

IPEA/INPE/S
Serv. de
Documentação

DOCUMENTO PRELIMINAR
GRUPO DE ENERGIA
Nº 2

"Recursos Nacionais de Xistos
Oleígenos: Um Levantamento com
vistas ao Planejamento Estraté
gico do Setor"

Lauro R. A. Ramos
Ricardo Paes de Barros

Dezembro de 1981

Versão Preliminar
Não pode ser citado
sem permissão dos autores

IPEA
20-81

**Recursos nacionais de xistos
oleígenos : um levantamento com**



RJF0468/85

IPEA - RJ

IPES
INSTITUTO DE PLANEJAMENTO
ECONOMICO E SOCIAL
SERVICO DE DOCUMENTAÇÃO
FN: 468
DATA 05/06/85



INSTITUTO DE PLANEJAMENTO ECONÔMICO E SOCIAL

IPEA/INPES/ GRUPO DE ENERGIA

RECURSOS NACIONAIS DE XISTOS OLEÍGENOS:

Um levantamento com vistas ao planejamento estratégico do setor

Lauro R. A. Ramos

Ricardo P. de Barros

IPEA/INPES
Serv. de
Documentação

RIO DE JANEIRO / SETEMBRO DE 1980

SUMÁRIO

	Páginas
I. Introdução.....	01
II. Generalidades.....	04
III. Recursos Mundiais.....	06
IV. Reservas Mundiais.....	13
V. Recursos de Xisto no Brasil.....	17
V.1 Formação Codô (Maranhão).....	19
V.2 Formação Santana (Ceará).....	20
V.3 Xisto de Alagoas.....	20
V.4 Formação Santa Brígida (Bahia).....	21
V.5 Formação Curuá (Pará e Amazonas).....	21
V.6 Xisto de Maraú (Bahia).....	22
VI. Xistos do Vale do Paraíba.....	23
VI.1 Avaliação dos Recursos do Vale do Paraíba	23
VII. Xistos da Formação Irati.....	31
VII.1 Descrição da Formação Irati.....	31
VII.2 Avaliação do Potencial da Formação Irati	36
VII.3 Reservas Demonstradas da Formação Irati.	42
VIII. Análise Comparativa Entre os Xistos da Forma ção Irati e do Vale do Paraíba.....	52
IX. Análise dos Dados.....	57
Apêndice 1 - Xistos Oleígenos: Definição e Caracte- rísticas.....	62
Apêndice 2 - Classificação dos Recursos do Xisto.....	67
Referências Bibliográficas.....	72

I - INTRODUÇÃO

O objetivo básico do presente estudo é o levantamento de dados relativos aos recursos de xisto — necessários para a utilização de um modelo de planejamento estratégico da industrialização do xisto (MPEIX), ora em desenvolvimento — , que se realizou a partir do material publicado sobre o assunto, o qual foi exaustivamente pesquisado.

Um modelo, a princípio não procura explicitar todos os aspectos da realidade que tenta representar, mas evidencia aqueles que são passíveis de análise e com nível de detalhamento compatível com os objetivos de sua utilização. Assim, existirão sempre algumas decisões que serão definidas em um estágio anterior à sua utilização e outras tomadas a partir de seus resultados, por envolverem um grau de detalhamento maior que o do próprio modelo, além, naturalmente, das decisões assumidas diretamente por ele.

As decisões "pré-modelo" podem ocorrer em função de duas razões distintas, algumas decorrendo de procedimentos clássicos perfeitamente quantificáveis, o que só não é feito devido ao desnecessário aumento do porte do modelo que isto acarretaria, e outras derivando de linhas de ação da indústria, que não são perfeitamente quantificáveis, só podendo ser comparadas com possíveis alternativas no campo subjetivo ou, de maneira

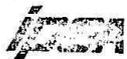
vaga, no campo objetivo.

Uma das metas deste trabalho é a apresentação das informações quantitativas e qualitativas que servem de base para este tipo de decisões. Todavia, uma vez que as decisões diretas do modelo são as que demandam a maior gama de informações, sua obtenção e apresentação constitui o cerne do trabalho, não havendo maiores preocupações quanto às informações mais específicas para as decisões "pós-modelo", pois estas não são relevantes no atual estágio do estudo.

Após o levantamento dos dados, torna-se imprescindível a sua análise, procurando detetar, face às eventuais necessidades do modelo, deficiências quanto à sua agregação e precisão, uma vez que é a partir daí que serão feitas requisições de informações complementares à Petrobrás e outras eventuais fontes de dados sobre os recursos nacionais de xisto.

Como a formulação final do MPEIX só poderá ser feita após o desenvolvimento de estudos acerca de outras áreas da industrialização do xisto, esta análise, naturalmente, será ainda preliminar, pois os dados realmente indispensáveis ao modelo só ficarão perfeitamente definidos após esta formulação final.

Finalmente, procura-se expor uma visão geral da problemática da industrialização do xisto, através da apresentação de dados e informações que esclareçam e avaliem o seu potencial em horizontes superiores aos do modelo.



Face à especificidade de alguns termos utilizados e à possível diferença de conhecimentos acerca do assunto por parte dos eventuais leitores, são apresentados ao final dois apêndices: o primeiro apresenta uma definição de "xistos oleígenos", com a citação de algumas de suas propriedades e características, e o segundo trata, de uma maneira rápida e concisa, dos critérios de classificação de recursos usados neste trabalho.

Como último tópico, é importante ressaltar que as estimativas aqui apresentadas sobre as reservas têm um caráter essencialmente ilustrativo, visando apenas a permitir uma primeira formação de idéias acerca da potencialidade do xisto, o que não implica sua aceitação, uma vez que um dos objetivos finais do trabalho é justamente a determinação da variação das reservas de acordo com o preço internacional do petróleo. Desta maneira, uma estimativa das reservas de xisto será um produto do MPEIX.

IPEA/IND/ES
Serv. de
Documentação

II - GENERALIDADES

O potencial de um recurso energético em uma região pode ser classificado, de acordo com o nível de conhecimento geológico, em conhecido e não conhecido.¹ De maneira geral, uma boa medida da incerteza associada à avaliação deste potencial é a fração dos recursos totais considerados como não conhecidos, que, no caso particular do xisto oleífero, é bem mais elevada que a dos combustíveis fósseis clássicos (petróleo e carvão mineral), sendo, portanto, a incerteza das estimativas dos recursos totais de xisto bem maior que a de petróleo, carvão mineral e gás natural.

O fato de a parcela de recursos conhecidos de xisto ser tão pequena em comparação com as estimativas dos recursos totais é explicado pela pequena pressão por parte da demanda e pela grande quantidade de recursos existentes, ou seja, apesar de pequena em relação ao total, a quantidade conhecida de xisto já é suficiente para atender aos atuais níveis de demanda por um prolongado espaço de tempo.

De fato, as reservas de xisto, que são da ordem de 190 bilhões de barris [11], com um consumo mundial atualmente não atingindo 200 mil barris/dia (110 mil barris/dia [6] ou

¹ Ver Apêndice 2.

180 mil barris/dia [28]), seriam suficientes, mantidas essas proporções e não considerando a localização das reservas, para atender ao consumo mundial de óleo de xisto por mais de 2.500 anos. Análise semelhante para o petróleo mostra que as reservas atuais, permanecendo os níveis de consumo hoje existentes, se extinguiriam em pouco mais de 35 anos, considerando-se um consumo de 50 milhões bbl/dia.

Além da pequena pressão por parte da demanda, o esforço despendido na pesquisa de novas reservas de xisto não é maior devido também à ausência de grandes expectativas de se encontrar vastas reservas, com alto teor de óleo e condições favoráveis de mineração, que possam tornar seu aproveitamento mais competitivo com o petróleo. Atualmente, porém, as iniciativas em pesquisas neste sentido parecem ser motivadas pelas expectativas de novos aumentos no preço do petróleo e de superação das incertezas tecnológicas envolvidas nos processos de aproveitamento industrial do xisto, além de razões estratégicas devidas à incerteza de fornecimento do petróleo pelos países exportadores no futuro. Em suma, o esforço atual deve-se à esperança de uma grande elevação da demanda no futuro.

III - RECURSOS MUNDIAIS

De início, é importante ressaltar que, em virtude de os recursos de xisto serem, de maneira geral, mal conhecidos, com exceção dos depósitos da formação Green River nos Estados Unidos, dos depósitos Kukersite na União Soviética e de algumas áreas específicas da formação Irati no Brasil [10], as estimativas globais são pouco precisas e só podem ser feitas com uma boa dose de circunspeção. Desta maneira, o mais completo estudo sobre os recursos mundiais de xisto é o de Duncan [11], pois a maioria dos trabalhos subsequentes — [4], [19], [23], [10], [9], [1] e [32] — apresenta apenas resumos e ligeiras modificações dessas estimativas.

A avaliação dos recursos mundiais de xisto tem como base a estimativa de que uma parte não desprezível (cerca de 5%) das rochas sedimentares contém mais de 5% de matéria orgânica e de que, além disso, cerca de um décimo desta fatia de rochas sedimentares contém mais de 10% de matéria orgânica, que pode ser, na maioria dos casos, utilizada para sintetizar óleo através de processos tradicionais de aquecimento em atmosfera não oxidante (retortagem). Assim, com base na definição de xisto oleífero,² tem-se que os recursos mundiais de xisto

² Ver Apêndice 1.

são da ordem de 0,5% das rochas sedimentares existentes na crosta terrestre.

A partir desses argumentos e com estimativas adicionais para o volume e densidade das rochas sedimentares, foi avaliada a existência de cerca de 820 trilhões de toneladas de querogênio em rochas sedimentares com mais de 5% de matéria orgânica e de cerca de 140 trilhões de toneladas de xistos (rochas sedimentares com mais de 10% de matéria orgânica).

Estimativas de tonelagem total de querogênio na crosta terrestre variam de 6,5 [32] a 3,2 quatrilhões de toneladas [35] e, de acordo com os mesmos autores, as reservas de carvão — combustível fóssil encontrado em maior abundância — são avaliadas em 5 e 7 trilhões de toneladas, respectivamente. Assim, segundo eles, embora a massa de querogênio seja de 500 a 1.000 vezes superior à de carvão, se for considerado apenas o querogênio contido nos xistos (140 trilhões de toneladas), esta razão torna-se da ordem de 20.

Um fato adicional que reduz as potencialidades energéticas do xisto é a necessidade de um consumo de energia equivalente, em termos de matéria orgânica, a 5%³ do xisto para o processo de obtenção de óleo (retortagem). Como, por defi

³ Pressupondo-se um aproveitamento térmico de 50%.

nição, o xisto oleífero deve conter mais de 10% de matéria orgânica [4] e [11], pode-se tomar 50% da matéria nele contida como um limite inferior para a avaliação do seu potencial energético.

Assim, admitindo-se a validade das estimativas acima, pode-se afirmar que o potencial energético do xisto é cerca de 10 vezes maior que o do carvão, em termos mundiais, sem levar em conta, naturalmente, os aspectos econômicos, uma vez que esta comparação diz respeito a recursos (uma comparação entre reservas será apresentada posteriormente).

Embora seja possível obter vários produtos do xisto, na literatura só são encontradas avaliações, a nível mundial, para o volume de óleo dele proveniente. Na Tabela 1, a seguir, são apresentadas as estimativas dos recursos mundiais, classificados por continente e qualidade (teor médio de óleo — litros/t métrica ou US GAL/t curta)⁴.

⁴ 1 US GAL/t curta = 4,17 litros/t.

TABELA 1

RECURSOS MUNDIAIS DE XISTO POR CONTINENTE E POR TEOR DE ÓLEO (10⁹ BARRIS)

Continentes	Recursos Conhecidos		Recursos Hipotéticos		Recursos Especulativos	
	104-417 l/t 25-100 GAL/tcurta	42-104 l/t 10-25 GAL/tcurta	104-417 l/t 25-100 GAL/tcurta	42-104 l/t 10-25 GAL/tcurta	104-417 l/t 25-100 GAL/tcurta	42-104 l/t 10-25 GAL/tcurta
África	100	Pequena	NE*	NE	4.000	80.000
Ásia	90	14	2	3.700	5.400	110.000
Oceânia	Pequena	1	NE	NE	1.000	20.000
Europa	70	6	100	200	1.200	26.000
América do Sul	Pequena	800	NE	3.200	2.000	36.000
América do Norte	418	1.600	350	1.700	1.600	56.000
Total (Arredonda do)	680	2.400	450	8.800	15.200	318.000

FONTES: [11] e [9].

* NE = não estimado.

Os valores apresentados para os recursos conhecidos são bastante criticáveis, pois se baseiam em agregações de estimativas realizadas em épocas diversas e com critérios diferentes, nem sempre compatíveis, e que avaliam o total dos recursos mundiais como sendo da ordem de 345 trilhões de barris (apenas 1% considerado conhecido e 4,7% provenientes de recursos com alto teor de matéria orgânica). Dos recursos conhecidos (cerca de 8 trilhões de barris), 20% provêm de xistos com alto teor de matéria orgânica.

TABELA 2

DIVISÃO DOS RECURSOS MUNDIAIS DE XISTO POR CATEGORIAS E TEOR

	(Em %)			
	Recursos Conhecidos	Recursos Hipotéticos	Recursos Especulativos	Total
Alto Teor (104-417 l/t)	0,2	0,1	4,4	4,7
Baixo Teor (42-104 l/t)	0,7	2,6	92	95,3
Total	0,9	2,7	96,4	100

A seguir, na Tabela 3, são apresentadas as estimativas de recursos conhecidos de xisto por países — que na realidade são atualizações do USGS [11] —, devendo ser ressaltado que, embora elas não sejam necessariamente as melhores pa

TABELA 3

RECURSOS CONHECIDOS DE ÓLEO DE XISTO POR PAÍSES

Países	Recursos Conhecidos (bilhões de barris)	Participação (%)
Estados Unidos	2 000	64
Brasil	802	26
União Soviética	113	4
Zaire	100	3
Canadá *	50	1
Itália	35	1
China	28	1
França **	6	0
Suécia	2,3	0
Alemanha Ocidental	2	0
Birmânia	2	0
Grã-Bretanha	1	0
Outros (aprox.)	4	0
Total (aproximado)	3 100	100

* Recursos em teor superior a 105 l/t.

** Estimativa de Alpers (1).

Fontes: [10] e [1].

ra cada país, a razão de sua apresentação justifica-se pelo fato de fornecerem uma visão conjunta dos recursos de xisto aceita internacionalmente. No caso do Brasil, em particular, ape

sar de a estimativa apresentada ter sido realizada a partir da hipótese de um teor médio de óleo possivelmente maior que o de fato existente, há outros estudos mais específicos (posteriormente analisados) que apresentam estimativas diferentes desta.

Resta, então, expor as estimativas para a parcela desse volume de óleo que pode ser obtida em bases economicamente viáveis nas condições atuais.

IV - RESERVAS MUNDIAIS

Apesar de extremamente incertas e baseadas em critérios diferentes, as estimativas mundiais das reservas de xisto são importantes, a fim de permitir que se visualize a grande discrepância entre o potencial de longo prazo (recursos) e curto prazo (reservas) do xisto, em comparação com outros combustíveis fósseis.

A classificação de determinado recurso do xisto como reserva é pouco precisa, por existirem incertezas no que se refere aos níveis de investimentos necessários e dos custos operacionais e aos impactos sobre estas grandezas causados pelas imposições sociais relativas à poluição, tornando incertas as tentativas de avaliação das condições necessárias (teor de óleo, profundidade, espessura das camadas, etc.) à viabilidade de seu aproveitamento econômico.

O volume das reservas de óleo de xisto — cerca de 190 bilhões de barris — é de apenas pouco mais que 5% dos recursos conhecidos e aproximadamente 0,05% dos recursos totais de xisto, o que evidencia o grande contraste entre os enormes recursos de xisto e sua relativamente pequena importância econômica.

É importante frisar, mais uma vez que comparações entre as reservas dos vários países são problemáticas, de

vido às diferenças nos critérios empregados e no nível de incerteza das estimativas. Nas avaliações efetuadas acima, os recursos que apresentam as características (teor de óleo, espessura, profundidade, etc.) dos já minados num determinado país foram considerados como sendo suas reservas.

Para os Estados Unidos, por exemplo, com base nos dados provenientes de usinas-protótipo do U.S. Bureau of Mines e de empresas privadas do Colorado, adotou-se como reservas os recursos que possuem teor de óleo superior a 25 U.S. GAL/t curta (105 l/t) de rocha, espessura a 25 pés (7,5 m) e localização a uma profundidade inferior a 1.000 pés (cerca de 300 m).

A nível mundial, basicamente, duas formas de ocorrência de xisto têm sido mineradas: os depósitos localizados a pequena profundidade, com espessuras superiores a 25 pés (7,5 m), que podem ser minerados a céu aberto e, portanto, permitem o aproveitamento de recursos com rendimento em óleo mediano — de 10 a 25 US GAL/t curta (40 a 105 l/t) — e aqueles com alto rendimento em óleo — de 25 a 100 US GAL/t curta (105 a 415 l/t) —, que apresentam espessura superior a poucos pés e se estendem a profundidades de até 1.000 pés (cerca de 300 m) abaixo da superfície.

Os recursos nacionais enquadram-se no primeiro grupo, uma vez que nas áreas mais promissoras, possuem rendimento

to em óleo da ordem de 80 l/t, espessura em torno de 10 m e relação entre material estéril e xisto inferior a 3, o que torna a mineração a céu aberto um empreendimento viável. Além disso, como as estimativas de reservas são relativas a um dado preço de óleo e a um determinado estágio da tecnologia, pois um aumento de preço do óleo ou um avanço tecnológico poderão tornar viável o aproveitamento econômico de novas áreas, as previsões de reservas não relacionadas a um preço para o óleo e a um estágio da arte devem ser utilizadas com extenso cuidado.

Embora não se saiba de nenhuma estimativa sobre as reservas de xisto que se refira explicitamente a algum preço para o óleo ou estado da arte, o único estudo que procurou estimá-las a nível mundial, dentre os que se conhece, é o de Duncan [11], cujos resultados são citados por vários autores. O fato de esta estimativa ter sido utilizada nas conferências mundiais sobre energia — Detroit (1974) e Istambul (1977) — demonstra que, apesar de realizada há cerca de 15 anos, é ainda a mais largamente aceita.

A tabela a seguir apresenta as reservas mundiais de óleo de xisto, assim como a sua partição pelos países, com uma estimativa de 50 bilhões de barris para as reservas nacionais, o que é extremamente contestável, conforme será discutido em posterior análise abrangendo também outras avaliações destas mesmas reservas.

TABELA 4

RESERVAS MUNDIAIS DE ÓLEO DE XISTO

Países	Reservas (bilhões de barris)	Participação (%)
Estados Unidos	80	41
Brasil	50	26
União Soviética	32	17
China	14	7
Congo	10	5
Itália	7	4
Total	193	100

Fonte: [11].

Apesar de os recursos de xisto serem cerca de 10 vezes superiores aos de carvão, as estimativas, por exemplo, das reservas mundiais de combustíveis fósseis [1] — apresentadas na tabela a seguir — contemplam o xisto com apenas 5% das reservas totais, enquanto o carvão é responsável por mais de 70% do total.

TABELA 5

RESERVAS MUNDIAIS DOS COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

Combustíveis Fósseis	Reservas (bilhões de TEP) *	Participação (%)
Carvão	447,6	70,6
Petróleo	100,0	15,8
Gás Natural	56,4	8,9
Xisto Oleífero	30,0	4,7
Total	634,0	100,0

Fonte: [1] .

* Tonelada equivalente de petróleo.

Da análise até aqui desenvolvida acerca dos recursos e reservas mundiais de xisto, embora a quantidade da matéria orgânica contida em seus recursos seja bastante maior que a encontrada nos demais combustíveis fósseis, pode-se concluir que a parcela que pode ser caracterizada como reserva representa apenas uma pequena parte (5%) das reservas mundiais de combustíveis fósseis, uma vez que, além de encontrar-se bastante diluída no xisto, o aproveitamento energético tradicional dessa matéria orgânica (produção de óleo sintético) é endotérmico e os custos operacionais e o investimento por unidade de capacidade instalada (bbl/ dia) são elevados.

V - RECURSOS DE XISTO NO BRASIL

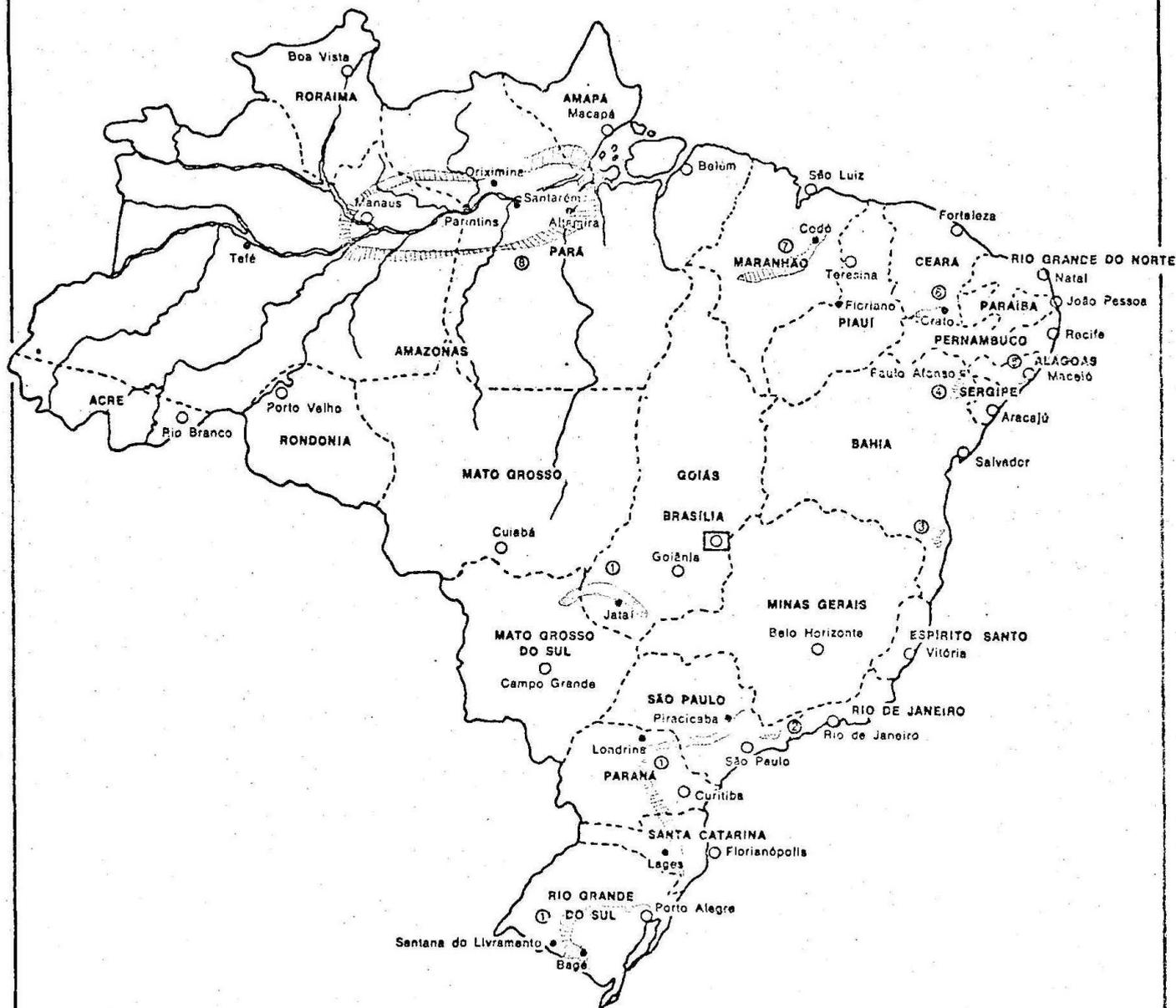
Já foi detetada a ocorrência de xisto, com diferentes idades e características, em quase todos os Estados do território nacional (ver Figura 1), cujos principais depósitos são:

- 1 - os da Formação Codó, no Maranhão;
- 2 - os da Formação Santana, no Ceará;
- 3 - os de Alagoas;
- 4 - os da Formação Santa Brígida, na Bahia;
- 5 - os da Formação Curuá, no Amazonas, Para e Amapá;
- 6 - os de Maraú, na Bahia;
- 7 - os do Vale do Paraíba, em São Paulo; e
- 8 - os da Formação Irati, em São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Goiás e Mato Grosso.

Para a maioria desses depósitos são conhecidos apenas os resultados dos ensaios de pirólise com base em amostras esparsas, com exceção dos depósitos do Vale do Paraíba, da Formação Irati e de Maraú, os quais já foram alvos de estudos mais sistemáticos. A seguir são apresentadas as informações conhecidas acerca dos depósitos acima relacionados.

FIGURA 1

OCORRÊNCIAS DE XISTO NO BRASIL



- ① Xisto permiano da formação Irati
- ② Xisto terciário do Vale do Paraíba (São Paulo)
- ③ Xisto cretáceo de Maraú (Bahia)
- ④ Xisto permiano da formação Santa Brigida (Bahia)
- ⑤ Xisto cretáceo de Alagoas
- ⑥ Xisto cretáceo do Ceará
- ⑦ Xisto cretáceo da formação Codó (Maranhão)
- ⑧ Xisto devoniano da Formação Curuá (Amazonas, Pará e Amapá)

FONTE [22]

V.1 - FORMAÇÃO CODÓ (MARANHÃO)

Ensaio de laboratório realizados a partir das amostras deste depósito, localizado nas proximidades da cidade de Codó, no vale do rio Itapicuru, revelaram a composição dada na Tabela 6. Também no Estado do Maranhão foi detetada a ocorrência de xisto nas proximidades de Barra do Corda, com um teor de óleo de 17% em peso [15], mas até o momento não foram realizados estudos no sentido de avaliar a capacidade destes depósitos, sabendo-se apenas que é pequena [30] em comparação com outros existentes no País.

TABELA 6

COMPOSIÇÃO DO XISTO DE CODÓ
(Ensaio Fisher)

	(Em %)
Água	3,0
Óleo	10,8
Resíduo	83,2
Gás e Perdas	3,0

Fonte: [15]

V.2 - FORMAÇÃO SANTANA (CEARÁ)

Este depósito localiza-se nas proximidades de Crato, no sul do Ceará. Estudos realizados por Frões Abreu [15] revelaram um elevado teor de óleo (cerca de 20% em peso), mas seu aproveitamento econômico não parece viável, devido à pequena espessura das camadas existentes.

V.3 - XISTO DE ALAGOAS

Ao longo da costa do Estado de Alagoas são conhecidos vários depósitos de xisto, cujos resultados obtidos em laboratório com amostras provenientes de alguns deles são mostrados na tabela a seguir. No entanto, até o momento não foram realizados estudos que permitam a avaliação do seu potencial, mas segundo Bastos [2] existem problemas para a mineração em larga escala, por serem as camadas em geral muito finas e encontrarem-se abaixo do nível do mar.

TABELA 7

COMPOSIÇÃO NO XISTO DE ALAGOAS (Ensaio Fisher)

(Em %)

Depósitos	Riacho Doce	Bica da Pedra	Camacho	Camaragibe
Águas Amoniacais	11,0	11,9	9,3	9,1
Óleo	12,0	10,6	4,1	8,3
Resíduo	68,8	70,0	84,4	75,9
Asfalto	-	0,1	-	0,1
Gás e Perdas	8,2	7,4	2,2	0,6

Fonte: [15] .

V.4 - FORMAÇÃO SANTA BRÍGIDA (BAHIA)

Foi detetada a ocorrência do xisto nesta formação ao norte da Bahia, sem que se conheça, no entanto, estudos que permitam a sua caracterização.

V.5 - FORMAÇÃO CURUÃ (AMAZONAS, PARÁ E AMAPÁ)

Constatou-se a presença de xisto em diversos pontos destes Estados, ao norte e ao sul do rio Amazonas, ao longo dos rios Xingú, Tapajós, Maicuru, Curuã de Alenquer, Trombetas (no Pará), Paramari, Uatumã, Jatapu e Urubu (no Amazonas). A anã

lise de algumas amostras esparsas indicou um baixo teor de óleo, o que só poderá ser confirmado após um estudo mais sistemático, não existindo informações acerca de seu potencial e nem mesmo da extensão da ocorrência.

V.6 - XISTO DE MARAÚ (BAHIA)

Este depósito, localizado no sul do Estado da Bahia, contém um xisto que se revelou extremamente rico em matéria orgânica, mostrando-se capaz de produzir cerca de 430 litros de óleo por tonelada de xisto [20] (cerca de 39% em peso), mas sua possança, cujo potencial em termos de quantidade de óleo recuperável foi avaliado em apenas 500.000 barris [20], é muito pequena, o que torna seu aproveitamento pouco significativo. Quanto ao aspecto econômico, seu aproveitamento é duvidoso, mesmo considerando-se a instalação de usinas de pequena capacidade, pois isto implicaria, face à rápida exaustão das reservas, uma depreciação do investimento em curto espaço de tempo, que seria de menos de dois anos caso fosse instalada, por exemplo, uma usina com capacidade igual à da usina-protótipo de São Mateus do Sul — 1.000 bbl/dia.

Finalmente, nas seções a seguir apresentam-se os depósitos do Vale do Paraíba e da Formação Irati, por terem estudos com um nível maior de profundidade e, assim, possuírem grande número de detalhes que exigem ênfase na análise.

VI - XISTO DO VALE DO PARAÍBA (SÃO PAULO)

Dando prosseguimento aos trabalhos da extinta CIXB (Comissão de Industrialização do Xisto Betuminoso), a Petrobrás iniciou em 1954 seus estudos sobre o aproveitamento energético do xisto no Vale do Paraíba. No entanto, vários fatores que serão analisados posteriormente fizeram com que seu interesse fosse transferido do xisto do Vale do Paraíba para o da Formação Irati.

De maneira geral, o propósito das subseções seguintes é a apresentação de uma avaliação dos recursos destes depósitos e, também, de uma análise comparativa entre eles, com os dados, tabelas e figuras retirados na sua quase totalidade, de Padula [25 e 26] e Bruni e Padula [3].

VI.1 - AVALIAÇÃO DOS RECURSOS DO VALE DO PARAÍBA

Na Figura 2 é apresentada a área de ocorrência de xisto no Vale do Paraíba, cujos depósitos cobrem aproximadamente 200 km² no Estado de São Paulo, onde se localizam as cidades de Quiririm, Taubatê, Tremembê, Pindamonhangaba e Roseira, cortadas por um trecho de cerca de 40 km da rodovia Presidente Dutra.

A coluna considerada economicamente aproveitável

possui uma espessura de aproximadamente 36 m, sendo que, desse total, 6 m são formados de materiais de baixo teor em óleo (menos de 2%), considerados estéreis e dispostos em duas camadas, e os restantes 30 m constituídos de camadas de xistos oleíferos de três tipos:

- folhelho papiráceo, que forma camadas finas e possui o maior rendimento em óleo, variando de 8 a 13% em peso (aproximadamente 80 l/t a 135 l/t);
- folhelho semipapiráceo, que forma camadas mais grossas mas tem um rendimento em óleo menor, variando de 3 a 9% em peso (30 l/t a 95 l/t), representando a maior parte da coluna econômica; e
- folhelho conchoidal, que é o mais pobre em óleo, sendo eliminado no caso de uma mineração seletiva.

Apresentando uma grande uniformidade ao longo do depósito, o que facilita possíveis extrapolações, o capeamento desta coluna, formado por cerca de 20 m de sedimentos não consolidados, é de fácil remoção. Seu rendimento médio, quando considerada integralmente, é da ordem de 4% em peso (cerca de 41 l/t), ensaio Fisher, base úmida, apresentando um elevado teor de umidade (em torno de 33%), o que é em grande parte res

ponsável pelo deslocamento das prioridades da Petrobrás do xisto do Vale do Paraíba para o da Formação Irati, conforme será analisado posteriormente.

Com a finalidade de proceder a uma avaliação dos recursos de xisto na Vale do Paraíba, foi selecionada uma área de cerca de 10 km², próxima a Tremembé, para a pesquisa, que apresentou como resultado a estimativa de um volume de 119 milhões de barris, considerando a coluna total (teor em óleo da ordem de 41 l/t). Foi pesquisada, ainda, uma outra área, de aproximadamente 66 km², com furos isolados o que tornou possível indicar um volume de cerca de 785 milhões de barris de óleo. Uma inferência das avaliações para o volume de recursos totais do Vale do Paraíba, realizada com base nestes dados e estimando-os como sendo da ordem de 2,2 bilhões de barris, encontra-se resumida na Tabela 8 a seguir.

TABELA 8

RECURSOS CONHECIDOS DE XISTO NO VALE DO PARAÍBA

(30 m DE ESPESSURA, 4% DE ÓLEO)

Classificação Do Recurso	Área (km ²)	Recursos em Óleo — Ensaio Fisher (10 ⁶ bbl)
Medido	10	119
Indicado	66	785
Inferido	115	1.300
Total (aprox.)	191	2.200

Fonte: [25]

Conforme descrito anteriormente, a coluna de xisto oleífero do Vale do Paraíba é formada por três tipos de folhelhos, com camadas intercaladas e de teores bem distintos, o que lhe dá a característica de apresentar grandes oscilações no teor de óleo ao longo da camada, variando de 1 a 13% de óleo em peso (ver Figura 3, onde se mostra o perfil de variação do teor com a profundidade para o xisto do Vale do Paraíba).

Com base nesta característica, reforçada pelo fato de o aproveitamento integral da coluna implicar um rendimento

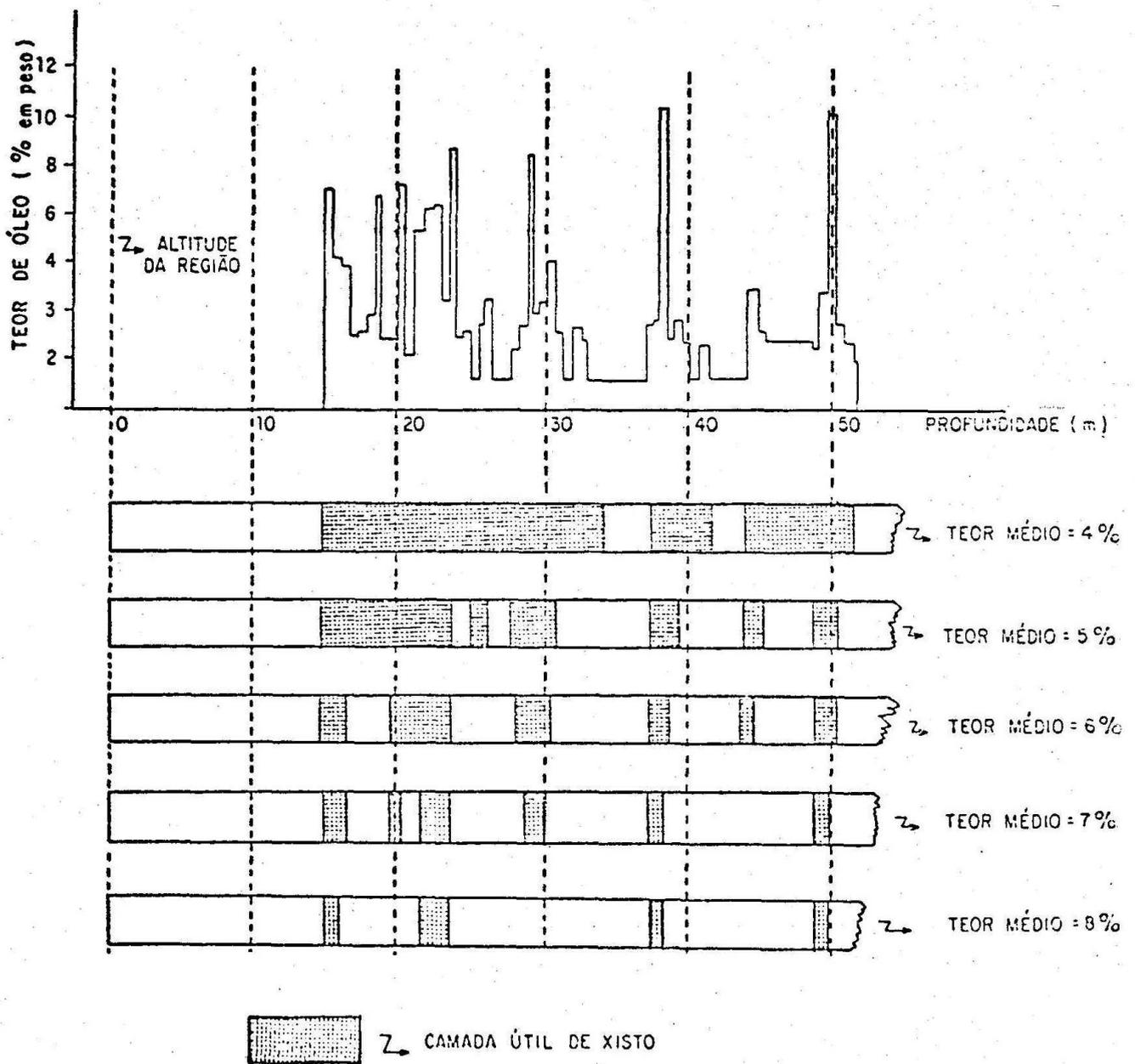
FIGURA 3

XISTOS DO VALE DO PARAÍBA

Teor de Óleo x Profundidade (Furo B-31)

(Mineração Seletiva)

FONTE [25]



to baixo (4% de óleo em peso — 41 l/t) com fortes implicações econômicas, foi realizado um estudo, aplicando-se os dados da área intensamente pesquisada (próxima a Tremembé), sobre uma mineração seletiva das camadas mais ricas, que forneceu os valores observados na tabela a seguir e na Figura 4, onde também são apresentadas extrapolações do estudo para as demais áreas de ocorrência de xisto no Vale do Paraíba.

TABELA 9

XISTO RECUPERÁVEL EM FUNÇÃO DO TEOR DE ÓLEO
(JAZIDA DA MINA EXPERIMENTAL - 10 km²)

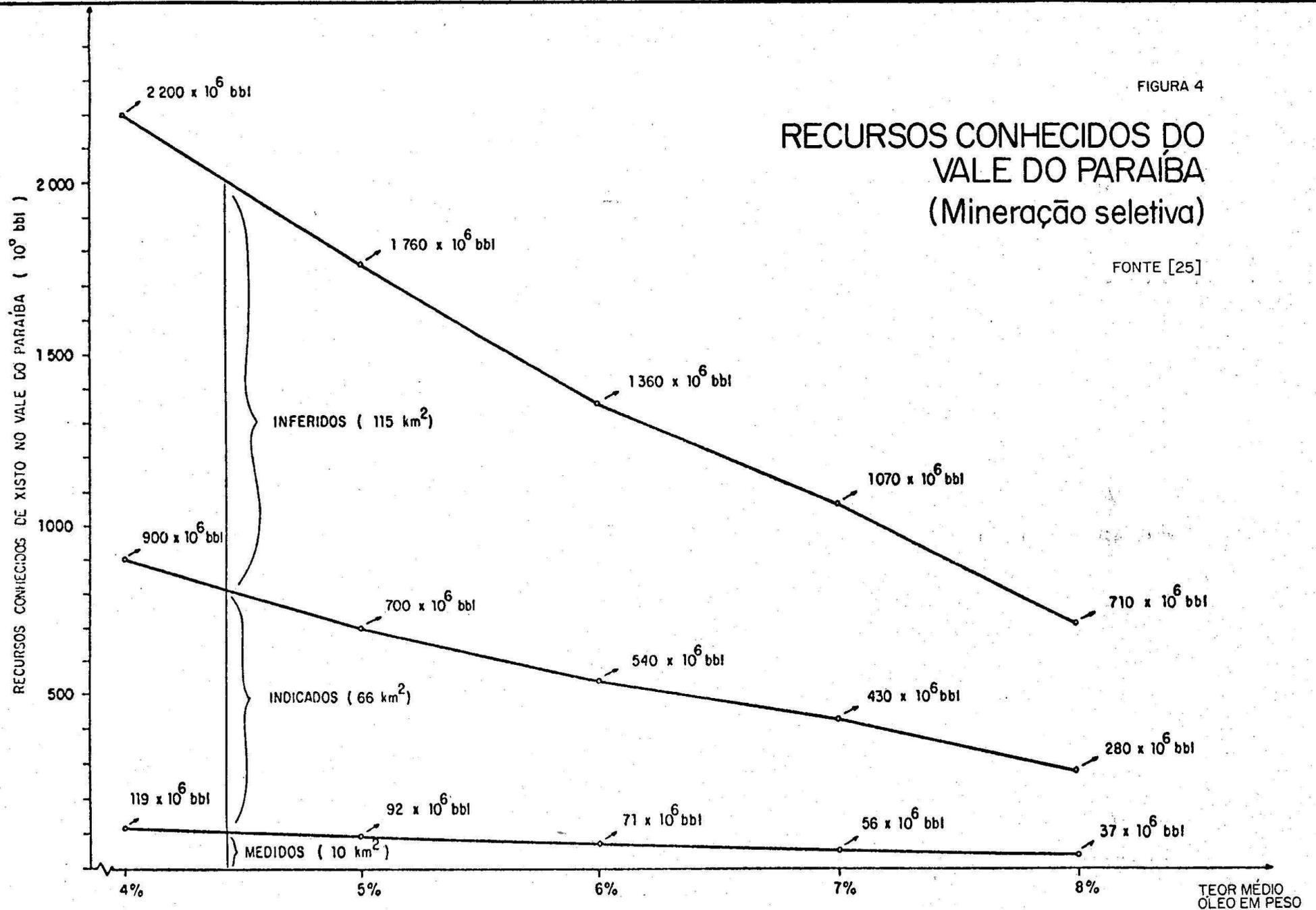
Teor Médio -Ensaio Fisher -Base Úmida (%)	Xisto Útil		Estéril		Óleo Recuperável (Milhões de Bar ris)
	Número de Camadas	Espessura Total (m)	Número de Camadas	Espessura Total (m)	
4	3	30,34	2	6,18	119
5	6	19,02	5	17,00	92
6	6	12,22	5	23,59	71
7	6	8,32	5	27,11	56
8	4	5,23	3	30,21	37

Fonte: [25] .

FIGURA 4

RECURSOS CONHECIDOS DO VALE DO PARAÍBA (Mineração seletiva)

FONTE [25]



Uma rápida análise da tabela 9 revela que para alcançar um teor médio de 8%, o dobro do inicial, é necessário rejeitar mais da metade (aproximadamente 70%) do óleo considerado recuperável a princípio. Outra observação simples, porém importante, é o aumento do número de camadas e a redução de suas espessuras, acarretando desta maneira custos mais altos de mineração na medida em que se objetiva teores médios mais elevados.

VII - FORMAÇÃO IRATI (SÃO PAULO, PARANÁ, SANTA CATARINA, GOIÁS E MATO GROSSO)

VII.1 - DESCRIÇÃO DA FORMAÇÃO IRATI

Apesar de estar presente em quase toda parte da bacia sedimentar do Paraná, a Formação Irati somente apresenta ocorrências de xistos oleíferos nos seus afloramentos orientais, os quais estendem-se desde o Estado de Mato Grosso até a fronteira Brasil-Uruguai (cerca de 2.000 km de extensão), apresentando duas grandes interrupções: uma nas proximidades da cidade de Jataí (Goiás) até a cidade de Rio Claro (São Paulo) e outra de Araranguá (sul de Santa Catarina) até as proximidades de Gravataí (nordeste de Porto Alegre), conforme ilustrado na Figura 5.

O número e a espessura das camadas de xistos oleíferos da Formação Irati variam ao longo da faixa de ocorrência

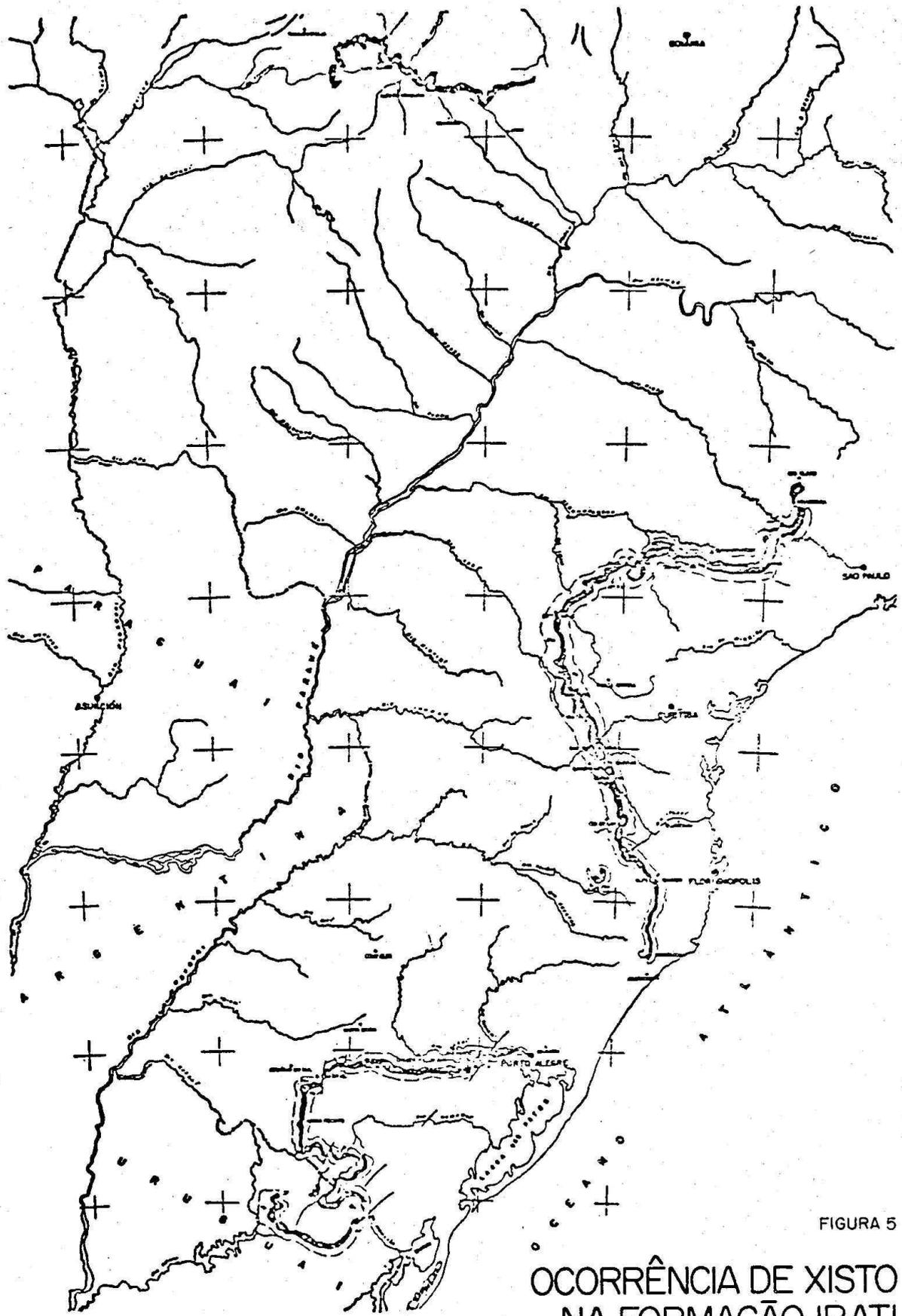


FIGURA 5

OCORRÊNCIA DE XISTO
NA FORMAÇÃO IRATI

cia, não existindo, em São Paulo e sul de Santa Catarina, camadas bem definidas (finas e intercaladas ritmicamente com material estéril), enquanto no Paraná, principalmente no sul, e norte de Santa Catarina apresenta duas camadas bem definidas, com teores de óleo aproximadamente iguais, e no Rio Grande do Sul, apesar da existência de duas camadas bem definidas, a superior possui, nas regiões já estudadas, um teor médio de óleo baixo (inferior a 3%), de forma que seu aproveitamento torna-se inviável.

Outro aspecto importante na avaliação dos recursos de xisto na Formação Irati diz respeito às intrusões de rochas ígneas (diabásio, basalto) na sua parte superior, o que acarreta duas adversidades à exploração do xisto oleífero: em primeiro lugar estas rochas ígneas provocam a destruição parcial ou total do querogênio existente, de tal forma que onde elas ocorrem os teores de óleo são baixos ou mesmo nulos; em segundo, estas rochas possuem uma dureza superior e, portanto, tornam mais altos os custos de mineração. Estas intrusões são particularmente prejudiciais nos Estados do Paraná e de Santa Catarina, onde neste último, uma topografia elevada e irregular aumenta ainda mais os custos de mineração.

O teor de óleo, a espessura do capeamento e a relação xisto oleífero/material estéril variam de forma sensível ao longo do depósito, sabendo-se que a Formação Irati apresenta

um mergulho na direção oeste que, na região próxima a São Mateus do Sul (Paraná) foi avaliado em 15 m por quilômetro em relação à horizontal [20] .

Dadas as diferenças de atratividade econômica, as várias áreas tem sido estudadas com ênfases distintas. Para os afloramentos em Mato Grosso e Goiás, centro de São Paulo, sul de Santa Catarina e norte de São Gabriel (Rio Grande do Sul), não há disponibilidade de dados a respeito do teor de óleo e da espessura das camadas, enquanto para as demais áreas algumas referências existentes encontram-se na tabela a seguir. Porém, é importante ter-se em mente que devido às intrusões de diabásio, este não pode ser extrapolado para toda a região e que, por outro lado, os dados não provêm de estudos com o mesmo nível de detalhamento, podendo assim representar diferentes graus de precisão.

TABELA 10

INFORMAÇÕES GERAIS SOBRE A FORMAÇÃO IRATI

Regiões	Camada Superior		Camada Interme- diária	Camada Inferior		Total	
	Teor (%)	Espessura (m)	Espessura (m)	Teor (%)	Espessura (m)	Teor Médio (%)	Espessura Total (m)
Sul de São Paulo	-	-	-	-	-	4 a 5	-
Norte do Paraná	4	3-4	10-12	3,8	2-3	-	-
Centro-Sul do Paraná	7,5	4	8	7	6-7	-	-
São Mateus do Sul (Paraná)	6,4	6,4	8,5	9,1	3,2	7,3	9,6
Dom Pedrito/São Ga- briel (Rio Grande do Sul)	< 3	8	10-15	6,9	3	-	-
Papanduva/Três Bar- ras							
- Trecho Sul	6,4	7	10,1	7,2	3,1	-	-
- Trecho Norte	-	-	-	7,2	3,1	-	-
Rio Negro/Rio Iguaçu	-	-	-	7,2	3,1	-	-

Fonte: [25] .

VII.2 - AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DA FORMAÇÃO IRATI

Ao longo dos anos foram feitas várias estimativas para o total de recursos conhecidos e reservas contidas na Formação Irati ou em suas regiões específicas. Embora realizadas por diferentes estudiosos do assunto, todas têm por base, de modo geral, um método relativamente simples e pouco sofisticado, o que se justifica plenamente em função da precariedade do conhecimento da Formação Irati como um todo, apesar de algumas de suas regiões já terem sido intensamente pesquisadas.

Este método consiste na aproximação da região a ser avaliada por um paralelepípedo de dimensões médias, cujo volume deve ser equivalente à cubagem dos recursos contidos na mesma, acompanhada da estimativa da densidade média e do teor médio em óleo dos xistos ali existentes. O produto destas grandezas, desde que feito em unidades adequadas, permite a avaliação da quantidade de óleo de xisto em potencial, à qual pode-se aplicar um fator de recuperação e obter-se o volume dos recursos conhecidos da região. De uma maneira mais formal, sejam:

R : total de recursos conhecidos ou reservas;

c : comprimento da faixa de ocorrência;

e : espessura média da camada de xisto recuperável;

l : largura média da faixa de ocorrência;

d : densidade média do xisto;

t : teor médio em óleo; e

f : fator de recuperação.

Assim, o método pode ser resumido pela fórmula:

$$R = c. e. l. d. t. f$$

Da Tabela 11 constam as principais estimativas existentes para a Formação Irati e suas regiões, sucedidas por uma breve discussão dos principais parâmetros envolvidos em algumas delas.

TABELA 11

PRINCIPAIS ESTIMATIVAS PARA A FORMAÇÃO IRATI

Autores	Regiões	Classificação do Recurso	Estimativa (Bilhões de bbl)
Maack [17]	Estado do Paraná	Reserva *	11
CNP [7]	Formação Irati	Reserva	18,5
Oppenheim [16]	Formação Irati	Conhecido	800
Uneco [11]	Formação Irati	Conhecido	300
USGS [11]	Formação Irati	Reserva	50
USGS [11]	Formação Irati	Hipotético	4.000

* O Prof. Maack não empregou explicitamente este termo.

1) Maack [17] : O Prof. Reinhard Maack, inicialmente, estimou que a quantidade visível de xistos no Grupo Irati, no Estado do Paraná, é da ordem de 200 bilhões de toneladas, cujos parâmetros envolvidos são apresentados em faixas bastante largas, não sendo fornecidas as especificações médias consideradas. Deve-se ressaltar, também, que o termo xisto é aqui empregado em um sentido bastante amplo, englobando tanto o oleífero quanto o não-oleífero.

Considerando que 10% dessa cubagem é constituída por xistos oleíferos, com um teor em óleo que varia de 4 a 14% (em média 8%), Maack estimou para o Paraná um depósito de 1,6 bilhão de toneladas (11 bilhões de barris) de óleo bruto, o que parece ser o enquadramento mais adequado, embora ele não tenha classificado explicitamente sua avaliação como sendo de reservas, uma vez que não adotou esta nomenclatura (ver Apêndice).

USGS [11] : A estimativa da USGS apóia-se nas avaliações de Bastos (1951) [2], que, por sua vez apesar de ter como base o estudo de Maack, alterou-o ao extrapolar o teor médio de 8% para os 200 bilhões de toneladas de xisto da Formação Irati no Estado do Paraná, enquanto Maack considerou-o para apenas 10% deste total. Desta maneira, Bastos obteve uma avaliação de cerca de 16 bilhões de toneladas de óleo (110 bilhões de barris), extrapolação esta que não parece nem um pouco razoável, ficando comprometida a credibilidade da estimativa em virtude de não ser apresentada nenhuma justificativa para a mesma.

A seguir, a USGS considerou em seu estudo que aproximadamente metade deste óleo poderia ser explorado em condições econômicas viáveis, caracterizando assim uma reserva da ordem de 50 bilhões de barris na Formação Irati, que foi a única região caracterizada como reserva, não só no Brasil como também na América Latina. No entanto, apesar de tornar-se bastante contestável em função da extrapolação injustificada feita por Bastos, ou talvez por ignorância deste fato, esta tem sido estimativa de reservas de xisto da América Latina consagrada internacionalmente.

A USGS estimou também a quantidade de recursos hipotéticos contidos na Formação Irati, considerando uma área de $650 \times 10^3 \text{ km}^2$, com 9,1 m de espessura e um teor médio em óleo de 5%, em 4 bilhões de barris.

CNP [7] : Em sua estimativa para a Formação Irati, o CNP considerou uma faixa de ocorrência de xisto de 600 km de comprimento por 8 km de largura, com 11 m de espessura média para a secção oleígena. Prevendo uma falta de uniformidade na disseminação do querogênio na rocha, foi adotado um fator de 50% como segurança, avaliando-se desta forma uma cubagem de $26,4 \times 10^9 \text{ m}^3$ e adicionalmente, um rendimento da pirólise de 1 bbl/m^3 e um rendimento operacional da retortagem de 70%, daí resultando a estimativa de uma reserva de cerca de 18,5 bilhões de barris de óleo de xisto. Todavia, não há neste estudo do CNP uma preocupação no sentido de explicitar os critérios de de

finalização de reservas utilizados.

Oppenheim [15] : Segundo Oppenheim, o xisto da Formação Irati é visível na direção norte-sul por cerca de 1.000 km, com uma largura mínima de 25 km e uma espessura da ordem de 30 a 50 m, e os seus recursos conhecidos são estimados, ao considerar um teor médio em óleo de 8%, como sendo da ordem 800 bilhões de barris de óleo.

Uma análise conjunta dessas quatro estimativas com o objetivo de compará-las não é uma tarefa simples, tendo em vista que não há coincidência entre elas quanto à região e tipo de recursos avaliados, mas mesmo assim existem alguns aspectos comuns que merecem ser salientados.

O mais interessante deles diz respeito ao teor médio em óleo que todos os estudos apontam como sendo da ordem de 8%, o que parece bastante contestável, haja vista que o xisto atualmente explorado em São Mateus do Sul (Paraná) uma das regiões mais ricas da Formação Irati, revelou um teor de apenas 7,3% [25], fazendo crer que a média seja sensivelmente inferior ao valor indicado. Além disso as espessuras médias consideradas parecem excessivamente otimistas, notadamente no estudo feito por Oppenheim [5] (30 a 50 m), pois as das regiões até agora melhor pesquisadas revelaram-se bastante inferiores (em São Mateus do Sul, as duas camadas, quando combinadas, apresentam uma espessura média de 9,6 m).

De modo geral, pode-se depreender que estas estimativas possuem um grau de incerteza associado muito elevado, uma vez que baseiam-se em uma quantidade relativamente escassa e concentrada de dados extrapolados para toda a formação ou região avaliada. Além disso, alguns parâmetros considerados parecem estar superestimados, indicando assim uma possível superavaliação dos recursos de xisto contidos na Formação Irati.

Apesar das restrições indicadas, cabe ainda ressaltar que estas estimativas (na tabela a seguir são apresentadas aquelas doravante adotadas no presente trabalho) são importantes na medida em que constituem a única maneira de se ter uma idéia do potencial em recursos de xisto da Formação Irati como um todo ou das grandes regiões nela contidas. Na subseção seguinte serão apresentados os estudos detalhados feitos pela Petrobrás para determinadas áreas pré-selecionadas, de acordo com suas características geológicas e com a respectiva medição de seus recursos.

TABELA 12

ESTIMATIVAS ADOTADAS PARA A FORMAÇÃO IRATI

Classificação do Recurso	Autor da Estimativa	Estimativa (Bilhões de bbl)
Reserva	CNP [7]	18,5
Conhecido	Oppenheim [15]	800
Hipotético	USGS [11]	4000

VII.3 - RECURSOS DEMONSTRADOS DA FORMAÇÃO IRATI

Por volta de 1960, como decorrência dos resultados animadores obtidos a partir de amostras de xistos provenientes da Formação Irati, a Petrobrás passou a concentrar suas atenções nesta região, visando a uma avaliação mais detalhada no sentido de estimar as reservas demonstradas de algumas áreas.

Após intenso e progressivo trabalho de pesquisa geológica, com a execução de sondagens em malhas quadradas em geral de 400 m de lado, foi escolhida uma região de São Mateus do Sul (Paraná), de 64,5 km², como local para instalação de uma usina-protótipo, em virtude da sua pequena espessura de capeamento, da ausência de intrusões de rochas ígneas, da continuidade lateral das camadas, da boa relação xisto útil/ material estéril, do razoável teor de óleo e do baixo teor de umidade (5 a 7%) de seus xistos, que mostravam-se, assim, bastante suscetíveis de tratamento pelo processo PETROSIX.

Um estudo mais detalhado dessa região revelou que o xisto encontra-se disposto em duas camadas bem definidas, separadas por uma camada intermediária composta por materiais estéreis: a superior possui uma espessura média de 6,4 m, com um teor médio em óleo de 6,4% em peso, enquanto a inferior possui 3,2 m de espessura média, com 9,1% em peso de teor médio em óleo, as quais, quando combinadas, apresentam uma espessura média de 9,6 m, com um teor médio em óleo igual a 7,3% em peso.

A camada intermediária, composta de materiais não-oleígenos, tem uma espessura média de 8,5 m, sendo de 17,5 m o capeamento médio da área (na Figura 5 apresenta-se a variação do teor com a profundidade nesta região).

Estas características, observadas numa área de 64,5 km², permitiram a medição de recursos de 560 milhões de barris de óleo de xisto na área de São Mateus do Sul (a tabela a seguir apresenta um resumo dessas informações).

TABELA 13

RECURSOS MEDIDOS - SÃO MATEUS DO SUL (PARANÁ)

Local	Área Cubada (km ²)	Capeamen- to Médio (m)	Espessu- ra Útil de Xis- to (m)	Relação Xisto / Materi- al Esté- ril	Teor Mé- dio de Óleo (%)	Potencial de Produtos (Base: Ensaio Fisher)			
						Óleo (10 ⁶ bbl)	GLP (10 ⁶ t)	Gás Comb. (10 ⁹ m ³)	Enxofre (10 ⁶ t)
São Mateus do Sul	64,5	17,5	9,6	1:2,7	7,3	560	3,9	19	8,7

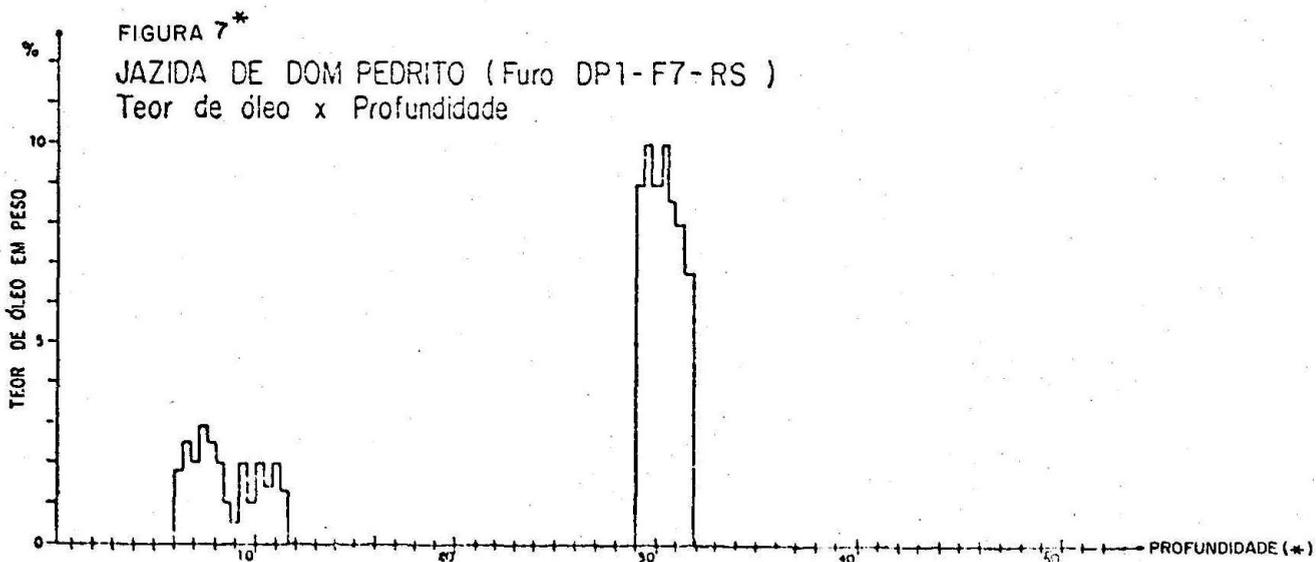
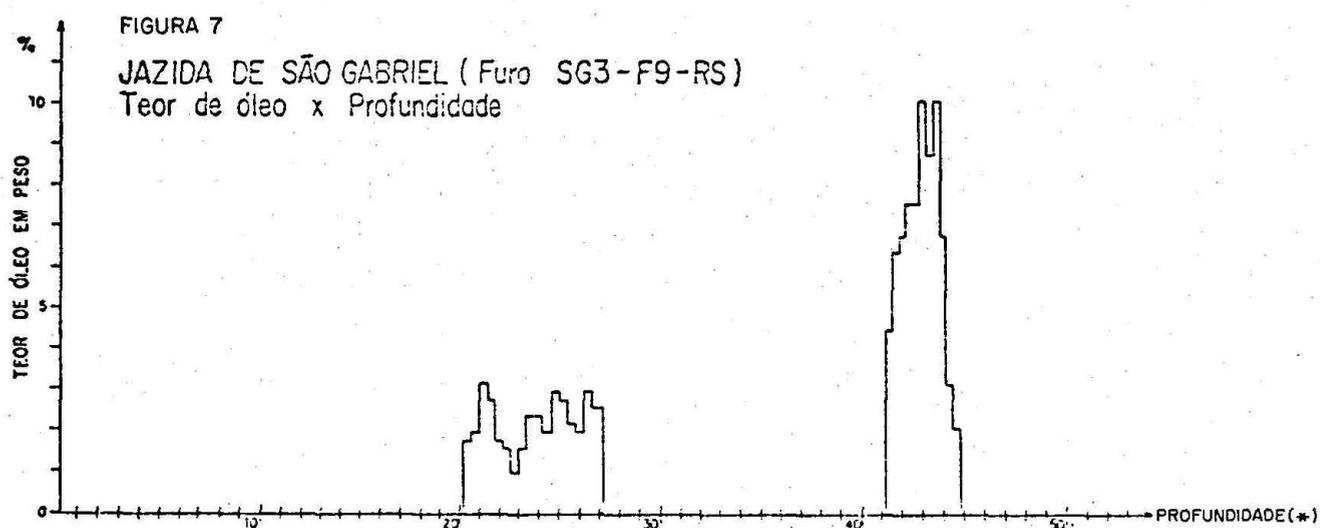
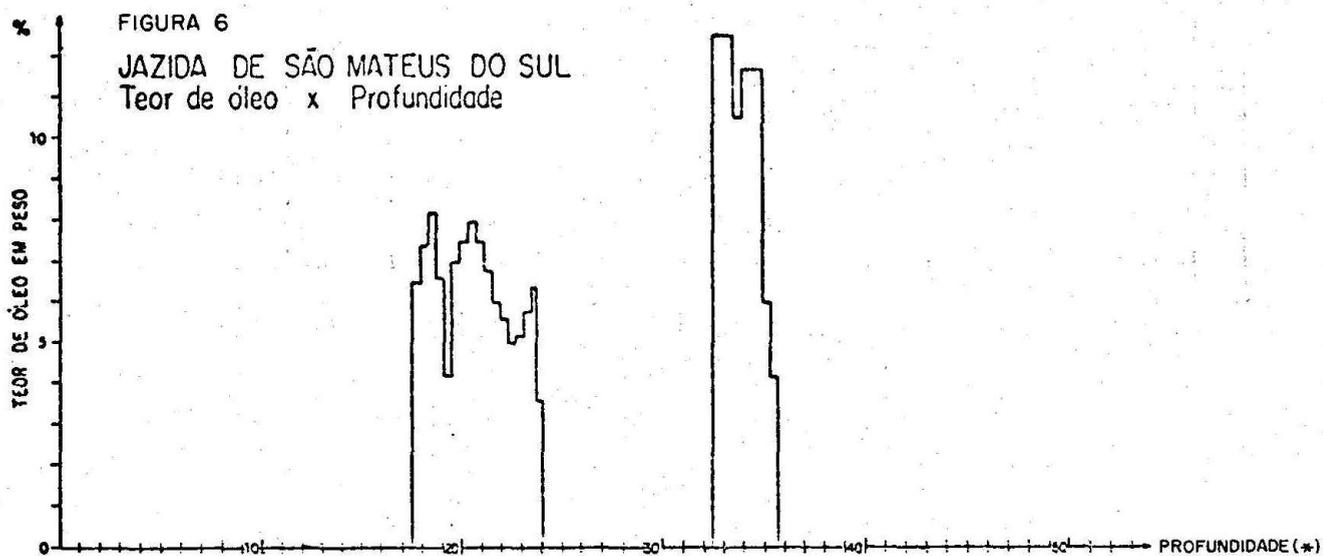
Fonte: [25]

Em uma segunda fase de seus estudos, a Petrobrás passou a procurar áreas da Formação Irati que apresentassem condições similares às de São Mateus do Sul, sendo para tanto estabelecidos alguns critérios básicos. Em primeiro lugar, a área deveria apresentar condições favoráveis para mineração a céu

aberto, ou seja, não deveria haver a ocorrência de intrusões ou perturbações estruturais significativas, tais como descontinuidades laterais e falhamentos, sendo admitido um capeamento máximo de 30 m. Além disso, o número de camadas, espessura e características do xisto deveriam ser compatíveis com os da jazida de São Mateus do Sul, com uma possança tal que possibilitasse a instalação de uma usina industrial com capacidade de 50.000 bbl/dia, utilizando o processo PETROSIX, por pelo menos 30 anos.

Embora não fossem encontradas quaisquer áreas que preenchessem totalmente estes requisitos, as de São Gabriel e Dom Pedrito, no Estado do Rio Grande do Sul, como eram as que mais se aproximavam do desejado, foram então escolhidas para pesquisas mais detalhadas, pois, de maneira análoga à jazida de São Mateus do Sul, o xisto apresenta-se aqui em duas camadas bem definidas, separadas por uma camada de materiais estêreis. No entanto, a superior, com uma espessura média de 8,0 m e um teor em óleo inferior a 3% em peso, foi considerada estéril, e a inferior, com uma espessura média de 3,0 m e um teor médio de 6,9% em peso, foi a única a despertar interesse, enquanto a espessura da camada intermediária oscila entre 10,0 e 15,0 m (ver Figuras 6 e 7).

A partir destes dados, mediu-se uma reserva de 465 milhões de barris de óleo de xisto para Dom Pedrito e de 240 milhões para São Gabriel. No entanto, ao contrário do que ocorre em São Mateus do Sul, o xisto desta área apresenta uma



(*) Não são valores médios da região

FONTE: [25]

elevada percentagem de finos (10 a 20%), que é uma parcela rejeitada em virtude de o processo PETROSIX não trabalhar com este tipo de material, implicando, em consequência, uma queda de rendimento no seu aproveitamento industrial (na tabela a seguir são resumidas as principais informações acerca dos xistos de Dom Pedrito e São Gabriel).

TABELA 14

RECURSOS MEDIDOS - SÃO GABRIEL E DOM PEDRITO (RIO GRANDE DO SUL)

Municípios	Área Cubada (km ²)	Capeamento Médio (m)	Espessura Útil de Xisto (m)	Relação Xisto / Material Estéril	Teor Médio de Óleo (%)	Potencial de Produtos (Base: Ensaio Fischer)			
						Óleo (10 ⁶ bbl)	GLP (10 ⁶ t)	Gás Comb. (10 ⁹ m ³)	Enxofre (10 ⁶ t)
São Gabriel	84,0	16,4	3,1	1:5,4	7,0	240,0	1,8	8,3	3,8
Dom Pedrito	191,0	18,0	2,8	1:6,4	6,8	465,0	3,2	16,0	7,2
Total dos Recursos						705,0	5,0	24,3	11,0

Fonte: [25]

Finalmente, em uma terceira etapa de seus estudos, a Petrobrás relaxou alguns dos critérios básicos anteriormente estabelecidos, principalmente no tocante às condições de mineração, e assim passou a ser considerada válida a remoção de

capeamentos de até 60 m, no caso de mineração a céu aberto de duas camadas de xisto, admitindo-se também a presença de pequenas intrusões de diabásio na camada superior, com o aproveitamento somente da camada inferior através de mineração a céu aberto.

Dentro dessa nova orientação, foram selecionadas duas outras áreas para pesquisas mais aprofundadas: a de Papanduva/Três Barras, em Santa Catarina que possui uma extensão de aproximadamente 110 km² e pode ser subdividida em duas partes - trechos norte e sul -, de acordo com a presença ou não de intrusões de diabásio; e a de rio Negro/rio Iguaçu, no Paraná.

No trecho sul da área de Papanduva/Três Barras, que apresenta características semelhantes às de São Mateus do Sul, na camada superior a espessura média é de 7,0 m, com um teor médio em óleo de 6,4% em peso, e na inferior estes parâmetros são iguais a 3,1 m e 7,2%, respectivamente. Quando consideradas conjuntamente, elas apresentam uma espessura média de 10,1 m e um teor médio em óleo igual a 6,8% em peso, sem que nesse trecho sejam observadas intrusões de diabásio. A camada intermediária, com cerca de 11,0 m de espessura média, é constituída basicamente de materiais não-oleíferos, apresentando, no entanto, algumas faixas de xisto que chegam a ter 60 cm de espessura. Atualmente estão sendo desenvolvidos estudos no sentido de seu aproveitamento, que, entretanto, ainda não foram devidamente avaliados.

No trecho norte, que apresente as mesmas características do anterior, observa-se a presença de intrusões de diabásio, o que implica a perda total ou parcial da camada superior, de acordo com sua espessura. Embora eventualmente algumas de suas partes possam vir a ser aproveitadas, considerou-se apenas a camada inferior, na falta de um conhecimento melhor sobre o comportamento e distribuição das intrusões.

Os recursos de óleo de xisto medidos na área de Papanduva/Três Barras — cujas principais características são apresentadas na tabela a seguir — situam-se em torno de 580 milhões de barris.

TABELA 15

RECURSOS MEDIDOS - PAPANDUVA/TRÊS BARRAS (SANTA CATARINA)

Papanduva/ Três Barras (Santa Catarina)	Camada	Área Cubada (km ²)	Capeamento Médio (m)	Espessura Útil de Xisto (m)	Relação Xisto / Material Estéril	Teor Médio de Óleo (%)	Potencial de Produtos (Base Seca: Ensaio Fischer)			
							Óleo (10 ⁶ bbl)	GLP (10 ⁶ t)	Gás Comb. (10 ⁹ m ³)	Enxofre (10 ⁶ t)
Área Sul	1 ^a	45,0	25,0	7,0	-	6,4	262,0	1,8	8,9	4,0
	2 ^a	50,0	-	3,1	-	7,2	145,0	1,0	4,9	2,3
Área Norte	2 ^a	60,0	30,0	3,1	-	7,2	173,0	1,2	5,9	2,7
Total dos Recursos							580,0	4,0	19,7	9,0

Fonte: [25] .

A outra área selecionada nesta terceira etapa - rio Negro/rio Iguaçu - abrange uma extensão de cerca de 60 km², compreendida entre o rio Iguaçu e a divisa entre os Estados do Paraná e de Santa Catarina, apresentando as mesmas características do trecho norte da área de Papanduva/Três Barras, com intrusões de diabásio na camada superior.

Para efeito de avaliação dos recursos, foi levada em consideração apenas a camada inferior de xisto, que apresenta uma espessura média em torno de 3,1m, com um teor médio em óleo igual a 7,2% em peso, e cujo capeamento médio (incluindo a camada superior) para mineração a céu aberto é de 30,0m. Com base nestes dados, mediu-se um recurso da ordem de 173 milhões de barris de óleo de xisto na região de rio Negro/rio Iguaçu, como é mostrado na tabela a seguir.

TABELA 16

RECURSOS MEDIDOS - RIO NEGRO/RIO IGUAÇU

ÁREA	CAMA-DA	ÁREA CUBA-DA (km ²)	CAPEAMEN-TO MÉDIO (m)	ESPESSURA ÚTIL DE XISTO (m)	RELAÇÃO XISTO/MATERIAL ESTÉRIL	TEOR MÉDIO DE ÓLEO (%)	POTENCIAL DE PRODUTOS (BASE SECA: ENSAIO FISCHER)			
							ÓLEO (10 ⁶ bbl)	GLP (10 ⁶ t)	GÁS COMB. (10 ⁹ m)	ENXOFRE (10 ⁶ t)
R. Iguaçu R. Negro	2 ^a	60,0	30,0	3,1	1:4,6	7,2	173,3	1,2	5,9	2,7

Fonte: | 25 |

Em resumo, de acordo com os trabalhos desenvolvidos até agora e em consonância com o atual estágio da tecnologia de industrialização do xisto no Brasil, a Petrobrás já identificou um volume de recursos superior a 2 bilhões de barris de óleo de xisto na Formação Irati (ver Tabela 17).

Naturalmente, as áreas que, segundo os critérios até aqui utilizados, se mostraram inadequadas para um aproveitamento econômico poderão tornar-se promissoras em função do desenvolvimento da tecnologia de mineração e processamento do xisto, vindo assim a aumentar a quantidade de recursos com perspectivas de aproveitamento econômico.

TABELA 17
RECURSOS MEDIDOS - FORMAÇÃO IRATI

ESTADOS E MUNICÍPIOS	CAMADA	ÁREA CUBADA (km ²)	CAPEAMENTO MÉDIO (m)	ESPESURA ÚTIL DE XISTO (m)	RELAÇÃO XISTO/MATERIAL ESTÉRIL	TEOR MÉDIO DE ÓLEO (%)	POTENCIAL DE PRODUTOS (BASE SECA: ENSAIO FISCHER)				OBSERVAÇÕES
							ÓLEO (10 ⁶ bbl)	GLP (10 ⁶ t)	GÁS COMB. (10 ⁶ m ³)	ENXOFRE (10 ⁶ t)	
PARANÁ (SÃO MATEUS DO SUL)	1 ^a	60,0	17,5	6,4	1:2,7	7,3	560,0	3,9	19,0	8,7	-
	2 ^a	64,5	-	3,2							
PARANÁ (RIO NEGRO/RIO IGUAÇU)	2 ^a	60,0	30,0	3,1	1:4,6	7,2	173,0	1,2	5,9	2,7	intrusão na 1 ^a camada
SANTA CATARINA (PAPANDUVA/TRÊS BARRAS)	1 ^a	45,0	25,0	7,0	-	6,8	580,0	4,0	19,7	9,0	intrusão na 1 ^a camada do trecho norte
	2 ^a	110,0	-	3,1							
RIO GRANDE DO SUL (SÃO GABRIEL E DOM PEDRITO)	2 ^a	275,0	17,5	2,9	1:6,1	6,9	705,0	5,0	24,3	11,0	elevada porcentagem de finos e baixo teor de óleo na 1 ^a camada
TOTAL DOS RECURSOS							2018,0	14,1	68,9	31,4	

FONTE: | 25 |

VIII - ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS XISTOS DO VALE DO PARAÍBA E DA FORMAÇÃO IRATI

Conforme salientado, foi no Vale do Paraíba que a Petrobrás iniciou suas atividades de pesquisa do xisto, deslocando posteriormente seu foco de atenções para o da Formação Irati, em consequência de uma série de características diferentes entre ambos - o xisto do Vale do Paraíba (XVP) e o xisto da Formação Irati (XFI) - o que torna muito mais interessante e apropriado o aproveitamento do XFI. A principal delas, sem dúvida, diz respeito à diferença de teor de umidade observada, pois o XFI a possui entre 5 e 7%, enquanto o XVP atinge até 33% |16|. Uma vez que a retortagem - a mais importante etapa do ciclo de aproveitamento do xisto - ocorre em temperaturas de cerca de 500° C e a água contida no xisto cru sofre, então, um processo de evaporação endotérmico, quanto maior o teor de umidade do xisto, maior será o consumo de energia envolvido em seu aproveitamento, podendo inclusive chegar a comprometer o balanço energético do processo.

De acordo com os testes realizados pela Petrobrás com o processo PETROSIX, no caso do XVP a secagem, eliminação da água e retortagem consumiriam de 80 a 83% do potencial térmico absorvido no processo, enquanto para o XFI, em função do seu pequeno teor em água, este potencial seria de cerca de 25% |16|, o que confirma o fato de a fração líquida de óleo obtida a partir do XFI ser

maior que a do XVP.

Outro aspecto favorável ao aproveitamento do XFI diz respeito à sua composição química, uma vez que revela-se potencialmente mais rico que o XVP nos subprodutos típicos da industrialização do xisto, como o enxofre e os hidrocarbonetos gasosos (as características dos dois xistos, submetidos ao ensaio Fisher, encontram-se na tabela a seguir).

TABELA 18

RESULTADOS DO ENSAIO FISHER PARA O XFI E O XVP

CARACTERÍSTICAS	XFI	XVP
TEOR DE ÓLEO (%)	7,3	4
TEOR DE ÁGUA (%)	7	33
TEOR DE ENXOFRE (%)	4	0,7
RELAÇÃO <u>TONELADA DE XISTO</u> <u>BARRIL DE ÓLEO</u>	2	3,6

Fonte: | 16 |

No que se refere à mineração, na jazida de São Mateus do Sul (Paraná) o XFI apresenta-se em duas camadas, com teor médio em óleo igual a 7,3% em peso, espessura total de 9,6 m e uma razão en

tre material estéril e xisto útil da ordem de 2,7. No Vale do Paraíba, embora a espessura total da camada seja bem superior (36m), o seu aproveitamento integral implica um teor médio em óleo de 4% em peso, que, entretanto, varia largamente ao longo da coluna. Para obter um rendimento em óleo semelhante ao observado em São Mateus do Sul, além de uma redução na espessura aproveitável, ocorre também um aumento no número de camadas, implicando assim a necessidade de uma mineração seletiva e, conseqüentemente, a elevação dos custos de mineração, além de uma diminuição na quantidade de óleo produzido.

Na tabela a seguir são apresentados os parâmetros envolvidos em algumas possibilidades de mineração seletiva para o XVP e os correspondentes do XFI (jazida de São Mateus do Sul).

TABELA 19

XFI E XVP (MINERAÇÃO)

CARACTERÍSTICAS	XVP					XFI
	4	5	6	7	8	
TEOR MÉDIO DE ÓLEO (%)	4	5	6	7	8	7,3
NÚMERO DE CAMADAS	3	6	6	6	4	2
ESPESSURA TOTAL (m)	30,3	19,0	12,2	8,3	5,2	9,6
RELAÇÃO <u>MATERIAL ESTÉRIL</u> XISTO ÚTIL	0,9	2,0	3,6	5,7	9,7	2,7

Fonte: | 25 |

Aliada a esses fatores, existe a constatação, feita a partir dos estudos efetuados pela Petrobrás e das estimativas dos pesquisadores do assunto, de que as reservas de xisto contidas na Formação Irati são bem maiores que as do Vale do Paraíba, conforme apresentado no decorrer deste trabalho. Além disso, deve ser citado que o XVP, em virtude de mostrar-se altamente pegajoso, apresenta dificuldades para o seu manuseio, o que acarreta uma elevação dos custos da seção de preparação de sólidos |18|. Finalmente, a título de comparação, a tabela a seguir apresenta alguns dados resultantes da experiência da Petrobrás, através da utilização do processo PETROSIX, com estes dois xistos.

Foi com base nestes e em outros dados comparativos que a Petrobrás deslocou o seu interesse do xisto do Vale do Paraíba para o da Formação Irati, escolhendo a região de São Mateus do Sul como local para construção de uma usina-protótipo para aproveitá-lo pelo processo PETROSIX.

TABELA 20
XFI E XVP (PROCESSO PETROSIX)

CARACTERÍSTICAS	XFI	XVP
Movimentação de sólidos para produção de 1.000 barris de óleo de xisto*	8,35 t/bbl	10,47 t/bbl
Subprodutos por barril de óleo de xisto		
- GLP	0,075 bbl	-
- enxofre	17 kg	3 kg
- gás combustível (seco e depurado)	36,5 m ³	42,0 m ³
- poder calorífico do gás (em barris de óleo combustível equivalente)	0,18 bbl	0,09 bbl
Área anual de lavra média para 10.000 bpdo**	0,26 km ²	0,39 km ²
Água vaporizada na retorta por barril de óleo de xisto	0,16 t	1,07 t

Fonte: | 16 |

* Incluindo o xisto retortado.

** Barris por dia de operação.

IX - ANÁLISE DOS DADOS

Visando a uma posterior utilização em um modelo de otimização do xisto (MPEIX), durante todo o decorrer deste trabalho procedeu-se ao levantamento de dados diversos acerca dos recursos brasileiros do setor, sobre os quais cabe agora uma discussão a respeito de sua agregação, precisão, abrangência e eventuais deficiências, no sentido de avaliar sua adequação aos propósitos do modelo. Naturalmente que uma apreciação final destes dados só deverá tornar-se possível após a formulação definitiva do MPEIX, embora a esta altura do estudo já possa ser feita uma análise preliminar.

Na abordagem a ser desenvolvida, os recursos serão tratados como estando alocados em áreas de características internas uniformes, o que se constitui numa simplificação clássica. A questão que se apresenta é a do critério a ser utilizado para o dimensionamento destas áreas: superfície ocupada, quantidade de recursos em óleo? Se alguma dessas possibilidades for escolhida, o problema consiste na determinação dos números que se deve usar: 100 km², 500 milhões de barris? A solução parece ser não sistematizar estes segmentos segundo um parâmetro predefinido, mas sim admitir uma divisão flexível, em áreas de dimensões variáveis, de acordo com estudos específicos das peculiaridades de cada região natural, uma vez que este procedimento parece mais compatível com a maneira de apresentação dos dados por parte da Petrobrás.

Para permitir a avaliação do desempenho de seus recursos nos vários setores da industrialização do xisto - mineração, retortagem (processo PETROSIX) e tratamento dos gases, entre outros -, a caracterização de cada uma das áreas seria feita por um conjunto de parâmetros considerados representativos, que, a princípio, foram os seguintes:

- superfície ocupada;
- quantidade de recursos conhecidos;
- quantidade de óleo por tonelada de xisto cru (teor em óleo);
- quantidade de enxofre por tonelada de xisto cru;
- quantidade de GLP por tonelada de xisto cru;
- quantidade de gás combustível por tonelada de xisto cru;
- teor de umidade;
- espessura das camadas;
- espessura do capeamento;
- relação xisto útil/material estéril; e
- percentagem de produção de finos.

Existem, ainda, outros parâmetros importantes para avaliação do desempenho de um recurso, como, por exemplo, a dureza do xisto cru e alguma medida de dispersão do seu valor médio ao longo da área, que não foram levados em consideração em razão do fato de não estarem disponíveis e de ser duvidosa a viabilidade de quantificação de suas influências. Apesar disso, acredita-se que aqueles anteriormente considerados, mesmo incompletos, são suficien

tes para uma abordagem quantitativa, o que pode ser reforçado com um exemplo de Zimmerman | 36|, que em seu estudo para determinar a variação dos custos de mineração de acordo com as peculiaridades de cada jazida, embora julgasse que eles eram influenciados por vários fatores, optou pela quantificação apenas da influência da espessura das camadas.

Naturalmente, uma caracterização segundo estes parâmetros requer um conhecimento detalhado das regiões de xisto, havendo neste ponto uma grande deficiência de dados, uma vez que muito pouco se conhece sobre outros depósitos que não os da Formação Irati e do Vale do Paraíba.

Outro problema surge ao notar-se que, pelos dados disponíveis, os recursos demonstrados somam um potencial de cerca de 4 bilhões de barris, cuja capacidade máxima de instalação, considerando-se uma depreciação dos equipamentos em 30 anos, seria de 400 mil bbl/dia, o que equivale a menos de 40% do atual consumo brasileiro. Ao mesmo tempo, a constatação de que metade deste potencial localiza-se fora da Formação Irati (2 bilhões de barris estão no Vale do Paraíba) dá margem a conjecturas acerca do fato de que possivelmente outras áreas dessa região não incluídas nesta estimativa, devido à qualidade geralmente superior dos xistos aí encontrados, podem vir a ser economicamente preferidas em relação ao depósito do Vale do Paraíba, o mesmo podendo ocorrer com referência aos recursos do Rio Grande do Sul, em face dos seus problemas

com a elevada produção de finos. Além disso, como o atual nível de conhecimento das outras áreas de ocorrência de xisto é muito pequeno, pode-se dizer que é muito temerário descartar uma análise destas regiões para os próximos 20 a 30 anos, porque a influência das demandas regionais, quando a produção de óleo de xisto suplantar a demanda da região Sul, poderá tornar-se importante na otimização do modelo, de forma que usinas nas regiões de Codó e Curuá, por exemplo, tenderiam a ser competitivas, mesmo possuindo custos de produção superiores aos praticados na região da Formação Irati.

Os dados do Vale do Paraíba, apesar de totalizarem meta de dos recursos demonstrados, apresentam ainda um problema adicional, pois não estão divididos em áreas, sem haver um esclarecimento a respeito do fato de os 200 km² considerados incluírem ou não as áreas com alta densidade populacional, o que é sem dúvida importante, tanto na medida em que devem ser excluídas quanto em virtude implicarem divisões em áreas naturais.

Em suma, a conclusão que se apresenta é a de que, além de serem pequenos os recursos cujos dados foram publicados a nível de região, tanto em relação ao consumo nacional como ao total de recursos existentes, não se pode ter certeza se eles são os economicamente mais viáveis ou os que já apresentam soluções tecnológicas mais concretas. Grande parte do problema de falta de informações poderia ser resolvido caso o valor dos recursos inferidos fosse conhecido por áreas, devendo ainda ser salientado que, quanto a

isto, os estudos publicados pela Petrobrás sobre os recursos da Formação Irati não apresentam dados sobre os que são inferidos, o que constitui uma lacuna bastante significativa. A definição do volume de recursos acerca dos quais seria conveniente possuir dados para a consecução do trabalho é ainda uma questão em aberto, por depender sobremaneira da incerteza associada a estes dados.

Finalmente, acredita-se que seja conveniente o conhecimento detalhado dos esforços desenvolvidos, em desenvolvimento ou planejados pela Petrobrás e outros órgãos interessados, assim como o custo destes levantamentos, para que se possa estimar a evolução das informações relativas aos recursos brasileiros de xisto, bem como a necessidade ou não de uma aceleração deste processo.

APÊNDICE 1XISTOS OLEÍGINOS: DEFINIÇÃO E CARACTERÍSTICAS

Embora impróprio segundo a correta nomenclatura geológica - uma denominação mais pertinente seria "folhelho" - xisto é um termo consagrado pelo uso para designar certas rochas sedimentares compactas, formadas de uma parte orgânica e uma parte inorgânica, das quais é possível extrair-se um óleo de características semelhantes ao de poço.

De acordo com a forma com que se possa extrair este óleo, os xistos podem ser classificados em betuminosos e pirobetuminosos. Nos primeiros o óleo ("betume") encontra-se apenas impregnado na parte inorgânica da rocha (matriz inorgânica), podendo ser retirado através dos solventes normais de petróleo, enquanto nos segundos a matéria orgânica (denominada "querogênio"), embora solúvel nos solventes normais de petróleo, quando aquecida a temperaturas de 400° C a 500° C, em atmosfera não oxidante, gera vapor de óleo que, condensado, forma o óleo de xisto, gases como hidrogênio, metano e outros hidrocarbonetos leves, um resíduo sólido que permanece na parte inorgânica e vapor d'água (este processo de aquecimento é denominado "retortagem", por ser geralmente realizado em vasos conhecidos como "retortas"). É importante frisar que os xistos pirobetuminosos produzem uma certa quantidade de óleo -pequena em relação à produzida por retortagem - quando tratados com solven

tes ordinários de petróleo, revelando a existência de hidrocarbonetos em sua composição.

Basicamente, a diferença entre estes xistos reside no seu conteúdo orgânico: betume (que é uma mistura de hidrocarbonetos naturais, solúveis nos solventes comuns e com propriedades físicas e químicas facilmente determináveis) e querogênio (que é uma mistura complexa de matéria orgânica, com propriedades não perfeitamente conhecidas e cuja composição varia de depósito, necessitando para o seu aproveitamento, obrigatoriamente, da retortagem). Considerando que os xistos encontrados no mundo são, em sua maioria, pirobetuminosos e tendo em vista o fato de não existirem exemplos nacionais de xistos betuminosos, adotou-se neste trabalho a denominação genérica de xistos oleígenos.^{5/}

Nos xistos típicos, a parte inorgânica, formada fundamentalmente de calcário e argila, é da ordem de 75 a 90% em peso, ao passo que o óleo produzido na retortagem representa de 25 a 65% da parte orgânica original, tendo como principais diferenças do óleo de petróleo as maiores percentagens de oxigênio, os compostos nitrogenados, os hidrocarbonetos insaturados e os heterocíclicos.

Além de ser função da origem do xisto, a composição do óleo produzido depende acentuadamente do processo de retortagem - principalmente da temperatura de pirólise - e sua percentagem de enxofre e gás sulfídrico (H_2S) no gás produzido também está sujei-

^{5/} Este termo tem sido empregado sistematicamente nos trabalhos do Projeto Xistoquímica-UFRJ, em particular nos do Prof. Costa Neto |8|.

ta sobremaneira à ocorrência de pirita (FeS_2) na fase mineral do xisto oleífero, sendo portanto, bastante variável nos locais de sua ocorrência.

Na tabela a seguir apresenta-se uma correlação entre o teor de matéria orgânica do xisto e a produção de óleo a partir dele, o que é bastante útil para estimativas globais, mas não se aplica a casos específicos, pois a fração da parte orgânica do xisto transformada em óleo varia de acordo com sua origem e o processo de retortagem utilizado.

TABELA 21

TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA X RENDIMENTO EM ÓLEO

Teor de Matéria Orgânica (% em peso)	Rendimento em óleo de xisto	
	US gal/t curta	l/t
5 - 10	5 - 10	21 - 42
10 - 65	10 - 100	42 - 417

Fonte: |4| .

O método de laboratório adequado à determinação do óleo que se pode conseguir a partir do xisto por retortagem é denominado de "Método Fisher Modificado", pelo qual é comum medir-se o desempenho de um processo industrial através da percentagem de óleo obtido em relação à alcançada pelo ensaio Fisher, não sendo incoerente, portanto, uma vez que este ensaio não é o ideal, atingir-se

desempenhos industriais superiores a 100%.

O produto gasoso, que representa cerca de 15% da parte orgânica original, pode resultar num combustível de baixo poder calorífico se durante o processo de retortagem empregado for diluído com dióxido de carbono (CO_2) e nitrogênio (N_2), o que não ocorre, por exemplo, com o uso dos outros processos existentes, em que se pode obter um gás com alto poder calorífico.

O resíduo sólido orgânico e a parte inorgânica restante da retortagem são denominados de "xisto retortado", havendo processos que usam a combustão do carbono desse tipo de xisto ("carbono residual") como fonte de energia para atender parte da demanda térmica da retortagem. Do xisto retortado é possível também obter materiais de construção, dependendo, naturalmente, da sua composição e do processo utilizado, mas é importante frisar que o aproveitamento dos numerosos subprodutos possíveis de obter a partir do xisto - como sulfato de amônia, enxofre, urânio, cimento, materiais de construção e diversos produtos químicos - podem influir de modo acentuado, na economicidade do processo de retortagem.

A fim de tornar a definição de xisto mais precisa, várias sugestões têm sido feitas, baseadas em suas propriedades físicas e químicas, podendo-se citar, dentre elas (a mais comum), a que limita a categoria de xisto às rochas capazes de produzir mais de 40 litros de óleo/t, equivalendo aproximadamente a 1.000 kcal/kg, o que se justifica, em parte, por estudos que demonstram que no estágio atual da tecnologia este é um índice mínimo para o seu aproveitamento econômico.

Por outro lado, uma vez que existem tipos de xisto que produzem até 800 l/t de óleo, bem como a "torbanita" - encontrada na Austrália e na República Sul Africana -, para evitar a classificação de rochas tão ricas em óleo como xistos alguns estudos sugerem que só se considerem as que, após a retortagem, produzirem mais de 33% de resíduos (quanto a uma classificação industrial, um estudo detalhado é apresentado em Polozov e Ozerov |29|).

No presente trabalho, os xistos oleígenos são definidos formalmente como "rochas compactas de origem sedimentar, capazes de produzir óleo quando destiladas destrutivamente, com mais de 33% de cinzas e teor de matéria orgânica superior a 10% em peso, mas não em quantidades apreciáveis quando tratadas com solventes ordinários do petróleo" |8|.

APÊNDICE 2CLASSIFICAÇÃO DOS RECURSOS DE XISTO

O propósito deste apêndice é o de apresentar o critério de classificação dos recursos de xisto adotado no presente trabalho, o qual é descrito no U. S. Geological Survey Bulletin 1450-A [33] e vem sendo utilizado pela Petrobrás na avaliação do potencial nacional.

Os recursos de xisto de uma região podem ser classificados, basicamente, de duas formas:

- quanto ao nível de conhecimento geológico; e
- quanto ao nível de atratividade econômica do seu aproveitamento.

Quanto ao nível de conhecimento geológico, os recursos são classificados em "conhecidos" e "não conhecidos". São considerados conhecidos aqueles para os quais existem estudos geológicos detalhados - de tal forma que sua dimensão é avaliada com base em medidas e mapeamentos sistemáticos -, cuja composição obtém-se a partir de ensaios de laboratório com amostras da malha pesquisada, e que englobam, também, áreas contíguas onde houve um levantamento apenas parcial, mas cujas dimensão e composição podem ser extrapoladas sem grandes erros a partir dos dados da região intensamente pesquisada.

Os estudados de forma mais completa, para os quais os er-

ros de estimação presume-se sejam inferiores a 20%, são, denominados de recursos "medidos" ou "provados". À medida que o nível de confiança das estimativas diminui, os recursos conhecidos passam a se denominar "indicados" e "inferidos", e a soma dos provados e indicados designa-se como "demonstrados".

Os recursos não conhecidos compõem-se tanto dos já detetados mas que, entretanto, ainda não possuem um levantamento de dados em quantidade suficiente que possibilite uma boa avaliação, denominados de "hipotéticos", quanto dos ainda não detetados mas cuja existência é conjeturada, chamados de "especulativos".

Quanto à viabilidade econômica do seu aproveitamento, os recursos de xisto podem ser classificados em "econômicos", cuja aplicação é considerada economicamente viável nas condições de preço e tecnologia atuais (os recursos conhecidos admitidos como econômicos são denominados de "reservas"), e "subeconômicos", que, por motivos de profundidade, teor de óleo, dimensão, localização ou quaisquer outros, não são atualmente aproveitáveis de forma econômica, embora haja perspectivas de que venham a sê-lo em futuro próximo (25 anos [19]), quer por expectativas relacionadas ao comportamento dos preços, quer por previsões de avanços tecnológicos. Em seu trabalho, Meyer [19] denomina os recursos que não possuem perspectiva de aproveitamento nos próximos 25 anos de ocorrências (a tabela a seguir procura fornecer uma visão geral desta classificação).

CLASSIFICAÇÃO DOS RECURSOS

	CONHECIDOS		NÃO CONHECIDOS
	DEMONSTRADOS		
	MEDIDOS	INDICADOS	
	INFERIDOS		
ECONÔMICO	RESERVAS		
SUBE- CONÔMICO	RECURSOS		

Fonte: |19|.

De modo geral, as tentativas de determinação das condições necessárias (teor de óleo, espessura das camadas, etc.) para que um determinado recurso de xisto possa ser aproveitado em condições economicamente viáveis são pouco precisas, devido à existência de problemas conjunturais - como o preço do petróleo, sua disponibilidade no mercado e as imposições sociais relativas à poluição ambiental - e às incertezas intrínsecas ao seu aproveitamento - como o volume de investimentos necessários e o custo operacional, por exemplo.

Desta maneira, como o conceito de reserva está diretamente relacionado com as condições de viabilidade econômica de seu aproveitamento, a classificação de um determinado recurso de xisto como reserva torna-se um tanto imprecisa. Além disso, as especificidades das economias locais e, principalmente, o fato de o volume das suas reservas de petróleo ser um fator determinante para a viabilidade econômica da exploração de um depósito de xisto fazem com que a definição de um critério global e objetivo seja praticamente impossível. Entretanto, devido à necessidade de uma avaliação das reservas mundiais de óleo de xisto, algumas conceituações foram tentadas.

Duncan [11], ao estudar as reservas mundiais, propôs que fossem considerados como tais, nos Estados Unidos, os recursos capazes de produzir mais de 25 USGAL/t curta (105 l/t métrica) de rochas, com uma espessura superior a 25 pés (7,5 m) e localizados a menos de 1.000 pés (300 m) de profundidade, limites estes baseados em dados provenientes de usinas-protótipo do U.S. Bureau of Mines e de empresas privadas do Colorado. Para os demais países seriam considerados reservas os depósitos que apresentassem teor em óleo e espessura de camadas similares aos daqueles já utilizados, que podem ser agrupados, de maneira aproximada, em dois grupos:

- depósitos que produzem entre 25 e 100 USGAL/t curta -105 a 415 l/t, com espessura superior a poucos pés e profundidade de até 1.000 pés (300 m); e

- depósitos que produzem de 10 a 25 USGAL/t curta - 40 a 105 l/t com espessura superior a 20 pés (7,5 m) - e mineráveis a céu aberto.

Estudos posteriores realizados nos Estados Unidos |12|, |21|, |34| classificam os recursos de xisto potencialmente econômicos em quatro classes:

- classe 1: depósitos que produzem em média 35 USGAL/t curta (146 l/t), bem definidos e facilmente acessíveis;
- classe 2: depósitos que produzem em média 30 USGAL/t curta (125 l/t), bem definidos e facilmente acessíveis;
- classe 3: depósitos que produzem de 30 a 35 USGAL/t curta (125 a 136 l/t), bem definidos e acessíveis como os das classes 1 e 2; e
- classe 4: depósitos que produzem de 15 a 30 USGAL/t curta (67 a 125 l/t), os quais, embora não sejam considerados de interesse comercial no presente, apresentam-se com perspectivas promissoras para o futuro (recursos subeconômicos).

Apesar de envolver alguns aspectos subjetivos e de não haver qualquer disponibilidade de estimativa mundial feita com base nesta classificação, esta parece ser mais adequada que a outra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (01) ALPERN, B. Xistos betuminosos; reservas, petrografia, valorização. Atualidades do Conselho Nacional de Petróleo, Brasília, 10 (61): 69-83, jul./ago. 1978.
- (02) BASTOS, Anibal A. Oil Shale in Brazil. UNSCCUR Proceedings, Fuel and Energy Resources. p. 62-64.
- (03) BRUNI, Carlos Egydio e PADULA, Vicente Tomazelli. O interesse mundial na exploração do xisto e o esforço brasileiro para sua industrialização. In: ANAIS do Congresso da Sociedade Brasileira de Geologia, 289. Porto Alegre, 1974. v.1 p.103-119.
- (04) BURGER, J. L'exploitation des pyroschistes ou schistes bitumeux; données générales et perspectives d'avenir. Revue de l'Institut Français du Pétrole, Paris, 38 (3): 315-372, mai/juin 1973.
- (05) CHAVES, Flávio de Magalhães. O xisto betuminoso. Rio de Janeiro, PETROBRÁS, 1975. 45p.
- (06) COMBAZ, André. Les schistes bitumineux: nature et promesses. Total Inform, Geneve (62): 6-13, 1975.
- (07) CONSIDERAÇÕES em torno do xisto. Atualidades do Conselho Nacional de Petróleo, Brasília, 4:70, nov./dez. 1974.
- (08) COSTA NETO, Cláudio. Xistos oleígenos; Matéria-prima que o Brasil tem. Rio de Janeiro, Projeto Xistoquímica/UFRJ, 1979. 80p (Publicação nº 28).

- (09) CULBERTSON, William and PITMAN, Janet K. Oil Shale. US Mineral Resources, U.S. Geological Survey Prof. Paper 820 p.497-503.

- (10) DONNELL, John R. Global Oil-Shale Resources and Costs. In: UNITAR Conference on Energy and the Future, 1 st. Laxenburg, Austria, 1976. The Future Supply of Nature Made Petroleum and Gas. New York, Pergamon Press, 1977. Chapter 47 p.843-856.

- (11) DUNCAN, Donald C. and SWANSON, Vernon E. Organic-rich Shale of the United States and World Land Areas. Washington, US Department of the Interior, 1965. 30p. (Geological Survey Circular, 523).

- (12) ERICSON, Neil R. and MORGAN, Peter. The economic feasibility of shale-oil; an activity analysis. The Bell Journal of Economics, New York, 9 (2): 457-487, Autumn 1978.

- (13) A EXPLORAÇÃO do xisto; uma alternativa agora possível. Dirigente Industrial, mar. 1974. p.20-32.

- (14) HUBBERT, King. World Energy Resources. In: CARROL, Owen. Energy Resources for the Developing Nations. New York, Institute for Energy Research/ Energy Management Training Program, 1979. vol.2 p.433-515.

- (15) KRAEMER, A.J. Oil Shale in Brazil. Washington, US Department of the Interior, 1950. 36p. (Report of Investigation , 4655).

- (16) LOBATO, F.Sayão. Xisto betuminoso. Atualidades do Conselho Nacional de Petróleo, Brasília, 5 (43): 6-11, jul./ ago. 1975.

- (17) MAACK, Reinhard. O problema do petróleo em relação ao xisto pirobetuminoso no Paraná. A retorta, Curitiba.
- (18) MESQUITA, Hilnor Canguçu de. Xisto betuminoso. Atualidades do Conselho Nacional de Petróleo, Brasília, 10 (62) : 39-47, set./out. 1978.
- (19) MEYER, Richard F. Oil and Gas Resource Evaluation. In: CARROL, Owen. Energy Resources for the Developing Nations. New York, Institute for Energy Research/Energy Management Training Program, 1979. vol 2 p.599-640.
- (20) MOREIRA, Homero Baggio. Xisto; uma contribuição efetiva para complementar a produção de petróleo (Separata de matéria publicada na Revista Técnica do Instituto de Engenharia do Paraná, nº 16, jun. 1979).
- (21) NATIONAL Petroleum Council. U.S. Energy Outlook- Oil Shale Availability. Washington, 1973. 87p.
- (22) OLIVEIRA, Gilberto Sobrino Marques de. Tecnologia brasileira para explorar a Formação Irati. Energia; fontes alternativas, São Paulo, 1(2): 49-56, mai./jun. 1979.
- (23) OLIVEIRA, Gilberto Sobrino Marques de. Utilização do xisto como fonte alternativa do petróleo. In: ANAIIS do Congresso Brasileiro de Energia, 1. dez. 1978.
- (24) OLIVEIRA, Gilberto Sobrino Marques de e BARTHOLO, José Moreira. Xisto; significado de um potencial. Rio de Janeiro, Centro de Aperfeiçoamento e Pesquisas de Petróleo, 1964. 24p. (Separata do Boletim Técnico da Petrobrás, nº especial comemorativo do decênio de instalação da Empresa).

- (25) PADULA, Vicente Tomazelli. Folhelhos pirobetuminosos; reservas conhecidas e potenciais. In: SEMINÁRIO sobre Modelo Energético, Curitiba, set. 1979. 19p.
- (26) PADULA, Vicente Tomazelli. Oil Shales of the Permian Irati Formation, Brazil. In: UNITED NATIONS Symposium on the Development and Utilization of Oil Shale Resources, Sect.1, Tallinn, 1968. 22p.
- (27) PETROBRÁS. Departamento Industrial. A industrialização de xistos pela PETROBRÁS. Rio de Janeiro, 1968. 21p.
- (28) LES RÉSERVES de pétrole non conventionnel et leur mobilisation; schistes bitumineux. In: RESSOURCES Énergetiques Mondiales 1985-2000, Istambul, 1977 - Les ressources de pétrole; rapport complet réalisé pour la Comission de Preservation de la Conférence Mondiale de l'Energie. Paris, Technip, 1978. Troisième partie, p.53-56.
- (29) POLOZOV, V.I. e OZEROV, I.N. Principes of Oil Shale Commercial Classification. UN Symp. on Development and Utilization of Oil Shale Resources, Sect. 2, Tallinn, 1968.
- (30) RIBEIRO, Carlos A.S., et alii. Xisto; energia em potencial. Rio de Janeiro, PETROBRÁS, 1964. 155p.
- (31) SLADEK, Thomas A. Oil Shale. A paper for discussion at a Seminar on National Energy Planning in Brazil, Nov. 12-17, 1979. 33p.

- (32) UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs. Utilization of Oil Shale; progress and prospects. New York, 1967. 112p.
- (33) U.S. Department of the Interior. Principles of the Mineral Resources Classification System of the U.S. Bureau of Mines and U.S. Geological Survey. Washington, 1976. (Geological Survey Bulletin, 1450-A).
- (34) U.S. Federal Energy Administration. Project Independence Blueprint. Task Force Report Potential Future Role of Oil Shale; Prospects and Constraints. Washington, 1974. 833p. (FEA/N-74/546).
- (35) YENT, T.F. Oil Shales of United States; a review. In: _____. Science and Technology of Oil Shale. Ann Arbor, Ann Arbor Science Publ. 1976. Chapter 1. p. 1-17.
- (36) ZIMMERMAN, Martin B. Modeling depletion in a mineral industry; the case of coal. The Bell Journal of Economics, New York, 8(1): 41-65, Spring 1977.