

**IPEA/INPES**  
Serv. de  
Documentação

Textos para Discussão  
Grupo de Energia  
Nº XII

"Xistos Oleígenos: Natureza, Formas de Aproveitamento e Principais Produtos".

Lauro R. A. Ramos  
Ricardo P. de Barros

Fevereiro de 1983

Xistos oleígenos : natureza, formas de aproveitamento e prin



RJF0212/83

IPEA - RJ

IPEA  
11-83

Tiragem: 120 exemplares

Trabalho elaborado em: Janeiro de 1983

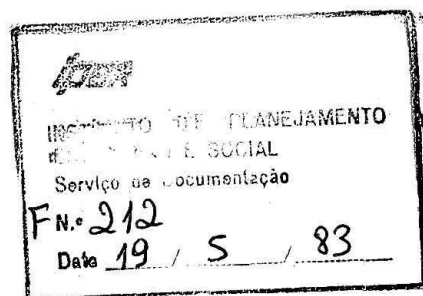
Instituto de Pesquisas do IPEA

Instituto de Planejamento Econômico e Social

Avenida Presidente Antonio Carlos, 51 - 13/17º andar

20.020 Rio de Janeiro RJ

Tel.: (021) 220-6005



Este trabalho é da inteira e exclusiva responsabilidade de seu autor. As opiniões nele emitidas não exprimem, necessariamente, o ponto de vista da Secretaria de Planejamento da Presidência da República.

## SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO .....	01
2 - NATUREZA .....	02
3 - QUEIMA DIRETA .....	09
4 - PIRÓLISE .....	14
5 - PROCESSOS DE PIRÓLISE .....	26
5.1 - Processos ex-situ .....	27
5.2 - Processos in-situ .....	31
5.3 - Mineração .....	33
6 - PRODUTOS DA PIRÓLISE .....	35
6.1 - Óleo de Xisto .....	36
6.2 - Gás de Pirólise .....	38
6.3 - Xisto Retortado .....	43
6.4 - Água de Retortagem .....	49
Referências Bibliográficas .....	52

## 1 - INTRODUÇÃO

Embora reconhecidos há muitos anos como possuidores de grande potencial de aproveitamento para várias finalidades - principalmente como perfeitos substitutos do petróleo de poço -, os xistos oleígenos têm sido tradicionalmente relegados a um plano secundário em termos da sua consideração em planejamentos energéticos e, em parte como decorrência disso, vêm ensejando um esforço de pesquisa que não condiz com suas potencialidades.

Esta situação, no entanto, passou a apresentar evidentes sinais de modificação a partir das bruscas elevações observadas nos preços do petróleo no mercado internacional ao longo dos anos 70, que aumentaram consideravelmente as perspectivas de produção de óleo de xisto em condições economicamente viáveis, que sempre foi o principal entrave ao desenvolvimento da indústria do xisto no mundo inteiro. No caso específico do Brasil, que é possuidor de reservas petrolíferas bastante reduzidas face às suas necessidades e, ao mesmo tempo, detentor de enormes quantidades de xisto espalhadas ao longo de seu território,<sup>1</sup> esta tendência ao incremento da pesquisa revelou-se de modo bastante acentuado.

Paradoxalmente, contudo, esta tendência não é acompanhada pela ênfase em um debate amplo acerca de qual seria a melhor estratégia no sentido de aproveitar estes recursos, tanto no que diz respeito à questão do momento ótimo quanto no que se refere à dimensão ideal. Isto deve-se, na opinião dos autores,

---

<sup>1</sup>Ver "Recursos Nacionais de Xistos Oleígenos: Um Levantamento com vistas ao Planejamento Estratégico do Setor", dos mesmos autores, para maiores informações.

em grande parte, à pequena difusão de conhecimentos sobre suas peculiaridades, o que, em conjunto com as incertezas ainda presentes nas estimativas de custos de produção de óleo para todos os processos existentes, torna a discussão acerca da questão muito complexa.

Tendo por base esta colocação, o objetivo maior do presente trabalho é proceder a uma apresentação sucinta, e em termos os mais simples possíveis, dos aspectos mais relevantes para uma adequada condução desta discussão, notadamente no que se refere às características e peculiaridades dos xistos oleígenos.

Dentro dessa linha, inicialmente é feita, na Seção 2, uma análise das principais características e propriedades destas rochas, reservando-se para as Seções 3 e 4 a apresentação das principais formas de aproveitamento para fins energéticos - queima direta e pirólise. Tendo em vista que, conforme ficará claro ao longo do texto, a pirólise é, pelo menos em princípio, muito mais promissora do que a queima direta, na Seção 5 é apresentada uma resenha dos diversos processos existentes para realizá-la, assim como uma breve análise comparativa de suas adequações; para finalizar, na Seção 6 procede-se a uma descrição dos seus principais produtos e das possibilidades de utilização de cada um.

## 2 - NATUREZA

Antes da apresentação e análise das características dos xistos oleígenos, merecem ser feitas algumas ressalvas quanto à questão da nomenclatura adotada. Em primeiro lugar, a designa-

ção genérica de certas rochas como sendo "xistos" é totalmente incorreta, de acordo com os critérios geológicos de classificação e nomenclatura, pois estes recomendam que a denominação mais adequada seria "folhelhos". No entanto, como ao longo do tempo o termo xisto foi consagrado, sendo hoje largamente empregado em toda a literatura pertinente, houve-se por bem mantê-lo neste trabalho.

Por outro lado, quando se faz referência na literatura aos xistos que contêm matéria orgânica, normalmente são utilizadas as denominações "xistos betuminosos" ou "xistos pirobetuminosos",<sup>2</sup> sendo que a adotada neste texto - "xistos oleígenos" - é bastante recente.<sup>3</sup> A principal razão de sua adoção foi a crença no fato de ser a que melhor se ajusta aos propósitos deste estudo, uma vez que realça a principal propriedade de tais rochas no âmbito do enfoque aqui apresentado, ou seja, a de propiciarem a obtenção de um óleo com características bastante similares às do petróleo de poço quando submetidas a um tratamento adequado. Feitas estas ressalvas, os próximos parágrafos serão dedicados à caracterização dos xistos oleígenos.

Como não existe nenhuma definição precisa de xistos oleígenos em disponibilidade na literatura,<sup>4</sup> tentar-se-á fazer

<sup>2</sup> Isto porque, no jargão geológico, "betume" é o termo que designa uma mistura sólida, líquida ou semi-sólida de hidrocarbonetos.

<sup>3</sup> A denominação "xistos oleígenos" é atribuída a Cláudio Costa Neto, em seus trabalhos sobre o assunto. Ver referências bibliográficas no final.

<sup>4</sup> Em verdade, existem várias tentativas de definição na literatura, que variam de acordo com o enfoque de cada estudo. Para este trabalho em particular, a mais adequada seria a adotada por Costa Neto [9, 10, 11, 12] em seus trabalhos: "xistos oleígenos são rochas compactas de origem sedimentar, com mais de 33% de cinzas e teor de matéria orgânica superior a 10%, capazes de produzir óleo quando destiladas destrutivamente, mas não em quantidades apreciáveis quando tratadas com solventes ordinários do petróleo".

aqui uma caracterização destas rochas através da apresentação de um conjunto de características típicas suas, as quais, no entanto, podem ser também atendidas em alguma extensão por outros tipos de rochas.

Xistos oleígenos são rochas sedimentares compactas que possuem uma parcela variável de matéria orgânica disseminada em uma matriz mineral. Esta matéria orgânica - cerca de 10 a 30%<sup>5</sup> nos grandes depósitos de real valor econômico - é o que lhe tem conferido particular importância, sendo função primordial de qualquer processo de aproveitamento do xisto separá-la da matriz mineral.

Geralmente, algo próximo da décima parte desta matéria orgânica pode ser extraído por intermédio da utilização de solventes comuns; a parcela restante - conhecida como querogênio - é formada por macromoléculas com pesos moleculares da ordem de 3.000 e que possuem composição praticamente desconhecida e bastante variável, tanto de depósito para depósito quanto, por vezes, ao longo de uma mesma jazida.

A matriz mineral, por sua vez, também revela uma composição bastante variável conforme o depósito, sendo constituída na maior parte das vezes por substâncias de pequeno valor econômico, tais como argila, carbonatos, feldspatos, quartzo. A mais importante exceção a essa tendência é, sem dúvida, a ocorrência

---

<sup>5</sup>A não ser quando haja menção em contrário, todas as percentagens (teores) apresentadas no texto referem-se a peso.

de pirita nos xistos brasileiros da Formação Irati, constituindo-se na maior reserva de enxofre do país.<sup>6</sup>

Nas Tabelas 1, 2 e 3, a seguir, procura-se fornecer condições para uma melhor visualização do campo de variação dos parâmetros supramencionados, através da apresentação de seus respectivos valores para os principais depósitos de xisto do mundo.<sup>7</sup>

Em função destas suas características complexas e não muito bem definidas, os xistos oleígenos encerram uma dualidade interessante no que tange ao seu aproveitamento. Se, por um lado, a riqueza da composição de sua fração orgânica e, em menor escala, de sua matriz mineral, assim como a presença simultânea destas, permitem que se vislumbre uma gama bastante variada de utilizações para eles, por outro, a própria falta de homogeneidade destas suas composições e as grandes dificuldades de separação das substâncias neles contidas fazem com que a sua recuperação seja um empreendimento forçosamente complexo e de viabilidade econômica bastante duvidosa. Em decorrência destes obstáculos, os xistos oleígenos têm sido tradicionalmente utilizados apenas como fonte de energia, não se dando ênfase, nessa utilização, à recuperação de suas diversas substâncias, mas sim ao aproveitamento do poder calorífico de sua matéria orgânica, permanecendo assim inexplorada a maior parte do seu potencial químico.

---

<sup>6</sup>Encontra-se também, eventualmente, traços de elementos importantes como urânio, vanádio, molibdênio e outros.

<sup>7</sup>É importante esclarecer que os valores apresentados nas tabelas em questão são, em alguns casos, resultado da análise de amostras esparsas dos depósitos a que se referem, enquanto em outros são valores médios dos depósitos. Assim, estes valores, se evidenciam, por um lado, o quão variável é a composição do xisto, por outro, pouca valia têm para a caracterização, avaliação e comparação das diversas ocorrências de xistos oleígenos nelas ilustradas.



TABELA 1

TEOR APROXIMADO DE MATÉRIA ORGÂNICA NOS XISTOS OLEÍGENOS

(% em peso)

PAÍS (Região)	TEOR
Estados Unidos (Colorado)	7,8 - 40,6 (16,5) *
Brasil (Vale do Paraíba)	21,1 - 35,4
(Formação Irati)	18,4 - 27,3
Austrália (Glen Davis)	34,2 - 55,4
(Rylstone)	95,5
França (Saint Hilaire)	25,3
(Autun)	11,9 - 27,4
Escócia (Dunnet)	19,0
África do Sul (Ermelo)	53,5 - 65,5
Espanha (Puertollano)	27,8 - 28,6
URSS (Estônia) <sup>1</sup>	35

FONTES: [18]

(1) [4]

NOTA: (\*) Valor típico.

TABELA 2  
COMPOSIÇÃO DO QUEROGÊNIO  
 (% em peso)

ELEMENTO	IRATI <sup>1</sup> (Brasil)	LORRAINE <sup>1</sup> (França)	COLORADO <sup>2</sup> (EEUU)	ESTÔNIA <sup>3</sup> (URSS)
Carbono	61,4	75	76,5	76,5 - 77,5
Hidrogênio	6,3	8	10,3	9,1 - 9,8
Oxigênio	4,2	8,6	9,5	10 - 12,5
Nitrogênio	1,8	2	2,5	0,3 - 0,5
Enxofre	12,2	4,4	1,2	1,7 - 2,2
Razão C/H	9,75	9,5	7,4	7,9 - 8,4

FONTES: (1) [16]

(2) [35]

(3) [4]

TABELA 3  
COMPOSIÇÃO DA MATRIZ MINERAL  
 (% em peso)

MINERAL	IRATI <sup>1</sup> (Brasil)	LORRAINE <sup>1</sup> (França)	COLORADO <sup>2</sup> (EUA)
Carbonatos	0	25	48
Feldspato	9	0	16
Argila	55	46	19
Quartzo	19	25	15
Pirita	17	3	1
Outros	0	1	1

FONTES: (1) [16]  
 (2) [35]

Dentro desta linha de aproveitamento energético para os xistos oleígenos existem dois modos básicos de utilizá-los: o mais simples deles consiste na queima direta dos xistos, visando apenas à produção de calor, enquanto o outro, um pouco mais elaborado, envolve a destilação destrutiva - pirólise - da sua matéria orgânica, propiciando a obtenção de produtos mais nobres. Tanto a queima direta quanto a pirólise serão objeto de estudo nas seções a seguir.

### 3 - QUEIMA DIRETA

Neste tipo de utilização, os xistos oleígenos são simplesmente colocados em combustão, sem serem submetidos a processos de beneficiamento anterior, tendo-se como resultado exclusivamente a geração de calor. Entretanto, como foi visto na seção anterior, de modo geral os xistos possuem uma percentagem relativamente baixa de matéria orgânica,<sup>8</sup> o que lhes confere um poder calorífico bem menor que o dos combustíveis sólidos tradicionais (carvão mineral, carvão vegetal e lenha), além de, como seria de se presumir, sensivelmente inferior ao do óleo combustível.

Com o intuito de ilustrar esta desvantagem relativa, na Tabela 4 é feita uma comparação entre o poder calorífico dos xistos nacionais com o dos demais combustíveis concorrentes, tanto aqueles já largamente empregados quanto os que têm apenas algum potencial de utilização no futuro. Complementarmente, apresenta-se na Tabela 5 uma resenha a nível mundial do poder calorífico e a percentagem de cinzas dos principais xistos conhecidos.

Além das desvantagens associadas ao seu poder calorífico naturalmente baixo, o que é em grande parte acarretado pela íntima disseminação da matéria orgânica na matriz mineral, há o problema adicional da dificuldade de separação deste querogênio por intermédio de processos de beneficiamento relativamente simples - como é o caso da lavagem do carvão -, embora em algumas situações - como, por exemplo, no caso do depósito da região do

---

<sup>8</sup> Isto pode ser perfeitamente constatado por uma consulta à Tabela 1 onde se pode perceber que há algumas exceções, mas que não são significativas nem em número nem em quantidade de recursos.

TABELA 4  
PODER CALORÍFICO DOS PRINCIPAIS COMBUSTÍVEIS  
SÓLIDOS NACIONAIS  
(kcal/g)

COMBUSTÍVEL	PODER CALORÍFICO
Petróleo médio	10,8
Carvão energético médio	4,1
Carvão energético do Rio Grande do Sul	3,2
Carvão energético de Santa Catarina	4,5
Carvão energético do Paraná	6,0
Carvão vegetal	6,8
Lenha	2,5
Bagaço de cana <sup>1</sup>	2,3
Turfa <sup>2</sup>	3,2
Xisto	1,5

FONTES:            [3]  
                          (2) [37]

NOTAS:        (1) com 50% de umidade  
                          (2) área de Jacareí - São José dos Campos (SP)

TABELA 5  
PODER CALORÍFICO E PERCENTAGEM DE CINZAS DOS  
PRINCIPAIS XISTOS OLEÍGENOS

PAÍS (Região)	PODER CALORÍFICO <sup>1</sup> (kcal/g)	CINZAS (%)
África do Sul (Ermelo)	4,6	43
Austrália (Glen Davis)	4,5	40
Brasil (Iratí)	1,5	77
(Vale do Paraíba)	2,0	71
Canadá (Nova "Scotiá")	3,0	62
China (Fushun)	0,8	83
Espanha (Puertollano)	3,0	63
Estados Unidos (Colorado)	1,2	67
França (Autun)	0,9 - 2,1	68 - 81
(Saint Hilaire)	2,4	66
Escócia (Westwood)	1,4	78
Nova Zelândia (Orepuci)	5,1	33
Suécia (Kvarntorp)	2,2	72
Tailândia (Maesop)	3,7	56
URSS (Estônia)	3,2	47
Iugoslávia (Aleksinac)	2,0	67

FONTE: [4]

NOTA: (1) O poder calorífico considerado é o superior.

Vale do Paraíba (SP) - seja possível a adoção de uma mineração seletiva para a extração apenas da parcela de xisto com maior teor de matéria orgânica. Esta é, entretanto, uma situação de exceção, uma vez que o xisto é normalmente utilizado para queima direta praticamente nas mesmas condições em que é retirado da jazida.

Outro ponto importante a ser considerado diz respeito à pulverização dos centros que demandam calor ao longo de uma região, situação em que o alto teor de inertes do xisto surge como um fator extremamente negativo, pois torna praticamente inviável em termos econômicos o seu transporte até estes centros.<sup>9</sup> Sérios inconvenientes para a queima direta podem advir também dos altos teores de cinza e, eventualmente, de enxofre, o que pode implicar a possibilidade de impactos nocivos ao meio ambiente, cujo controle tende a elevar consideravelmente os custos de sua utilização.<sup>10</sup>

Naturalmente, a precariedade da viabilidade econômica desta forma de aproveitamento dos xistos oleígenos pode ser parcialmente contornada caso o resíduo da combustão venha a ser aproveitado de alguma maneira. Esta possibilidade, no entanto, não altera o debate para a definição da melhor forma de aproveitamento energético do xisto, haja vista que é peculiar a todas elas, em particular no caso da pirólise. Nesta seção será dado um tra

---

<sup>9</sup> Na verdade, esta é uma dificuldade pertinente aos combustíveis sólidos em geral, notadamente os que possuem concentração na produção (como o carvão).

<sup>10</sup> Um estudo realizado pela Babcock [30] para a PETROBRÁS estimou em cerca de 60% a elevação dos custos como decorrência da necessidade de controle da poluição atmosférica.

tamento bastante superficial à questão, postergando-se uma análise mais detalhada quando da discussão acerca do aproveitamento do resíduo sólido da pirólise - xisto retortado -, a ser realizada mais adiante.

Em linhas gerais, dentre as diversas formas de aproveitamento dos resíduos de combustão, têm-se duas que merecem destaque: em primeiro lugar, o uso destas cinzas para a produção de materiais de construção de várias naturezas (cimento, agregados leves, material cerâmico, etc.); e, em segundo, para a extração de metais nela contidos, como o alumínio, o magnésio e o urânio, dentre outros. Mas, embora o aproveitamento segundo uma destas linhas dependa fundamentalmente da composição da matriz mineral, uma série de fatores faz com que não haja grandes perspectivas de utilização em maior escala de nenhuma delas, de modo a não esperar-se contribuições significativas para a economicidade do processo.

Em que pese esta série de desvantagens relacionadas até aqui, a União Soviética vem operando na Estônia duas usinas termelétricas, cada uma com 1,6 GW de potência, utilizando o xisto da região, tendo consumido em 1975 cerca de 60% dos 36 milhões de toneladas ali mineradas. Este é, no entanto, o único caso de que se tem notícia de uma aplicação em grande escala deste tipo de utilização para os xistos, valendo registrar que os recursos ali utilizados têm um poder calorífico da ordem de 3 kcal/g, quase duas vezes maior que o dos recursos típicos da Formação Irati.

Resumindo o que foi visto até aqui sobre queima direta dos xistos, pode-se dizer que, sob o aspecto de viabilidade eco-



nômica, esta alternativa não parece ser muito interessante, a não ser em situações com demandas localizadas bem próximas aos locais de produção, devido principalmente aos problemas de transporte e poluição atmosférica. Em termos de aproveitamento energético, o que se constatou aqui é que este tipo de uso do xisto é extremamente desvantajoso em relação a uma série de outros combustíveis. Esta desvantagem, no entanto, deve-se principalmente ao fato de a queima direta desprezar a grande vantagem comparativa do xisto, que reside na baixa relação carbono/hidrogênio do querogênio, bastante próxima à do petróleo, o que faz com que seja possível, através do rompimento de uma parcela das ligações das grandes cadeias moleculares do querogênio, obter uma mistura de substância com moléculas menores, que formariam um óleo semelhante ao petróleo. A linha de aproveitamento que faz uso desta peculiaridade é a pirólise ou destilação destrutiva, que será vista na seção seguinte.

#### 4 - PIRÓLISE

A pirólise de uma matéria qualquer consiste basicamente no seu aquecimento em atmosfera não oxidante, sendo, por conseguinte, um processo endotérmico. No caso específico da pirólise do xisto,<sup>11</sup> esta endotermia é agravada pelo fato de o quero-

---

<sup>11</sup>Note-se que, no estrito senso, a pirólise é do querogênio contido no xisto, mas, como todo o xisto é aquecido, ocorrem reações na matriz mineral cujos produtos acabam por impregnar os efluentes da pirólise. Daí porque falar-se em pirólise do xisto. Como normalmente esta pirólise é realizada em vasos (retortas), o termo retortagem para designá-la acabou sendo consagrado na prática. Neste texto serão utilizados indistintamente os dois termos - pirólise e retortagem - com a mesma significação.

gênio estar completamente disseminado na matriz mineral, o que impede a sua separação a priori e torna obrigatório o aquecimento de todo o xisto, acarretando assim um considerável consumo adicional de energia<sup>12</sup> totalmente improdutivo, pois desta matriz mineral pouco ou nada se obtém ao aquecê-la.

Dado que a pirólise do xisto consome energia, existe então um limite inferior para a taxa de matéria orgânica nele contida para que o balanço energético do processo seja positivo. A título de ilustração, pode-se fazer um exercício aproximado para a determinação do teor mínimo necessário: assumindo-se uma capacidade calorífica de 0,5 cal/g°C para o xisto, tem-se que seriam necessárias cerca de 250 cal para aquecer 1 g até 500°C. Supondo uma eficiência de 50% para o processo de aquecimento, a demanda de energia seria então de 500 cal. No caso de esta demanda ser suprida pela matéria orgânica do xisto, que possui um poder calorífico da ordem de 10 kcal/g, seriam necessárias aproximadamente 0,05 g de matéria orgânica para tanto, o que implica que o teor mínimo de matéria orgânica necessário para a auto-suficiência energética do processo seria de cerca de 5% (o aquecimento de 1 g de xisto requer a existência de 0,05 g de matéria orgânica).

Uma avaliação do processo apenas sob este ângulo, porém, nem sempre é a mais indicada. Como a estrutura de preços das diversas fontes de energia não reflete necessariamente seus conteúdos energéticos, um balanço energético negativo, por si só, não inviabiliza economicamente um processo. Para uma análise nes

---

<sup>12</sup> Em verdade, é possível recuperar parte desta energia através do resfriamento dos produtos do processo.

te sentido é necessário, então, que se discutam também os diversos tipos de produtos gerados pelo processo e suas respectivas taxas de produção.

No caso da pirólise do xisto, os produtos apresentam-se em quatro fases distintas: uma gasosa, duas líquidas e uma sólida.

A fase gasosa, conhecida por gás de pirólise, é formada fundamentalmente de uma mistura de hidrocarbonetos<sup>13</sup> leves e hidrogênio, produtos da decomposição térmica da matéria orgânica, e de outros gases, tais como o H<sub>2</sub>S (gás sulfídrico) e o CO (monóxido de carbono).

Dentre as fases líquidas, uma é formada por uma espécie de alcatrão, constituindo-se de uma mistura de HC's e sendo comumente denominada óleo de xisto. A outra é formada por uma solução aquosa contendo substâncias potencialmente poluidoras, como o nitrogênio amoniacal, fenóis e sulfetos, e que possui valores expressivos para a DBO - demanda bioquímica de oxigênio - e para a DQO<sup>14</sup> - demanda química de oxigênio.

A fase sólida, denominada xisto retornado, nada mais é do que a matriz mineral impregnada de um resíduo carbonoso oriundo das reações de pirólise.

Uma descrição mais específica dos produtos da pirólise é realizada na Seção 6, procedendo-se aqui à análise das taxas

---

<sup>13</sup> Doravante, em vez de hidrocarbonetos, escrever-se-á simplesmente HC's.

<sup>14</sup> Para o xisto de São Mateus do Sul, os valores obtidos para a DBO e a DQO, utilizando-se o processo PETROSIX, foram de 4,4 e 15,1 g/l, respectivamente.

de produção dos HC's líquidos e gasosos, que são os objetivos finais da pirólise, e à discussão dos fatores que a influenciam.

Como o xisto não possui uma composição definida, com suas características variando de depósito para depósito, e existem diversas maneiras de realizar a pirólise (conforme será discutido na próxima seção), as taxas de produção variam de acordo com a origem e o processo a que ele é submetido. Isto fica evidenciado nas Tabelas 6 e 7, onde são apresentadas as taxas de produção das diversas fases e as porcentagens médias de matéria orgânica que é convertida em óleo, para xistos procedentes de diversos depósitos nacionais e estrangeiros quando submetidos ao Ensaio Fisher.<sup>15</sup>

A visualização da taxa de produção de gás e óleo como sendo formada pelo produto da percentagem de matéria orgânica contida no xisto e da taxa de conversão desta matéria orgânica em HC's líquidos e gasosos, é interessante na medida em que a separa em dois fatores: um deles depende das propriedades intrínsecas do xisto e, portanto, da sua origem - o teor de matéria orgânica - e o outro depende primordialmente dos parâmetros do processo de pirólise (temperatura, velocidade, etc.) - a taxa de conversão da matéria orgânica em gás e óleo -, apesar de ser função também da origem do xisto.

---

<sup>15</sup> Ensaio de laboratório feito em condições padronizadas e que consiste na realização de uma destilação destrutiva a 500°C de pequenas amostras de xisto.

TABELA 6

## PRODUTOS DA PIRÓLISE DO XISTO A 500°C

PAÍS (Região)	RENDIMENTO EM ÓLEO		GÁS (%)	VAPOR D'ÁGUA (%)	XISTO RESIDUAL (%)	CONVERSÃO APROXIMADA DA MATÉRIA ORGÂNICA EM ÓLEO (%)
	(l/t)	(%)				
África do Sul (Ermelo)	190	17,6	3,8	3,0	75,6	34
Austrália (Glen Davis)	346	30,9	4,3	0,7	64,1	66
Brasil (Irati)	79	7,4	3,2	1,7	87,7	-
(Vale do Paraíba)	130	11,5	3,9	6,2	78,4	59
Canadá (Nova "Scotia")	214	18,8	2,7	0,8	77,7	60
China (Fushun)	32	3,0	1,8	4,9	90,3	33
Espanha (Puertollano)	196	17,6	2,2	1,8	78,4	57
Estados Unidos (Colorado)	102	9,3	1,6	1,0	87,5	70
França (Autun)	61-113	5,4-10,4	1,3-3,1	2,0-3,2	84,0-91,3	44 - 56
(Saint Hilaire)	104	9,5	3,2	1,4	85,9	-
Escócia (Westwood)	93	8,2	3,0	2,2	86,6	56
Israel (Um Barek)	65	6,4	3,0	2,2	88,4	48
Líbano	257	24,8	7,7	11,0	56,5	-
Madagascar (Antanifotosy)	-	11,0	4,7	4,4	79,4	-
Nova Zelândia (Orepuki)	276	24,8	9,3	8,3	57,6	45
Suécia (Kvarntorp)	58	5,7	5,1	2,0	87,2	26
Tailândia (Maesod)	298	26,1	3,8	3,8	66,3	71
URSS (Estônia)	226	22,0	5,6	1,9	70,5	66
Iugoslávia (Aleksinac)	113	10,0	4,3	5,8	79,9	48

FONTE: [ 4 ]

TABELA 7

PRODUTOS DE PIRÓLISE DOS XISTOS NACIONAIS

(%)

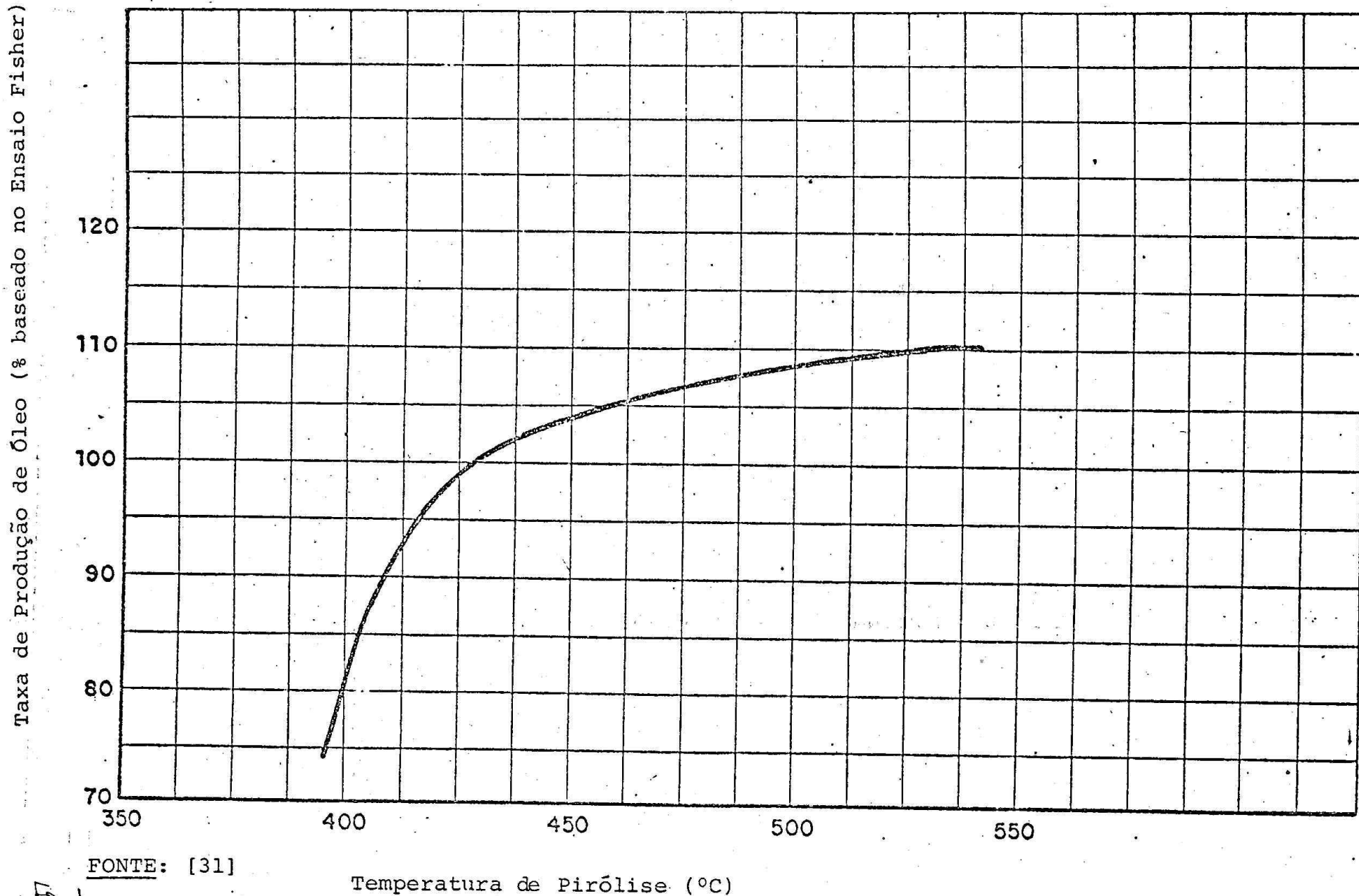
ORIGEM	ÓLEO	GÁS	ÁGUA	RESÍDUO
Codô	10,8	3,0	3,0	83,2
Alagoas (Riacho Doce)	12,0	8,2	11,0	68,8
Maraú	21,0	13,0	13,0	53,0
Vale do Paraíba (Tremembé)	4,6	1,8	35,3	58,3
Irati (Paraná)	6,4	3,9	6,1	86,1

FONTE: [18]

Como o primeiro fator está fora do alcance de qualquer ação de otimização, todo o esforço para aumentar a eficiência do aproveitamento do xisto para produção de HC's voláteis tem de ser concentrado em torno da maximização da taxa de conversão da matéria orgânica em gás e óleo, uma vez que esta é sensível aos parâmetros do processo. Dentre estes, o que a influencia de maneira mais significativa, ao menos em termos quantitativos, é a temperatura de pirólise, estudada a seguir.

Tanto a taxa de produção de HC's líquidos quanto a de gasosos são inicialmente crescentes com a temperatura, invertendo este comportamento a partir de um determinado ponto. Porém, como a temperatura de produção máxima de um produto tende a variar no sentido oposto ao do seu peso molecular, normalmente temperaturas mais elevadas tendem a acarretar maior produção de HC's gasosos em relação ao HC's líquidos, conforme fica claramente comprovado pelas curvas de termodependência apresentadas nos Gráficos 1 a 4.

GRÁFICO 1 - TAXA DE PRODUÇÃO DE ÓLEO NA USINA INDUSTRIAL DE SÃO MATEUS DO SUL (FORMAÇÃO IRATI/PETROSIX)

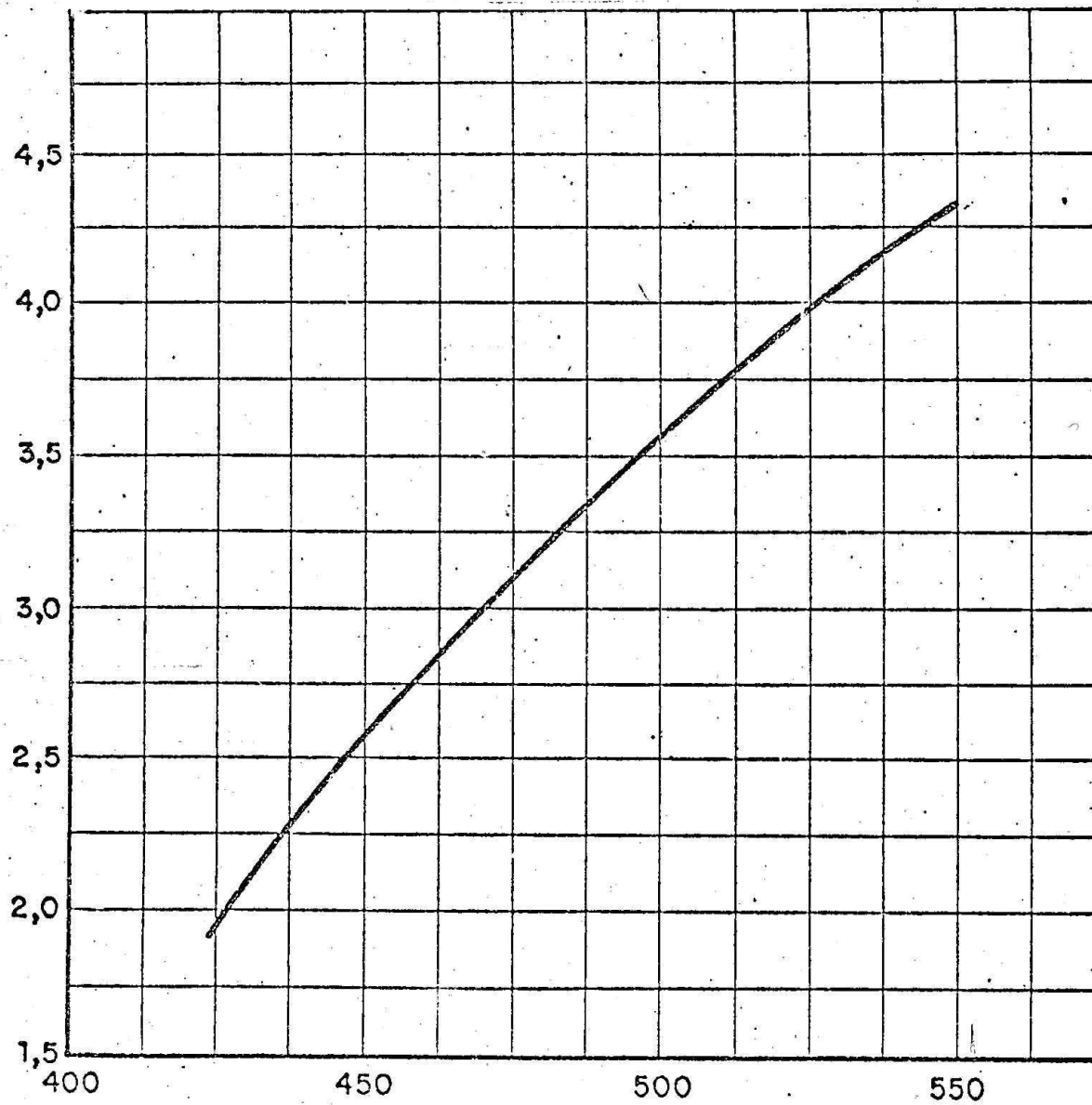


FONTE: [31]

Temperatura de Pirólise (°C)

GRÁFICO 2 - TAXA DE PRODUÇÃO DE GÁS NA USINA INDUSTRIAL DE SÃO MATEUS DO SUL (FORMAÇÃO IRATI/PETROSIX)

Taxa de Produção de Gás (% Em peso baseado no Ensaio Fisher)



FONTE: [31]

Temperatura de Pirólise (°C)



GRÁFICO 3 - TAXA DE PRODUÇÃO DE GÁS + ÓLEO NA USINA INDUSTRIAL DE SÃO MATEUS DO SUL ( FORMAÇÃO IRATI/PETROSIX)

INPES, XII/83

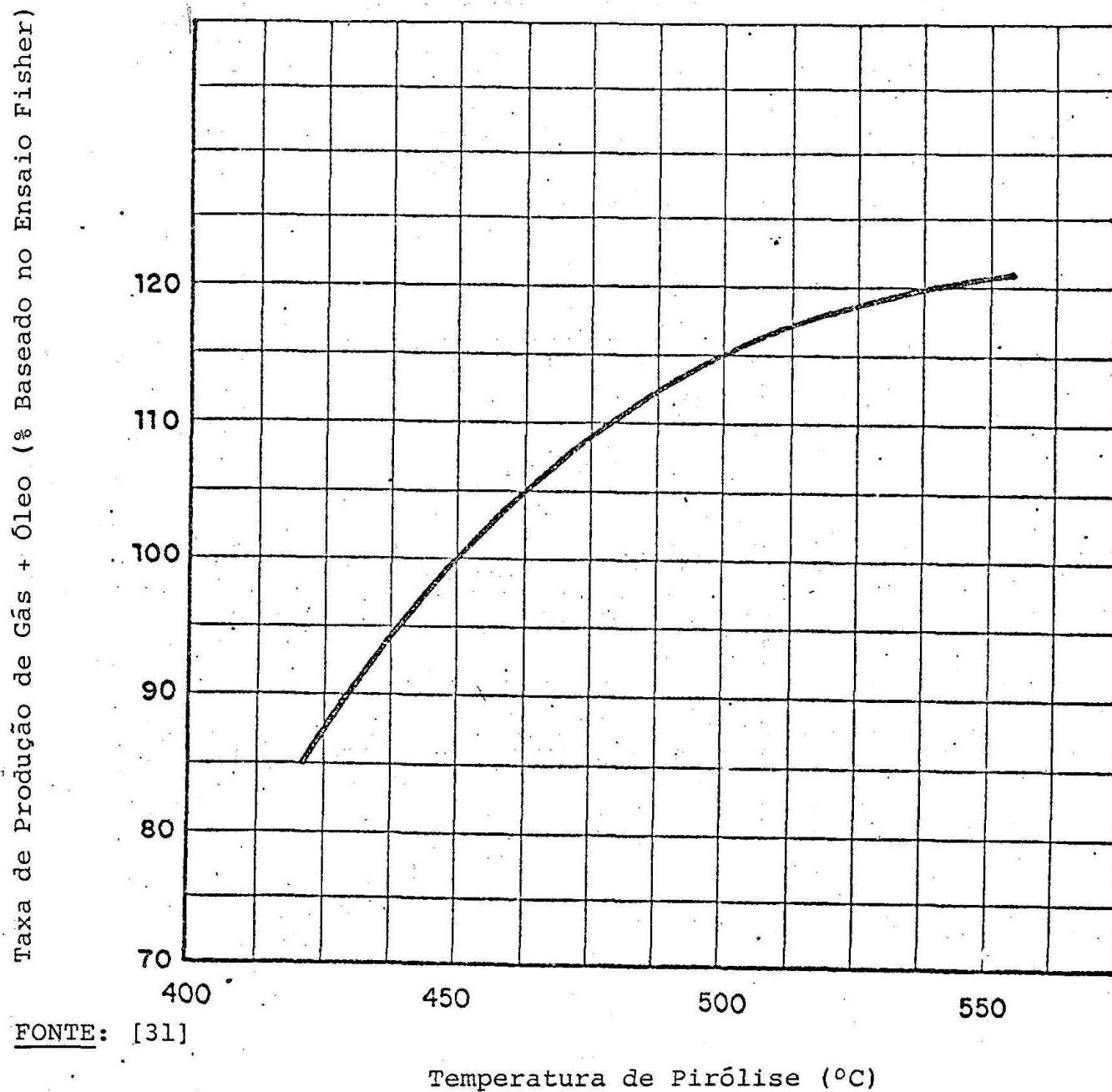
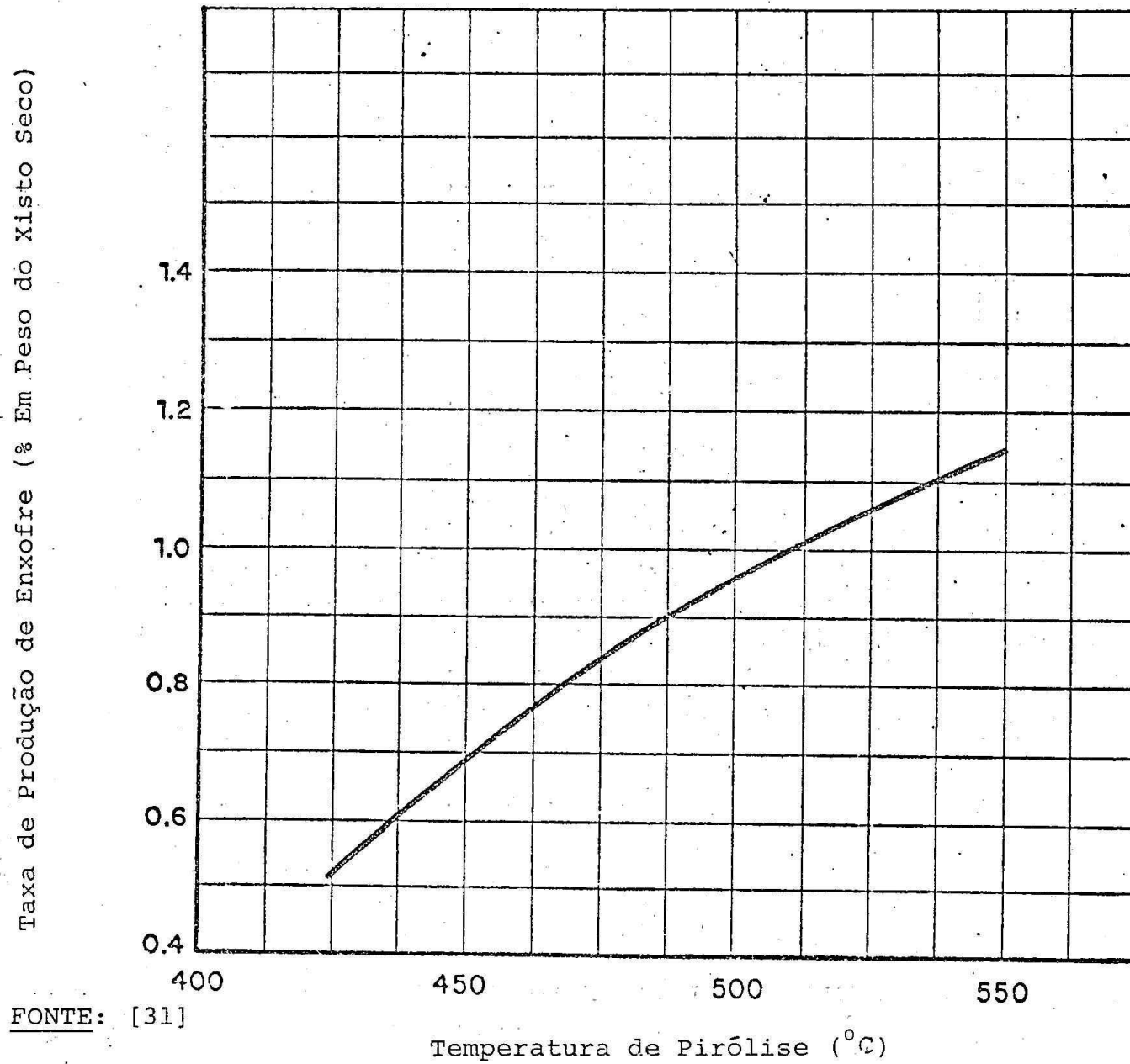


GRÁFICO 4 - TAXA DE PRODUÇÃO DE ENXOFRE NA USINA INDUSTRIAL DE SÃO MATEUS DO SUL (FORMAÇÃO IRATI/PETROSIX)



FONTE: [31]

Este comportamento é facilmente explicado pelo fato de o craqueamento tornar-se mais intenso com o aumento da temperatura, provocando a ocorrência simultânea de dois efeitos com sentidos antagônicos. Por um lado, intensifica-se a decomposição dos HC's sólidos constituintes do querogênio, com a consequente elevação da formação de HC's sólidos e gasosos; mas, ao mesmo tempo, processa-se também o craqueamento destes HC's voláteis, acarretando a formação de substâncias de menor peso molecular e de um resíduo carbonoso sólido, que vai juntar-se à matriz mineral do xisto. À medida que aumenta a temperatura de pirólise, o segundo fenômeno começa a predominar sobre o primeiro, de modo a provocar um comportamento decrescente da taxa de produção de HC's voláteis. Naturalmente, como a temperatura de craqueamento dos HC's líquidos é menor que a dos gasosos, é neles que esta redução se faz sentir em primeiro lugar.

Assim, a escolha da temperatura de pirólise reveste-se de grande importância, pois influi marcadamente no balanço energético do processo e determina, pelo menos em grande parte, as taxas de produção de óleo e gás, o que, em conjunto com os seus respectivos preços, define a viabilidade econômica do processo. Em termos puramente energéticos, a temperatura ótima seria aquela onde o consumo marginal de energia para elevá-la fosse igual ao conteúdo energético da produção marginal de HC's voláteis, o que, no caso dos xistos oleígenos, ocorre na faixa de 450-500°C. Com o auxílio das curvas de termodependência pode-se ver claramente que, sob estas condições, a taxa de produção de óleo seria então quase que maximizada.

O óleo de xisto, por sua vez, pode ser encarado como perfeito substituto do petróleo, uma vez que é possível submetê-lo a um pré-tratamento que possibilita a sua utilização como carga para o parque de refino nacional e, conseqüentemente, a obtenção de combustíveis líquidos altamente valorizados - diesel, gasolina, querosene, etc. -, os quais em sua maioria possuem substitutos apenas marginais. Por essa razão, o óleo possui maior valorização do que o gás, fazendo com que a faixa de temperaturas entre 450 e 500°C seja interessante tanto sob o aspecto energético quanto econômico. Em relação ao aproveitamento químico, porém, seria preferível enfatizar a produção de gás, uma vez que ao fracionar-se o querogênio em moléculas menores o número de substâncias produzidas diminui, facilitando a separação de substâncias puras, o que é extremamente favorável para fins químicos. Todavia, como isto acarretaria um elevado consumo adicional de energia, esta possibilidade tem sido relegada a um segundo plano, pelo menos até agora.

Por tudo que foi exposto até agora, pode-se ver que, ao permitir o aproveitamento de uma das mais importantes características do querogênio, ou seja, sua baixa relação carbono/hidrogênio, a pirólise do xisto em temperaturas próximas a 500°C propicia a síntese de um produto energético de alto valor - o óleo do xisto, perfeito substituto do petróleo - com um rendimento energético relativamente bom. Como é justamente esta característica (sintetizador de um óleo semelhante ao petróleo) que o torna comparativamente superior às demais fontes energéticas<sup>16</sup> (o carvão,

---

<sup>16</sup> Neste particular, somente as areias betuminosas (tar sands) são comparáveis a ele.

a lenha, etc.), ela vem sendo a principal utilização preconizada para o xisto. Em consequência, praticamente todo o esforço tecnológico para o seu aproveitamento concentra-se no desenvolvimento de processos capazes de produzir óleo em larga escala da maneira mais eficiente possível.

O mais importante a ser feito no sentido de complementar o estudo da pirólise do xisto é, sem dúvida, a análise das principais características e possibilidades de uso de seus produtos. Entretanto, como estes produtos dependem de alguma forma da tecnologia empregada, proceder-se-á primeiro a uma descrição sucinta das principais linhas tecnológicas existentes para este fim.

## 5 - PROCESSOS DE PIRÓLISE

Nesta seção, ter-se-á como objetivo a apresentação, através da descrição de suas principais características, dos diversos processos existentes para a realização da pirólise, agrupados em classes conforme seus princípios básicos de funcionamento, além da realização de um cotejo entre estas linhas tecnológicas em termos de suas vantagens e adequações em um sentido bastante amplo.

Como é necessário, para a realização da retortagem, o aquecimento da carga de xisto cru a elevadas temperaturas, torna-se forçoso, então, levar o calor até o xisto ou levar o xisto até as fontes de calor, residindo justamente nesta dicotomia o primeiro critério para o agrupamento dos processos em duas grandes categorias:

- processos ex-situ: aqueles em que o xisto é retirado de seu leito natural para posterior retortagem na superfície, havendo, portanto, necessidade de minerá-lo; e

- processos in-situ: aqueles em que o xisto é retornado em seu próprio leito natural, dispensando, assim, a mineração, pelo menos em grande parte.

Dentro de cada uma destas categorias podem, ainda, ser feitas várias subdivisões (conforme é mostrado na Figura 1), que serão discutidas a seguir.

### 5.1 - Processos Ex-Situ

Vários diferentes tipos de processos de retortagem ex-situ têm sido concebidos ao longo do processo de desenvolvimento da pesquisa de industrialização do xisto, que, embora sejam fruto das mais diversas concepções, podem ser convenientemente agrupados em um número limitado de classes, formando-se como critério a maneira pela qual o calor é transferido para o xisto:

- classe I: aquecimento indireto por radiação e condução através das paredes da retorta;
- classe II: aquecimento direto através da circulação de gases quentes resultantes da combustão de uma parte da matéria orgânica contida no xisto, sendo que esta combustão ocorre no interior da retorta;
- classe III: aquecimento direto pela circulação através do xisto de um fluido condutor de calor aquecido externamente; e

- classe IV: transferência de calor pelo contato direto entre o xisto e sólidos quentes reciclados.

Atualmente, esta classificação, que foi sugerida por Guthrie [36] em 1964, pode ser expandida pela consideração de mais uma categoria:

- classe V: outros métodos de transferência de calor, incluindo laser, microondas e circulação de substâncias que desprendem calor através de reações químicas ou nucleares.

Ao longo do tempo, muitas retortas dos primeiros quatro tipos foram utilizadas, encontrando-se em uso ainda hoje várias versões de cada tipo, o que já não é o caso das retortas mais exóticas da classe V, que podem eventualmente vir a ser desenvolvidas para uma utilização mais generalizada. Ao que tudo indica, porém, seu uso estará confinado aos laboratórios ainda por algum tempo.

As retortas da classe I possuem eficiências térmicas muito baixas, o que inviabiliza quase que totalmente sua utilização em empreendimentos de grande escala, só sendo razoável considerar esta possibilidade em situações muito especiais, onde haja uma ampla disponibilidade de combustíveis sólidos e bastante carência de combustíveis líquidos e gasosos.

Nas retortas mais recentes da classe II, que inicialmente se prestavam exclusivamente à queima direta, uma parte da carga de xisto é queimada, sendo o calor proveniente desta combustão transferido para o restante da carga em outra parte da retorta (combustão segregada), que é então submetida à pirólise.

São exemplos deste princípio de funcionamento as retortas UNION "A", PARAHO E FUSHUN, entre outras.

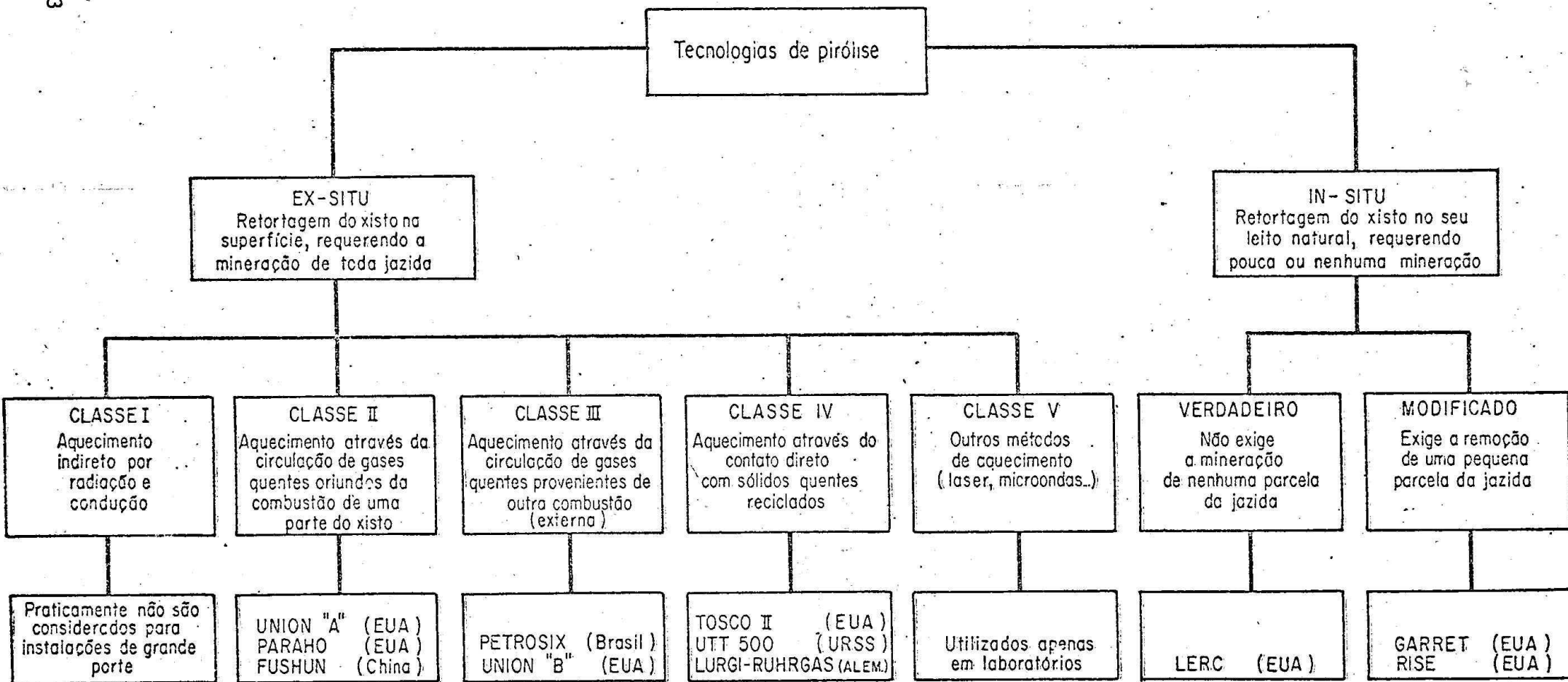
Nas retortas de classe III, o fluxo de gases quentes proveniente de um processo de combustão separado (combustão de carvão ou óleo combustível, por exemplo) é circulado através da carga de xisto, aquecendo-o até a temperatura de pirólise e carregando os seus produtos até os equipamentos de recuperação, podendo ou não acontecer o aproveitamento do carbono residual contido no xisto retortado para complementar o fornecimento de calor da combustão em separado. Os exemplos mais notórios de processos desse tipo são as retortas PETROSIX e UNION "B".

As retortas da classe IV foram desenvolvidas recentemente e têm seu funcionamento baseado no contato direto do xisto cru com sólidos quentes condutores de calor (ao invés de condutores gasosos como os da classe III). Atualmente, são usadas três retortas deste tipo: a TOSCO II, que utiliza bolinhas de cerâmica como condutores de calor, a LURGI-RUHRGAS e a UTT-500, que utilizam o xisto retortado para esta função.

De modo geral, os processos da classe II são termicamente os mais eficientes e mecanicamente os mais simples, mas, em contrapartida, possuem uma pequena capacidade de aproveitamento da jazida, por rejeitarem as pequenas partículas (finos) formadas durante a etapa de fracionamento da carga. Este inconveniente, apesar de continuar existindo, é sensivelmente atenuado nos processos da classe III, os quais possuem ótimos rendimentos em gás e óleo, mas têm uma eficiência térmica menor. Finalmente, os processos da classe IV possuem a grande vantagem de aprovei-



FIGURA 1  
 QUADRO SINÓTICO DOS PROCESSOS DE PIRÓLISE



FONTE: Elaboração própria a partir de [36].

tar integralmente a carga de xisto,<sup>17</sup> mas, em compensação, são mecanicamente bastante complexos e termicamente menos eficientes que os das classes II e III.

Pode-se ver, claramente, que cada tipo tem vantagens e desvantagens, tornando difícil a definição de qual seja o melhor, mesmo porque nem sempre elas podem ser totalmente controladas por motivos intrínsecos às características particulares dos xistos de diferentes procedências. Uma possibilidade que poderia ser levantada é a de utilização simultânea de processos de várias classes, procurando aproveitar as qualidades de cada um para, por exemplo, retortar partículas de uma larga faixa de tamanhos. Porém, há de se considerar que um arranjo complexo de retortas de menor porte certamente acarretaria custos mais elevados de processamento em relação à opção por um tipo único.

Obviamente, o ideal seria uma retorta que conjugasse as vantagens das várias classes - alto grau de processamento, alta eficiência térmica, simplicidade mecânica, pequenos investimentos, etc. -, o que ainda está longe de ser alcançado na prática. Isto não impede, entretanto, que alguns dos processos existentes possuam boas perspectivas de serem economicamente viáveis para níveis razoáveis dos preços do petróleo.

## 5.2 - Processos In-Situ

A retortagem do xisto em seu próprio leito natural é uma tecnologia bastante recente (o início de seu desenvolvimento

---

<sup>17</sup> Desde que suficientemente fraturada, o que acarreta uma elevação nos custos.

deu-se após a II Guerra Mundial), apresentando algumas vantagens significativas em relação aos processos ex-situ mais tradicionais. Em primeiro lugar, o processamento in-situ requer a mineração de pequena quantidade ou nenhum xisto do depósito. Como se rá visto adiante, a exploração comercial de uma jazida de xisto através de processos de superfície requer a mineração de grandes quantidades do produto, representando uma parcela considerável dos custos de produção. Ao mesmo tempo, a deposição do xisto reretortado na superfície é um dos grandes problemas gerados pelo ememprego daqueles métodos, o que já não ocorre com os processos in-situ, haja vista que o xisto retortado permanece naturalmente no interior do depósito. Além disso, outro dos grandes problemas associados à pirólise dos xistos na superfície são os impactos ambientais decorrentes, adversidade esta que é bastante atenuada na retortagem in-situ.

Em que pese esta série de vantagens, uma séria desvantagem para a aplicação destes métodos é que eles dependem bastante da permeabilidade do depósito para a distribuição do calor de forma mais ou menos uniforme ao longo de toda a parte da jazida a ser retortada. Dessa maneira, para serem otimamente eficientes é necessário que exista um alto grau de permeabilidade em todo o depósito, o que raramente acontece.

Em função justamente desta questão da permeabilidade, as tecnologias in-situ são agrupadas em duas categorias. A primeira linha, denominada "in-situ verdadeira", utiliza técnicas de fracionamento para quebrar o xisto no seu próprio leito natural, sem a remoção de nenhuma parcela da jazida, procedendo-se então à retortagem propriamente dita. A segunda, denominada "in-

situ modificada", requer que uma parte do material seja minada, de modo a permitir um espaço vazio e uma superfície livre para facilitar o fracionamento do xisto no local, tornando-o permeável. Esta tecnologia pode ser aplicada tanto em configuração horizontal, no caso de depósitos pouco espessos, quanto em configuração vertical, mais adequada para depósitos razoavelmente espessos, sendo que o xisto removido no início do processo pode eventualmente ser retortado na superfície, de acordo com a conveniência econômica de tal procedimento.

Em ambos os casos, a retortagem ocorre por intermédio do bombeamento de ar para o interior do depósito, de modo a sustentar a combustão e provocar a decomposição do querogênio. Os compostos resultantes desta decomposição são transportados para a região à frente da zona de combustão (o que exige muito cuidado para evitar que a queima dos produtos resulte na recuperação de um óleo pobre), sendo recuperados através de poços previamente perfurados.

Finalmente, cabe salientar que um aspecto ainda não perfeitamente esclarecido diz respeito à contaminação de lençóis de água subterrâneos, do mesmo modo que ocorre a lixiviação provocada pelo depósito do xisto retortado nos processos de superfície (ver próxima seção).

### 5.3 - Mineração

A mineração é uma etapa imprescindível aos processos de retortagem ex-situ - que exigem a retirada do xisto a ser retortado da jazida e seu fracionamento antes de processá-lo na su

perfície - e aos processos "in-situ modificados" - que necessitam da mineração de uma parcela dos recursos (cerca de 10 a 20%) para possibilitar o fracionamento do restante do depósito.

Os diversos processos de retortagem têm em comum a necessidade de tirar amplo proveito das grandes economias de escala a que estão sujeitos, haja vista que os atuais custos de produção de óleo a partir do xisto ainda são superiores aos preços vigentes do petróleo no mercado internacional. Como, além disso, existem depósitos de xisto grandes o suficiente para permitir atividades em larga escala, é de se esperar que as primeiras unidades de xisto sejam de grande capacidade (cerca de 50.000 bbl/d). Lembrando que as percentagens do xisto convertíveis em óleo são comumente pequenas (7,5 a 15% em peso), tem-se que um empreendimento deste porte demandaria a mineração diária de uma quantidade de xisto na ordem de grandeza de 100.000 t, o que significa uma equivalência às maiores minas em operação no mundo e contribui com parcela significativa nos custos de produção de óleo segundo estes processos.

Existem várias técnicas de mineração, que são classicamente divididas em duas categorias:

- mineração a céu aberto (open-pit, strip); e
- mineração subterrânea (room-and-pillar, block caving, logwall, etc.).

Vários fatores, de natureza bem variada, podem influir na escolha do tipo de mineração, entre os quais podem ser citados: acessibilidade e extensão do depósito, condições topográficas, espessura do capeamento, presença de água na seção minerável e restrições ambientais, entre outros.

Esta gama de parâmetros a serem considerados para a de finição da técnica a ser empregada torna difícil a indicação a priori de qual seja a mais adequada para o caso geral, uma vez que eles variam de situação para situação. Em todo caso, pode-se dizer que, em princípio, a mineração de superfície é a mais adequada para depósitos que estão cobertos por capeamentos não muito espessos, sendo econômica em operações de larga escala por permitir uma alta recuperação de recursos através da utilização de grandes e eficientes equipamentos, enquanto os métodos subterrâneos são bastante adequados para depósitos que estejam localizados a grandes profundidades, especialmente quando são razoavelmente espessos e há restrições a alterações no relevo local.

#### 6 - PRODUTOS DA PIRÓLISE

Como foi visto anteriormente, por ocasião da pirólise todo o xisto é submetido a um processo de aquecimento, de modo que, além das reações de craqueamento das macromoléculas constituintes do querogênio, ocorre simultaneamente uma série de outras reações na sua matriz inorgânica. Como consequência destas reações em paralelo, tem-se que os produtos da pirólise do xisto são diferentes daqueles que resultariam de uma pirólise do querogênio propriamente dito, pois são impregnados pelas substâncias por elas geradas, o que lhes confere algumas características particulares. Além disso, naturalmente, o aquecimento de todo o xisto faz com que não sejam produzidos apenas compostos orgânicos, embora até agora não se tenha notícia de esquemas de apro-

veitamento que tirem grande proveito desta particularidade.<sup>18</sup>

Os principais produtos do processo de destilação destrutiva dos xistos oleígenos são:

- o óleo de xisto;
- o gás de pirólise;
- o xisto retortado; e
- a água de retortagem.

Embora possuindo composição variável de acordo com a origem dos xistos e com o tipo de processo de pirólise a que estes são submetidos, tais produtos apresentam características gerais bem definidas e, também, distintas formas de utilização, aspectos que serão temas de estudo dos próximos itens.

#### 6.1 - Óleo de Xisto

O óleo de xisto é uma mistura de hidrocarbonetos bastante semelhante ao petróleo, diferindo dele, basicamente, no que diz respeito à presença em concentrações mais elevadas de compostos insaturados (olefinas, diolefinas)<sup>19</sup> em sua composição, assim como de enxofre, nitrogênio e oxigênio, também em maiores teores. Tal evidência acarreta conseqüências danosas, rendendo-lhe, de saída, duas desvantagens comparativas: primeiro confere-lhe alguma instabilidade química, manifestada pela acentuada tendência à formação de gomas,<sup>20</sup> o que acaba provocando limitações para o seu tempo de armazenamento; e, segundo, quando de sua destilação produz derivados fora de especificação, devido à elevada

---

<sup>18</sup> A produção de enxofre em São Mateus do Sul é uma grande exceção a esta tendência.

<sup>19</sup> Hidrocarbonetos que possuem uma ou duas duplas ligações entre átomos de carbono de sua cadeia.

<sup>20</sup> Através da polimerização de suas cadeias, via rompimento das ligações insaturadas.

presença dos elementos inorgânicos supracitados em sua composição.

Desta maneira, a menos que se objetive sua utilização para queima (como uma espécie de óleo combustível) em condições que não exijam um armazenamento prolongado, faz-se necessário que o óleo de xisto seja submetido a um processo de beneficiamento de modo a saturar suas cadeias olefínicas e diolefínicas, reduzindo ao mesmo tempo suas concentrações de nitrogênio, oxigênio e enxofre.

Um dos caminhos através dos quais podem ser atingidos estes objetivos é por intermédio da aplicação do processo de hidrogenação catalítica, que é o que está sendo previsto no projeto da usina a ser instalada em São Mateus do Sul. A hidrogenação catalítica consiste na colocação da carga (óleo de xisto) em contato com hidrogênio sob condições tais que permitam a hidrogenação das ligações insaturadas (rompimento destas ligações sem que ocorra o fenômeno de polimerização) e a reação de substituição dos compostos inorgânicos dos hidrocarbonetos, acontecendo ainda, paralelamente, reações de hidrocraqueamento nas cadeias maiores.

O óleo resultante deste processo é um perfeito substituto do óleo de poço, podendo ser utilizado diretamente como matéria-prima para a indústria petroquímica e o parque de refino nacionais, como se fosse um petróleo do tipo árabe leve.

É justamente esta capacidade de sintetizar derivados na faixa dos leves e médios (notadamente a gasolina e o óleo diesel, que só podem ser substituídos marginalmente pelas demais fontes alternativas de energia) e, principalmente, o fato de ser o



único substituto integral<sup>21</sup> do petróleo que tornam o óleo de xisto o produto de maior interesse da pirólise. Sua produção da forma mais eficiente possível é a razão de ser da quase totalidade dos esforços de aprimoramento tecnológico na área e o objetivo principal dos empreendimentos industriais de grande porte, tanto no Brasil como nos Estados Unidos.

Nas Tabelas 8, 9 e 10, a seguir, onde são apresentadas algumas propriedades físico-químicas destes óleos, verifica-se que um problema adicional vem à tona, relacionado com o transporte do óleo de xisto, uma vez que todos os óleos, com exceção do óleo de xisto da Formação Irati quando processado pelo PETROSIX, apresentam ponto de fluidez<sup>22</sup> superior a 21°C. Desta maneira, fica comprometido o seu transporte (dos demais óleos) até os centros de refino através de oleodutos, que seriam o meio de transporte mais recomendável economicamente, devido à solidificação do óleo em temperaturas normais, acarretando a obrigatoriedade de submetê-lo a processos de beneficiamento no próprio local de retortagem, com o intuito de torná-lo mais fluido e possibilitar o seu transporte por oleodutos.

## 6.2 - Gás de Pirólise

O gás de pirólise é uma mistura gasosa constituída basicamente de hidrogênio, dióxido de carbono, gás sulfídrico e hidrocarbonetos gasosos, entre outros, cuja composição depende ex

---

<sup>21</sup>As demais fontes alternativas podem ser encaradas como substitutos parciais, uma vez que, normalmente, só substituem um derivado específico.

<sup>22</sup>Ponto de fluidez é a menor temperatura em que o óleo flui.

tremamente da temperatura de pirólise, do processo utilizado - o que fica patente nas Tabelas 11 e 12 - e, em menor extensão, da origem dos xistos processados.

TABELA 8

CARACTERÍSTICAS DO ÓLEO DE XISTO DE SÃO MATEUS DO SUL  
(Formação Irati/PETROSIX)

Ponto de fulgor	67°C
Ponto de fluidez	4°C
Viscosidade (100°F)	160,7 SSU
Viscosidade (50°C)	97 SSU
Teor de Enxofre	0,97%
Teor de Nitrogênio	0,86%
Densidade específica	0,95

FONTE: [22]

TABELA 9

CARACTERÍSTICAS DO ÓLEO DE XISTO DE VÁRIOS PROCESSOS

PROCESSOS	NTU	GÁS COMBUSTION	UNION "A"	TOSCO II
<u>CARACTERÍSTICAS</u>				
Ponto de fluidez (°C)	21	29,4	32	27
Viscosidade (SSU)	79 (100°F)	91,7 (130°F)	113 (122°F)	106 (100°F)
Teor de Enxofre (% em peso)	0,76	0,68	0,81	0,90
Teor de Nitrogênio (% peso)	1,77	2,11	1,90	1,90
Densidade específica	0,90	0,93	0,93	0,93

FONTE: [26]

TABELA 10

COMPOSIÇÃO DOS HC'S DE DIVERSOS ÓLEOS DE XISTO

PAÍS (Região)	PROCESSO DE RETORTAGEM	COMPOSIÇÃO DO ÓLEO (%)		
		Saturados	Olefinas	Aromáticos
Austrália (Glen Davis)	Pumpherton	42	39	19
Brasil (Vale do Paraíba)	Gás Combustion	23	41	36
Estados Unidos (Colorado)	Pumpherton	30	38	32
	Union "A"	21	55	44
França (Saint-Hilaire)	Grande Paroisse	31	44	25
Grã-Bretanha (Escócia)	Pumpherton	42	39	19

FONTE: [4].

TABELA 11

COMPOSIÇÃO MÉDIA DO GÁS DE PIRÓLISE DE SÃO MATEUS  
DO SUL (Formação Irati/Petrosix)

COMPOSIÇÃO	%
Gás Sulfídrico (H <sub>2</sub> S)	23,92
Oxigênio	0,20
Nitrogênio	13,63
Monóxido de Carbono (CO)	0,58
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	6,80
Hidrogênio	14,18
Hidrocarbonetos	40,69

FONTE: [22].

TABELA 12

COMPOSIÇÃO DOS GASES DE PIRÓLISE DE VÁRIOS PROCESSOS  
(% em volume)

PROCESSO COMPOSIÇÃO	NTU	GÁS COMBUSTION	UNION "A"	TOSCO II
Oxigênio	3,20	0,2	2,2	-
Nitrogênio	69,41	62,2	56,9	-
Monóxido de Carbono	1,40	2,6	4,6	2,88
Dióxido de Carbono	23,55	25,2	30,3	14,33
Hidrogênio	0,05	4,3	2,2	33,65
Gás Sulfídrico	-	-	0,1	2,50
Hidrocarbonetos	2,39	5,5	3,7	46,13

FONTE: [26].

Como decorrência desta série de fatores, o seu poder calorífico é também bastante variável, embora normalmente seja baixo. Entretanto, mesmo nos casos em que o poder calorífico é mais elevado, sua utilização diretamente como combustível - que seria a mais natural - é algo problemática, haja vista os normalmente consideráveis teores de gás sulfídrico ( $H_2S$ ) em sua composição, o que provoca o lançamento de  $SO_2$  na atmosfera por ocasião da queima e acarreta sérios problemas ambientais, sendo, portanto, necessária a sua purificação antes disso. Naturalmente, a utilização deste gás de pirólise para queima dependerá sempre da qualidade e da quantidade em que for produzido. Grandes quantidades de gás pobre podem trazer mais incômodos do que vantagens. Já gases com médio e elevado poder calorífico podem ser eventualmente enviados para centros populacionais ou complexos industriais, contribuindo significativamente para a viabilidade econômica da pirólise.

Alternativamente, pode ser objetivada a utilização do gás de pirólise como fonte de matérias-primas para a indústria petroquímica, através da separação de substâncias puras de sua corrente e da preparação de algumas delas, de modo a fornecer etileno, butadieno, benzeno, tolueno, amônia, uréia, entre outros.

No caso específico da Usina Industrial de São Mateus do Sul, como o gás de pirólise apresenta elevados teores de  $H_2S$

que inviabilizam sua utilização direta como combustível, a solução adotada para aproveitá-lo é bastante ilustrativa do seu potencial de utilização. Inicialmente, o gás de pirólise é separado em duas correntes, uma delas constituída basicamente do gás sulfídrico e do dióxido de carbono e a outra formada pelos gases restantes. A primeira corrente é utilizada para a produção de enxofre elementar,<sup>23</sup> enquanto da outra produz-se GLP através da condensação de sua fração mais pesada (propanos, butanos, pentanos), sendo que a parcela restante do gás, cuja composição é mostrada na Tabela 13, é então utilizada como combustível no atendimento da demanda energética da usina.

### 6.3 - Xisto Retortado

O xisto pirolisado - ou xisto retortado - é o resíduo sólido do processo de pirólise, sendo constituído fundamentalmente de sua matriz mineral e de carbono residual sob forma similar a um coque, formado basicamente durante as sucessivas reações de craqueamento do querogênio, além de uma pequena parcela de hidrocarbonetos não destilada durante a retortagem. Como consequência disso, sua composição depende bastante da origem dos xistos (composição da matriz mineral) e do processo e temperatura de pirólise (formação de carbono residual).

O aproveitamento do xisto pirolisado pode ocorrer potencialmente de várias maneiras, dependendo naturalmente de suas

---

<sup>23</sup> A produção prevista é de cerca de 1.000 t/d quando a usina estiver totalmente instalada, o suficiente para tornar o país auto-suficiente em suas necessidades do produto.

TABELA 13

COMPOSIÇÃO MÉDIA DO GÁS PURIFICADO DE SÃO MATEUS  
DO SUL (Formação Irati/Petrosix)

COMPOSIÇÃO	%
Metano	41
Etano	12
Eteno	4
Hidrogênio	32
Monóxido de Carbono	1,5
Nitrogênio	8
Oxigênio	1,5
Poder Calorífico Superior	11 000 Kcal/kg 7 000 Kcal/Nm <sup>3</sup>

FONTE: [21].

qualidades. Um dos possíveis caminhos seria a sua utilização para a produção de energia através de sua combustão no próprio local da retortagem, pois seu baixo poder calorífico inviabiliza o transporte, no sentido de contribuir para a satisfação da demanda energética do processo, pois o calor gerado por sua combustão pode, em princípio, ser utilizado no aquecimento da carga de xisto cru a ser pirolisado.<sup>24</sup> Embora esta forma de utilização seja bastante interessante, existem alguns entraves à sua adoção, notadamente em razão da existência de uma série de componentes da matriz mineral que possuem grande potencial poluente.<sup>25</sup>

Outras linhas, já discutidas anteriormente, seriam o seu aproveitamento para a produção de materiais de construção (cimento, agregados leves, material cerâmico, etc.) ou para a extração de substâncias como o enxofre e os metais nele contidos, o que pode ser feito de maneira isolada ou simultaneamente. A análise destas possibilidades é, obviamente, bastante dependente da composição da matriz mineral do xisto em questão, existindo para ambas, porém, algumas restrições que podem ser colocadas de imediato. No que concerne à extração de metais, há que se lembrar que isto implica elevados custos com base na tecnologia atual, de tal modo que, se esta alternativa vier a se concretizar,

---

<sup>24</sup>Nos processos UTT-500 e LURGI-RUHRGAS (classe IV) o xisto retortado é utilizado como condutor e transmissor de calor.

<sup>25</sup>No caso da Usina de São Mateus do Sul, por exemplo, tal possibilidade foi descartada em função dos altos percentuais de enxofre no xisto retortado, o que acabaria por provocar a formação de grandes quantidades de ácido sulfúrico na atmosfera. Isto poderia ser contornado com a produção de ácido sulfúrico na própria planta, mas as quantidades seriam de tal monta que esta alternativa foi abandonada.



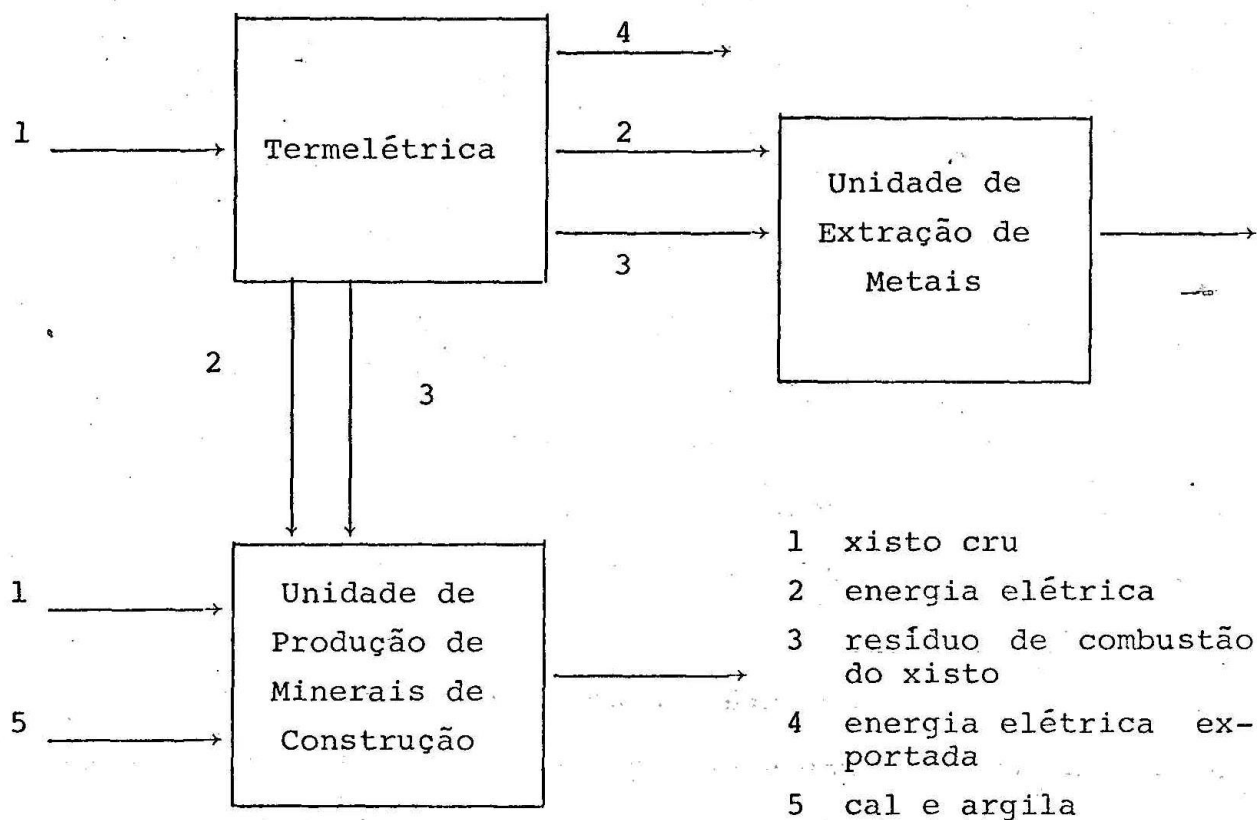
o benefício por ela proporcionado deverá ser apenas marginal. Já no que concerne à produção de materiais de construção, a viabilidade econômica e a escala de produção dependem fortemente da oferta de materiais concorrentes e da dimensão da demanda local, além de serem limitadas pelos altos custos de transporte, de tal forma a tornar difícil estes tipos de aproveitamento das cinzas em grande escala.

Apesar destas dificuldades, já existe em operação na Alemanha um empreendimento que faz uso destas linhas de utilização - dito processo Rhorbach -, cujo esquema é apresentado na figura a seguir. Inicialmente, o xisto cru é queimado<sup>26</sup> em uma termelétrica, gerando energia elétrica para o funcionamento das plantas de extração de metais e de produção de materiais de construção, sendo o excedente utilizado para outros fins, externamente à fábrica. O resíduo sólido da combustão também é enviado para estas plantas, sendo dele extraídos metais como urânio e vanádio, ou sendo a ele misturados cal e argila, na proporção de 7 para 3, produzindo assim o cimento de xisto, que possui as mesmas características do cimento portland comum. A escala atual do empreendimento é tal que são consumidas diariamente 700 t de xisto, sendo produzidas 30.000 t de cimento por ano.

---

<sup>26</sup> O xisto é utilizado via queima direta e não via pirólise, o que não invalida a utilidade do exemplo.

FIGURA 2 - ESQUEMA DO PROCESSO RHORBACH



FONTE: [40].

Este esquema, infelizmente, não é aplicável a todos os xistos, em particular aos da Formação Irati, embora pesquisas realizadas no âmbito do projeto xistoquímica [10] revelem ser tecnicamente viável a produção de agregados leves, tijolos de alvenaria, lajotas e ladrilhos de piso a partir do resíduo sólido da pirólise dos xistos da Formação Irati.

No projeto da Usina Industrial de São Mateus do Sul, entretanto, não é prevista nenhuma utilização para o xisto retornado, que será simplesmente devolvido às cavas de mineração após o seu resfriamento. Mesmo aqui, no entanto, podem surgir alguns

problemas, pois em determinadas condições de temperatura, umidade e aeração o xisto retortado é passível do fenômeno de combustão espontânea, o que inclusive já exigiu uma série de estudos e experiências quanto à melhor forma de disposição do rejeito enquanto este não é reencaminhado às cavas de mineração e recoberto com terra.

TABELA 14  
COMPOSIÇÃO MINERAL DO XISTO PIROLISADO  
(% em peso)

PAÍS (Regiões)	BRASIL (Irati) <sup>1</sup>	FRANÇA (Lorraine) <sup>2</sup>
Composição		
SiO <sub>2</sub>	63,0	24,77
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,7	8,88
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,9	5,64
Fe 0	2,3	-
Ti O <sub>2</sub>	0,5	0,31
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,4	0,35
Ca 0	2,8	23,78
Mg 0	2,0	1,82
K <sub>2</sub> 0	5,4	1,69
Ha <sub>2</sub> 0	4,6	0,17
Indeterminados	2,4	-

FONTE: <sup>1</sup>[21].

<sup>2</sup>[16].

TABELA 15

PROPRIEDADES MÉDIAS DO XISTO RETORTADO DE SÃO MATEUS  
DO SUL (Formação Irati/Petrosix)

Perda ao fogo (% em peso)	13,84
Enxofre total (% em peso)	2,71
Hidrogênio total (% em peso)	0,80
Carbono total (% em peso)	6,76
Poder calorífico superior (Kcal/kg)	670

FONTE: [21].

#### 6.4 - Água de Retortagem

O último dos principais produtos da pirólise a ser discutido é a água de retortagem, formada durante a pirólise pela evaporação da água de constituição do xisto e da água de umidade nele existente, e que contém uma série de substâncias dissolvidas (fenóis, sulfetos, sais de amônia, etc.) que possuem grande potencial tóxico e poluente. A título de ilustração, são mostrados na tabela a seguir os teores de diversas destas substâncias na água de retortagem proveniente da pirólise dos xistos da Formação Irati pelo processo PETROSIX.

Como não existem grandes possibilidades de aproveitamento para esta água, usualmente ela é rejeitada, sendo seu destino mais provável o retorno às cavas de mineração juntamente com resíduos sólidos do processo (xisto pirolisado), haja vista

TABELA 16

PARÂMETROS E TEORES DA ÁGUA DE RETORTAGEM DE SÃO MATEUS  
DO SUL (Formação Irati/Petrosix)

PARÂMETROS ANALISADOS	UNIDADE	VALOR MÉDIO
Fenóis	mg/l	247
Sulfetos	mg/l	4 352
Enxofre total	mg/l	5 520
Nitrogênio amoniacal	mg/l	3 630
Óleo	mg/l	510
Sólidos em suspensão	mg/l	4
Sólidos dissolvidos	mg/l	486
PH	-	7,9
DQO	mg/l	16 056
DBO	mg/l	4 406

FONTE: [22].

que suas altas concentrações de substâncias tóxicas e poluentes impedem seu despejo direto em cursos de água da região.

Este procedimento, contudo, não resolve definitivamente o problema, na medida em que não elimina a possibilidade de ocorrência de poluição hídrica por meio da lixiviação das substâncias poluentes pelas águas pluviais, que podem percolar através do rejeito sólido impregnado desta água de retortagem. Os malefícios daí decorrentes podem manifestar-se sob diversas formas, que variam de situação para situação: nos xistos americanos da Formação Green River, por exemplo, que apresentam grandes con

centrações de sais de sódio, estes podem aflorar na superfície por meio da evaporação da água que percola, prejudicando, assim, as terras agricultáveis, o que assume especial relevância em uma região de clima seco e grande evaporação como é o Colorado; já no que concerne ao caso de São Mateus do Sul, a preocupação maior advém da possibilidade de as águas contaminadas atingirem os lençóis de água subterrâneos, o que pode trazer graves consequências, inclusive colocando em risco a população da região, que frequentemente se abastece destas águas pelo uso de poços.

Em função disso, a água de retortagem deve receber algum tratamento (sedimentação, dessalinização, esgotamento com vapor vivo, etc.) antes de ser rejeitada, o que implica dispêndios que - embora pequenos face aos investimentos necessários para a realização de um projeto de grande porte para aproveitamento dos xistos oleígenos - devem ser encarados como um ônus inevitável ao empreendimento.

Referências Bibliográficas

- 1 - ALPERN, B. Xistos betuminosos, reservas, petrografia, valorização. Atualidades do Conselho Nacional de Petróleo, Brasília, 10(61):69-83, jul./ago. 1978.
- 2 - BERTELLI, Luiz Gonzaga. Xisto, a grande esperança. Petróleo, p. 14-8, jul. 1977.
- 3 - BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Balanco energético nacional. Brasília, 1978.
- 4 - 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.
- 5 - CADMAN, W.H. The oil shale deposits of the world and recent developments in their exploitation and utilization; reviewed to may 1947. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY, 7, p. 109-32. London, 1947.
- 6 - CADY; William E., e SEELIG, Herman S. Composition of shale oil. Industrial and Engineering Chemistry, 44(11):2.636-41, nov. 1952.
- 7 - COMBAZ, André. Les schistes bitumineux: nature et promesses. Total Inform., Geneve, (62):6-13, 1975.
- 8 - COMBAZ, André, e GONI, J. Research in bituminous shale in France. In: UNITAR Conference on Energy and the Future, Laxenburg, Austria, 1976. The future supply of nature made petroleum and gas. Chapter 48, p. 857-71. New York, Pergamon Press, 1977.
- 9 - COSTA NETO, Cláudio, et alii. Aproveitamento do enxofre do xisto da Formação Irati. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 50(2):173-86, 1978.
- 10 - COSTA NETO, Cláudio, et alii. Aproveitamento do xisto da Formação Irati para produção de materiais cerâmicos. Cerâmica, 27(135):95-9, mar. 1981.

- 11 - COSTA NETO, Cláudio. Perspectivas para o aproveitamento dos xistos oleígenos no Brasil. Rio de Janeiro, Projeto Xistoquímica/UFRJ, 1978.
- 12 - COSTA NETO, Cláudio. O projeto xistoquímica. Série organizações brasileiras, 1. Rio de Janeiro, Academia Brasileira de Ciências, 1978.
- 13 - COSTA NETO, Cláudio. Xistos oleígenos; matéria-prima que o Brasil tem. Rio de Janeiro, Projeto Xistoquímica/UFRJ, 1979.
- 14 - DECORA, Andrew W., e CAPENTER, Harry C. Multipurpose utilization of oil shale. In: UNITAR Conference on Energy and the Future, Laxenburg, Austria, 1976. The future supply of nature made petroleum and gas. Chapter 46, p. 821-42. New York, Pergamon Press, 1977.
- 15 - EUA. Federal Energy Administration. Project Independence Blueprint. Task Force Report. Potential future role of oil shale; prospects and constraints. Washington, FEA/N-74/546, 1974.
- 16 - GONI, J., TISSOT, B., e COMBAZ, A. Modele d'exploitation des schistes bitumineux - São Mateus do Sul - Paraná - Bresil (PETROBRÁS/SIX). S.l., s.ed., ago. 1975.
- 17 - HUBBERT, King. World energy resources. In: CARROL, Owen. Energy resources for the developing nations. V. 2. New York, Institute for Energy Research, 1979.
- 18 - KRAEMER, A. J. Oil shale in Brazil. Report of Investigation, 4655. Washington, U. S. Department of the Interior, 1950.
- 19 - LEWIS, Arthur E. Oil from shale: the potential, the problems, and a plan for development. Energy, 5(4): 373-387, abr. 1980.
- 20 - MARNELL, Paul. Lurgi/Ruhrgas shale oil process. Hydrocarbon processing, p. 269-71, set. 1976.
- 21 - MOREIRA, Homero Baggio. Xisto; estado atual e suas perspectivas. S.l., PETROBRÁS/SIX, s.d.



- 22 - MOREIRA, Homero Baggio. Xisto; reservas, principais resultados da escalada e perspectivas futuras. In: SIMPÓSIO SOBRE APROVEITAMENTO DO XISTO, São Paulo, 10-11 mar. 1981.
- 23 - MORRISON, R. G. K., e RUSSELL, Paul L. Selecting a mining method-rocke mechanics, other factors. In: ECONOMICS of the mineral Industries. S.n.t. Chap. 3 - Section 9, p. 1-21 (Seeley W. Mudd Series).
- 24 - NATIONAL PETROLEUM COUNCIL. U. S. Energy Outlook; oil shale availability. Washington, 1973.
- 25 - OLIVEIRA, Gilberto Sobrino Marques de. Tecnologia brasileira para explorar a Formação Irati. Energia; fontes alternativas, São Paulo, 1(2):49-56, maio/jun. 1979.
- 26 - PEREIRA, Armando Frutuoso, e FEICHAS, Susana A. Q. A situação mundial do xisto. Revista de Administração Pública, Rio de Janeiro, 12(4):121-72, out./dez. 1978.
- 27 - PETROBRÁS. Departamento Industrial. A industrialização de xisto pela PETROBRÁS. Rio de Janeiro, 1968.
- 28 - RATTIEN, Stephen, e EATON, David. Oil shale; the prospects and problems of an emerging energy industry. In: ANNUAL REVIEW OF ENERGY, 1976. v. 1, p. 183-212.
- 29 - 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 Commission de Preservation de la Conférence Mondiale de l'Energie. Paris, Technip, 1978. Troisieme partie, p. 53-56.
- 30 - REZENDE, Joel; GRUBE, Karl, e HARDT FILHO, Jorge. Aproveitamento dos finos de britagem por combustão; estudo de viabilidade técnico-econômica. Curitiba, PETROBRÁS/SIX, dez. 1979.
- 31 - REZENDE, Joel, e PIPER, Edwin M. Oil shale technology in Brazil. Curitiba, PETROBRÁS/SIX, jan. 1982.
- 32 - RIBEIRO, Carlos A. S., et alii. Xisto; energia em potencial. Rio de Janeiro, PETROBRÁS, 1964.

- 33 - SCHORA, F. C., TARMAN, P. B., e FELDKIRCHNER, H. L. State-of-the-art; above ground shale processing. Hydrocarbon processing, p. 113-9, fev. 1977.
- 34 - SLADEK, Thomas A. Oil shale; a paper for discussion at a Seminar on National Energy Planning in Brazil, nov. 12-17, 1979.
- 35 - SLADEK, Thomas A. Recent trends in oil shale - Part 1: history, nature and reserves. Mineral Industries Bulletin. Golden, Colorado, 17(6):1-20, nov. 1974.
- 36 - SLADEK, Thomas A. Recent trends in oil shale - Part 2: mining and shale oil extraction processes. Mineral Industries Bulletin. Golden, Colorado, 18(1):1-20, jan. 1975.
- 37 - SUSZCZYNSKI, Edison F. Turfa; o novo combustível nacional. Rio de Janeiro, CPRM, maio 1980.
- 38 - UMBLIA, E. J. Estonian oil shale; an emerging industrial complex under the Soviet seven-year plan. Industrial and Engineering Chemistry, 54(1):36-42, jan. 1962.
- 39 - WARD, J. C., et alii. Water pollution of spent oil shale residues from above - ground reporting. Fort Collins, Colorado State University, s.d.
- 40 - WEFING, Heinrich, e NOACK, Rolf. Utilization of oil shale. Natural Resources and Development, 9:94-105, 1979.

## TEXTOS PARA DISCUSSÃO DO GRUPO DE ENERGIA (TDE)

- Nº I - "Uma Avaliação dos Impactos Ambientais e Socio-Econômicos Locais Decorrentes da Industrialização do Xisto", Sérgio Margulis e Ricardo Paes de Barros, Dezembro 1981, 30 p.
- Nº II - "Recursos Nacionais de Xistos Oleíferos: Um Levantamento com Vistas ao Planejamento Estratégico do Setor", Lauro R. A. Ramos e Ricardo Paes de Barros, Dezembro 1981, 76 p.
- Nº III- "Agricultura e Produção de Energia: Avaliação do Custo da Matéria-Prima para Produção de Alcool, Equipe IPEA/IPT, Janeiro 1982, 64 p.
- Nº IV - "Um Modelo de Crescimento para a Indústria do Xisto", Ricardo Paes de Barros e Lauro R. A. Ramos, Fevereiro 1982, 57 p.
- Nº V - "Um Modelo de Planejamento de Oferta de Energia Elétrica", Octávio A. F. Tourinho, Março 1982, 12 p.
- Nº VI - "A Economia do Carvão Mineral", Eduardo M. Modiano e Octávio A. F. Tourinho, Março 1982, 48 p.
- Nº VII- "Um Modelo Econométrico para a Demanda de Gasolina pelos Automóveis de Passeio", Ricardo Paes de Barros e Silvério Soares Ferreira, Maio 1982, 135 p.
- NºVIII- "A Critical Look at the Theories of Household Demand for Energy", Ali Shamsavari, Junho 1982, 32 p.
- Nº IX - "Análise do Consumo Energético no Setor Industrial da Região Central do País", Flávio Freitas Faria e Luiz Carlos Guimarães Costa, Junho 1982, 30 p.

Nº X - "Vinhoto: Poluição Hídrica, Perspectivas de Aproveitamento e Interação com o Modelo Matemático de Biomassa", Sérgio Margulis, Julho 1982, 108 p.

Nº XI - "Um Modelo de Análise da Produção de Energia pela Agricultura", Fernando Curi Peres, José R. Mendonça de Barros, Léo da Rocha Ferreira e Luiz Moricochi, Agosto 1982, 24 p

O INPES edita ainda as seguintes publicações: Pesquisa e Planejamento Econômico (quadrimestral), desde 1971; Literatura Econômica (bimestral), desde 1977; Brazilian Economic Studies (semestral), desde 1975; Coleção Relatório de Pesquisa; Série de Textos para Discussão Interna (TDI); Série Monográfica; e, Série PNPE.