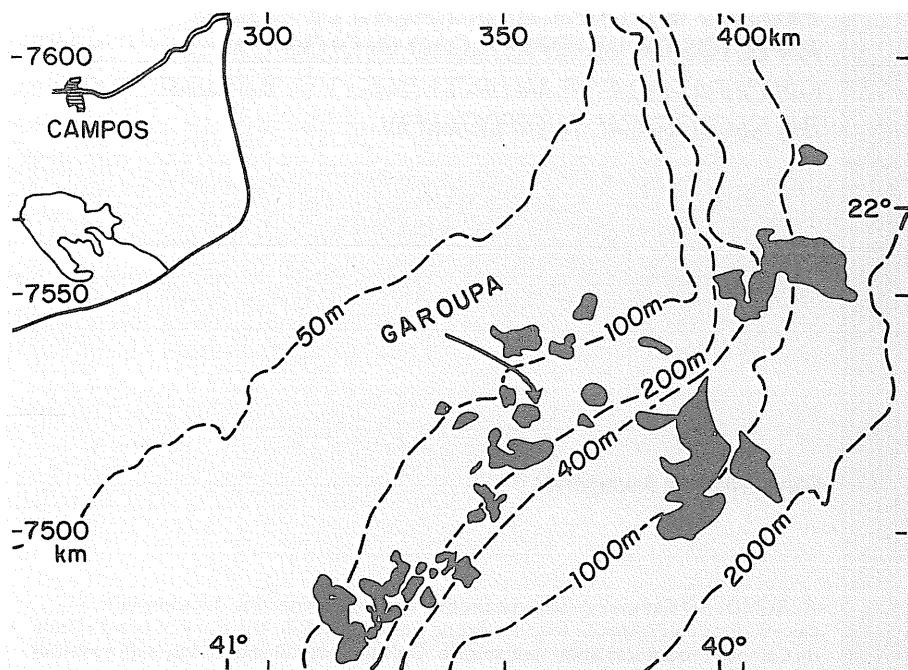
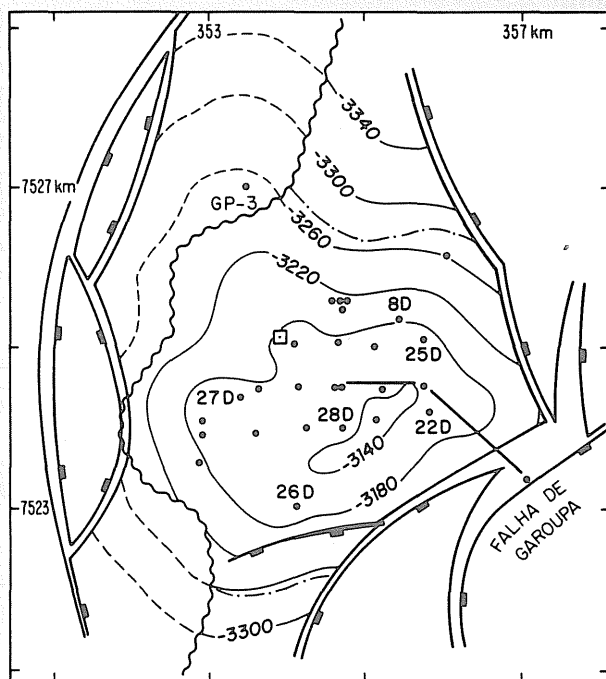


Fig. 1 - Localização dos campos de petróleo da Bacia de Campos.
Fig. 1 - Location of Campos Basin oil fields.



- PLATAFORMA FIXA PGP-1
- POÇO
- ~ LIMITE DE OCORRÊNCIA DA ZONA I
- - - CONTATO ÓLEO/ÁGUA
- SEÇÃO ESTRATIGRÁFICA

Fig. 2 - Estrutura ao nível do topo da zona I e equivalente, Campo de Garoupa. I. C. = 40 m. Abril, 1985.
Fig. 2 - Structure at top of Zone I and equivalent, Garoupa Field. C. I. = 40 m. April, 1985.

Emboré, desde o Mioceno Inferior até o Mioceno Médio. O rejeito vertical correspondente é de cerca de 155 m (fig. 3);

2º pulso — Ocorreu durante a sedimentação de parte do Membro Ubatuba da Formação Campos, nas porções inferior e média da seção oligocênica, levando a um rejeito da ordem de 45 m (fig. 3);

1º pulso — Desenvolveu-se, pelo menos, contemporaneamente à deposição do "Macaé Superior" ou "Bota" e da quase totalidade do Membro Ubatuba cretácico, desde o Albiano Superior até o Maastrichtiano. Conhece-se apenas uma parte deste rejeito, que é de aproximadamente 300 m, pós-marco D (Coniaciano/Santoniano — figs. 4 e 5D).

A variação de espessura dos intervalos estratigráficos da "Bota" (figs. 4 e 5A a C) mostra que o bloco de Garoupa sofreu basculamento simultâneo à deposição deste pacote; tal fato, associado ao conhecimento em outros campos da Bacia de Campos, evidencia a movimentação da Falha de Garoupa desde o Albiano Superior. Há uma dúvida, no entanto: teria ele se iniciado com a deposição da "Bota" ou próximo ao final da deposição dos carbonatos de plataforma rasa, do "Macaé Inferior"? A ordem de grandeza e o sentido de espessamento das zonas de produção superiores, como mapeado no Projeto Garoupa (fig. 6), são praticamente os mesmos observados nos intervalos da "Bota" (fig. 5A a C), o que levaria à conclusão de que a falha teria começado a evoluir quando da sedimentação da zona IV. Por outro lado, o mapeamento realizado em 1985 (figs. 8 e 9), com suporte em mais cinco poços (GP-22D e 25D a 28D — fig. 2), difere substancialmente do anterior, já que as zonas de produção tendem a se adelgaçar sobretudo nos sentidos leste e oeste, onde se posicionam as falhas responsáveis pelo basculamento oeste do bloco de Garoupa.

A ausência de poços em posições estratégicas e a falta de resolução sísmica a um detalhe compatível impossibilitam a precisa datação relativa do início da movimentação dos blocos da Falha de Garoupa.

Por analogia com os campos de Bonito e Pampo, cujas interpretações, suportadas por maior volume de dados, são extremamente semelhantes a esta de Garoupa, de 1985, considera-se que a Falha de Garoupa começou a evoluir no Albiano Superior, pós-"Macaé Água Rasa", levando a um rejeito vertical máximo, neste nível, superior a 500 m (200 m no Terciário + 300 m no Coniaciano/Santoniano e Maastrichtiano + ? m no Albiano Superior e Cenomaniano).

3 - LIMITES DO RESERVATÓRIO

De acordo com a interpretação desenvolvida durante o Projeto Garoupa, tendo a impedância acústica como suporte principal, os calcarenitos/calcirruditos reservatórios do "Macaé Água Rasa" acunham-se em todos os sentidos (fig. 7), gradando a calcilutitos.

O mapeamento realizado em 1985 incorporou tanto a experiência adquirida nos demais campos produtores no Macaé, principalmente Bonito e Pampo, como o histórico de produção. Mapeou-se mais uma zona, denominada zona X, imediatamente acima da zona I (fig. 4), não considerada anteriormente em razão da baixa qualidade da rocha e do pequeno volume de óleo envolvido.

Na interpretação de 1985, considerou-se a zona X como lateralmente isolada por acunhamento (fig. 8) e pela falha a nordeste do campo (fig. 2), com um aquífero insignificante e não atuante a norte-nordeste; deposicionalmente, teria continuidade neste sentido. Hoje, no entanto, admite-se que esta continuidade também não exista, ou seja, a zona é fechada em todos os sentidos.

Para definir o limite da zona X (fig. 8), empregou-se como critério a impedância acústica e o balizamento dado pelos poços GP-22D (com reservatório) e GP-26D (sem reservatório).

Em 1985, foram mapeadas as zonas I e II (subzonas II-A e II-B), acunhando-se para oeste (fig. 8) e para leste; nesta borda do campo, acredita-se que o limite ocorra subparalelamente à Falha de Garoupa, no bloco baixo e próximo ou

praticamente coincidente com seu plano. Admitia-se a continuidade dos calcarenitos/calcirruditos para sul-sudoeste e para norte-nordeste, que se encaixa no contexto da direção preferencial das barras na bacia. O critério de mapeamento destas zonas continua válido, com aquíferos a norte-nordeste e a sul-sudoeste do campo.

Na caracterização do acunhamento oeste das zonas I e II (fig. 8), utilizaram-se, além da impedância acústica, a espessura e a porosidade. Os limites coincidem com espessuras entre 4 e 6 m e porosidades entre 6 e 8%. Não há incoerência no fato de não se ter usado *cut-off* na definição do *net-pay* no Projeto Garoupa; estes valores de porosidades de

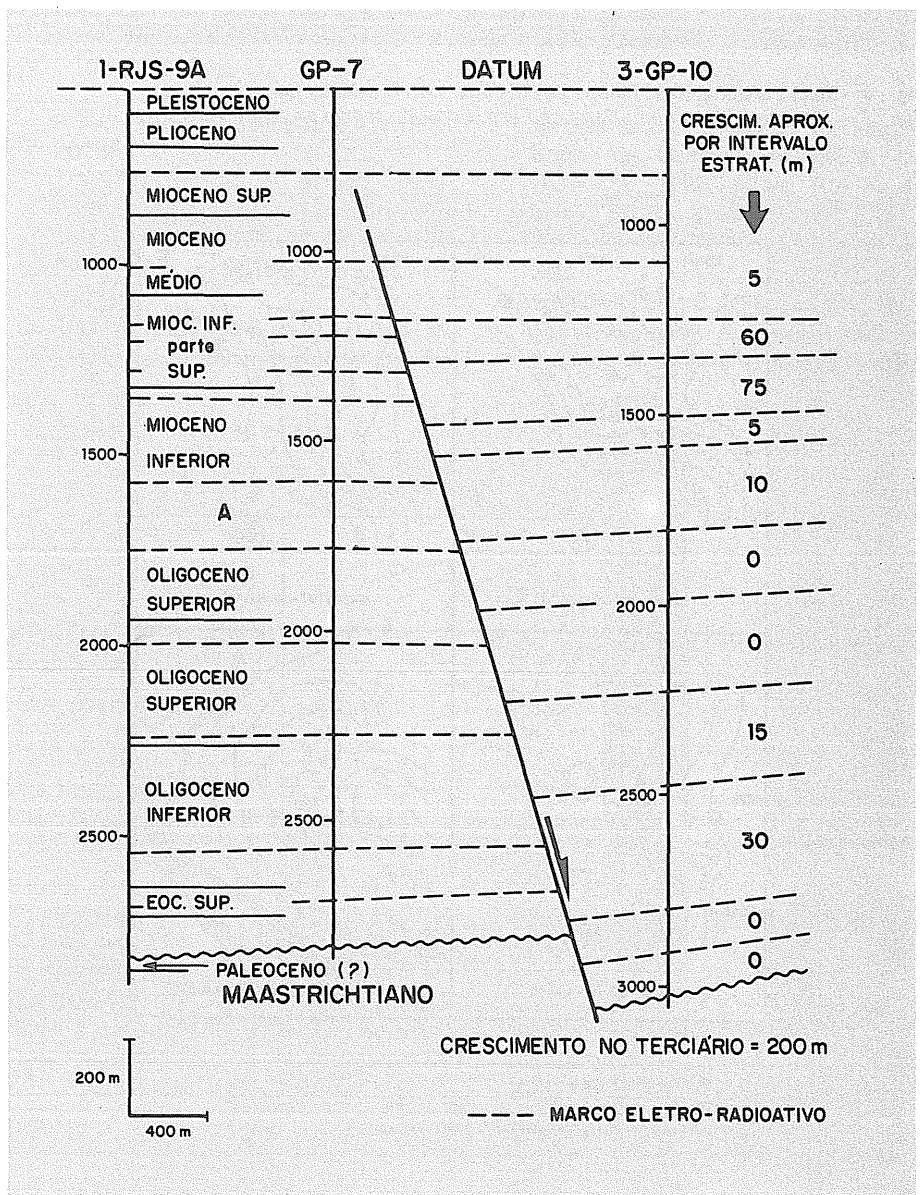


Fig. 3 - Seção estratigráfica através das formações Campos e Emboré, Campo de Garoupa. Localização na figura 2.

Fig. 3 - Stratigraphic section through Campos and Embore formations, Garoupa Field. Location shown on figure 2.

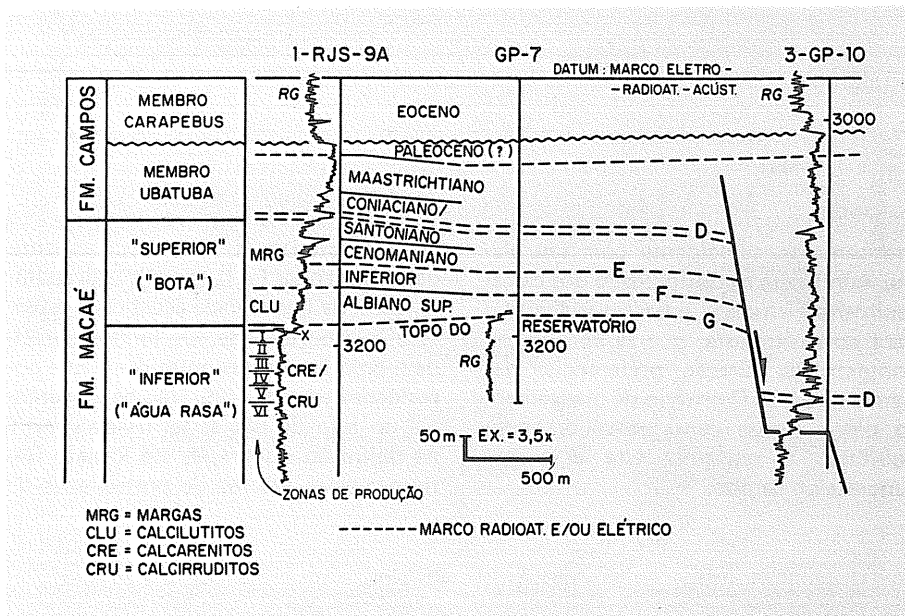


Fig. 4 - Seção estratigráfica, Campo de Garoupa. Localização na figura 2.
 Fig. 4 - Stratigraphic section, Garoupa Field. Location shown on figure 2.

6 a 8% coincidem, aproximadamente, com a gradação para os calcilutitos e calcissiltitos muito finos do 3-GP-3, não-reservatórios.

O histórico de produção dos poços GP-8D e GP-26D, posicionados a cerca de um quilômetro do contato óleo/água, no topo da zona I (fig. 2), corrobora estas inferências geológicas. Em outubro de 1982, apareceu o primeiro BSW significativo no Campo de Garoupa: 10% na zona I, no poço GP-8D, com 3 anos e 8 meses de produção (no mês anterior foi registrada ausência de BSW), caracterizando avanço de água a partir do limite norte-nordeste do campo; a produção acumulada do GP-8D, na época, era de $230 \times 10^3 \text{ m}^3$ de óleo. No caso do GP-26D, o BSW irrompeu no terceiro mês de produção, nas zonas I e II, em janeiro de 1984, com média de 21%, comprovando a atuação do aquífero a partir de sul-sudoeste (figs. 2 e 8).

Para as zonas III, IV (fig. 9), V e VI o sistema foi interpretado, em 1985, como lateralmente aberto, permitindo atuação do aquífero em toda a periferia do campo, exceto a leste, onde passa a Falha de Garoupa. Porém, o influxo de água deve ocorrer, preferencialmente, de sul-sudoeste e de norte-nordeste, como em Bonito e em Pampo, onde a evolução tectono-sedimentar é semelhante. Nestes dois campos, apesar de o sistema ser lateralmente aberto na porção basal do reservatório, a rocha perde qualidade para oeste, limitando o influxo; para leste, como em Garoupa, há o limite por falha.

Faltam elementos para esclarecer algumas dúvidas com relação ao aquífero das zonas de III a VI. A norte-noroeste do campo, o 3-GP-3 (fig. 2) atravessou 230 m de rochas equivalentes às da coluna de óleo, descritas como não-reservatório (calcilutitos e calcissiltitos muito finos). Se tal situação se repetir em toda a borda oeste do campo, as zonas de III a VI estariam acunhadas neste sentido e, como as demais, com aquíferos apenas a norte-nordeste e a sul-sudoeste; a posição dos acunhamentos destas zonas seria praticamente coincidente com a dos acunhamentos das zonas I e II. Até evi-

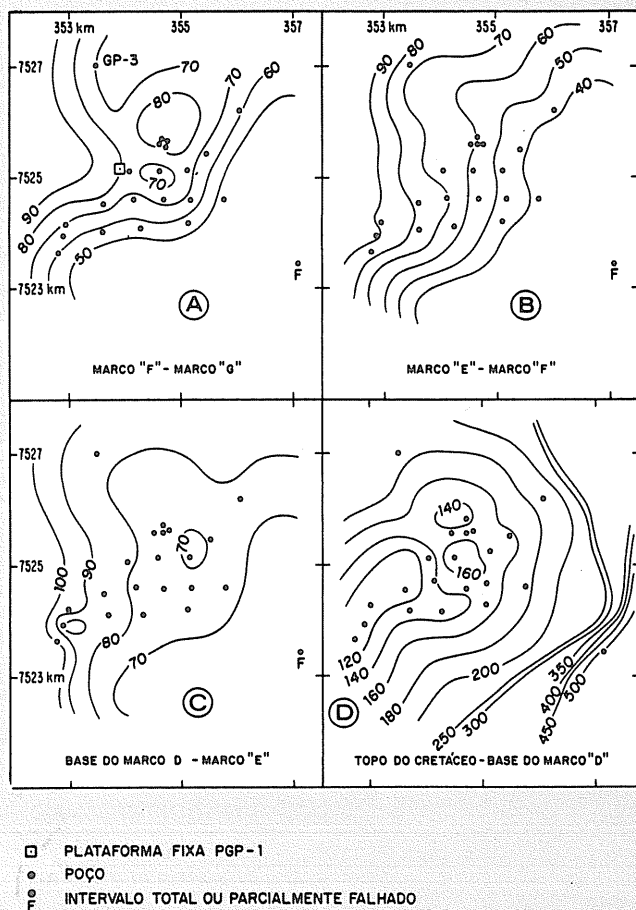


Fig. 5 - Mapas de isopacas de intervalos do "Macaé Superior" e Formação Campos (D), Campo de Garoupa. I. C. em metros (seg. Projeto Garoupa, 1982). Espessura em A, no GP-3, alterada posteriormente por motivo de ajuste na correlação.

Fig. 5 - Isopach maps of Upper Macaé and Campos Formation (D) intervals, Garoupa Field. C. I. in meters. Garoupa Project, 1982. Thickness in A, well GP-3, changed for purpose of correlation adjustment.

dência ou prova em contrário, esta é a interpretação que se considera correta.

O traçamento ao petróleo de Garoupa continua sendo interpretado como estrutural (mergulho e falha) e estratigráfico (acunhamento deposicional) (fig. 2). É estratigráfico na zona X e estrutural-estratigráfico nas zonas I e II, bem como, provavelmente, nas zonas de III a VI. Não se descarta a possibilidade de um componente diagenético no traçamento oeste para as zonas de III a VI. Evolutivamente, o fator estrutural é o mais importante. O fechamento estrutural atual é superior à coluna de óleo (145 m).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAUMGARTEN, C. S. *et alii*. 1982. *Projeto Garoupa*. Rio de Janeiro, PETROBRÁS. DEPEX/CENPES/DE-

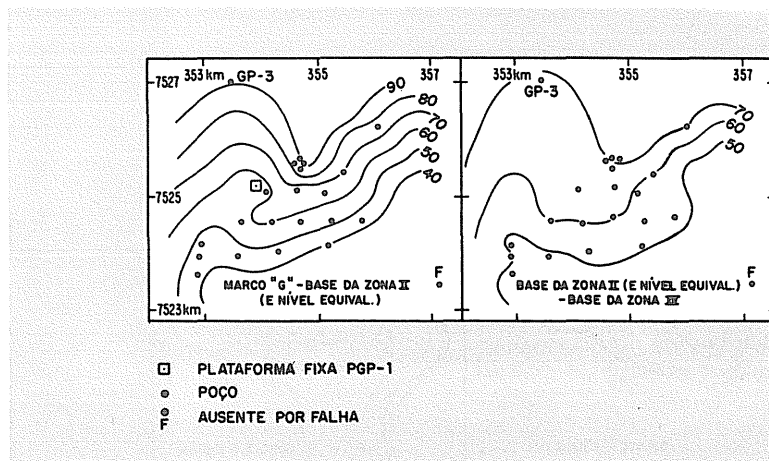


Fig. 6 - Mapas de isópacas de intervalos do reservatório Macaé, Campo de Garoupa. I. C. em metros (seg. Projeto Garoupa, 1982). Espessuras no GP-3 alteradas posteriormente por motivo de ajuste na correlação.

Fig. 6 - Isopach maps of Macaé reservoir intervals, Garoupa Field. C. I. in meters. Garoupa Project, 1982. Thicknesses in GP-3 changed for the purpose of correlation adjustments.

PRO. 165 p. (Relatório técnico, 2098).
 BAUMGARTEN, C. S. *et alii*. 1984. *Projeto Bonito*. Rio de Janeiro, PETROBRÁS. DEPEX/DEPRO/CENPES. 167 p. (Relatório técnico, 3722).
 BAUMGARTEN, C. S. & SCUTA, M. S. 1988. Ajuste de porosidades no Re-

servatório Macaé-Campo de Pampo, Bacia de Campos. In: SEM. DE GDR., 2., 1986. *Anais*. Rio de Janeiro, PETROBRÁS, 1986. p. 210-23, e *B. Geoc. PETROBRÁS*, 2 (1): 3-12.

BAUMGARTEN, C. S. & SCUTA, M. S. 1988. Geometria dos corpos carbonáticos do Reservatório Macaé (Metade

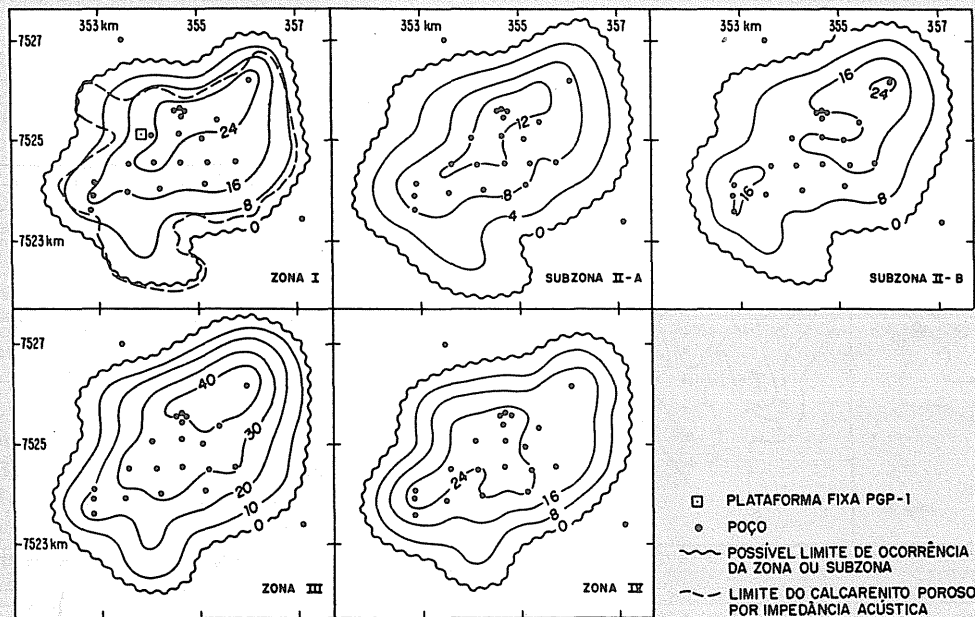


Fig. 7 - Mapas de isópacas das zonas I, III e IV e subzonas II-A e II-B do reservatório Macaé, Campo de Garoupa. I. C. em metros (seg. Projeto Garoupa, 1982).

Fig. 7 - Isopach maps of Macaé reservoir zones I, III and IV and subzones II-A and II-B, Garoupa Field. C. I. in meters. Garoupa Project, 1982.

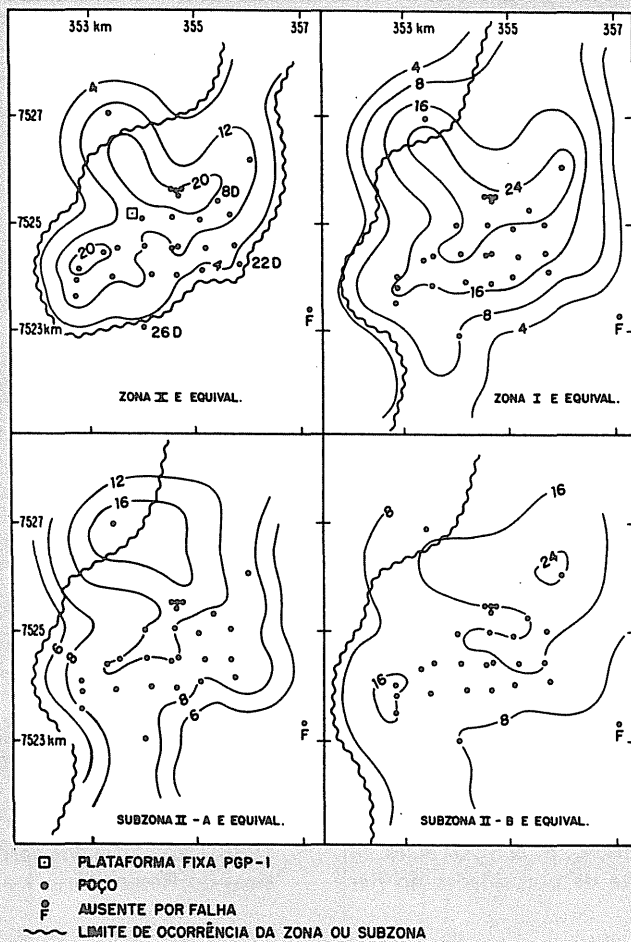


Fig. 8 - Mapas de isopacas das zonas X e I e subzonas II-A e II-B do reservatório Macaé, Campo de Garoupa. I. C. em metros. Abril, 1985.

Fig. 8 - Isopach maps of Macaé reservoir zones X and I and subzones II-A and II-B, Garoupa Field. C. I. in meters. April, 1985.

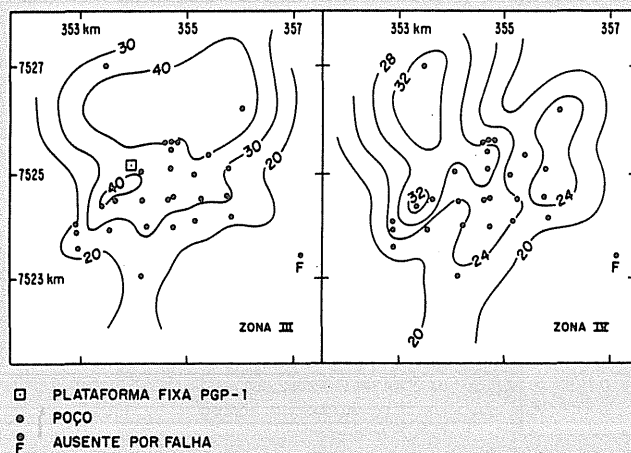


Fig. 9 - Mapas de isopacas das zonas III e IV do reservatório Macaé, Campo de Garoupa. I. C. em metros. Abril, 1985.

Fig. 9 - Isopach maps: Macaé reservoir zones III and IV, Garoupa Field. C. I. in meters. April, 1985.

Superior) - Campo de Pampo. In: SEM. DE GDR. 3., 1988. *Anais. Rio de Janeiro*, PETROBRÁS. p. 354-65.

DULTRA, A. J. C. 1986. *Zoneamento e fácies - reservatório da Formação Macaé no Campo de Linguado*. Rio de Janeiro, PETROBRÁS. DEPEX. 137 p. (Relatório técnico, 5684).

ESTEVES, F. R.; SPADINI, A. R. & SAITO, M. 1987. *A sedimentação albo-turoniana (Formação Macaé) da Bacia de Campos*. Rio de Janeiro, PETROBRÁS. DEPEX/CENPES. 21 p. (Relatório técnico, 6040).

FARIA, R. T.; MENEZES, A. C. L. & SPADINI, A. R. 1986. *Estudo faciológico e de reservatório dos Calcários Macaé no poço 7-PM-5-RJS*. Rio de Janeiro, PETROBRÁS. CENPES. 41 p. (Relatório técnico).

FIGUEIREDO, A. M. F. et alii. 1983. *Fatores que controlaram a acumulação de hidrocarbonetos na Bacia de Campos (com ênfase nos arenitos turbidíticos)*. Rio de Janeiro, PETROBRÁS. DEPEX. 135 p. (Relatório técnico, 3540).

FIGUEIREDO, A. M. F. & MOHRIAK, W. U. 1984. *A tectônica salífera e as acumulações de petróleo da Bacia de Campos*. Rio de Janeiro. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., Rio de Janeiro, 1984. *Anais. Rio de Janeiro*, v. 3, p. 1380-94.

FRANZ, E. P. 1984. *Geologia de reservatório do Campo de Bicudo*. Rio de Janeiro, PETROBRÁS. DEPEX. 79 p. (Relatório técnico, 4164).

FRANZ, E. P. 1987. *Análise da geologia de reservatório dos carbonatos da Formação Macaé no Campo de Enchova-Bacia de Campos - Brasil*. Ouro Preto, Universidade Federal de Ouro Preto. Tese de Mestrado. 120 p.

SPADINI, A. R. & PAUMER, M. L. 1983. *Os Reservatórios Macaé no Campo de Pampo; o meio poroso e sua relação com as fácies deposicionais e a diagênese*. Rio de Janeiro, PETROBRÁS. CENPES. 114 p. (Relatório técnico, 4221).

SPADINI, A. R. & PRAÇA, U. M. 1987. *Análise sedimentológica e de reservatório da Formação Macaé no Poço 3-PM-12-RJS*. Rio de Janeiro, PETROBRÁS. CENPES. 30 p. (Relatório técnico).

EXPANDED ABSTRACT

The Garoupa Field is situated offshore in the state of Rio de Janeiro at water depths of around 120-130 m. With $102\ 094 \times 10^6 \text{ m}^3$ of O. I. P., it ranks fourth among Campos Basin oil fields producing from Macaé Formation calcarenites and calcirrudites. In 1982, a group of PETROBRÁS geoscientists conducted a study called the Garoupa Project, which resulted in internal reports on topics such as stratigraphic and structural framework, sedimentary facies, depositional model, diagenetic evolution, definition of electrofacies, quantitative description of

the reservoir, and well production performance.

As this and other fields producing in the same reservoir underwent further development, additional data suggested the need for a review of some of the concepts in this report. One of these involves the evolution of the Garoupa Fault on the east side of the field, active during three periods: a) from the Late Albian to the Maastrichtian; b) during the Oligocene (basal and median portions of

the corresponding section); and c) from the Early to the Middle Miocene.

Seven production zones have been recognized in the field. At the top of the reservoir, the X zone pinches out in all directions and presents no edge aquifer. Zones I and II pinch out to the east and west and present an active edge water drive from the NNE and SSW, in accordance with the direction of the Macaé offshore bars. This same pattern is probably present in basal zones III, IV, V, and VI.

