

COQUINAS DA FORMAÇÃO LAGOA FEIA, BACIA DE CAMPOS: EVOLUÇÃO DA GEOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO

COQUINAS OF THE LAGOA FEIA FORMATION, CAMPOS BASIN: DEVELOPMENT GEOLOGY EVOLUTION

Cleyton Schuch Baumgarten⁽¹⁾, Artur José C. Dultra⁽¹⁾, Maximiano da Silva Scuta⁽²⁾, Marcus Vinícius L. de Figueiredo⁽³⁾ e Maria de Fátima Patrício B. Sequeira⁽³⁾

RESUMO — A primeira descoberta de petróleo nas coquinas da Formação Lagoa Feia, em novembro de 1975, deu origem ao Campo de Badejo; seguiram-se as descobertas de Pampo, Linguado e Trilha. A área que engloba esses campos localiza-se na parte central do Alto Regional de Badejo, na Bacia de Campos, Plataforma Continental do estado do Rio de Janeiro. Analisa-se a evolução da geologia de reservatório das coquinas Lagoa Feia desde a fase exploratória, enfocando-se, principalmente, os elementos que contribuem para aperfeiçoar o mapeamento geológico. A divisão estratigráfica preliminar do reservatório, em três zonas, evoluiu para o zoneamento de detalhe, com nove intervalos, entre zonas e subzonas de produção. Quanto à interpretação estrutural, cinco versões, englobando conceitos estratigráficos e diagenéticos, revelam mudanças significativas: desde a versão que considerava os campos como sistemas isolados ao tratamento presente de continuidade entre a maior parte das acumulações. O comportamento de pressão dá suporte ao modelo atual. No momento, busca-se melhor definir, em perfis, os intervalos do reservatório com capacidade de produzir óleo. No Campo de Pampo, com estudo concluído, identificam-se esses intervalos aplicando-se os seguintes cortes: porosidade menor que 6%, radioatividade maior que 16 UAPI e resistividade menor que 7 ohm . m²/m.

(Originais recebidos em 27.11.87.)

1 — INTRODUÇÃO

As coquinas da Formação Lagoa Feia são produtoras de óleo de 28 a 33 °API nos campos de Badejo, Pampo, Linguado e Trilha, localizados na Plataforma Continental do estado do Rio de Janeiro, na Bacia de Campos (fig. 1).

Além das coquinas, também produzem óleo, nessa área, os carbonatos da Formação Macaé (20 °API) e os basaltos e brechas da seqüência vulcano-sedimentar (28 a 32 °API). Acumulações secundárias (12 a 24 °API), sem produção, ocorrem nos arenitos do Membro Carapebus da Formação Campos. Todas essas acumulações são subsaturadas. Apenas um poço, no Campo de Trilha, atravessou um intervalo produtor de gás no Membro Carapebus.

Este trabalho objetiva divulgar a evolução da geologia de reservatório das coquinas Lagoa Feia, envolvendo, sobretudo, os elementos que contribuem para

aperfeiçoar o mapeamento geológico.

A primeira descoberta nas coquinas foi a de Badejo, em novembro de 1975; seguiram-se as de Pampo (abril de 1978), Linguado (maio de 1978) e Trilha (dezembro de 1982). A produção teve início em dezembro de 1981, através dos sistemas de produção antecipada de Pampo-Linguado (em Pampo iniciou-se em janeiro de 1983) e de Badejo; sistema semelhante foi implantado em Trilha, com produção inicial em junho de 1984. A partir de janeiro de 1985, os novos poços do Campo de Pampo passaram a produzir através de plataforma fixa (PPM-1), sem eliminar o sistema antecipado. A produção atual das coquinas corresponde a 29% da produção total dos quatro campos (tabela I).

Até agosto de 1986, foram perfurados 70 poços com o objetivo Lagoa Feia, nessa área: 29 produtores de óleo (incluindo 3 potencialmente produtores),

- 1 - Setor de Geologia de Desenvolvimento do Pólo Sul, Divisão de Interpretação da Região Sul e Sudeste, Departamento de Exploração.
- 2 - Setor de Tratamento Especial de Perfis, Divisão de Operações Geológicas, Departamento de Exploração.
- 3 - Setor de Campos do Sudeste, Divisão de Engenharia de Reservatório, Departamento de Produção.

TABELA I
PRODUÇÃO E RESERVAS

Campo	Formação Produtora	In Situ (x 10 ⁶ m ³)		Fator de Recuperação (%)	Reserva (x 10 ⁶ m ³) (a)	Produção (x 10 ³ m ³)	
		Provado	Provável + Possível			Acumulada (a)	Média Diária Agosto/86
Badejo	vulc.-sed. L. Feia	5,475	—	20,00	0,160	934,68	1,003
		12,143	2,713	10,44	0,303	965,20	0,371
Linguado	L. Feia Macaé	30,258	0,743	30,00	3,495	5 582,2 (b)	4,433 (b)
		23,257	19,809	15,40	3,090	492,09	0,999
Pampo	L. Feia Macaé	9,315	18,145	25,00	1,103	1 225,58	0,653
		144,562	3,078	16,76	15,438	8 790,01	12,514
Trilha	L. Feia	5,004	1,659	25,53	0,960	317,94	0,498
Total	vulc.-sed.	5,475	—	—	0,160	934,68	1,003
	L. Feia	56,720	23,260	—	5,861	8 090,94	5,955
	Macaé	167,819	22,887	—	18,528	9 282,10	13,513

Fonte: Relatório de reservas da PETROBRÁS/Departamento de Produção (30-06-86).

(a) Atualizado até 31-08-86.

(b) Inclui o LI-7 (produtor na vulcano-sedimentar: média 158; acumulada 19,48).

7 abandonados (4 por logística e 3 por problemas mecânicos), 18 produtores não comerciais de óleo, 7 produtores de óleo em outros reservatórios (2 no Macaé e 5 na seqüência vulcano-sedimentar), 1 produtor de gás no Carapebus e 8 secos.

A interpretação anterior ao início da fase de desenvolvimento mostrava o traçamento das acumulações nas coquinas como estrutural-estratigráfico (fig. 2); os reservatórios eram divididos

em A, B e C (fig. 3) (PETROBRÁS, 1977, 1980). CASTRO & AZAMBUJA (1980) acrescentaram a diagênese como um terceiro fator no controle das acumulações. Regionalmente, o Alto de Badejo tem significado marcante na evolução dessas jazidas.

Os intervalos de coquinas são compostos por ciclos deposicionais com quatro fácies sedimentares: calcilito, calcarenito, calcirrudito com matriz de calcarenito e calcirrudito; aleatoriamente,

ocorrem fácies de bioacumulado e paleossolo. Os calcirruditos, posicionados no topo dos ciclos, têm melhores características de reservatório (CARVALHO *et alii*, 1984).

2 — ESTÁGIO INICIAL

O suporte de dados de novos poços possibilitou aperfeiçoar a correlação dos corpos de coquinas, em vigor até fins de 1980 (fig. 3). A divisão em três intervalos foi mantida, porém considerando-os correlacionáveis ao longo de toda a área; alterou-se, também, a nomenclatura, para adequá-la à forma usual em desenvolvimento (fig. 4 e tabela II). Correlação semelhante foi obtida por SCHALLER *et alii* (1981), todavia propondo a designação coquina superior para a zona A e coquina inferior para as zonas B e C (tabela II).

A primeira interpretação estrutural pelo órgão de desenvolvimento, ao nível desses reservatórios (fig. 5), foi executada em maio de 1981, com base nos mapas sísmicos da figura 2. Admitiam-se acumulações em blocos falhados com controle dos fatores já mencionados: estrutural (falha e mergulho), stratigráfico (acumulação deposicional) e diagenético (barreira de permeabilidade por cimentação de calcita e de sílica). Tendo como suporte contatos óleo-água distin-

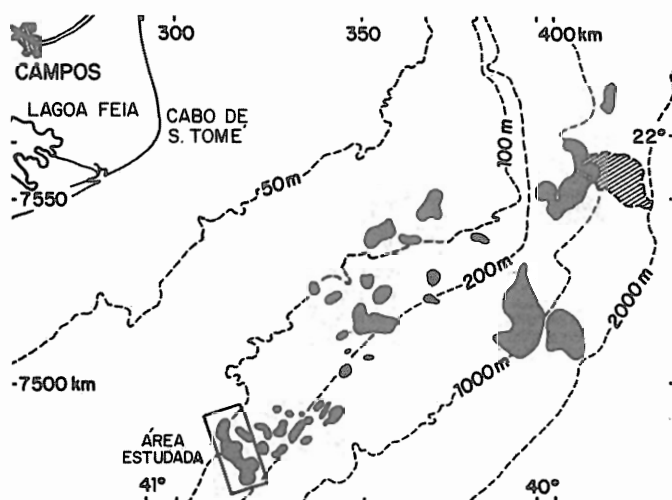


Fig. 1 - Mapa de localização. Campos de petróleo da Bacia de Campos.

TABELA II

CORRELAÇÃO DAS DIVISÕES DAS COQUINAS

PETROBRÁS/ DEPEX, 1980	Geol. de Desenv., Final de 1980	SCHALLER <i>et alii</i> , 1981	Zoneamento, BAUMGARTEN <i>et alii</i> , 1983
Coquina C	Coquina A	Coquina superior	Zona I
-----?			Zona II
			Zona III
Coquinas B e A	Coquina B	Intervalo	Subzonas IV-A e IV-B
	Coquina C	inferior	Zona V
		de coquinas	Subzonas VI-A, VI-B e VI-C

tos, o mapeamento considerava os campos como sistemas independentes (fig. 5).

A segunda interpretação estrutural desta fase (fig. 6), de novembro de 1981, teve caráter de simplificação, com mudança sensível em Pampo, onde a redução do número de falhas parecia explicar melhor a configuração do campo. Alteração significativa também foi introduzida em Badejo e entre este e o Campo de Linguado. As acumulações ainda eram mapeadas independentemente; os esparsos dados de pressão em nada colaboravam para esclarecer a relação entre os campos.

3 – ESTÁGIO INTERMEDIÁRIO

Esta fase compreende duas revisões estruturais marcantes. A primeira, em dezembro de 1982, incorporou a descoberta de Trilha e os resultados da Sísmica 3D (fig. 7). Aspecto importante desta interpretação é o domínio quase total das falhas com direção em torno da linha norte-sul.

Os campos continuaram sendo tratados isoladamente, com base nas diferenças de contato óleo-água. Porém, passou-se a aceitar a possibilidade de comunicação entre Badejo e Linguado e entre Linguado e Pampo, através da zona de óleo e/ou do aquífero.

A interpretação estratigráfica da época não explicava alguns problemas, tais como (BAUMGARTEN *et alii*, 1983):

- a) a diferença de contato óleo-água do bloco do 3-PM-2-RJS para o bloco do 4-RJS-55 (cerca de 10 metros);
- b) a presença de óleo no 3-RJS-78 e 3-LI-2-RJS em profundidade maior que a de água no 3-RJS-168.

A necessidade de explicar essas aparentes distorções possibilitou a criação de um zoneamento mais detalhado para as coquinas (fig. 8 e tabela II). Além de esclarecer os problemas citados (figs. 9 e 10), esta divisão permitiu aperfeiçoar o mapeamento. O zoneamento pode ser ampliado se a solução de problemas de poço, de bloco ou mesmo de campo assim o exigir.

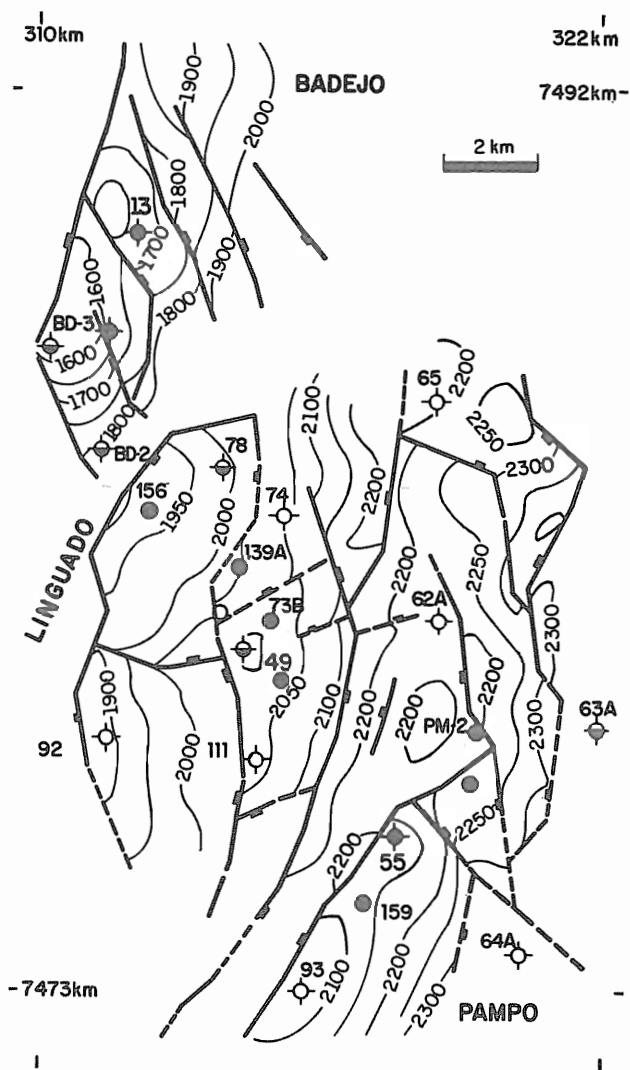


Fig. 2 - Mapa estrutural sísmico. Topo dos "folhelhos verdes" ou equivalentes em Badejo (PETROBRÁS, 1977) e de um horizonte próximo à base das coquinas Lagoa Feia em Pampo e Linguado (PETROBRÁS, 1980). Símbolos na figura 5. I. C. = 50 ms.

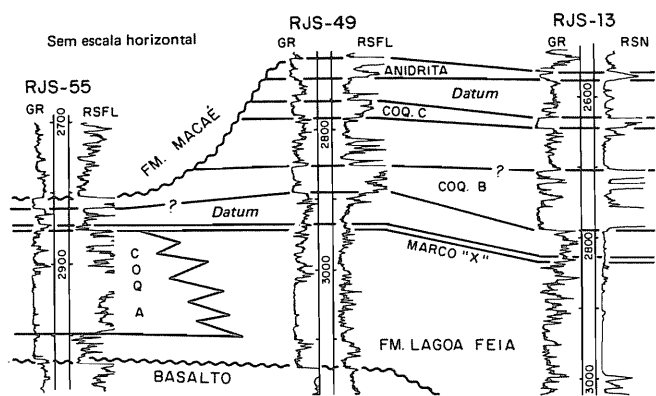


Fig. 3 - Seção estratigráfica A-A'. Primeira divisão das coquinas Lagoa Feia. Localização na figura 11.

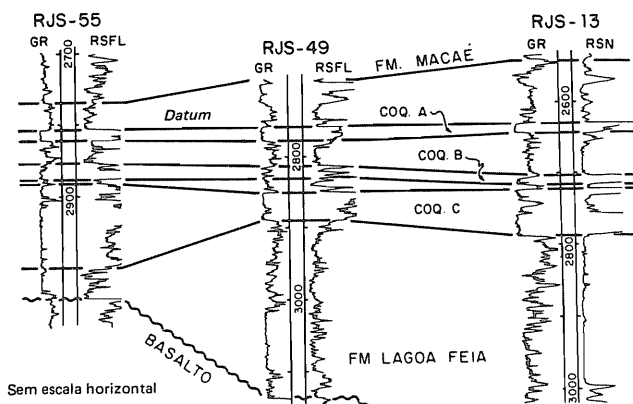


Fig. 4 - Seção estratigráfica A-A'. Zoneamento preliminar das coquinas Lagoa Feia (Artur & Maia, 1980). Localização na figura 11.

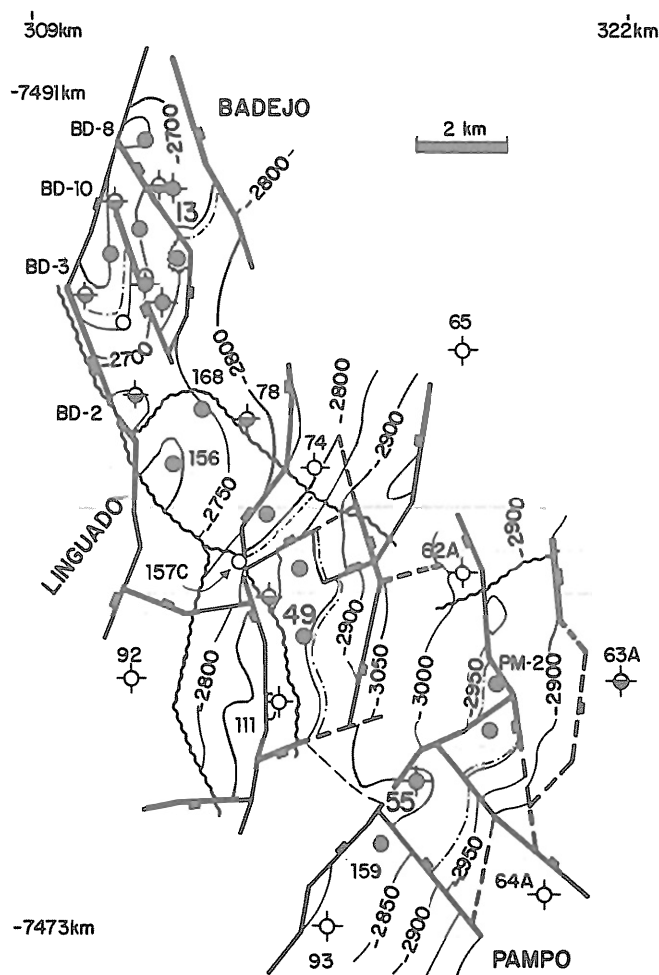


Fig. 5 - Mapa estrutural. Topo da zona C (Brisola et alii, 1981). — falha normal; - - - contato óleo-água; ~~~~~ barreira de permeabilidade; ● poço produtor de óleo; ◆ produtor de óleo abandonado (por logística ou acidente mecânico); ◻ produtor não comercial de óleo; ○ produtor de óleo na seqüência vulcano-sedimentar ou no Macaé; ◇ seco. I. C. = 50 m.

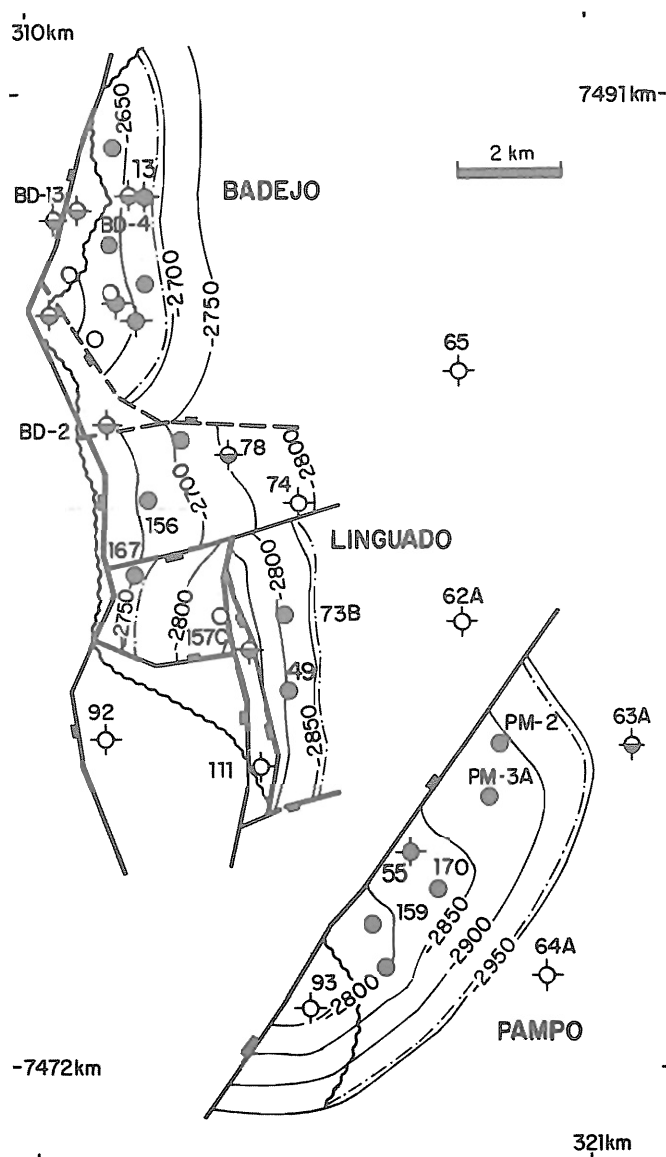


Fig. 6 - Mapa estrutural. Topo da zona B em Badejo e da zona C em Linguado e Pambo (Artur & Maia, 1981). Símbolos na figura 5. I. C. = 50 ms.

A subzona VI-A é a mais importante em Badejo e Linguado, sendo o único intervalo produtor no Campo de Trilha. Em Pampo, são mais expressivas as zonas IV e V e a subzona VI-A.

Paralelamente, estudou-se a evolução da Formação Lagoa Feia e definiu-se o pacote afetado por falhas contemporâneas à sedimentação, compreendido entre o marco LF-35 e a base da zona I (figs. 8 e 12). Constatou-se, também, a importância dos altos síncronos para as acumulações de petróleo nesses reservatórios (BAUMGARTEN, 1985).

A versão estrutural em uso, desenvolvida em 1984-85, constitui uma simplificação da anterior, a partir do emprego extensivo de dados de poços (figs. 11 e 12), integrados às medidas de pressões do reservatório. O traçamento, sem mudanças de conceituação, é o estrutural, estratigráfico e/ou diagenético, a depender da zona e/ou do bloco. O acunhamento dos corpos de coquinas ocorre no sentido oeste (fig. 12).

A análise do comportamento de pressão tornou-se importante no estudo do relacionamento entre os campos produtores nas coquinas, apesar da precariedade dos dados. Em termos práticos, os reservatórios de Trilha e de Linguado não estão em comunicação, pois a pressão em Trilha se manteve ao nível da original até 19 de abril de 1984, quando já haviam sido produzidos $1,48 \times 10^6 \text{ m}^3$ de óleo em Linguado (fig. 13). É provável, no entanto, uma ligação distante, a leste, através do aquífero (fig. 12).

A pressão nas coquinas, em Trilha, mantendo-se original até 19 de abril de 1984, também evidencia ausência de comunicação com Badejo, cuja produção, nessa data, era de $0,57 \times 10^6 \text{ m}^3$. Entre esses campos foi perfurado o 3-RJS-315, cujos registros, por RFT, em junho de 1985, acusaram pressão de 220 kg/cm^2 ($- 2850 \text{ m}$), aparentemente compatível com o comportamento de pressão de Trilha (fig. 14). Porém, em virtude das extremas variações de fácies no reservatório, com reflexos proporcionais na transmissibilidade, isto não quer dizer que o 3-RJS-315 pertença, obrigatoriamente, ao Campo de Trilha. A área do

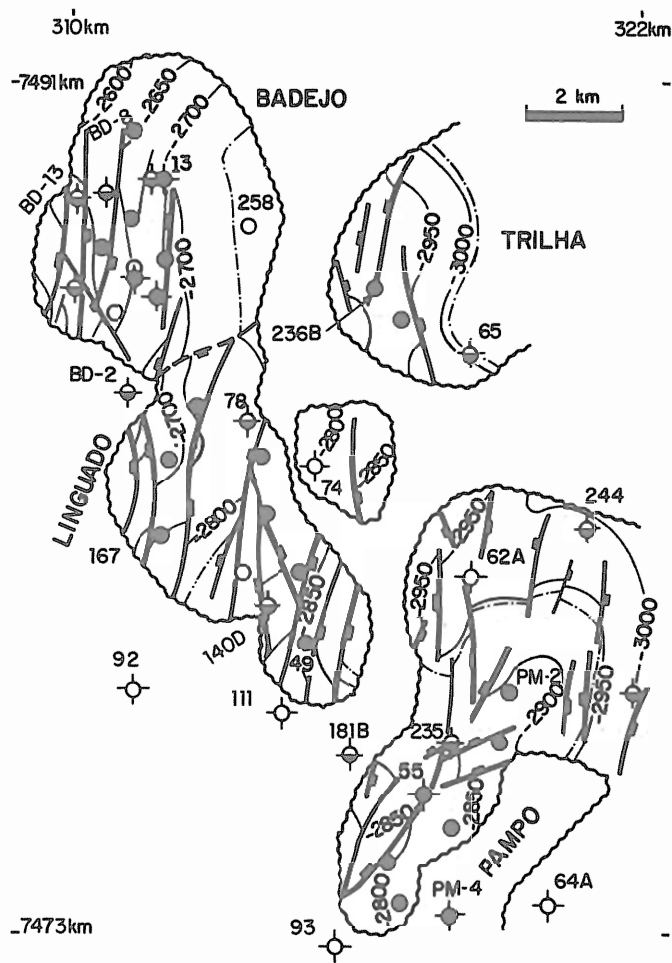


Fig. 7 - Mapa estrutural. Topo da zona C (Artur et alii, 1982). Símbolos na figura 5. I. C. = 50 m.

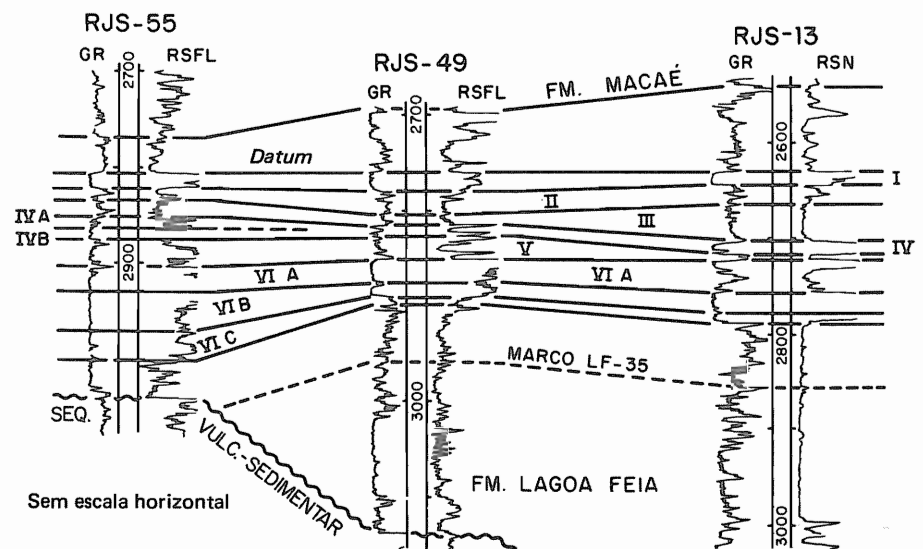


Fig. 8 - Seção estratigráfica A-A'. Zoneamento das coquinas Lagoa Feia. Localização na figura 11.

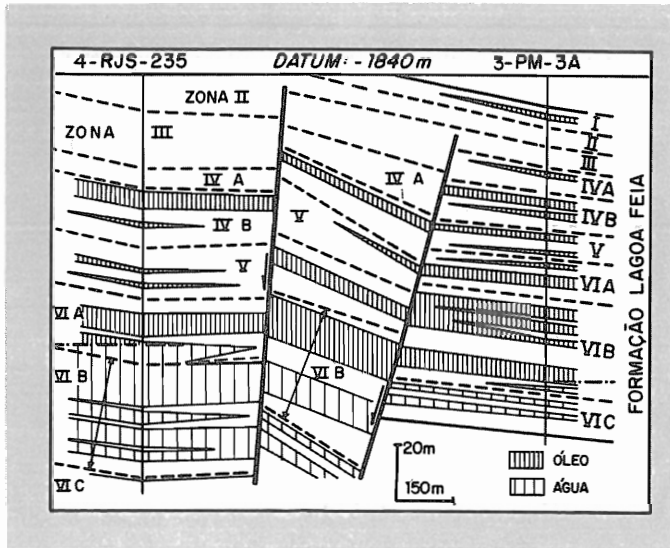


Fig. 9 - Seção geológica B-B'. Localização na figura 11.

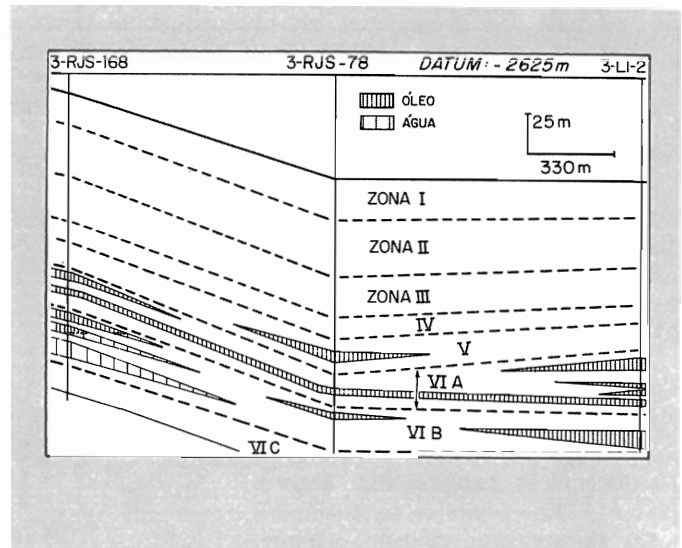


Fig. 10 - Seção geológica C-C'. Localização na figura 11.

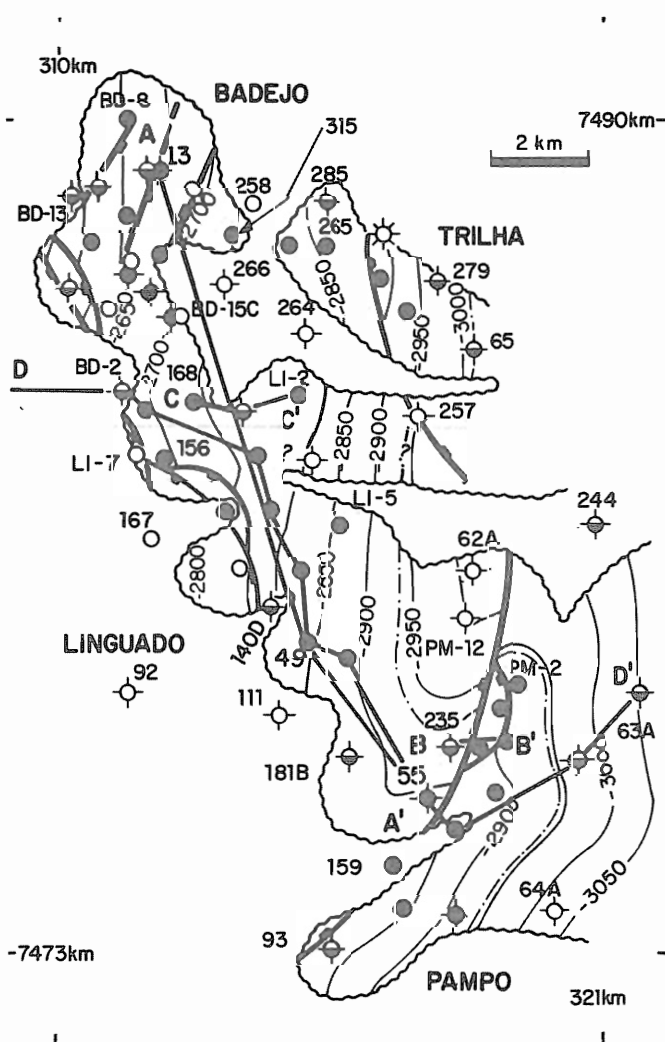


Fig. 11 - Mapa estrutural. Topo da subzona VI-A. ☆ poço produtor de gás no Membra Carapebus da Formação Campos; — seção estratigráfica ou geológica; demais símbolos na figura 5. I. C. = 50 m.

3-RJS-315 permanece duvidosa; por mapeamento, relaciona-se mais ao contexto de Badejo (fig. 11).

O registro de pressão no 3-BD-8-RJS, em 16 de janeiro de 1984, após seis meses de fechamento, sugere incompatibilidade com o comportamento de Linguado (fig. 15). Contudo, em função de o poço situar-se distante, ao norte do campo, e em consequência do alto grau de heterogeneidade das coquinas (baixa transmissibilidade), existe a possibilidade de comunicação entre as acumulações de Badejo e Linguado, que será verificada com a perfuração da locação 3-RJS-341 (fig. 17).

As determinações de pressão com RFT na zona VI do 7-PM-5-RJS, em novembro de 1984, acusaram queda de pressão da ordem de 40 kg/cm^2 , compatível com o comportamento de Linguado (fig. 16). Considerando-se que os poços de Pambo, perfurados anteriormente ao 7-PM-5-RJS, estão completados nas zonas II, IV e V, os registros de pressão neste poço constituem forte evidência de que os campos de Pambo e Linguado estão em comunicação na zona VI, como mapeado a partir de 1985.

A previsão de esgotamento das reservas em curto espaço de tempo, sem queda proporcional de produção dos poços, ocasionou um novo estudo com apoio sísmico, que consistiu em: a) mapeamento de anomalias sísmicas em seções *dip* (Wagner Elias Peres) e b) com apoio no mapa de anomalias, ampliação dos limites das jazidas. A ano-

malia equivale a uma reflexão forte na base das coquinas, que, com raras exceções, corresponde a intervalo com produção comercial de óleo. Com essa integração, definiram-se, geologicamente, 30 locações possíveis e 32 possíveis dependentes (fig. 17). Contudo, a aprovação de locações para as coquinas Lagoa Feia tem outra forte dependência: a análise econômica.

4 - ESTÁGIO ATUAL

Após um melhor conhecimento dos arcabouços estratigráfico e estrutural, partiu-se para refinar os cálculos da porosidade e respectivo *cut-off* e da saturação, inicialmente no Campo de Pampo.

A definição do *cut-off* de porosidade foi calculada em dois critérios. A utilização da petrofísica de rotina dos poços

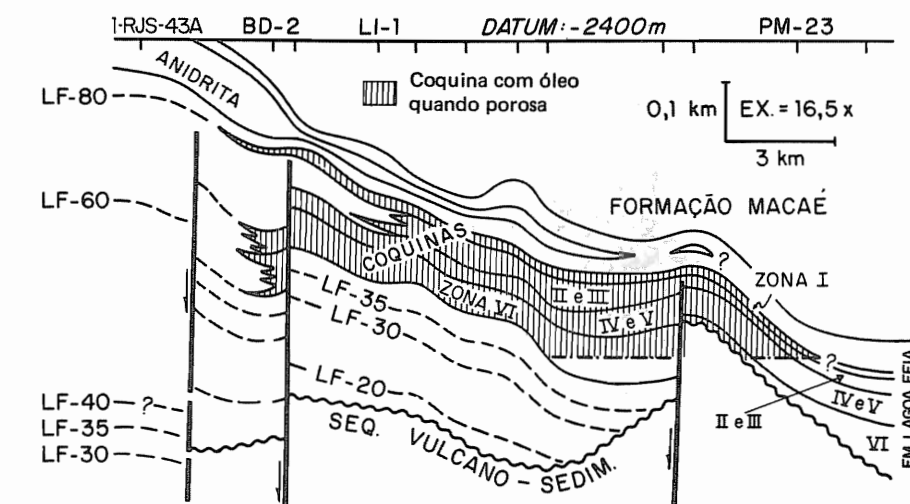


Fig. 12 - Seção geológica D-D'. Localização na figura 11.

7-PM-5-RJS e 3-PM-3A-RJS, apoiada no método de SCRIBNER & ENGINEER (1984), indica um *cut-off* próximo de 6% (fig. 18).

Para caracterizar, em perfis, os intervalos de rocha com capacidade de produ-

zir óleo, tornou-se imperativo recorrer a outros parâmetros, além da porosidade. Assim, o segundo critério visa a estabelecer, também, limites de resistividade e radioatividade.

Analisando-se os testemunhos, defini-

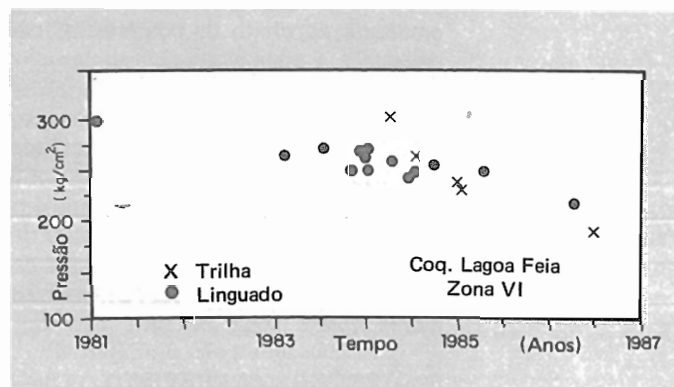


Fig. 13 - Variação da pressão em relação ao tempo.

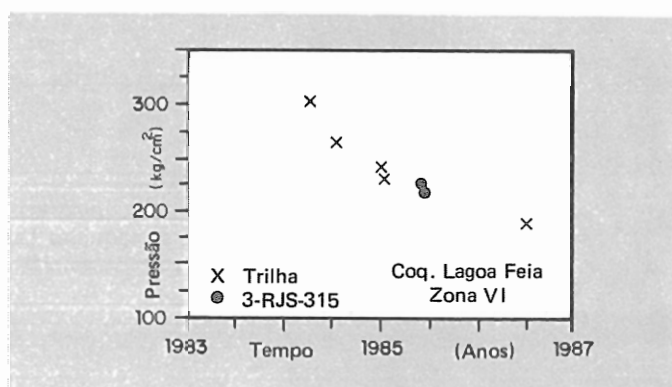


Fig. 14 - Variação da pressão em relação ao tempo.

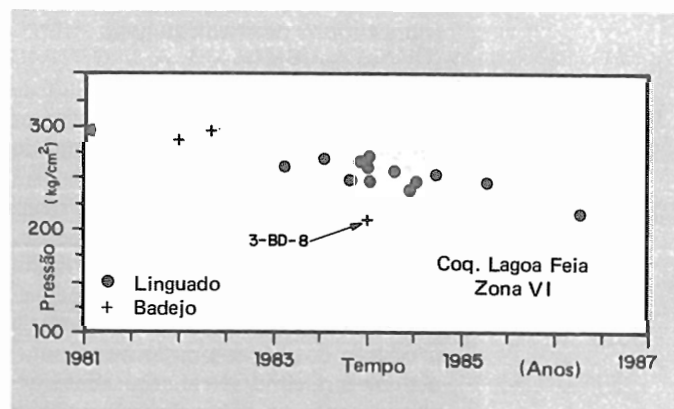


Fig. 15 - Variação da pressão em relação ao tempo.

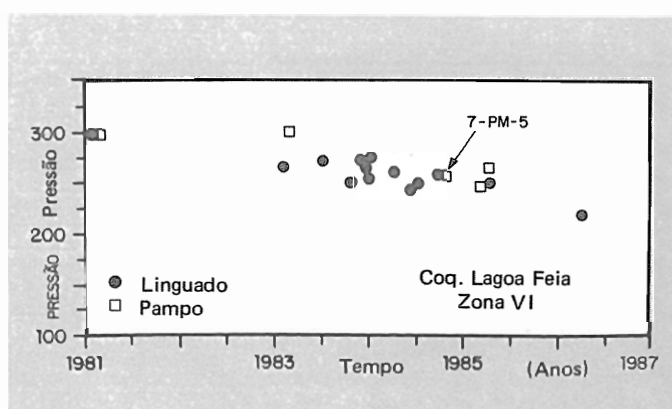


Fig. 16 - Variação da pressão em relação ao tempo.

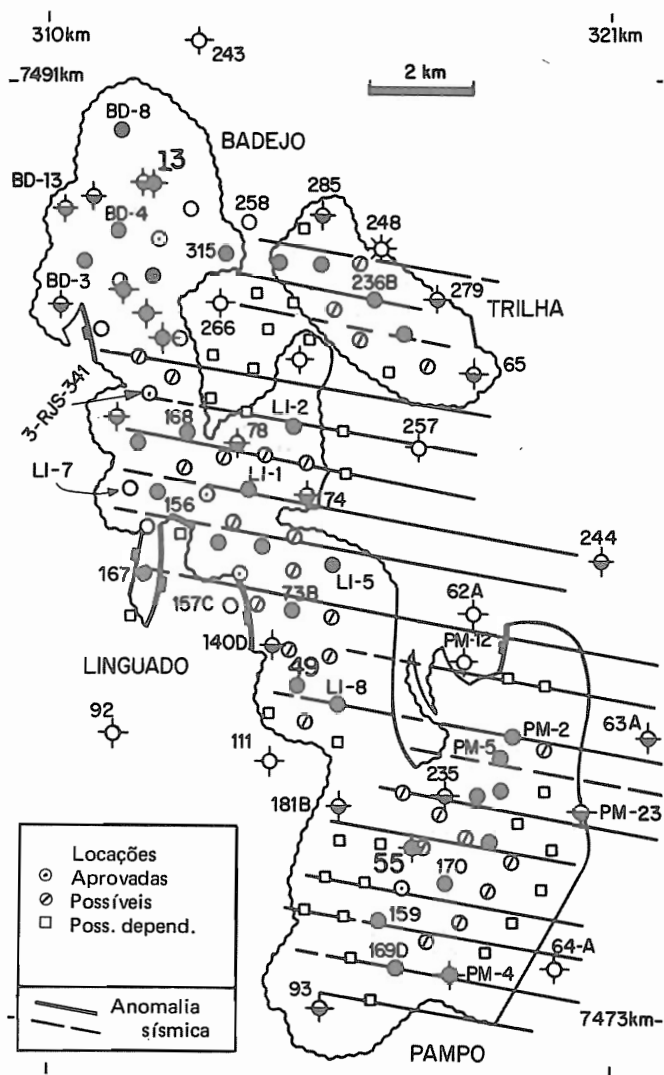


Fig. 17 - Locações aprovadas, possíveis e possíveis dependentes para as coquinas Lagoa Feia. Símbolos na figura 5.

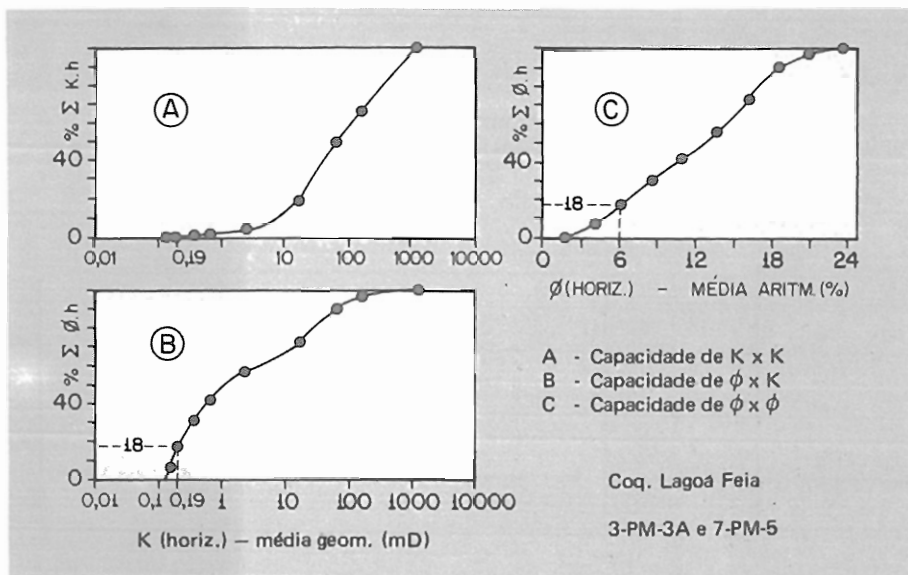


Fig. 18 - Determinação do *cut-off* de porosidade pelo método de SCRIBNER & ENGINEER (1984).

ram-se três categorias de rocha: a) impregnada com óleo; b) com ausência ou pouco manchada de óleo (manchas isoladas); c) duvidosa, de característica intermediária.

Utilizando-se esta classificação e comparando-se a porosidade com a resistividade e a radioatividade (terceiro eixo), estabeleceu-se o limite de $7 \text{ ohm} \cdot \text{m}^2/\text{m}$ para a resistividade (perfil ISF; $8 \text{ ohm} \cdot \text{m}^2/\text{m}$ no caso do DLL) e confirmou-se o valor em torno de 6% para a porosidade (fig. 19).

Em gráfico semelhante, porém com a porosidade no terceiro eixo, definiu-se como muito bom o *cut-off* de 16 UAPI para a radioatividade (fig. 20).

Obteve-se boa correlação entre as porosidades de laboratório (ϕ_L) e de perfis (ϕ_E), utilizando-se os *cut-offs* mencionados (fig. 21). A diferença de 0,8% entre as médias dessas porosidades é creditada ao efeito da compressibilidade.

No cálculo da saturação, em Pampo, foram empregados valores específicos para as constantes litológicas: $a = 1,51$ e $m = 1,76$. Estes parâmetros também já foram determinados para o Campo de Linguado e diferem um pouco dos de Pampo, apesar da proximidade: $a = 1,28$ e $m = 1,68$.

5 - PROGRAMA PREVISTO

Para melhorar a definição dos intervalos com óleo em Linguado, Trilha e Badejo, estender-se-á a estes campos o trabalho sobre *cut-offs* desenvolvido para Pampo.

Por outro lado, dada a impossibilidade de perfuração de um número de poços suficientemente grande, como o referido acima, adotar-se-á outra estratégia para tentar compatibilizar os mapas de reserva com o comportamento de produção. Esta consiste no deslocamento do limite poroso dos mapas (aumento da área mapeada), com subsídio do histórico de produção dos poços e/ou blocos. Contudo, tal acréscimo se refletirá quase exclusivamente no volume possível. Além disso, os novos valores de a e m (constantes litológicas), para as coquinas de

Pampo, proporcionam cálculos de saturações de óleo significativamente maiores (ainda não incorporados ao mapeamento), que concorrerão para aumentar os volumes.

Outro estudo a ser implantado é o da tentativa de caracterização das fácies em perfis, com vistas a aprimorar o mapeamento.

6 – CONCLUSÃO

O aspecto em maior evidência, neste trabalho, é o da integração da área de desenvolvimento de forma permanente com a de Exploração e crescente com a da Engenharia de Produção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAUMGARTEN, C. S. Evolução estrutural de Pampo, Badejo e Linguado durante a deposição da Formação Lagoa Feia. *B. técn. PETROBRÁS*, 28 (2): 91-101, 1985.

BAUMGARTEN, C. S.; DULTRA, A. J. G.; CARVALHO, M. D. *Zonamento do intervalo de coquinas Lagoa Feia em Pampo, Linguado e Badejo*. Rio de Janeiro, PETROBRÁS. DEPEX, 1983. (Nota Técnica) Relatório não publicado.

CARVALHO, M. D. *et alii*. *Microfácies, diagênese e petrofísica das coquinas da Formação Lagoa Feia em Badejo, Linguado e Pampo*. Rio de Janeiro, PETROBRÁS. CENPES, 1984. Relatório não publicado.

CASTRO, J. A. & AZAMBUJA FILHO, N. C. *Fácies, análise estratigráfica e reservatórios da Formação Lagoa Feia, Cretáceo Inferior da Bacia de Campos*. Rio de Janeiro, PETROBRÁS. CENPES, 1980. Relatório não publicado.

PETROBRÁS. DEPEX. Equipe do Setor da Bacia de Campos. *O Campo de Pampo e áreas adjacentes (resultados exploratórios)*; relatório de progresso. Rio de Janeiro, 1980. Relatório não publicado.

PETROBRÁS. DEPEX. Grupo da Bacia de Campos. *O Campo de Badejo*.

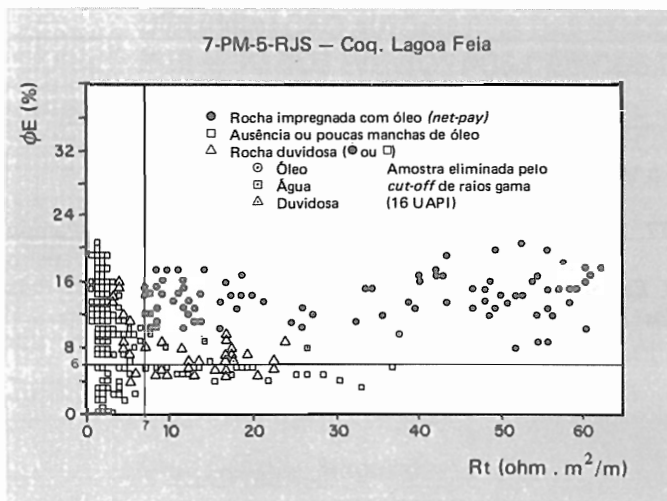


Fig. 19 - Relação entre valores de porosidade de perfis e de resistividade.

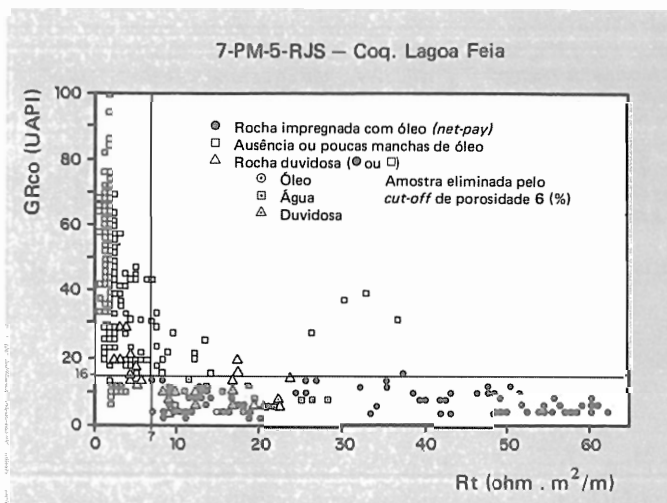


Fig. 20 - Relação entre valores de raios gama e de resistividade.

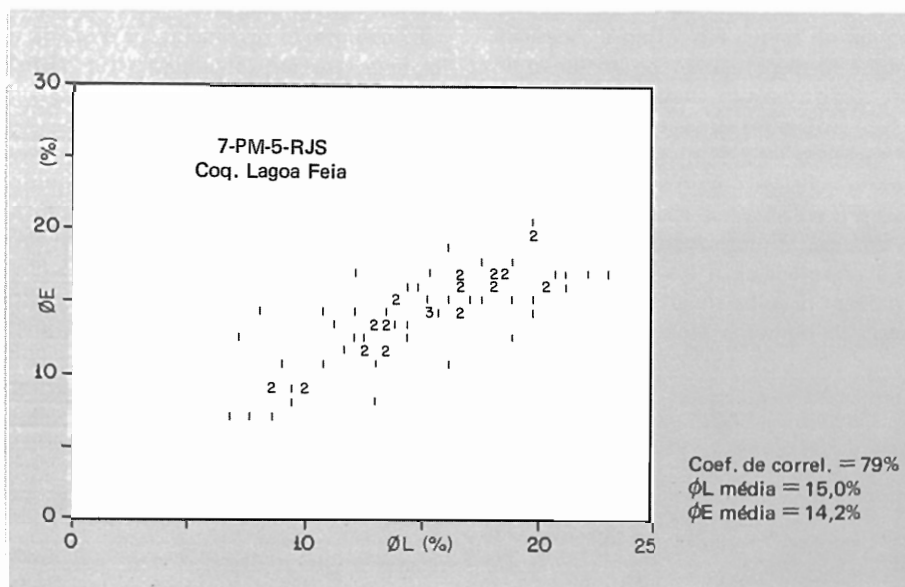


Fig. 21 - Correlação entre porosidades de laboratório (ϕ_L) e de perfis (ϕ_E).

Rio de Janeiro, 1977. Relatório não publicado.
SCHALLER, H. *et alii*. *Estudo preliminar dos reservatórios da Formação*

Lagoa Feia; área de Badejo/Pampo, Bacia de Campos. Rio de Janeiro, PETROBRÁS. DEPEX, 1981. Relatório não publicado.

SCRIBNER, M. K. & ENGINEER, R. HP-41CV analyses porosity, permeability data. *Pet. Eng. Int.*, 56: 72-84, July 1984.

ABSTRACT

The Badejo Field was the first oil discovery in the Lagoa Feia Formation coquinas of the Campos Basin, offshore Rio de Janeiro State, Brazil. Pampo, Linguado and Trilha are the other oil fields producing from this reservoir, all located in the central part of the Badejo Regional High. In the middle of 1986, the production rates of the four fields reached about 20,000 m³ per day. Thirty per cent of this production come from the coquina reservoirs. In 1981, six years after the first discovery, production started through floating systems which are presently integrated to a fixed platform.

The evolution of the Lagoa Feia coquinas

is analysed in its several stages, beginning with the exploratory phase. Special emphasis is devoted to the elements which contribute to improvement in geologic mapping. Preliminary reservoir subdivision into three zones evolved to a detailed zoning with six production zones and three subzones. Since the Badejo discovery, the structural interpretation of the oil fields has been changing as the stratigraphic and diagenetic factors, also responsible for the traps, were better understood. The initial interpretation considered the fields independent accumulations; nowadays the data demonstrate that there is communication among most of them. Pressure

performance is an important element in the definition of the relationships among these fields. This performance also reflects the low transmissibility which results from the heterogeneity created by the calcite and silica cementation.

Presently, we are interested in defining the reservoir intervals capable of producing oil. In the Pampo Field, where this characterization has been done, the intervals are identified by the following cut-offs: porosity less than 6%, radioactivity greater than 16 API units, and resistivity less than 7 ohm . m²/m.