

O modelo Mocam II e suas aplicações à análise da política de oferta do carvão mineral*

Octávio A.F. Tourinho**

Vagner Laerte Ardeo***

Este artigo apresenta extensões da formulação do Mocam, na parte relativa à modelagem de beneficiamento, e os aprimoramentos que foram feitos na base de dados do modelo. Mostra, também, sua utilização na análise da política de produção de carvão metalúrgico, e no levantamento das curvas de oferta de carvão mineral nacional.

1. Introdução; 2. Principais modificações na versão atual do Mocam; 3. Análise da solução básica; 4. A política de oferta de carvão mineral.

1. Introdução

Descrevem-se aqui as extensões da formulação, os aprimoramentos na base de dados, e as novas aplicações à análise da política de oferta, do Mocam — um modelo de planejamento para o setor do carvão mineral descrito originariamente em Modiano e Tourinho (1982).

O Mocam é um modelo de programação matemática dinâmico, regional e setorial que procura minimizar o valor presente dos custos de atendimento a vetores de demanda exogenamente especificados de carvão metalúrgico, e de energia proveniente de carvão mineral.

Ele considera tanto investimentos como custos operacionais da mineração, do beneficiamento e do transporte do carvão, e contém equações que permitem retratar os principais aspectos que ligam cada uma destas fases do fluxo do carvão. Elas funcionam como elemento de transmissão dos requisitos de demanda final até os vários componentes do sistema de oferta. Assim, a decisão de abrir uma nova mina é tomada levando em conta não só o custo de mineração, mas também o rendimento no beneficiamento para obtenção do carvão a ser comercializado e os custos de transporte até o consumidor final, além da existência de demanda por aquele tipo específico de carvão.

* Este artigo é uma versão abreviada de Tourinho et alii (1985).

** Do Instituto de Pesquisas do Ipea e da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (Uerj).

*** Do Instituto de Pesquisas do Ipea.

A possibilidade de importação de carvão metalúrgico é também considerada, assim como a obrigatoriedade de produção doméstica de uma parte da demanda nacional de coque. Ademais, a modelagem do beneficiamento é suficientemente detalhada para capturar os impactos, no setor, da oferta de carvão energético como subproduto da produção de carvão metalúrgico nacional.

O principal aspecto dinâmico é a inclusão no modelo de três períodos de curto prazo de dois anos de duração (1985/86, 87/88, 89/90) e de dois períodos de longo prazo com cinco anos de duração (1991/95 e 96/2000). Na solução do modelo, todos os períodos são analisados simultaneamente, o que permite que decisões de investimento sejam tomadas levando em conta seu efeito de longo prazo. À medida que o tempo passa, e as demandas crescem, o modelo vai *re-
crutando* as jazidas, lavadores e rotas de transporte mostradas na figura 1 para atender a estes acréscimos. Além disso, esta formulação permite que se incorpore na análise o aspecto intertemporal de alocação deste recurso natural esgotável, através de equações que contabilizam a extração como redução de reservas que não poderão mais ser utilizadas. Assim, o modelo também se encarrega de prever capacidade adicional de mineração para substituir as jazidas que se vão esgotando.

A definição de centros regionais ligados por rotas de transporte permite uma análise simultânea das disparidades de oferta e demanda regionais, e uma contabilização precisa dos fluxos e custos de transporte. A demanda em cada centro regional¹, em cada período, é atendida por produção da própria região adicionada (subtraída) do fluxo líquido de carvão transportado de (para) outras regiões, inclusive importação (exportação). O modelo considera também a possibilidade de atender à demanda energética de qualquer região, em qualquer período, com energia proveniente da queima de óleo combustível.

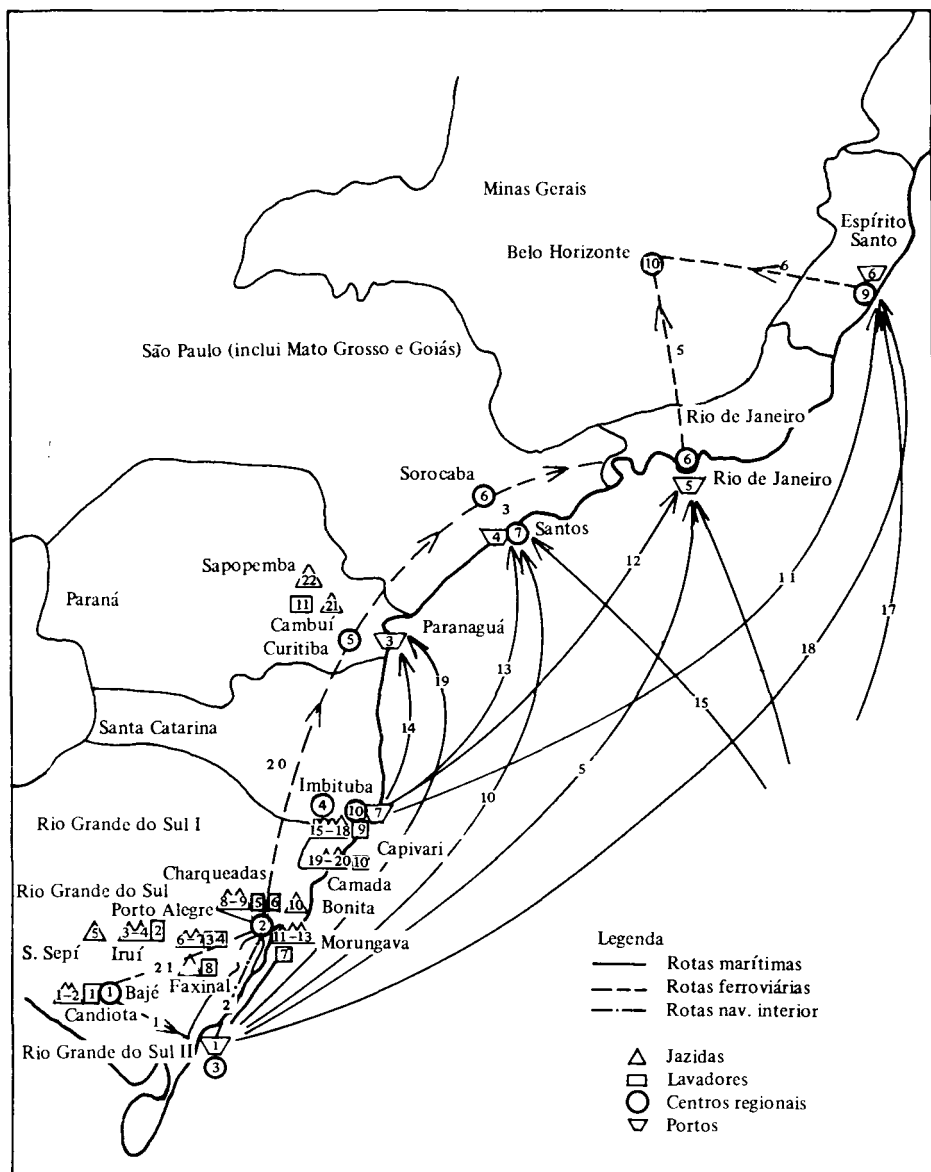
A classificação setorial da demanda permite ao Mocam incorporar restrições específicas quanto às características dos carvões requeridos pelos diferentes setores de consumo final.² Assim, ele pode promover substituições nos tipos de carvão empregados em cada utilização, de modo a continuar respeitando a restrição de demanda energética, mas otimizando esta escolha de modo a minimizar o custo de oferta. Em contrapartida, à medida que o perfil de demanda muda ao longo do tempo, o sistema tem que se adaptar para produzir os vários tipos de carvão em novas proporções. Além disto, esta desagregação setorial permite incorporar a diferença de rendimento energético do carvão mineral nas várias aplicações.

O Mocam foi implementado de forma flexível, de modo a ser possível alterar facilmente a configuração, os custos ou outros parâmetros que caracterizam o setor carvão mineral brasileiro, ou mesmo implementá-lo para outros países.

¹ Os centros regionais são: Bagé, Porto Alegre e Rio Grande (RS), Tubarão (SC), Figueira (PA), São Paulo, Santos (SP) Rio de Janeiro (RJ), Vitória (ES), Belo Horizonte (MG) e Exterior.

² Os setores considerados são: combustão, termeletricidade, gaseificação e cimento.

Figura 1
Fluxo de carvão mineral no modelo



2. Principais modificações na versão atual do Mocam

A segunda versão do Mocam difere da primeira (Modiano e Tourinho, 1982)

em quatro aspectos principais: jazidas, beneficiamento, custos e demanda. Estas modificações são discutidas a seguir.³

Inicialmente, foi feita uma revisão na caracterização das jazidas existentes, especialmente no que se refere à disponibilidade de reservas, e um estudo mais detalhado da real possibilidade de implantação de unidades de mineração no médio prazo. Os resultados desta investigação, e os procedimentos adotados, estão descritos no item 2.1, e resultaram em uma visão mais pessimista quanto à expansão máxima da mineração de carvão quando comparada com a versão antiga. Neste sentido, a análise revelou que a utilização do dado de reservas brutas — 20 bilhões de toneladas — pode ser enganadora na avaliação do potencial desta fonte até o ano 2000.

Em segundo lugar, procedeu-se a uma reavaliação exaustiva das possibilidades reais de beneficiamento dos carvões brasileiros. Os estudos anteriores já haviam revelado que o rendimento e eficiência no beneficiamento são fatores críticos na economicidade dos carvões nacionais, devido ao seu alto teor de cinzas na origem. Ademais, a possibilidade de obter dois produtos, além do rejeito, havia-se mostrado consistentemente superior às alternativas com produto único. Para tratar de modo mais sistemático e completo a questão do beneficiamento, fez-se uma alteração na formulação do modelo e avaliaram-se esquemas alternativos de lavagem com auxílio de um programa simulador de instalações de beneficiamento de carvão. Uma discussão mais detalhada desta questão encontra-se no item 2.2.

Em seguida, todos os custos do modelo foram revistos para assegurar principalmente a comparabilidade das jazidas entre si (ver item 2.1) e para incorporar os custos dos lavadores mais elaborados introduzidos no modelo (ver item 2.2).

Por último, foi necessário construir um novo cenário de demanda de energia proveniente de carvão, uma vez que aquele utilizado anteriormente era excessivamente otimista e foi ultrapassado pelos fatos. Nesta revisão (item 2.3) foi possível agregar as contribuições dos estudos de demanda do Inpes nos setores de cimento, papel e celulose, cerâmica e siderurgia.

A introdução desta nova base de dados no modelo modificado deu origem a uma nova solução ótima para a expansão do setor, que é discutida no item 3. Quando possível, comentamos a relação entre os valores novos e antigos das variáveis de escolha.

2.1 *Mineração*

Nesta versão do modelo, 22 jazidas nacionais indicadas na tabela 1, além da alternativa de importação, suprem as necessidades domésticas de carvão mineral. A redefinição de jazidas — enquanto agregado de minas — foi feita tentando manter uma razoável homogeneidade com relação às características do carvão

³ Estas modificações podem ser encontradas com maiores detalhes em Tourinho et alii(1985).

minerado e à tecnologia de mineração. Comparando com a tabela análoga na versão anterior do modelo, as principais modificações são a introdução das jazidas de Morungava, Chico Lomã e Santa Teresinha no Rio Grande do Sul, que poderão vir a produzir carvão metalúrgico, e da Camada Bonito em Santa Catarina, que é uma potencial supridora de carvão energético. Foram também acrescentadas duas jazidas menores: Faxinal no Rio Grande do Sul e Sapopemba no Paraná, que, apesar do tamanho, possuem potencial econômico.

Para obter dados realísticos sobre a possibilidade de se incrementar a produção de carvão no curto e médio prazos não é suficiente utilizar a informação contida nos dados de reservas, pois o grau de conhecimento da geologia das várias jazidas é fator determinante da velocidade com que se pode promover aquela expansão. Portanto, com o intuito de tornar mais realísticas as soluções propostas pelo modelo, fez-se uma compilação de todos os projetos de minas (inclusive conceituais) que se pode obter, com a estimativa da produção que eles poderiam atingir e a data mais próxima em que sua implantação seria viável. Assumindo que esta data fosse atingida, obteve-se, em termos de material *ROM*, a *performance* máxima que poderia ser atingida pelo setor de mineração.

Quando, para uma dada jazida, o total das reservas associadas às minas existentes, em implantação e projetadas, não atinge o total de suas reservas classificadas como medidas e indicadas pelo DNPM (1982), a diferença é mesmo assim incluída neste exercício de planejamento, mas com sua disponibilidade adiada para um futuro mais remoto e com custos de aproveitamento mais altos.⁴ Grande parte destas reservas (que chamaremos de remanescentes) se localiza nas jazidas de Charqueadas e Chico Lomã do Rio Grande do Sul, enquanto que em Santa Catarina elas estão igualmente divididas entre as duas principais camadas.

2.2 Beneficiamento

Nesta nova versão do Mocam as possibilidades de beneficiamento foram estudadas com o auxílio de um programa simulador de instalações de processamento de carvão desenvolvido por Gottfried (1977). Ele permite que o usuário represente um lavador especificando seus principais elementos componentes e os fluxos de carvão entre eles. Internamente ao programa, os componentes são modelados através de expressões matemáticas que indicam as características do fluxo de carvão na sua saída em função das do fluxo de entrada e de alguns parâmetros especificados pelo usuário. Interagindo os vários componentes, o simulador calcula as características do carvão produzido por aquela configuração específica do lavador, dadas as curvas de lavabilidade do carvão de alimentação.

⁴ Admitiu-se que elas poderiam ser exploradas em um período de 30 anos, a partir de 1991. Entretanto, é provável que fosse possível elaborar e executar projetos para todas estas reservas em apenas sete anos, o que nos levou a admitir que no período 91/95 apenas 1/3 deles pudesse ser implantado, enquanto os restantes poderiam sê-lo no período seguinte.

Tabela 1
Características básicas de cada jazida

	Tipo de mine- ração ¹	Recupe- ração (%)	Carvão no ROM (%)	Investi- mento (US\$/t-ano)	Custo ope- racional (US\$/t)	Reservas ² (Mt)
01. Candiota	CA/MM	0,95	0,80	26,0	4,5	1.123,0
02. Candiota	SS/MM	0,80	0,70	55,0	13,3	399,5
03. Iruí	CA/MM	0,95	0,80	15,0	9,5	75,8
04. Iruí	SS/MM	0,80	0,75	55,0	14,3	606,0
05. São Sepé	CA/MM	0,90	0,80	23,0	16,0	51,0
06. Leão Butiá	CA/MM	0,95	0,82	20,0	6,0	33,1
07. Leão Butiá	SS/SM,MM	0,85	0,80	48,0	14,3	937,0
08. Charqueadas	CA/MM	0,95	0,80	48,0	10,0	75,0
09. Charqueadas	SS/SM,MM	0,80	0,75	70,0	24,3	1.160,9
10. Gravataí	CA/MM	0,95	0,75	27,3	10,0	72,0
11. Morungava	SS/MM	0,80	0,70	55,0	14,3	480,0
12. Chico Lomã	SS/MM	0,80	0,70	60,0	15,3	848,7
13. Santa Teresinha	SS/MM	0,80	0,70	65,0	16,3	100,0
14. Faxinal	CA/SM	0,90	0,80	4,0	15,0	13,0
15. Barro Branco	CA/SM	0,90	0,40	20,0	5,0	3,9
16. Barro Branco	ME,SS/MA	0,65	0,30	5,0	14,5	25,5
17. Barro Branco	ME,SS/SM	0,65	0,30	10,5	10,3	250,1
18. Barro Branco	SS/MM	0,75	0,25	20,0	8,3	346,6
19. Camada Bonito	CA/SM	0,90	0,80	20,0	5,0	45,7
20. Camada Bonito	SS,ME/SM,MM	0,75	0,75	55,0	14,3	546,4
21. Cambuí	SS/MM	0,75	0,73	20,0	8,3	46,7
22. Sapopemba	SS/SM	0,80	0,73	20,0	8,3	30,0

Fonte: Finep — 1981, Ipea/Inpes nas três últimas colunas.

¹ Código de método de mineração: CA = céu aberto; ME = meia encosta; SS = subsolo. Código de grau de mecanização: MA = manual; SM = semimecanizada; MM = mecanizada.

² Inclui reservas classificadas pelo DNPM (1982) como medidas e indicadas, e a parte das inferidas que correspondem a minas nelas localizadas.

No Mocam II é possível especificar, para cada lavador considerado, um conjunto de alternativas de beneficiamento que correspondem às diferentes opções técnicas que poderiam ser empregadas para tratar o carvão que ele recebe. Cada uma delas é denominada *esquema*, e caracteriza-se por um vetor de pares ordenados que especifica o tipo, e a sua proporção em massa, de cada um dos produtos do beneficiamento através daquela alternativa. O programa permite avaliar o resultado do emprego dos esquemas atualmente em uso, assim como de esquemas alternativos.

No modelo, a qualidade dos diversos tipos de carvão é caracterizada exclusivamente pelo teor de cinzas, porque isto constitui o principal elemento de restrição à utilização do carvão mineral nacional. A tabela 2 apresenta a classificação nesta nova versão do modelo, que procurou se aproximar mais dos tipos de carvão efetivamente encontrados no mercado nacional.

Tabela 2
Classificação dos tipos de carvão nacionais

TIPOS	UTILIZAÇÃO	Teor de cinzas típico (%)	Faixa de teores de cinza (%)	Poder calorífico (Giga caloria/t)
1	Metalúrgico	12	10 — 14	—
2	Metalúrgico	16	14 — 17	—
3	Energético	20	18 — 22	6.100
4	Energético	30	28 — 32	5.400
5	Energético	35	33 — 37	4.900
6	Energético	40	38 — 43	4.500
7	Energético	47	44 — 49	3.900
8	Energético	54	50 — 59	3.300
9	Energético	64	60 — 69	2.500

Elaboração Ipea/Inpes.

Alguns esquemas de beneficiamento em uso no País produzem mais de dois tipos de carvões, existindo, além do nobre e do afundado, os carvões ditos *intermediários* ou *middlings*, que permitem maior rendimento energético global e diversificação da produção. Esta possibilidade não existia na versão anterior do modelo e foi incorporada a nova modelagem do beneficiamento, possibilitando desta forma um melhor ajuste à realidade.

Isto foi feito introduzindo-se mais um índice, referente ao esquema de beneficiamento adotado, na variável do modelo que indica as frações do carvão de entrada de cada lavador beneficiadas por cada método, e fazendo as adaptações requeridas por esta extensão nas equações de balanço de massa nos lavadores (variável FBN e equações relatadas nas páginas 58 e 59 de Modiano e Tourinho, 1982).

A simulação das instalações de beneficiamento atualmente existentes (ver tabela 3) permitiu a familiarização com o programa e a aquisição de uma sen-

sibilidade quanto aos equipamentos simulados que compõem uma planta de beneficiamento. A determinação das características comuns aos vários lavadores possibilitou a definição de cinco métodos básicos de beneficiamento que, apesar de não englobarem todas as possibilidades, varrem as opções usuais. Esta metodologia uniforme assegurou a comparabilidade dos resultados para os vários carvões.

Tabela 3
Capacidades de beneficiamento

Lavador	Método Atual		Capacidade inicial (10 ⁶ t ROM/ano)
	Código	Nome	
Iruí	3	jig-jig	0,40
Leão (Recreio) ¹	3	jig-jig	1,20
	2	meio denso	2,16
Leão	3	jig-jig	0,41
Faxinal	1	jig	1,62
Capivari	5	meio denso-jigs	4,24
Cambuí	1	jig	0,68

Fonte: DNPM (1983). *Informativo anual da indústria carbonífera/1982*.

Elaboração Ipea/Inpes.

¹ Parte do carvão da jazida de Leão Recreio CA é beneficiada no Lavador da Aços Finos Piratini S.A. (esquema 2).

Os métodos 1 e 2 produzem apenas um tipo de carvão nobre, utilizando jigs ou meio denso, respectivamente. Os métodos 3 e 4 fazem o processamento em duas etapas, onde a segunda produz o *middling* a partir do rejeito da primeira, que produz o nobre. O método 5 utiliza meio denso e jigs para representar o beneficiamento que o carvão pré-lavado da Camada Barro Branco sofre no Lavador Central de Capivari.

Para derivar os esquemas alternativos para cada carvão, primeiramente fez-se o levantamento de curvas de lavabilidade (teóricas) típicas para cada jazida, para, em seguida, variar de maneira sistemática os parâmetros de controle para tentar exaurir todas as possibilidades. Os resultados são apresentados na tabela 4 e evidenciam que os esquemas para produção conjunta de carvão nobre e intermediário possibilitam maior rendimento energético global.

Com relação aos carvões do Rio Grande do Sul, observou-se que os das jazidas de Candiota, Charqueadas e Gravataí alcançam rendimentos bem superiores com esquemas que utilizam ciclones de meio denso, enquanto que os das reservas de Baixo Jacuí (Leão e Iruí) apresentam rendimentos semelhantes para esquemas com jig ou ciclones de meio denso. Para carvões de Santa Catarina, observou-se que os carvões pré-lavados da Camada Barro Branco alcan-

Tabela 4
Vetores de saída de beneficiamento

Reservas	Método ¹	Possibilidades ²					
		1	2	3	4	5	6
Irui (RS)	1	(4; 25,5)	(5; 35,0)	(6; 60,5)	(7; 72,5)	—	—
	2	(4; 29,1)	(5; 48,3)	(6; 67,7)	(7; 74,5)	—	—
	3	(4; 25,5) + (7; 39,8)	(5; 36,3) + (8; 30,8)	—	—	—	—
Leão (RS)	1	(3; 20,5)	(4; 44,1)	(5; 53,1)	(6; 61,4)	(7; 63,0)	—
	2	(3; 30,6)	(4; 45,9)	(5; 54,3)	(6; 63,9)	(7; 64,2)	—
	3	(3; 20,5) + (7; 28,0)	(3; 20,5) + (8; 36,2)	—	—	—	—
	4	(4; 30,6) + (8; 25,1)	—	—	—	—	—
Candiota (RS)	1	(6; 37,2) + (8; 48,0)	(7; 55,0)	—	—	—	—
	2	(4; 18,3) + (8; 68,9)	(5; 29,5) + (8; 56,9)	(6; 51,4)	(7; 72,2)	—	—
	4	(4; 18,3) + (7; 45,0)	(5; 31,4) + (7; 22,8)	—	—	—	—
Charqueadas (RS)	1	(6; 40,9)	(7; 59,1)	—	—	—	—
	2	(4; 16,4)	(5; 33,8)	(6; 59,2)	(7; 72,2)	—	—
	3	(6; 40,9) + (7; 21,6)	(6; 40,9) + (8; 36,1)	—	—	—	—
	4	(4; 16,4) + (6; 27,4)	(4; 16,4) + (7; 40,2)	(4; 16,4) + (8; 50,3)	(5; 33,8) + (7; 31,8)	—	—
Gravataí (RS)	1	(4; 15,2)	(5; 39,6)	(6; 44,7)	(7; 57,0)	—	—
	2	(3; 18,4)	(4; 36,6)	(5; 40,0)	(6; 46,5)	(7; 59,5)	—
	3	(3; 18,4) + (6; 29,0)	—	—	—	—	—
Morungava (RS)	1	(3; 22,0)	(4; 34,8)	(5; 42,2)	(6; 49,2)	(7; 58,2)	—
	2	(2; 21,4)	(3; 25,0)	(4; 39,2)	(5; 47,5)	(6; 55,4)	7; 65,5)
	4	(2; 21,4) + (7; 22,5)	(2; 21,4) + (8; 33,5)	—	—	—	—
Camada Barro Branco (RS)	5	(2; 27,0) + (4; 46,3)	(2; 27,0) + (5; 62,6)	(2; 27,0) + (6; 70,3)	(3; 56,1) + (6; 22,6)	(3; 56,1) + (7; 41,0)	(4; 89,5)
Camada Bonito (SC)	1	(6; 33,0)	(7; 58,0)	—	—	—	—
	2	(4; 12,8) + (8; 86,1)	(5; 27,8)	(6; 48,4)	(7; 72,6)	—	—
	4	(4; 12,8) + (7; 43,9)	(5; 27,6) + (8; 23,9)	—	—	—	—
Cambuí (PR)	1	(3; 73,7)	(5; 79,5)	—	—	—	—

¹ Códigos de métodos de beneficiamento: 1 = jig, 2 = meio denso, 3 = jig/jig, 4 = meio denso/meio denso e 5 = meio denso/jig (Capivari, SC). A presença da barra nos códigos indica beneficiamento em dois estágios.

² O vetor de saída de cada possibilidade de beneficiamento é representado por conjuntos de parênteses separados pelo sinal +, e, no interior dos parênteses, o primeiro número designa o tipo de carvão produzido, enquanto que o segundo, o seu rendimento em massa em relação à alimentação.

çam maiores rendimentos com o esquema de beneficiamento hoje utilizado pelo Lavador Central de Capivari (LCC). Os da Camada Bonito mostram rendimentos bem superiores quando se utilizam esquemas com ciclones de meio denso. No caso dos carvões do Paraná, em virtude de altos rendimentos de carvão nobre (entre 60 e 70%), mostrou-se inviável a produção de carvões intermediários.

A seleção de um esquema de beneficiamento depende também, além das peculiaridades do carvão minerado, das características exigidas para a utilização final do carvão e de aspectos tecnológicos e econômicos. Os esquemas de beneficiamento que empregam jigs são responsáveis pela grande maioria do carvão beneficiado no mundo, o que se deve à sua simplicidade de operação e investimento inferior aos requeridos pelos que se utilizam de ciclones de meio denso. Quanto aos custos operacionais, os esquemas que se utilizam de ciclones de meio denso resultam em custos superiores, devido principalmente à utilização de magnetita como meio separador.

Através do estudo comparativo dos custos de beneficiamento relatados em projetos nacionais de beneficiamento, e também de estudos internacionais afins, fez-se a estimativa do investimento requerido e dos custos operacionais, apresentada na tabela 5.

Tabela 5
Custos de beneficiamento

Método	Custo de investimento (US\$/t ano)	Custo operacional (US\$/t)
Jig	2,3	0,50
Meio denso	6,5	1,20
Jig/jig	3,5	0,85
Meio denso/meio denso	9,7	1,80
Meio denso/jig	9,3	1,90

Elaboração: Ipea/Inpes.

2.3 A demanda de carvão mineral

Para a análise prospectiva, o elemento de modelagem que obriga o Mocam a minar, beneficiar e transportar o carvão é o conjunto de restrições que exigem que ele atenda às demandas exogenamente especificadas por carvão metalúrgico e por energia em cada uma das regiões do modelo.

As demandas anuais de carvão metalúrgico para cada período são especificadas em toneladas na tabela 6 e foram derivadas a partir de um cenário de produção do setor siderúrgico contido em um estudo interno do Ipea/Inpes (Soares, 1983), no qual são admitidas hipóteses bastante otimistas de crescimento das exportações.

As demandas energéticas especificam, para cada período, a energia proveniente de carvão mineral requerida para cada uma das utilizações, em cada um dos centros regionais. As equações do modelo permitem que elas sejam aten-

didas por quantidades dos vários tipos de carvões admissíveis, com a contribuição de cada um deles sendo contabilizada em unidades de energia através da multiplicação pelo poder calorífico respectivo. O modelo considera também automaticamente a possibilidade de utilizar o óleo combustível neste atendimento, caso seja economicamente viável.

Tabela 6
Demanda por carvão metalúrgico

(Em mil toneladas anuais)

Região	85/86	87/88	89/90	91/95	96/2000
Santos	1.930	1.991	2.054	2.363	3.084
Rio de Janeiro	2.190	2.259	2.330	2.682	3.499
Minas Gerais	2.622	2.969	3.363	3.952	5.149
Espírito Santo	2.057	2.122	2.190	2.520	3.288
Total	8.789	9.341	9.937	11.517	15.020

Fonte: Soares, 1983. Elaboração: Ipea/Inpes.

As projeções de consumo do setor termelétrico foram obtidas da Eletrobrás e provêm de atualizações realizadas em março de 1984. Elas são semelhantes aos valores apresentados pela Secretaria Especial de Abastecimento e Preços (Seap) em 1982.

A demanda de energia pelo setor de gaseificação de carvão é pequena no curto prazo, visto que há apenas uma usina em operação atualmente no Rio Grande do Sul (Companhia Riograndense de Nitrogenados). Há três usinas planejadas: uma para produzir gás de baixo poder calorífico em Jorge Lacerda (SC), e duas outras para gás de médio poder calorífico visando o abastecimento de São Paulo e Rio de Janeiro, previstas pela Companhia Municipal de Gás (Comgás) e pela Companhia Estadual de Gás (Ceg) respectivamente. As quantidades de carvão que serão demandadas por estes projetos foram obtidas de Seap (1982) e convertidas em unidades de energia levando em conta o tipo de carvão previsto para ser usado.

Para o setor cimenteiro adotou-se a metodologia de projeção sugerida no estudo de Pinheiro (1984), admitindo-se o atingimento de um nível de substituição setorial de 95% em 1987.

Para os outros setores, as projeções baseiam-se em um cenário de crescimento do PIB proposto pelo Banco Central do Brasil (1983).⁵ A estas, aplicam-se hipóteses com relação à elasticidade-renda da produção do setor, bem como com relação à evolução do coeficiente de substituição de óleo por carvão mineral, para obter a demanda de carvão.

⁵ Brasil's external debt-long term outlook 12. oct. 1983. Crescimento do PIB de 3% em 85; 4% em 86; 5% em 87 e em 88; 5,6% no período 89/93 e 6% no período 94/2000.

O modelo agrega sob a classificação genérica de “combustão” todos os setores industriais potencialmente consumidores de carvão mineral, excluídos o termelétrico, o cimenteiro e a gaseificação. Em 1985, os principais eram o petroquímico, alimentos, papel e celulose, siderurgia, transporte e cerâmica, que, com exceção do último, têm como traço comum a utilização de vapor produzido em caldeiras como principal vetor energético.

Foi possível obter no âmbito do Ipea/Inpes cenários regionalizados de demanda de carvão energético para papel e celulose (Passos, 1984), siderurgia (Soares, 1983), e cerâmica (Mendonça, 1984).

Para outros setores não existiam estudos tão minuciosos, o que nos levou a projetar o crescimento do consumo proporcionalmente ao crescimento do PIB, a partir do ano-base de 1985. A desagregação regional foi também feita proporcionalmente à distribuição do consumo no ano-base.

A tabela 7 mostra o total nacional de demanda por combustão, enquanto que a tabela 8 relata a demanda total pelas várias utilizações desagregadas por região.

Tabela 7
Cenários de demanda energética para combustão por indústria consumidora
(Total do País)

(Em milhões de gigacalorias anuais)

Setor	Anos 1985/86	1987/88	1989/90	1991/95	1996/2000
Transporte	0,396	0,421	0,448	0,518	0,675
Cerâmica	0,224	0,262	0,304	0,426	0,697
Papel + celulose	1,552	1,607	1,655	1,707	1,736
Siderurgia	0,241	0,393	2,429	4,463	6,313
Têxtil	0,074	0,081	0,090	0,109	0,146
Alimento + fumo	1,473	1,616	1,797	2,184	2,909
Química	0,022	0,024	0,027	0,032	0,043
Petroquímica	1,521	1,666	1,856	2,254	3,005
Outros	0,407	0,455	0,491	0,591	0,830

Elaboração: Ipea/Inpes.

3. Análise da solução básica

Preliminarmente desejamos alertar o leitor para o fato de que a análise da solução de um modelo deste porte requer cuidado, principalmente quando fazendo inferências sobre a competitividade econômica de alternativas a partir das decisões de investimento e operacionais do modelo. Atenção especial deve ser dada ao fato que todas as variáveis são inter-relacionadas por um conjunto de restrições que ocasionalmente transmite efeitos de modo inesperado e complexo.

3.1 Mineração

A tabela 9 apresenta as decisões operacionais na mineração e indica como estas

Tabela 8
Cenário de demanda energética por utilização e por região

(Em milhões de gigacalorias)

Região	Utilizações	1985/86	1987/88	1989/90	1991/95	1996/2000
Bagé	Cimento	0,395	0,367	0,410	0,501	0,664
Bagé	Termelétrica	4,522	5,963	10,28	13,92	13,990
Porto Alegre	Combustão	3,488	3,904	4,595	5,561	7,086
Porto Alegre	Cimento	0,195	0,218	0,237	0,530	0,978
Porto Alegre	Termelétrica	0,723	0,887	1,369	4,487	9,220
Porto Alegre	Gaseificação	0,568	0,758	0,758	0,758	0,758
Santa Catarina	Combustão	0,649	0,707	0,773	0,931	1,305
Santa Catarina	Cimento	0,241	0,252	0,276	0,303	0,340
Santa Catarina	Termelétrica	3,659	4,510	8,157	11,25	11,310
Santa Catarina	Gaseificação	0,239	0,239	0,239	0,239	0,239
Paraná	Combustão	0,788	0,821	0,908	1,023	1,132
Paraná	Cimento	0,990	1,460	1,714	2,101	2,557
Paraná	Termelétrica	0,369	0,369	0,369	0,369	0,369
São Paulo	Combustão	0,985	1,094	1,697	2,639	3,505
São Paulo	Cimento	3,908	4,829	5,250	6,786	9,044
São Paulo	Gaseificação	0,000	0,000	0,000	3,216	9,187
Santos	Combustão	0,000	0,000	0,341	0,777	1,011
Santos	Cimento	0,377	0,514	0,572	0,738	0,802
Rio de Janeiro	Combustão	0,000	0,000	0,783	1,353	2,320
Rio de Janeiro	Cimento	2,752	3,291	3,615	4,481	6,299
Rio de Janeiro	Gaseificação	0,000	0,000	0,000	0,000	5,194
Espírito Santo	Cimento	0,479	0,584	0,668	0,884	1,159
Minas Gerais	Cimento	1,759	3,421	3,888	4,682	6,111

Elaboração: Ipea/Inpes

se relacionam com as capacidades máximas e mínimas. As capacidades efetivas são incrementadas pelo modelo de modo a viabilizar o nível de mineração escolhido.

Em linhas gerais, a tabela mostra um crescimento acelerado da importância da jazida de Candiota no panorama da mineração de carvão até o final do século, um crescimento discreto — limitado pela disponibilidade de reservas — da mineração em Santa Catarina, e alguma penetração da mineração a céu aberto em áreas do Baixo Jacuí. As jazidas que não foram utilizadas são Candiota SS, Iruí SS, São Sepé CA, Charqueadas SS, Chico Lomã SS e Santa Teresinha SS no Rio Grande do Sul, e Camada Bonito SS em Santa Catarina. As duas instâncias de esgotamento de reservas, dentro do horizonte do modelo, são jazidas de Leão Butiá CA e Barro Branco MA.

A jazida Leão Butiá SS não é utilizada até 1988 *apesar* de ter capacidade instalada de cerca de 1,9 milhão de toneladas no período. Após 1988 a produção é positiva, mas abaixo da capacidade. Isto indica que seu custo operacional é alto, mesmo se comparado com o custo total de outras alternativas de produção de carvão para combustão. Não se deve, entretanto, enfatizar excessivamente este fato, porque boa parte da demanda energética no modelo é satisfeita pela

Tabela 9
Mineração

Unidade: 10³ t

Nº jazida	Nome jazida	tipo	Total minerado anualmente, por período				
			1985/86	1987/88	1989/90	1991/95	1996/2000
01	Candiota CA-MM	ROM ¹	1.743	2.247	4.830	8.893	12.536
03	Iruí CA-MM	ROM	0.000 ^a	705 ^m	888	1.592	2.032M
06	Leão Butiá CA-MM	ROM	2.209	2.209	2.209	2.209	545
07	Leão Butiá SS-SM	ROM	0.000 ^a	0.000 ^a	321 ^a	1.464	1.464
08	Charqueadas CA-MM	ROM	0.000 ^M	0.000 ^m	0.000 ^m	0.000 ^m	2.400 ^M
10	Gravataí CA-MM	ROM	0.000 ^m	0.000 ^m	0.000 ^m	0.000 ^m	1.787
11	Morungava SS-MM	ROM	0.000 ^M	0.000 ^M	0.000 ^M	2.766	2.766
14	Faxinal CA-MM	ROM	0.000 ^m	0.000 ^m	560 ^M	592 ^M	664 ^M
15	Barro Branco CA-SM	CPL ²	508	275	463	0.000	0.000
16	Barro Branco SS-MA	CPL	1.136	1.136	1.221 ^M	0.000 ^a	0.000 ^a
17	Barro Branco SS-SM	CPL	2.154 ^M	2.370 ^M	2.601 ^M	3.300 ^M	4.710 ^M
18	Barro Branco SS-MM	CPL	2.050 ^M	2.445 ^M	2.523 ^M	3.038 ^M	4.227 ^M
19	Camada Bonito CA-SM	ROM	0.000 ^m	325	480 ^M	800 ^M	1.432 ^M
21	Cambuí SS-SM	ROM	438 ^M	686 ^M	686 ^M	686 ^M	686 ^M
22	Sapopemba SS-MM	ROM	0.000 ^M	0.000 ^M	255 ^M	730 ^M	730 ^M
23	Carvão Met. Importado	ROM	7.220	7.660	8.099	9.214	12.015
	Total	ROM	17.458	20.059	25.136	35.284	47.994

Fonte: Ipea/Inpes modelo Mocam II.

1 ROM aqui denota o material extraído da mina líquido de inertes produzidos na mineração.

2 CPL é o produto das minas de Santa Catarina após a pré-lavagem para eliminar os inertes

Obs:

M = minas operando com a máxima capacidade permitida.

m = minas operando com a mínima capacidade permitida.

a = minas operando abaixo da capacidade mínima (excesso de capacidade).

oferta obrigatória de carvão energético obtido como subproduto da produção demetalúrgico em Santa Catarina.⁶ Análises de sensibilidade com relação ao custo de mineração mostraram que esta subutilização de capacidade não é um resultado robusto.

A jazida de Iruí CA e Faxinal CA demonstram uma queda de produção no segundo período, provavelmente devido à baixa demanda com relação à disponibilidade total de carvão. Nos três últimos períodos, entretanto, o desenvolvimento máximo destas jazidas é escolhido.

A única jazida do Rio Grande do Sul com expansão substancial nos três primeiros períodos é Candiota CA, o que reflete a substancial demanda de carvão termelétrico na região, e não sua economicidade diante de outras alternativas de produção de carvão para combustão ou cimento. Nos três últimos períodos, porém, esta jazida torna-se um importante produtor de carvão para cimento destinado à região Sudeste. Isto se dá em uma circunstância em que haveria outras alternativas, o que estabelece a sua competitividade nesta aplicação em face, por exemplo, do carvão de Leão Butiá SS.

Vemos também que, dentre jazidas do Rio Grande do Sul onde havia a alternativa de mineração a céu aberto ou subterrânea, o modelo mostra uma predileção pela primeira. Entretanto, as jazidas das Charqueadas CA e Gravataí CA, só têm volume substancial de produção no final do século, pois seu custo de investimento e operacional são altos, devido à modalidade de mineração a céu aberto assumida para elas.

A produção na jazida de Morungava SS começa no período de 1991-95, devido à política de produção doméstica de 20% da demanda nacional de carvão metalúrgico. Ela começa assim que os limites de expansão de capacidade o permitem, substituindo capacidade desativada nas minas manuais de Santa Catarina. O acréscimo de demanda de metalúrgico no período seguinte é, porém, todo absorvido pelas outras jazidas de Santa Catarina.

A expansão da capacidade na Camada Barro Branco pelos métodos mecanizado e semimecanizado dá-se à velocidade máxima permitida, por ser ela a única fonte de carvão metalúrgico no curto prazo.

A mineração da Camada Bonito a céu aberto é nula até 1985/86. A partir de 1987/88 ela passa a ser utilizada e daí em diante ampliada à velocidade máxima permitida.

O alto rendimento no beneficiamento dos carvões paranaenses muito contribui para sua atratividade econômica, enquanto fonte energética, o que faz com

⁶ A participação de Santa Catarina na produção total de carvão dos tipos 4 e 5 é a seguinte (em milhares de toneladas anuais):

	1985/86	1987/88	1989/90	1991/95	1996/2000
Santa Catarina	2.636	2.879	2.480	1.638	3.471
Total	2.602	3.154	3.276	4.055	7.622
Participação (%)	91	91	75	40	45

que a sua mineração atinja, tão cedo quanto permitido, os limites máximos estabelecidos.

A comparação desta solução do Mocam com a da versão anterior mostra que as quantidades mineradas são agora cerca de 50% menores. A principal causa disto foi a redução substancial da demanda, que eliminou a pressão que havia anteriormente para a expansão acelerada da mineração. Isto provavelmente contribuiu para a ausência de Leão Butiá SS na solução e permitiu que a demanda continuasse a ser atendida apesar da menor expansão permitida para as minas de Santa Catarina, devido à reavaliação das disponibilidades. Uma pequena parcela da redução observada pode ser atribuída às mudanças na modelagem do beneficiamento discutidas no item 3.

3.2 Beneficiamento

Na solução ótima do caso básico, o Mocam considera conveniente beneficiar cerca de 85% do carvão minerado, como mostra a tabela 10, confirmando a tendência ao beneficiamento intensivo que já havia se manifestado anteriormente. Agora, entretanto, todo o carvão minerado em Santa Catarina é beneficiado, o que não acontecia antes.

Tabela 10
Beneficiamento do carvão minerado no país

	Unidade: 10 ³ t				
	1985/86	1987/88	1989/90	1991/95	1996/2000
Carvão minerado	10.238	12.399	17.037	26.070	35.979
Carvão beneficiado	8.409	9.661	13.728	23.179	31.128
Proporção (%)	82	78	82	89	87

Fonte: Ipea/Inpes; Modelo Mocam II.

A tabela 11 mostra os principais métodos de beneficiamento escolhidos pelo modelo em cada um dos lavadores e os respectivos tipos de carvão produzidos por estes. Na produção de carvão energético, o método jig é preferido para os carvões de melhor lavabilidade, onde sua desvantagem no rendimento é pequena, devido ao seu custo mais baixo. Para os outros carvões (Candiota, Charqueadas), o método meio denso é adotado, apesar de seu custo superior. Na produção de carvão metalúrgico (Capivari, Morungava) a utilização do meio denso é inevitável devido à especificação do produto, cujo teor de cinzas é muito baixo relativamente ao carvão de alimentação do lavador.

Devemos notar também que, em todos os casos, com exceção de Faxinal e Cambuí, o modelo prefere adotar esquemas de beneficiamento que fornecem um produto intermediário. Estes esquemas em geral aumentam o rendimento energético global, reduzindo conseqüentemente o custo da energia produzida pelo conjunto mina/lavador, o que aumenta sua competitividade econômica.

Outro aspecto importante associado a estes esquemas diz respeito à geração de co-produtos de custo de oportunidade muito baixo, nos casos do carvão metalúrgico em Santa Catarina e do carvão termelétrico na região de Bagé.

Tabela 11
Métodos de beneficiamento utilizados¹

Nº lav. ²	Lavador	Principal		Secundário	
		Método	Tipos de carvão	Método	Tipos de carvão
1	Candiota	2	5 e 8	4	4 e 7
2	Iruí	3	4 e 7	—	—
3	Leão-Recreio	1	6	—	—
4	Leão	3	3 e 7	—	—
5	Charqueadas	4	5 e 7	—	—
7	Morung./C. Lomã/ Sta. Teresinha	4	2 e 7	—	—
8	Faxinal	1	4	1	5
9	Capivari	5	2 e 5	5	2 e 6
11	Cambuí	1	3	—	—

¹ O código dos métodos de beneficiamento é o adotado na tabela 11, enquanto que a definição dos tipos de carvões produzidos é a da tabela 9.

² Os lavadores de Gravataí (nº 6) e Camada Bonito (nº 10) não foram escolhidos pelo modelo.

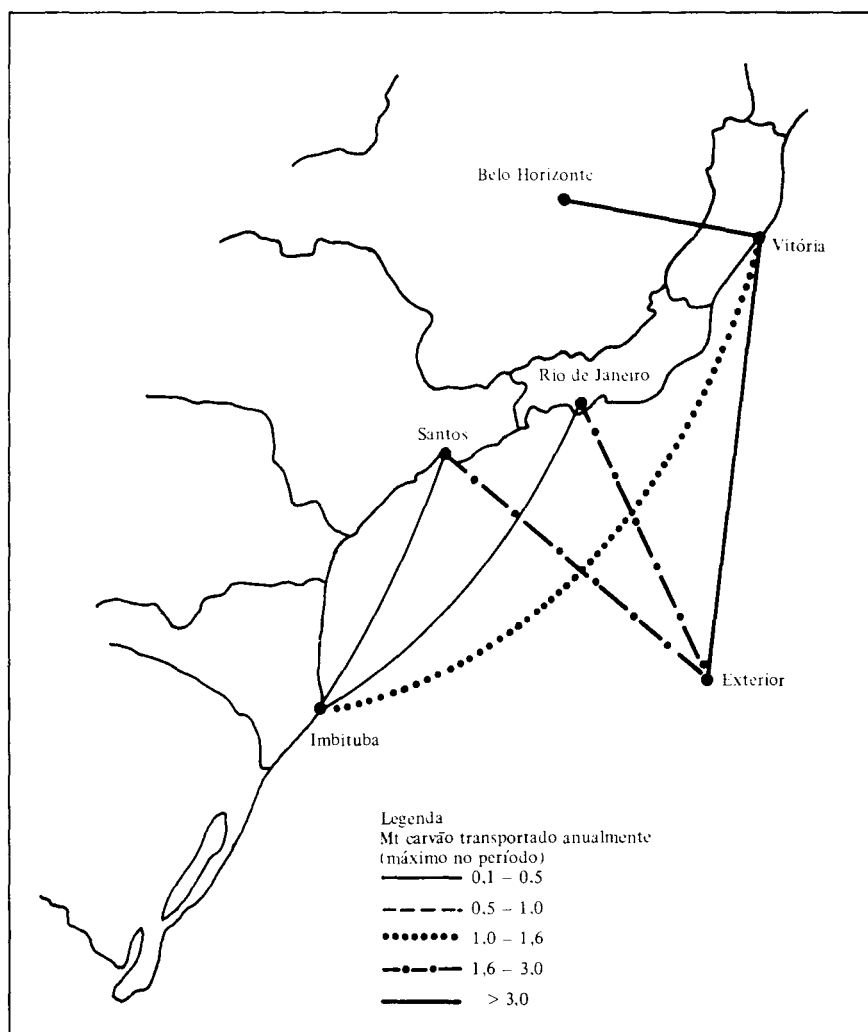
3.3 Transporte

Na análise que se segue tomaremos como dado as decisões feitas nos setores de mineração e beneficiamento, e trataremos apenas do problema de transportar estas ofertas até os centros de demanda. No entanto, fica a lembrança de que estas decisões são de fato inter-relacionadas, e que as decisões de mineração foram fortemente influenciadas pelos custos de escoar a produção prospectiva. Não é de todo improvável que a relação de causalidade econômica das decisões tenha sido de fato em alguns casos a inversa da adotada na exposição abaixo.

As figuras 2 e 3 tentam mostrar graficamente a densidade destes fluxos nos quinquênios 85/90 e 91/96. O primeiro aspecto a destacar é o aumento substancial a médio prazo da capacidade dos componentes associados com o transporte do carvão para utilização cimenteira da região de Bagé para o Sudeste, devido à rápida expansão da oferta deste carvão na jazida de Candiota. Assim, após 1990, expande-se a ferrovia que vai de Bagé ao porto do Rio Grande, o qual atinge uma capacidade média de 2,6 milhões de toneladas anuais no período 1991-95. As rotas marítimas de lá para Vitória, Rio e Santos se expandem de modo proporcional naquele período.

O carvão energético da região do Baixo Jacuí que não é consumido localmente é todo transportado através do Tronco Sul, gerando um fluxo destinado a São Paulo que passa de 0,1 a 1,2 milhão de toneladas anuais entre 1985/86 e 1991/95. Cerca de 500 mil toneladas anuais de carvão metalúrgico desta região

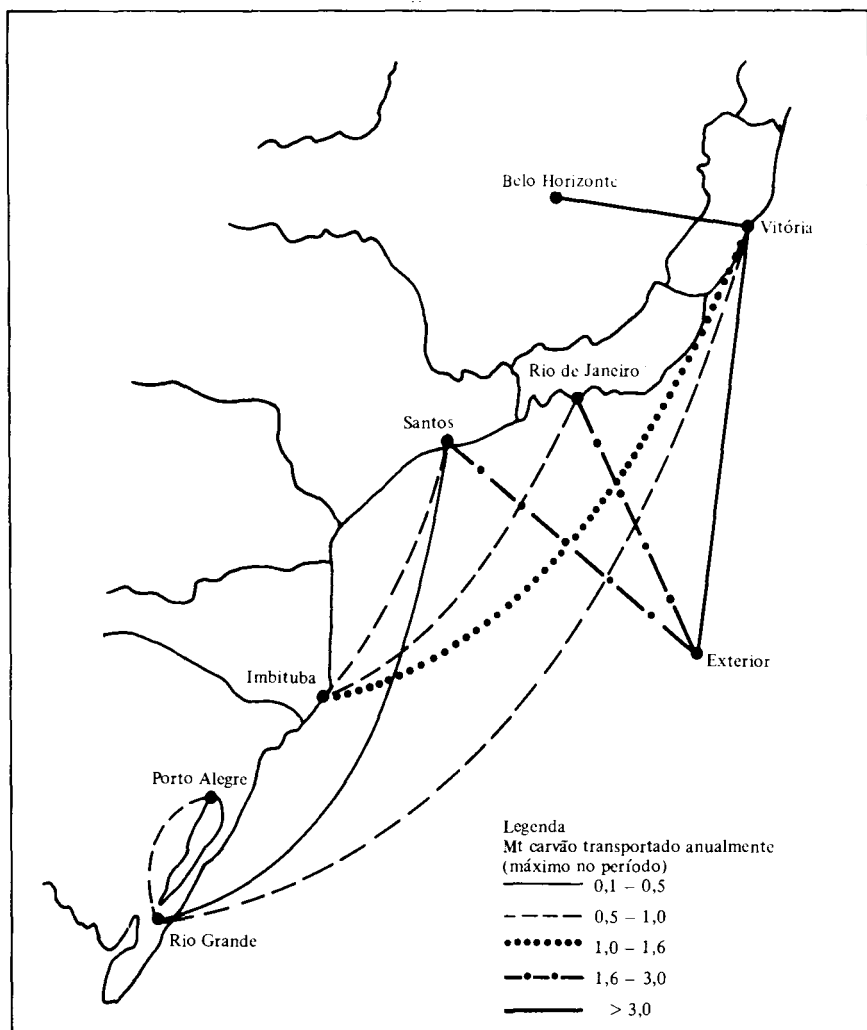
Figura 2
Transporte de carvão metalúrgico -- período 1985-90



são escoadas por barcas até o porto de Rio Grande com destino ao Sudeste, após 1990.

O carvão metalúrgico e energético de Santa Catarina destinado a outros centros é todo escoado por cabotagem, mas a quantidade total embarcada em Imbituba fica aproximadamente constante ao nível de 4 milhões de toneladas anuais entre 1985 e 1995. O fato de uma parcela substancial da produção de carvão em Santa Catarina ser do tipo metalúrgico, cuja demanda aumenta mais lentamente do que a do energético, explica a expansão mais lenta das rotas marítimas.

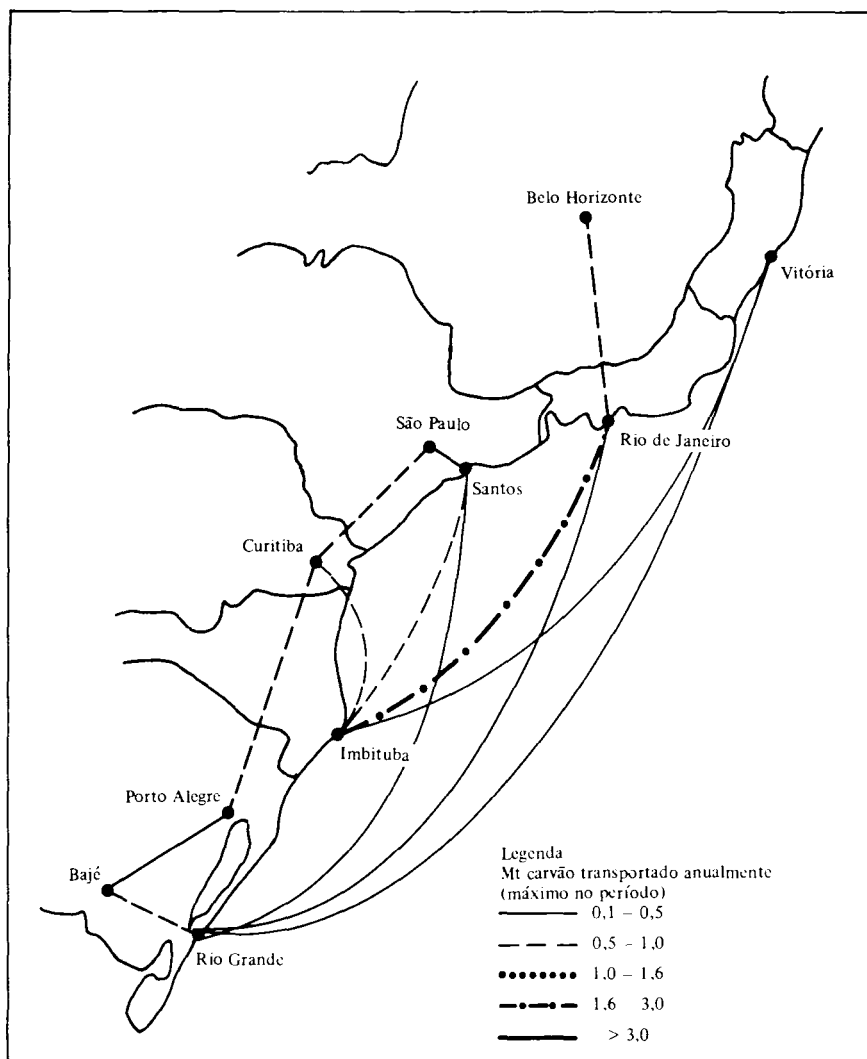
Figura 2-A
Transporte de carvão metalúrgico – período 1991-2000



mas partindo daquele estado. A destinação do carvão de Santa Catarina obedece aproximadamente às seguintes proporções: Vitória, 25%, Rio, 36%, Santos, 24% e Paraná, 15%.

O atendimento da demanda de carvão energético em São Paulo é feito principalmente através do Tronco Sul, com carvão proveniente do Baixo Jacuí e do Paraná. Uma parcela de cerca de 500 mil toneladas anuais trazida através de Santos tem sua origem em Santa Catarina, nos períodos anteriores a 1990, passando em seguida a vir do Rio Grande do Sul.

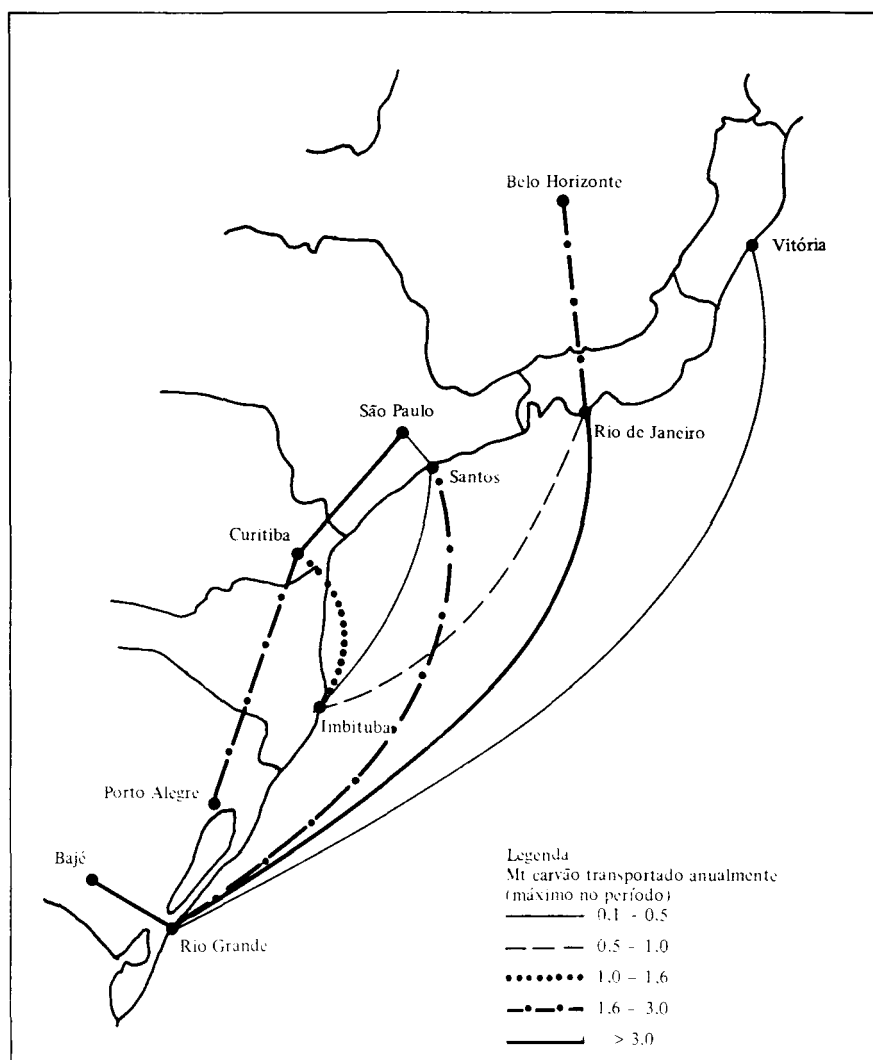
Figura 3
Transporte de carvão energético – período 1985-90



O carvão energético desembarcado no Rio de Janeiro e em Vitória até 1990 é proveniente, em sua maioria, de Santa Catarina, mas a partir desta data passa a vir principalmente de Candiota.

O carvão metalúrgico consumido em Santos (Cosipa) e o desembarcado no Rio vêm em sua maioria de Santa Catarina. O carvão metalúrgico desembarcado em Vitória até o final da década vem todo de Santa Catarina, mas após 1990 os acréscimos locais de fluxos de carvão metalúrgico são absorvidos por oferta proveniente de Morungava, no Baixo Jacuí.

Figura 3-A
Transporte de carvão energético – período 1991-2000



A rota para o carvão metalúrgico destinado a Minas Gerais é a via ferroviária a partir de Vitória, enquanto o carvão energético é desembarcado no Rio de Janeiro e segue pela linha do Centro até Belo Horizonte.

A tabela 12 mostra a evolução da capacidade dos portos, onde se destaca que Santos-Cosipa tem excesso de capacidade e não sofre ampliações no horizonte do estudo, que Rio Grande deverá ser implantado no início da próxima década, e que Rio e Vitória deverão ter suas capacidades ampliadas em cerca de 2,5 milhões de toneladas anuais até 1995.

Tabela 12
Evolução da capacidade dos portos

	1985/86	1987/88	1989/90	1991/95	1996/2000
Rio Grande	540 ¹	540 ¹	722	3.214	6.439
Imbituba	3.843	4.459	4.459	4.459	4.763
Antonina	583	583	583	646	1.973
Santos	8.240 ¹	8.240 ¹	8.240 ¹	8.240 ¹	8.240 ¹
Sepetiba-Rio-PMC	3.176	3.781	4.236	5.114	7.975
Praia Mole-Vitória	4.788	5.223	5.704	6.672	8.700

Fonte: Ipea/Inpes. Modelo Mocam II.

¹ Capacidade mínima.

3.4 Investimentos

A alocação do investimento setorial pode ser analisada através da tabela 13 que lança o valor dos dispêndios de capital, *integralmente* no período em que o ativo respectivo entra em operação. Uma vez que, na realidade, estes investimentos têm curvas de desembolso, o fluxo de caixa será mais suave e mais antecipado do que indica a tabela. Os valores mostrados incluem indistintamente investimentos públicos e privados, pois esta é a informação relevante para planejamento, o que fez com que no levantamento dos dados não houvesse a preocupação de analisar as alternativas de financiamento.

Tabela 13
Investimento setorial — média anual

Unidade: milhões de US\$ de 1984

Setores	Períodos					Total
	1985/86	1987/88	1989/90	1991/95	1996/2000	
Mineração	52,3	41,8	58,6	91,8	103,4	1.377,9
Beneficiamento	9,3	7,0	13,8	34,4	27,3	385,0
Transp. inter-regionais	2,9	3,7	5,5	24,7	31,3	313,0
Portos	23,0	18,2	12,6	17,5	40,7	432,2
Total	87,5	70,7	90,5	168,4	202,7	2.508,1

Fonte: Ipea/Inpes. Modelo Mocam II.

Vemos que o volume anual de investimento no setor evoluiu suavemente, ficando da ordem de US\$75 a 90 milhões anuais até 1990, passando então para a faixa de US\$170 a 200 milhões anuais na próxima década. A comparação destes números com os investimentos anuais da ordem de US\$5 bilhões nos setores de energia elétrica e petróleo ajudam a colocar o setor de carvão mineral em perspectiva.

A análise da última coluna da tabela mostra que os recursos para investimento no setor até o ano 2000 seriam distribuídos entre a mineração, beneficiamento, transporte e portos nas seguintes proporções: 55, 15, 13 e 17% respectivamente.

Quando se analisa a distribuição do investimento pelos períodos, verifica-se que as proporções variam um pouco, com a mineração absorvendo sempre de 50 a 55% dos recursos. No beneficiamento, o pico dos investimentos é o período de 1991-95, com a implantação de lavadores em Candiota e Morungava. No transporte inter-regional há muito pouco investimento até 1990, com a participação no total ficando cerca de 7% no período, saltando na próxima década para 15%, devido principalmente à necessidade de expandir o Tronco Sul. A participação dos portos no investimento total oscila entre 13 e 20%, com um pico no último período correspondente à implantação do porto do Rio Grande.

3.5 Preços-sombra

A solução do modelo de otimização fornece também os preços-sombra dos diversos tipos de carvão. Eles medem o custo de oportunidade marginal, ou seja, o aumento local na função objetivo do Mocam que seria gerado pelo incremento unitário da demanda de um dado tipo de carvão. A tabela 14 fornece a evolução dos preços-sombra regionais do carvão metalúrgico nacional (tipo 2).

Tabela 14
Preços-sombra regionais do carvão metalúrgico nacional

Regiões	Unidade: US\$ de 1984				
	1985/86	1987/88	1989/90	1991/96	1996/2000
Santa Catarina	184,6	170,1	162,1	120,3	95,3
Santos	202,2	190,3	178,3	136,5	112,4
Rio de Janeiro	204,3	192,7	181,8	137,1	113,4
Espírito Santo	203,3	191,2	181,0	135,5	112,3
Minas Gerais	207,2	195,2	185,0	139,9	116,3
Média reg. consumo	200,3	187,9	177,6	133,9	109,9

Fonte: Ipea/Inpes. Modelo Mocam II.

Percebe-se imediatamente o declínio progressivo dos preços-sombra, que, no final do horizonte, chegam a um nível cerca de metade do atual. A análise dos dados relativos a Santa Catarina mostra que esta redução se dá em três saltos: uma redução de US\$15 em 1987/88, outra de US\$42 em 1991-95 e a última de US\$25 em 1996-2000. A primeira se explica pela mudança do esquema de beneficiamento em Capivari que ocorre quando a produção de carvão de 30% de cinzas é abandonada. A segunda redução pode provavelmente ser associada à desativação das minas manuais daquele estado, quando então o custo marginal

passa a ser associado ao da mineração semimecanizada.⁷ O salto no último período parece estar associado a maior oferta no modelo de carvão metalúrgico em Morungava, mas pode também ser uma distorção devida ao truncamento do horizonte de análise do ano 2000.

A comparação do preço-sombra médio da tabela 14 como preço CIF do metalúrgico importado, que é de US\$93 por tonelada,⁸ mostra que o prêmio marginal que o País paga para manter a política de produção nacional de 20% do carvão metalúrgico consumido variará de 18 a 115% do preço internacional entre 1985 e 2000.

As variações inter-regionais no preço-sombra refletem os custos de transporte entre as regiões, para a malha escolhida pelo modelo. O transporte de carvão metalúrgico de Santa Catarina para o Sudeste custa cerca de US\$25 por tonelada no início do horizonte de planejamento, passando a US\$17 no final, devido à otimização dos fluxos, e corresponde a cerca de 12% do custo do carvão doméstico.

Os preços-sombra da energia obtida a partir do carvão estão na tabela 15, que mostra que, em 1987/88, o custo marginal da energia em São Paulo é praticamente o dobro do de Porto Alegre. Esta diferença pode ser atribuída ao transporte, o que destaca o fato de que a participação dele no custo do carvão energético entregue ao consumidor é muito maior do que no custo do metalúrgico. A tendência ao declínio do custo marginal ao longo do tempo, que se observou existir para o carvão metalúrgico, não está presente no caso do energético, cujo custo oscila na vizinhança da média intertemporal, sem tendência definida.

A comparação dos dados da tabela 15 com o custo da energia obtida a partir do óleo combustível — de US\$18 a 20 por gigacaloria — mostra que o carvão mineral é uma fonte competitiva em toda a região considerada neste modelo, com um custo cerca de 30% inferior nos principais centros consumidores. Esta margem deve ser mais do que suficiente para cobrir os eventuais custos operacionais mais altos associados com a utilização do carvão, e assegurar um retorno apropriado para o investimento na substituição, na maioria dos casos.

4. A política de oferta de carvão mineral

Uma das grandes vantagens do Mocam é permitir a análise detalhada de questões relativas à política de oferta de carvão mineral como, por exemplo, o efeito

⁷ *Grosso modo*, isto pode ser visto comparando-se os custos dos dois métodos de mineração. Tomando a diferença de custo operacional entre eles, que é de US\$4,2 por tonelada, e abatendo a diferença no custo de capital anualizado (cerca de US\$1,2) que é favorável à mineração manual, temos a vantagem líquida de US\$3 por tonelada de ROM da mineração semimecanizada. A multiplicação deste valor pelas 14,5 toneladas de ROM, que são aproximadamente necessárias para produzir 1 tonelada de carvão metalúrgico, explica a variação aproximada de US\$42.

⁸ O preço FOB do carvão de qualidade apropriada para ser misturado ao nacional é de US\$63 por tonelada, ao qual deve ser adicionado US\$20 por tonelada, relativos ao transporte marítimo, além de US\$8 por tonelada de custo operacional e US\$2 por tonelada de custo capital anualizado, ambos nos portos.

Tabela 15
Preços-sombra da energia

Unidade: US\$ de 1984

Nº reg.	Nome região	Utilização	Custo marginal da gigacaloria, por período				
			1985/86	1987/88	1989/90	1991/95	1996/2000
01	Bagé	Cimento	5,661	4,913	5,885	4,816	5,633
		Termeletricidade	3,010	2,944	3,408	2,595	2,129
02	Porto Alegre	Combustão	5,504	5,642	6,717	6,992	7,264
		Cimento	5,402	5,540	6,618	6,894	7,680
		Termeletricidade	4,117	4,233	5,042	5,363	5,476
		Gaseificação	5,312	5,448	6,508	6,780	7,552
04	Santa Catarina	Combustão	3,217	3,831	7,948	6,957	7,566
		Cimento	3,076	3,674	7,684	6,71	7,312
		Termeletricidade	2,764	3,379	7,496	6,504	7,113
		Gaseificação	2,973	3,634	8,062	6,995	7,650
05	Paraná	Combustão	8,264	8,491	11,584	10,733	11,602
		Cimento	7,620	7,929	10,755	10,056	10,916
		Termeletricidade	7,682	7,798	11,231	10,145	10,373
06	São Paulo	Combustão	9,439	10,128	13,407	12,291	13,187
		Cimento	9,562	10,241	13,331	12,284	13,168
		Gaseificação				10,397	11,289
07	Santos	Combustão			11,733	10,581	10,655
		Cimento	7,330	8,533	11,629	10,626	11,455
08	Rio de Janeiro	Combustão			12,257	10,794	10,925
		Cimento	7,962	9,248	12,594	10,973	11,845
		Gaseificação					10,999
09	Espírito Santo	Cimento	7,367	8,538	12,054	10,314	11,195
10	Minas Gerais	Cimento	9,507	10,815	14,161	12,539	13,412

Fonte: Ipea/Inpes, Modelo Mocam II.

de uma variação no preço internacional do óleo combustível na sua economicidade como energético, nas várias regiões do País.

O cenário utilizado no caso-base para o preço de óleo combustível foi de US\$160 por tonelada ao longo de todo o horizonte de estudo. No entanto, devido à recente queda dos preços do petróleo, admitiu-se um cenário alternativo de preços médios reais de óleo combustível de US\$130 por tonelada no período 1985/86, US\$109 em 1987/88, US\$92 em 1989/90, US\$108 em 1991-95 e US\$150 em 1996/2000.⁹ Na solução ótima obtida para este cenário alternativo a utilização do óleo combustível em lugar do carvão-vapor foi muito pequena, dando-se apenas nos períodos de menor preço de óleo combustível (1987/88, 1989/90 e 1991-95) e nas regiões onde o custo de transporte é elevado. Portanto, a solução ótima pouco se alterou, o que mostra que a opção pelo uso do carvão mineral é uma opção robusta com relação às variações de preço de petróleo que se poderiam realisticamente admitir.

Outros dois exercícios semelhantes são relatados a seguir, acompanhadas de uma descrição do levantamento que foi feito das curvas de oferta doméstica de carvão mineral metalúrgico e energético. Elas resumem boa parte da informação economicamente relevante, para o resto da economia, de como o setor reage a variações no valor do carvão.

4.1 Introdução da região Nordeste no Mocam

Uma das questões recentemente em pauta no setor do carvão mineral referia-se à desejabilidade de introdução deste energético em regiões consumidoras não-tradicionais, notadamente no Nordeste. Até pouco tempo, o subsídio do carvão mineral era limitado ao transporte abaixo do paralelo 20, que passa na altura de Vitória, no Espírito Santo. Mas, com base no argumento de que, após embarcado no Sul, o transporte adicional de Vitória até o Nordeste seria vantajoso para o País, a extensão do subsídio foi pleiteada e conseguida.

Com o objetivo de estudar se era de fato viável e interessante levar o carvão até o Nordeste, o modelo básico foi estendido e a nova região incluída. O fato de esta extensão ter sido facilmente executada ilustra a flexibilidade da implementação do Mocam no sistema computacional. Apresentamos a seguir uma rápida discussão do levantamento dos dados adicionais requeridos e a análise dos resultados.

Devido ao caráter exploratório do estudo, só foi considerada a demanda potencial do setor cimenteiro da região, pois não foi possível avaliar se os outros setores teriam condições de efetivamente consumir quantidades significativas de carvão. Portanto, a região foi definida em função da localização das fábricas de cimento, com um centro em Recife e englobando os pólos consumi-

⁹ Este cenário é compatível com projeções feitas pelo Banco Mundial em janeiro de 1986: US\$18,4 por barril em 1986, US\$19 em 1987, US\$16,2 em 1990 e US\$22,6 em 1995.

dores de Salvador, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará.

Em princípio poderíamos, ou até deveríamos, ter definido mais regiões (talvez três), mas julgamos conveniente limitar a desagregação nesta primeira análise. A principal limitação disto é que as distâncias até o centro regional e, portanto, os custos intra-regionais de transporte, ficam muito grandes, o que aumenta o risco de distorções na avaliação do custo da energia entregue aos consumidores.

Só foram consideradas duas rotas de transporte inter-regional, de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, para Recife. Com relação ao porto de Recife, nenhum dos três dados requeridos estava disponível, o que nos levou a admitir que os custos operacional e de investimento fossem iguais aos de Antonina: US\$8,9 por tonelada e US\$20,2 por tonelada ao ano respectivamente. Presumiu-se que a capacidade inicial disponível atualmente para movimentar o carvão seria suficiente para atender ao fluxo do primeiro período do modelo.

O cenário de demanda foi construído convertendo-se para unidades de energia as projeções de Pinheiro (1984) para consumo de carvão vegetal na região e está descrito na tabela 16.

Tabela 16
Cenário de demanda de energia para cimento no Nordeste

		(Em milhões de gigacalorias)				
Região	Utilização	1985/86	1987/88	1989/90	1991/95	1996/2000
Nordeste	Cimento	1,174	1,459	1,617	1,870	2,434

Fonte: Ipea/Inpes.

O resultado obtido comprovou a viabilidade econômica do consumo de carvão na região Nordeste, pois o Mocam decidiu atender a toda a demanda. O carvão seria do tipo com 30% de cinzas no curto prazo, passando para o de 35% de cinzas a partir de 1987/88, e seria proveniente de Santa Catarina até 1990. Na década posterior, parte da demanda do Nordeste foi suprida por carvão energético do Rio Grande do Sul (13,5% em 1991-95 e 33,5 em 1996-2000) originário da mina de Candiota.

A variação na função objetivo foi de US\$178 milhões, que é uma estimativa do valor presente do custo de atender aquela demanda adicional de carvão.

O custo marginal da energia ao consumidor variou de cerca de US\$12 por gigacaloria (até 1987/88), até US\$14,5 por gigacaloria na próxima década. Estes valores, se comparados com a tabela 15 mostram que a energia para cimento no Nordeste custaria ao País cerca de US\$2 a mais por gigacaloria do que a energia posta em São Paulo. Os custos marginais obtidos com a introdução da região Nordeste mostraram-se bastante semelhantes aos da solução básica.

4.2 Carvão metalúrgico nacional x importado

Outra questão importante de política carbonífera diz respeito à obrigatoriedade legal, incluída no modelo, de produção doméstica de 20% da demanda nacional de carvão metalúrgico. Uma nova rodada, fixando apenas um consumo *mínimo* de carvão metalúrgico importado igual a 80% da demanda (restrição técnica) foi feita para avaliar a desejabilidade econômica desta política.

Os resultados mostraram que a proporção legal seria mantida em Santos e no Rio de Janeiro, tendo o modelo preferido utilizar apenas carvão importado em Vitória e Belo Horizonte. A variação na função-objetivo foi de US\$309 milhões, que seria o valor presente do fluxo de dispêndios que poderia ser evitado com a política alternativa. É importante notar que este valor inclui não apenas a economia direta devido à diferença entre o custo marginal do carvão nacional e o preço do importado, mas também o indireto via redução do custo marginal do carvão energético, devido à liberação de capacidade de mineração.

A redução da produção de carvão mineral metalúrgico implica diretamente a diminuição da produção de carvão energético de Santa Catarina, pois este é um subproduto do beneficiamento do primeiro. Assim, para suprir a demanda nacional de carvão energético, tornou-se necessário minerar antecipadamente e de modo mais intenso as outras jazidas de carvão mineral energético. Desta forma, tanto as jazidas de Leão Butiá SS-SM quanto a Camada Bonito CA-SM são mineradas a partir de 1985/86. As jazidas de Charqueadas CA-MM e Gravataí CA-MM passam a ser mineradas a partir de 1991-95, e a jazida da Cama- da Bonito SS-SM, no período 1996-2000.

Comparando os resultados obtidos para os preços-sombra com os do caso básico (tabela 17), observa-se uma grande redução do preço do carvão metalúrgico, enquanto que o do carvão energético sofre aumento devido à mineração de jazidas de custo mais elevado.

Tabela 17

Comparação do caso básico com a alternativa de livre importação: preço-sombra do carvão metalúrgico do Rio de Janeiro

(US\$/t)

	1985/86	1997/88	1989/90	1991/95	1996/2000
Caso básico	115,5	113,1	111,4	101,6	96,9
Livre importação	93,3	93,2	93,8	92,7	92,8

O preço imputado ao carvão metalúrgico importado no experimento relatado foi o mesmo do caso básico, ou seja, US\$63 por tonelada FOB. Uma análise de sensibilidade desta alternativa de livre importação de metalúrgico com relação ao seu preço permitiu construir a tabela 18, que resume o comportamento da oferta nacional.

Tabela 18
Participação do carvão nacional na oferta de carvão metalúrgico em função
do preço do carvão importado

FOB	Preço (US- \$ t)	Porcentagem atendida pelo carvão nacional					
	CIF	1985/86	1987/88	1989/90	1991/95	1996/2000	Média
63	93	7,8	8,4	9,9	9,0	7,8	8,1
83	113	10,7	10,6	12,6	12,6	14,7	11,6
103	133	13,0	13,3	15,1	14,9	16,1	13,5
123	143	13,4	15,2	16,9	20,0	20,0	16,2

Nela se verifica que a proporção da demanda atendida com carvão metalúrgico nacional cresce à medida que o preço do substituto aumenta, atingindo o máximo tecnicamente viável nos dois últimos períodos, antes que ele chegue a US\$123 por tonelada. Assim, se existe o risco de grandes variações no preço internacional, faz sentido manter a capacidade instalada de mineração doméstica como uma espécie de seguro.

Nota-se também um declínio na percentagem atendida pelo carvão metalúrgico nacional nos períodos 1985/86 e 1987/88, o que pode ser creditado à relativa abundância de oferta de carvão energético nestes períodos, já que a produção de carvão energético e metalúrgico em Santa Catarina é simultânea.

Em resumo, portanto, a política nacional com relação ao carvão metalúrgico gera distorções alocativas, inclusive no setor energético, além de ter um custo decerca de US\$30 milhões anuais. Isto não quer dizer, entretanto, que a condenemos, pois podem existir outros fatores (preço-sombra da divisa, segurança nacional, nível de emprego) que não foram considerados no Mocam e que a justifiquem. Da mesma forma, podem existir outros custos no setor siderúrgico associados à utilização do carvão nacional que não foram considerados aqui e que poderiam potencialmente aumentar o custo total da política.

4.3 Curvas de oferta de carvão mineral

Do ponto de vista do planejamento energético *global* do País, as decisões ótimas internas no setor de oferta de um energético, tal como apresentamos no item 3 para o carvão mineral, são excessivamente minuciosas e não fornecem a informação relevante para as decisões ao nível macro. Naquele nível de agregação, a principal questão é saber qual a parcela da demanda nacional do energético que o setor doméstico consegue atender a um custo igual ou inferior a determinado valor.

As funções que relacionam a quantidade máxima que pode ser economicamente produzida com os preços do energético e dos outros bens da economia são denominadas funções de oferta. Cortes bidimensionais desta função são mui-

tas vezes chamados de curvas de oferta, e permitem que o planejador encare todo o setor em questão como uma caixa preta que responde a cada valor diferente do seu produto com as quantidades que ele consegue produzir a um custo competitivo. O valor do carvão energético e metalúrgico é normalmente dado pelo seu custo de oportunidade para o resto da economia, e pode ser extraído do cenário adotado para o preço internacional do óleo combustível e do carvão metalúrgico importado.

Neste item se apresentará as curvas de oferta nacional do carvão mineral, mas antes faremos uma pequena digressão técnica sobre a sua derivação. Como o Mocam é um modelo de minimização de custos, não é possível alterar diretamente os preços dos vários tipos de carvão, pois estes são determinados endogenamente. Foi então necessário recorrer a um artifício para induzir estas variações nos preços-sombra, criando uma fonte alternativa capaz de fornecer quantidades arbitrariamente grandes de carvão, e variar o preço ao qual esta oferta competitiva se daria. Para isto, aproveitamos o instrumental já desenvolvido para analisar a política de oferta de carvão metalúrgico já descrito. Além disto, introduzimos a possibilidade de importação também do carvão energético, criando uma nova mina virtual de carvão de 20% de cinzas no exterior, e rotas de transporte marítimo para Santos, Rio e Vitória.

Explorando a dualidade entre o custo e produção, podemos interpretar este procedimento como o levantamento da curva de custo marginal, em resposta a variações na demanda.

Quando o preço do carvão importado é muito baixo, a sua participação no atendimento da demanda interna é grande e a oferta doméstica se contrai. No espaço dos preços, o que se passa é que a fonte no exterior coloca um limite no preço-sombra, impedindo que fontes domésticas de custo marginal superior àquele valor sejam utilizadas na solução ótima. Quando o preço de importação é muito alto, o preço-sombra também cresce, e faz com que uma parcela maior da demanda seja atendida por carvão nacional.

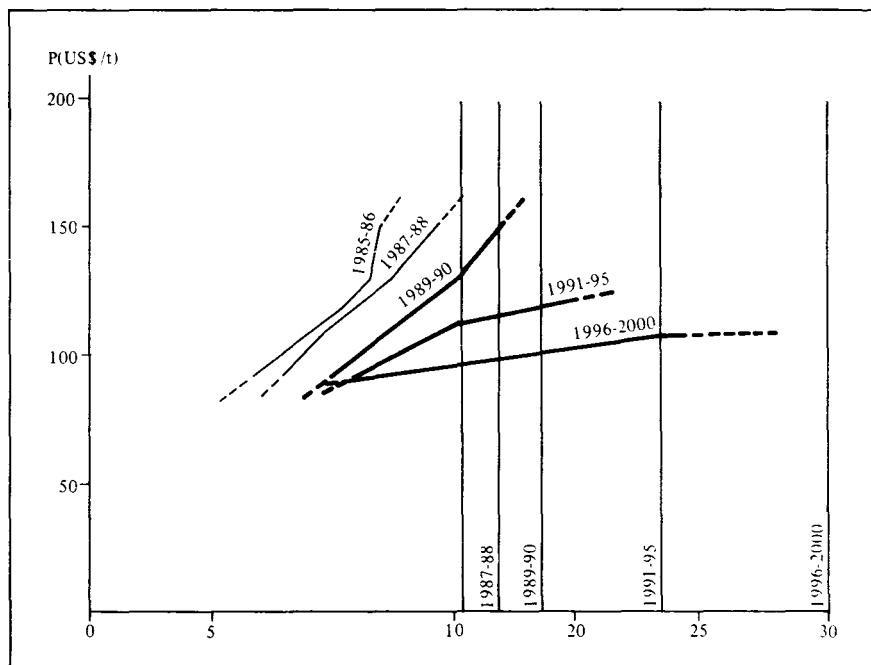
Através de rodadas sucessivas do Mocam, variando os preços de importação, foi possível mapear a oferta ótima do setor para diferentes valores do carvão metalúrgico e energético. Como o modelo é multiperiodal, derivamos uma curva para cada período. Apesar de o caráter regional do modelo sugerir também a construção de curvas distintas para cada região, achamos mais conveniente apresentar curvas correspondentes à região agregada composta por São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo e Minas Gerais, que é a soma horizontal das curvas de ofertas das regiões.¹⁰

¹⁰ Isto não é estritamente verdade se tomarmos uma definição mais rigorosa de curva de oferta, que exigiria que mantivéssemos constantes os preços em todas as regiões e todos os períodos, quando verificando a resposta do sistema à variação do preço em dada região em um período específico. Este experimento não é, porém, o mais interessante sob o ponto de vista de decisões de política, o que nos fez optar pela apresentação de curvas que são resposta a uma variação simultânea de vários preços, como descrito no texto. O artifício utilizado no levantamento das curvas poderia, entretanto, ser adaptado se desejássemos obter as curvas individuais.

Para os carvões energéticos o que mais interessa não são as curvas individuais, mas sim a curva de oferta de *energia*, que é uma agregação das curvas para cada uma das utilizações. Como a geração termelétrica merece uma análise separada, agrupamos as outras três utilizações (cimento, gaseificação e combustão) para apresentar uma curva de oferta energética.

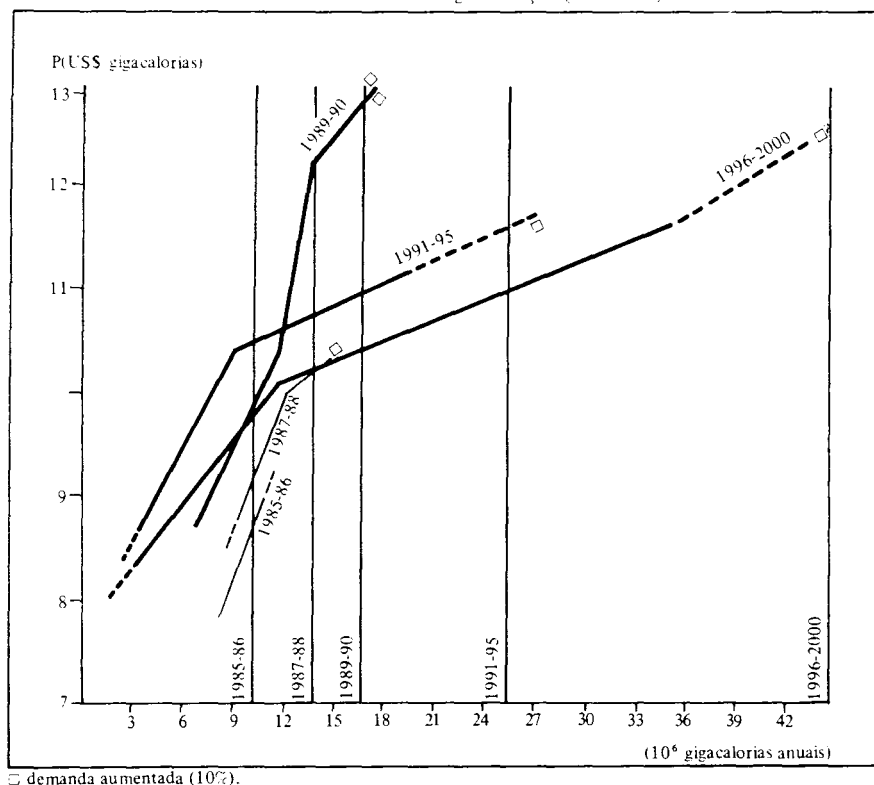
As figuras 4 e 5 mostram as curvas relativas ao carvão metalúrgico e energético, respectivamente, com o eixo vertical igual a um índice de custo marginal que reflete as observações precedentes.

Figura 4
Curvas de oferta para o carvão metalúrgico nacional (Mocam II)



Os dois conjuntos de curvas apresentam inclinação positiva, se bem que nem todas as curvas sejam convexas, o que apenas reflete a existência de restrições cujo limite varia com o tempo. Todas as curvas têm também uma seção, onde são essencialmente verticais, que mostra o limite técnico da expansão da oferta naquele período. Observa-se também uma tendência para as curvas relativas ao longo prazo terem uma inclinação menor do que as de curto e médio prazos, a um dado nível de capacidade. Isto reflete o progressivo relaxamento ao longo do tempo das restrições impostas pela existência de uma capacidade inicial de mineração, o que permite que expansões de oferta gerem aumentos cada vez menores de custo para períodos mais remotos.

Figura 5
Curvas de oferta para o carvão energético nacional
— combustão, cimento e gaseificação (Mocain II)



Na figura 4 as curvas de oferta de carvão metalúrgico relativas aos períodos futuros estão abaixo das dos períodos mais recentes, refletindo a queda de custos marginais já discutidas anteriormente. O mesmo não ocorre na figura 5 devido à entrada em operação, no futuro, de conjuntos mina-lavador de custo mais alto para atender à demanda de carvão energético.

As curvas podem também ser utilizadas para obter o perfil no tempo do preço-sombra dos dois tipos de carvão, para uma dada evolução da demanda. Verifica-se que, em geral, o preço não será constante, subindo nos períodos em que a demanda for alta com relação à capacidade de oferta do setor, e se reduzindo na situação inversa. Por outro lado, a tentativa de manter um preço-sombra constante no tempo causaria grandes oscilações na parcela da demanda nacional que poderia ser economicamente suprida pelo setor.

Finalmente, é importante destacar que as curvas apresentadas só refletem com precisão o comportamento do sistema na vizinhança da solução básica. Modificações substanciais na composição ou nível da demanda certamente dariam origem a curvas diferentes.

Referências bibliográficas

- Araújo, N. W. O carvão no Brasil. *Energia: Fontes Alternativas*, São Paulo, 4(19): 26-43, mar./abr. 1982.
- DNPM. *Informativo anual da indústria carbonífera* — 1981, 1982 e 1983. Brasília, 1982, 1983 e 1984.
- Farias, F. F. & Costa, L. C. *Análise do consumo energético no setor industrial da região central do país*. Rio de Janeiro, Ipea/Inpes, 1984. (Texto para discussão do Grupo de Energia, 28.)
- Finep. *Informações técnicas e econômicas preliminares para a elaboração de um modelo de otimização para o carvão mineral no Brasil*. Rio de Janeiro, 1981.
- Gottfried, B. *Computer simulation of coal preparation plants*. Pittsburgh, Univ. of Pittsburgh, 1977.
- Mendonça, L. P. *Energia na indústria de cerâmica*. Rio de Janeiro, Ipea/Inpes, 1984. (Texto para discussão do Grupo de Energia, 24.)
- Modiano, E. & Tourinho, O. A. F. A economia do carvão mineral. *Pesquisa e Planejamento Econômico*, Rio de Janeiro, 12(1): 51-86, abr. 1982.
- Passos, M. F. S. A. *Energia na indústria de papel e celulose*. Rio de Janeiro, Ipea/Inpes, 1984. (Texto para discussão do Grupo de Energia, 25.)
- Pinheiro, A. C. *Uma análise dos processos de conservação de energia e substituição do óleo combustível na indústria de cimento*. Rio de Janeiro, Ipea/Inpes, 1984. (Texto para discussão do Grupo de Energia, 19).
- Secretaria Especial de Abastecimento e Preços (Seap). *Análise do setor carvão mineral*. Brasília, 1982.
- Soares, V. R. *Energia na indústria siderúrgica*. Rio de Janeiro, 1983. mimeogr.
- Tourinho, O. A. F.; Margulis, S. & Ardeo, V. L. *O planejamento da oferta de carvão mineral no Brasil: o modelo Mocam e suas aplicações*. Rio de Janeiro, Ipea/Inpes, 1985. (Texto para discussão do Grupo de Energia, 29.)