

Uma avaliação econômica dos impactos ambientais decorrentes da produção de carvão mineral

SÉRGIO MARGULIS *

Objetiva-se neste trabalho fazer uma estimativa econômica de alguns aspectos ambientais associados à produção de carvão mineral no Brasil. A limitada disponibilidade de dados — comum nesta área — não possibilitou a quantificação de alguns itens que julgamos importantes, como degradação da estética e extinção da flora local. Utilizou-se o Modelo de Oferta de Carvão Mineral (MOCAM), desenvolvido no Instituto de Pesquisas do IPEA, para se chegar aos custos medidos em dólares por tonelada de carvão minerado. O trabalho consta de uma apresentação sumária deste modelo, das principais questões ambientais em foco, da metodologia adotada e dos valores obtidos nas quantificações, além de uma seção dedicada à discussão de alguns aspectos teóricos subjacentes à questão.

1 — Introdução

A política de substituição de derivados de petróleo que vem sendo levada a efeito nos últimos anos trouxe a perspectiva de considerável aumento da produção de carvão mineral. As regiões produtoras do Sul do País defrontam-se, portanto, com a possibilidade de terem uma degradação adicional na qualidade das águas de suas bacias hidrográficas, um terço das quais já está completamente comprometido. Esta situação levou o governo, através de decreto presidencial, a considerar a região sul do estado de Santa Catarina como sendo uma “área crítica de poluição”.

Os problemas ambientais decorrentes da produção de carvão mineral devem ser considerados, no Brasil, muito mais preocupantes do que os gerados no consumo. Isto se deve basicamente a dois fatores: o primeiro é a falta de fiscalização dos órgãos responsáveis pela proteção ao meio ambiente, aliada à utilização, pelos mineradores, de tecnologias de produção que não incluem qualquer tipo de controle de poluição; e o segundo

* Do Instituto de Pesquisas do IPEA.

refere-se ao próprio tipo de poluição, gerada na produção, prejudicando as bacias hidrográficas e os solos (o que é um problema acumulativo e de difícil regressão), e no consumo, onde ela é principalmente atmosférica e bastante dispersa, não causando problemas mais sérios nos níveis atuais em que se verifica no Brasil.¹

O objetivo deste trabalho é fazer uma breve descrição qualitativa dos impactos ambientais decorrentes da produção de carvão mineral e uma avaliação econômica destes impactos, tentando identificar a parcela dos custos de produção de carvão devida às externalidades de degradação do meio ambiente. O valor dessas externalidades só pode ser conhecido uma vez quantificados aspectos como o valor da saúde das pessoas, o custo da redução da piscosidade, a degradação da qualidade do ar e das águas, a estética, etc. Pela própria natureza destes problemas, fica clara a dificuldade de quantificá-los, sendo natural que este assunto cause polêmica na literatura.

A motivação para adotarmos uma abordagem quantificada está intimamente ligada à existência, no próprio Instituto de Pesquisas do IPEA, de um modelo matemático de oferta de carvão mineral. A alimentação deste modelo com as informações sobre o meio ambiente irá permitir a obtenção de uma medida do valor das externalidades de degradação ambiental.

Achamos oportuno descrever neste ponto, de modo bastante sumário, o ciclo do carvão mineral. A mineração do carvão é a céu aberto ou subterrânea. O carvão bruto minerado, chamado ROM (*run of mine*), precisa ser separado do material estéril (substâncias não carbonosas) que é lavado com ele. Esta é a etapa de beneficiamento, e o processo consiste na passagem do ROM por um líquido de densidade intermediária entre a da matéria carbonosa e a das substâncias minerais. Esta densidade pode ser criada por agitação mecânica em um tanque com água (JIG) ou o próprio líquido pode ser formulado com aquelas características (meio-denso). A parte flutuante do beneficiamento é a fração nobre, enquanto que o afundado consiste nas substâncias minerais com alto teor de enxofre e ferro, que se tornam um dos principais poluentes nesta etapa do ciclo do carvão. Os carvões são classificados de acordo com o teor de cinzas da fração nobre, que varia com seu nível de beneficiamento. Evidentemente, quanto mais intenso for este beneficiamento (ou lavagem), menor o teor

¹ As únicas exceções que devem ser mencionadas são as áreas próximas às coqueiras instaladas nas regiões de produção, que recebem contribuição de outras indústrias e apresentam altos índices de poluição do ar.

de cinzas e, portanto, maior o poder calorífero. Isto é importante porque o uso básico do carvão mineral ocorre na queima para geração de calor industrial, em substituição ao óleo combustível. Depois da lavagem, o carvão é embarcado para os centros consumidores, geralmente por via férrea ou marítima.

Apresentamos resumidamente a seguir o Modelo de Oferta de Carvão Mineral (MOCAM).² Trata-se de um modelo de otimização dinâmico, setorial e regional, que descreve a relação entre mineração, beneficiamento, transporte e uso final do carvão, permitindo uma avaliação integrada da escolha de processos, localização e capacidades para estas atividades ao longo de vários períodos de planeamento. No módulo de mineração aparecem as diversas técnicas conhecidas (subterrâneas e a céu aberto). O módulo de beneficiamento admite os dois principais métodos utilizados (JIG e meio-denso) e fornece os diferentes tipos de carvões a serem produzidos em cada lavador. O módulo de transporte consiste em uma rede que liga os centros produtores aos portos e estes aos centros consumidores. O módulo de consumo consiste essencialmente no conjunto de indústrias consumidoras de carvão em cada uma das regiões.

O modelo tem então definidos um conjunto de indústrias e regiões consumidoras, integradas em uma matriz exógena de demandas energéticas por consumidor e por região, além de portos de embarque e/ou desembarque, de rotas de transporte, de minas e de lavadores. O objetivo do modelo é encontrar a configuração destes elementos que minimiza os custos para atender à demanda dada, satisfazendo simultaneamente às restrições de capital, tecnológicas e de velocidade de expansão dos portos, minas e lavadores.

A solução ótima determina a ordem ótima de entrada das minas, os volumes a serem produzidos, os tipos de carvões que devem ser produzidos em cada lavador e qual a rede ótima de distribuição destes carvões, sendo permitido o consumo de óleo combustível para o atendimento de uma parcela da demanda, caso se mostre competitivo.

A incorporação a este modelo de dados que refletem os impactos sobre o meio ambiente pode produzir diferentes alterações na solução ótima, principalmente na rede de distribuição dos carvões para os centros consumidores, nos volumes ótimos a serem minerados e/ou beneficiados de cada tipo de carvão, além do incremento no custo total de produzir e beneficiar carvão. Como só tratamos dos problemas que ocorrem na pro-

² Para maiores detalhes, ver Modiano e Tourinho (1982).

dução do carvão, outras variações, como o investimento total a ser feito nos portos, o custo marginal da gigacaloria consumida por uma dada indústria em determinada região e outros aspectos não diretamente ligados à produção, tornam-se menos interessantes para nossa análise.

Um importante aspecto que deve ser mencionado refere-se à poluição gerada dentro das próprias minas, notadamente a poluição do ar das minas subterrâneas, atingindo unicamente os mineiros, que, como conseqüência, ficam sujeitos a graves problemas de saúde. Em função disso, dedicamos uma parte deste trabalho à apresentação das principais questões de saúde que afetam os trabalhadores das minas de carvão, tentando inclusive imputar uma medida do custo social gerado por estas questões. Cabe ressaltar ainda que seria extremamente difícil quantificar os problemas de saúde dos mineiros independentemente das questões relativas à sua segurança, no sentido do risco de acidentes a que estão sujeitos, razão pela qual elas são tratadas conjuntamente. Ademais, é perfeitamente justificado encarar as questões de segurança do trabalho como afetas às de meio ambiente, procedimento encontrado em várias referências internacionais.³

O trabalho consta de três seções, além desta Introdução. Na Seção 2, a seguir, são enfocados alguns aspectos teóricos, do ponto de vista econômico, que servem como embasamento para o procedimento adotado no sentido de quantificar as questões de meio ambiente e saúde e segurança dos mineiros. Na terceira seção fazemos uma descrição resumida dos principais problemas ambientais observados em cada uma das etapas componentes do módulo de produção de carvão mineral (mineração, beneficiamento, disposição dos rejeitos do beneficiamento e saúde e segurança dos mineiros), que são os aspectos quantificados na interação com o modelo matemático. Na última seção apresentamos as quantificações feitas e as alterações observadas no modelo quando considerados os aspectos ambientais.

2 — Aspectos teóricos

Esta seção visa a analisar a formulação teórica do problema de decisão com relação ao nível ótimo de controle ambiental. Como o carvão mineral é

³ Ver, por exemplo, Office of Technology Assessment (s. d.), Morgan *et alii* (1973), Penner e Icerman eds. (1974), OECD (1978) e World Coal Study (1980).

um bem intermediário a ser consumido pelo setor industrial, a decisão entre consumir carvão ou outro combustível competidor faz parte de uma opção tecnológica da produção que aqui nos interessa. Podemos, assim, simplificar nossa análise considerando que a demanda de carvão é dada exogenamente e que a oferta se ajustará ao valor desejado. Assim, temos o problema todo parametrizado em termos deste nível exógeno, o que nos obriga a desconsiderar estratégias de controle que envolvam a redução da produção de carvão, ou sua substituição por outro energético.

O objetivo do problema é maximizar o bem-estar social (W), que tratamos simplificadamente aqui como função de duas variáveis: do bem agregado que representa a cesta de bens da economia (X) e do nível de qualidade do meio ambiente (Q).

A formulação matemática deste problema apresenta algumas dificuldades, notadamente quanto à possibilidade de uma especificação funcional para W , mas uma discussão sobre este assunto foge ao nosso objetivo.⁴ Além disso, uma das variáveis em questão (Q) é um bem público, o que geralmente introduz algumas complicações adicionais ao problema.

Independentemente destas dificuldades, é freqüente na literatura a suposição da existência de uma especificação para W como função das utilidades dos indivíduos cujo bem-estar social se deseja maximizar. Adotando este procedimento, no nosso caso, temos a seguinte especificação do problema:

Problema 1:

$$\begin{aligned} & \text{Maximizar } W(U_1(X_1, Q), \dots, U_n(X_n, Q)) \\ & (X_1, \dots, X_n, Q) \\ & \text{sujeito a } g(X_1 + \dots + X_n, Q) = 0 \end{aligned}$$

onde U_1, \dots, U_n são as funções de utilidade dos n indivíduos, X_1, \dots, X_n são as quantidades do bem X a serem consumidas por cada indivíduo e $g(X_1 + \dots + X_n, Q)$ é a fronteira de possibilidades de transformação.

Note-se que a qualidade do meio ambiente (Q) será um bem igualmente consumido por todos os membros da sociedade local atingida pela poluição da produção do carvão. A solução do problema é conhecida,⁵ sendo a alocação em que a soma das taxas marginais de substituição de

⁴ Para uma discussão detalhada, ver, por exemplo, o clássico trabalho de Arrow (1963) a respeito desta questão.

⁵ Ver, por exemplo, Varian (1978, p. 198).

todos os membros da sociedade iguala-se à taxa marginal de transformação. Formalmente, temos que:

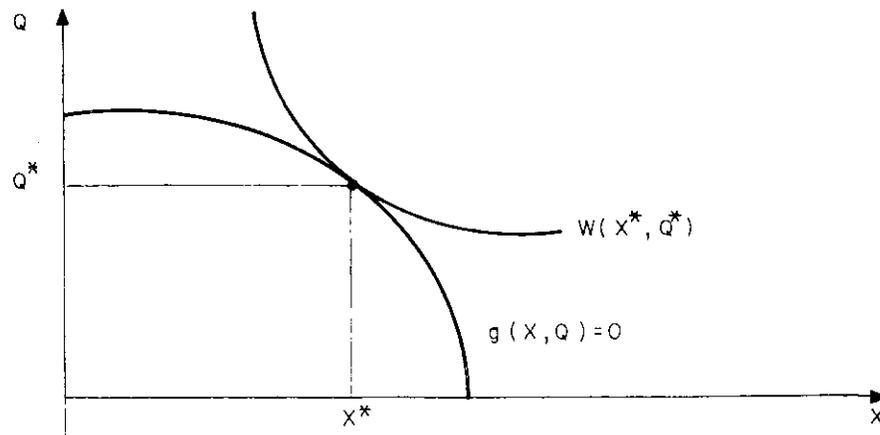
$$\sum_{i=1}^n \frac{\partial U_i / \partial Q}{\partial U_i / \partial X_i} = \frac{\partial g / \partial Q}{\partial g / \partial X}$$

onde $X = \sum_{i=1}^n X_i$.

O Gráfico 1 a seguir apresenta uma versão simplificada do problema 1, a qual consiste em supor que o bem-estar social W é a soma das utilidades dos n indivíduos e que estas são iguais entre si. Neste caso, a condição de ótimo é a de tangência entre as curvas $g(X, Q) = 0$ e $W(X, Q)$, uma decorrência direta do Teorema de Kuhn-Tucker. Ressaltamos que esta simplificação só é feita para podermos visualizar o problema, o que será valioso para o desenvolvimento a seguir. No entanto, nem a especificação nem a condição de ótimo apresentadas para o problema 1 pressupõem igualdade das utilidades ou que elas sejam aditivas como função de W .

Observe-se que, na prática, é quase impossível garantir a ocorrência deste ótimo, pois precisamos de uma medida das avaliações marginais de todos os indivíduos (revelação das preferências) relativamente a um bem público, e este mecanismo sabidamente não funciona "bem" como no caso de bens privados, via preços. Então, o critério geralmente utilizado é o

Gráfico 1



de padrões mínimos de qualidade, que leva a uma solução apenas “satisfatória”, mas não necessariamente ótima, do ponto de vista de maximizar W .

Uma formulação mais simples que a apresentada acima e frequentemente utilizada na literatura é a que objetiva minimizar os “custos de meio ambiente”. Entende-se por custos de meio ambiente – $C_M(Q)$ – a soma dos custos de controle – $C_C(Q)$ – com os de degradação ambiental – $C_D(Q)$. Inicialmente, sem nos atermos à definição mais rigorosa de $C_C(Q)$ e $C_D(Q)$, o problema é o seguinte:

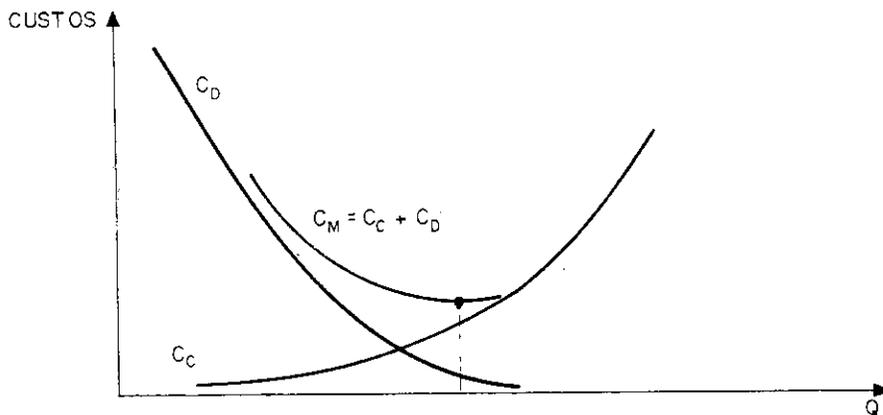
Problema 2:

$$\text{Minimizar } C_M(Q) = C_C(Q) + C_D(Q)$$

A solução “trivial” deste problema dá-se no ponto em que os custos marginais de controle igualam-se em módulo aos de degradação (ver Gráfico 2).

Nosso objetivo a partir deste ponto é mostrar que é possível “generalizar” o problema 2 de modo que ele seja equivalente ao problema 1, o que exige basicamente que definamos convenientemente os custos de controle e de degradação ambiental. A necessidade de termos que generalizar o problema 2 decorre da seguinte observação: além da tecnologia disponível, os custos de controle dependem da quantidade S de carvão a ser produzida, que no nosso caso é um parâmetro exógeno, e da qualidade ambien-

Gráfico 2

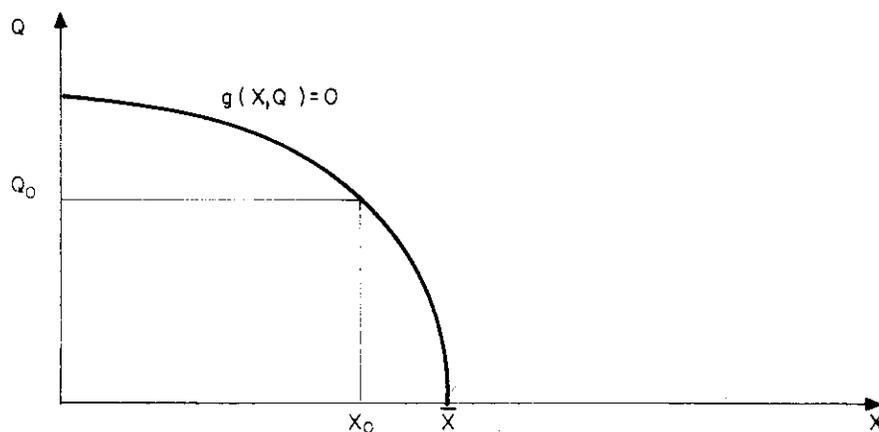


tal Q desejada; os custos de degradação, por outro lado, dependem adicionalmente do nível de bem-estar social desejado, ou seja, é razoável que diferentes níveis de satisfação relativamente ao meio ambiente impliquem diferentes custos de degradação ambiental.

Assim, a formulação do problema 2, onde C_c e C_D dependem unicamente de Q , deve ser adaptada ao nosso problema, que é parametrizado em S . Enquanto os custos de controle continuam dependendo tão-somente do nível de qualidade Q do meio ambiente — $C_c(Q)$ —, os custos de degradação passam a depender também do nível de bem-estar social desejado W , ou seja, $C_D(Q, W)$. Note-se que até este ponto não definimos estes custos, o que fazemos a seguir.

Olhando para a fronteira de possibilidades de transformação $g(X, Q)$ mostrada no Gráfico 3, fica fácil definir os custos de controle. Inicialmente, vamos normalizar o vetor de preços, de modo que o preço do bem agregado X tenha valor 1, ou seja, X pode ser encarado como a unidade monetária desta economia. Seja \bar{X} a quantidade do bem X que se consumiria caso não houvesse nenhuma atenção com o meio ambiente, ou seja, no nível de qualidade $Q = 0$. Observe-se então que, para atingirmos um ponto (X_0, Q_0) na fronteira $g(X, Q) = 0$, é preciso abrir mão do consumo de $\bar{X} - X_0$ para utilizá-los sob a forma de controle, ou seja, na ausência de controle estaríamos no ponto $(\bar{X}, 0)$, e o deslocamento para (X_0, Q_0) , de qualidade ambiental Q_0 , provoca uma perda de $(\bar{X} - X_0)$

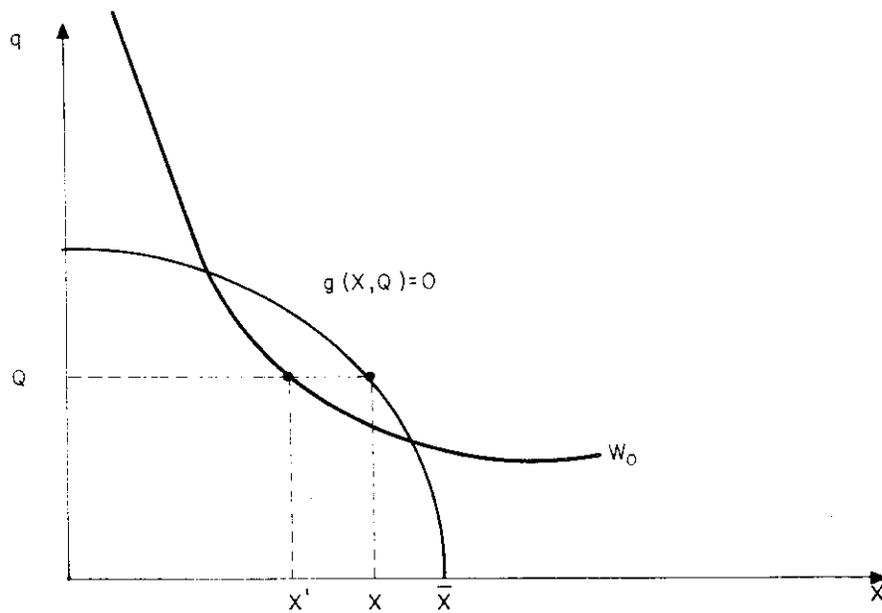
Gráfico 3



do bem agregado, que, multiplicado pelo preço normalizado, é uma medida do custo de controle. Definimos portanto $C_c(Q_0) = \bar{X} - X_0$ sujeito a $g(X_0, Q_0) = 0$.

Para definirmos os custos de degradação, utilizaremos o conceito de variação compensatória da renda requerida pela variação na qualidade do meio ambiente do ponto máximo para um ponto Q considerado. Com a finalidade de facilitar a definição, vamos nos basear no Gráfico 4, que apresenta uma isoquanta W_0 qualquer de bem-estar social e a fronteira de possibilidades de produção $g(X, Q) = 0$. Neste gráfico, além de fazermos as mesmas simplificações do Gráfico 1, consideramos que o nível de consumo $X = 0$ corresponde ao nível de subsistência, e não propriamente àquele em que não há qualquer consumo do bem agregado X . Com isto, estamos admitindo que as isoquantas de bem-estar social convergem assintoticamente ao eixo \overline{OQ} quando $X \rightarrow 0$, ou seja, não existe qualquer nível finito de qualidade ambiental Q ao qual a sociedade seja indiferente em relação ao nível mínimo de subsistência. Assim, se o nível de bem-estar social é W_0 , para estar em um nível de qualidade ambiental Q

Gráfico 4



a sociedade exige como compensação exatamente X' para manter o mesmo nível de satisfação W_0 . Esta variação compensatória na renda pode ser a medida do custo de degradação ambiental associado ao ponto de qualidade Q quando o nível de bem-estar social é W_0 . Formalmente, temos:

$$C_D(W_0, Q) = X'$$

$$\text{sujeito a } W(U_1(X'_1, Q), \dots, U_n(X'_n, Q)) = W_0$$

Observe-se que na definição acima não se fazem as simplificações do Gráfico 4.

Com estas duas definições — $C_C(Q)$ e $C_D(W, Q)$ —, podemos mostrar a equivalência do problema que minimiza a soma dos custos de controle com os de degradação, ou seja, a versão “generalizada” do problema 2, com o problema 1. Observe-se que a maximização no nosso caso é determinada pela escolha ótima de Q e de W , e não apenas de Q , como no problema 2. Evidentemente, o ótimo deste problema (a partir de Q e W) deve ser tal que a isoquanta W_0 seja tangente à fronteira $g(X, Q) = 0$ e, portanto, tal que $X = X'$.

Para tornar mais intuitiva, apresentamos a solução em etapas, começando com W_0 fixo, caso em que o problema é minimizar em Q a soma $C_C(Q) + C_D(Q)$, ou seja:

$$\text{Minimizar } \bar{X} = X + X'$$

$$Q, X, X'$$

$$\text{sujeito a } g(X, Q) = 0$$

$$X' \leq X$$

$$W(U_1(X'_1, Q), \dots, U_n(X'_n, Q)) = W_0$$

e cuja solução é a seguinte:⁶

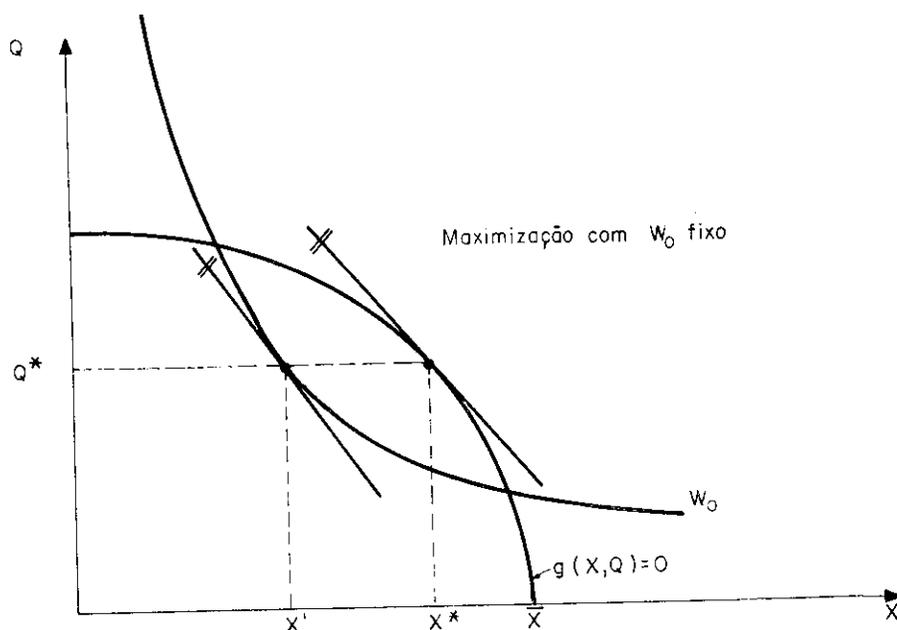
$$\frac{g_Q}{g_X} = \sum_{i=1}^n \frac{\partial U_i / \partial Q}{\partial U_i / \partial X'_i}$$

onde $g_Q = \partial g / \partial Q$ e $g_X = \partial g / \partial X$.

Esta condição, apresentada no Gráfico 5, implica que a escolha ótima de Q é tal que a tangente à isoquanta W_0 no ponto (X'^*, Q^*) seja paralela à tangente à fronteira g no ponto ótimo (X^*, Q^*) . Observe-se que esta condição é quase igual à do problema 1; a diferença é que a tangência a g se dá no ponto X , enquanto que a tangência a W_0 se dá em

⁶ Para o leitor interessado no desenvolvimento lagrangeano, ver Margulis (1983).

Gráfico 5



X' , o que ocorre em virtude do fato de que W_0 nesta primeira etapa foi considerada fixa (logo, a escolha deu-se apenas em Q). É de se esperar, portanto, que maximizando também em W a isoquanta ótima se desloque até tangenciar a fronteira g (condição de Kuhn-Tucker), levando X a coincidir com X' e, portanto, fazendo com que a condição de ótimo aqui seja idêntica à do problema 1.

Permitindo que o nível de referência de bem-estar W_0 seja também escolhido de maneira ótima, o problema é:

$$\text{Minimizar } C_D(W_0, Q) + C_C(Q) \\ \text{em } Q, W_0$$

cujas solução é idêntica ⁷ à do problema 1:

$$\frac{g_Q}{g_X} = \sum_{i=1}^n \frac{\partial U_i / \partial Q}{\partial U_i / \partial X_i}$$

⁷ O desenvolvimento deste lagrangeano também está em Margulis (1983).

Até este ponto mostramos que, definindo adequadamente custos de controle e de degradação, o problema que procura maximizar o bem-estar social equivale ao que procura minimizar os custos de meio ambiente, ou seja, a soma dos custos de controle com os de degradação. Resta-nos analisar a aplicação prática destes resultados, que no nosso caso foi feita a partir da interação com o MOCAM.

O objetivo do MOCAM é atender a um nível exógeno D de demanda, determinando a alocação de entrada e de operação das minas que minimiza os custos totais de produção. Supondo, simplificada, que existem apenas duas minas, a função-objetivo do MOCAM é:

$$\begin{aligned} & \text{Minimizar } C_1 S_1 + C_2 S_2 \\ & \text{sujeito a } S_1 + S_2 = D \end{aligned}$$

onde C_i é o custo de produção das minas ($i = 1, 2$) e S_i é o nível de produção das minas ($i = 1, 2$).

Observe-se que o modelo, na formulação acima, pode levar a uma solução que não coincide com aquela que maximiza o bem-estar social W , pois os custos C_i de produção não levam em conta os custos de controle e de degradação ambiental, os quais, se forem incluídos, fazem com que o modelo esquemático passe a ser:

$$\begin{aligned} & \text{Minimizar } C'_1 S_1 + C'_2 S_2 \\ & \text{sujeito a } S_1 + S_2 = D \text{ e } g(X, Q) \leq 0 \end{aligned}$$

onde $C'_i = C_i +$ custos de meio ambiente das minas ($i = 1, 2$) e $g(X, Q)$ é, como discutido anteriormente, a fronteira de possibilidades de transformação do bem agregado X em Q . Observe-se, entretanto, que agora a variável Q influencia C'_1 e C'_2 , de modo que a segunda restrição tem sentido.

Para mostrar como a utilização do MOCAM com estes custos nos permite fazer inferências sobre o ótimo social, observamos inicialmente que na prática existem padrões ambientais que supostamente tenham sido determinados a partir da maximização do bem-estar social levando em conta os aspectos ambientais.⁸ Assim, supondo que o padrão de qualidade

⁸ Esta hipótese é extremamente simplificadora, pois nos permite não tratar diretamente da escolha ou do estabelecimento de Q . A única maneira de realmente chegarmos ao ótimo a partir do MOCAM seria incorporar a ele os custos de degradação ambiental, embora com isso nos deparássemos com sérios problemas de medição, discutidos adiante. Por outro lado, na prática, os órgãos de meio ambiente "negociam"

de meio ambiente Q_L dado exogenamente seja igual a Q^* , infere-se, da segunda restrição do problema, que o valor ótimo de X também é conhecido.

Observe-se agora a relação $X_P + C_C + X = \bar{X}$, onde \bar{X} é a dotação inicial e X_P , C_C e X são os totais a serem gastos na produção de carvão, no controle ambiental e no consumo dos demais bens da economia, respectivamente. Nos problemas 1 e 2 apresentados anteriormente (maximização do bem-estar social e minimização dos custos de meio ambiente), X_P era fixo, pois a demanda era dada exogenamente e só se considerava “uma mina”, uma vez que não se levou em conta que diferentes alocações de minas forneceriam diferentes custos de produção. Com a qualidade ambiental dada *a priori* ($Q^* = Q_L$), o custo de degradação (C_D) é exógeno e, pela equivalência mostrada do problema 1 com o problema 2, a solução de maximizar o bem-estar social (ou maximizar X) é a mesma que a de minimizar C_C . Observe-se, finalmente, que o MOCAM é apenas uma extensão do problema 2 acima para considerar mais de uma mina, quando então X_P passa a ser variável, na medida em que o modelo pode escolher a mina de menor custo de produção e a minimização será conjunta com a minimização dos custos de controle pela dependência destes com as minas. Assim, o MOCAM, que leva em conta os aspectos ambientais, equivale ao problema de maximização do bem-estar social, desde que suponhamos que os padrões ambientais coincidem com o verdadeiro valor de Q^* (ou estão “satisfatoriamente próximos dele”).

A medição dos custos de controle (C_C) é relativamente simples, feita obviamente a partir dos custos tecnológicos (que supomos corresponder exatamente a quanto a sociedade está disposta a abrir mão do consumo de bens). Os custos de degradação, por outro lado, são de quantificação quase impossível. Nosso procedimento foi o de tentar avaliar C_C para as variáveis em que existem os padrões ambientais (como, por exemplo, poluições hídrica e atmosférica) e medir os custos de degradação para o caso de saúde e segurança dos mineiros. Evidentemente, estas medições dão-se por um critério econômico que não será necessariamente único.

os padrões de qualidade que devem ser atingidos, levando em conta uma série de fatores locais, inclusive da própria economia da atividade poluidora. Este mecanismo, apesar de menos rígido que um padrão nacional, por exemplo, pode de fato levar a níveis de qualidade ambiental bastante distintos do que seria socialmente desejável. Este é um aspecto que reconhecemos como uma séria limitação das medições aqui feitas.

A justificativa para havermos quantificado estes aspectos é unicamente a de que, caso não haja nenhuma estimativa deles, o custo social da tonelada média produzida fornecido pelo modelo matemático certamente estará subestimado. Estamos certos, contudo, de que as próprias medições são questionáveis, uma vez que elas jamais levam em conta efeitos psicológicos, bem como é impossível atribuir-se qualquer recompensa à própria vítima, somente a seus descendentes.

Finalmente, é interessante salientar que o custo para implantar medidas de controle simultâneo à atividade, de modo a atender à legislação do meio ambiente, é quase sempre menor que o custo de recuperação posterior. A prática, entretanto, mostra ser esta última muito mais freqüente, o que deve ser encarado simplesmente como uma ineficiência econômica, pois a empresa mineradora prefere não assumir sozinha o custo do controle e sim dividir com toda a sociedade o custo da degradação ambiental.

3 — Resumo das principais questões ambientais decorrentes da produção de carvão mineral

Nesta seção descrevemos sumariamente as principais questões de meio ambiente que ocorrem nas diversas atividades envolvidas na produção do carvão mineral. Dado o objetivo do trabalho, buscaremos tão-somente descrever os processos de contaminação dos recursos hídricos e as técnicas básicas de controle sugeridas, pois seu entendimento é importante para as avaliações quantificadas feitas posteriormente. Uma descrição da situação brasileira por estados e por bacias hidrográficas pode ser encontrada em Margulis (1983) e World Coal Study (1980). Dedicamos também uma seção específica às questões de saúde dos mineiros, que são afetadas pelo meio ambiente, por terem sua origem básica na poluição do ar dentro das minas.

3.1 — Mineração

Os impactos ambientais causados pela mineração do carvão dependem fundamentalmente do tipo de exploração utilizada, notadamente do fato de ela ser subterrânea ou a céu aberto. Os principais problemas referem-se à poluição hídrica e às alterações produzidas nos solos (a poluição atmosférica nesta etapa do ciclo do carvão pode ser considerada desprezível).

A poluição hídrica decorrente da mineração representa, juntamente com a disposição dos rejeitos e as águas negras do beneficiamento, o problema mais sério dentre todos os associados à produção de carvão no Brasil. A principal forma de poluição química é a drenagem ácida, que constitui perigo tanto nas minas em operação como nas desativadas, a céu aberto ou subterrâneas. Resumidamente, segundo a CETESB (s. d.): “A drenagem ácida das minas resulta da passagem da água através da mina onde a pirita está exposta à ação da oxidação do ar, água e bactérias. O carvão e as rochas das camadas vizinhas enterradas no solo contêm enxofre sob a forma de vários compostos. No processo de mineração, os materiais contendo enxofre são removidos e expostos ao ar e à umidade, resultando na oxidação do sulfeto para sulfato ferroso e ácido sulfúrico”. Após uma seqüência de reações químicas, “todo o enxofre, a princípio presente em uma forma insolúvel, está agora dissolvido no corpo receptor como ácido sulfúrico”. O baixo pH destas águas tende ainda a dissolver e, em consequência, a arrastar os metais pesados, como o ferro, o alumínio, etc., que, juntamente com os ácidos, têm efeitos danosos muito severos, pois são tóxicos à vida aquática, tornam as águas inapropriadas para uso doméstico, agrícola e, eventualmente, industrial (o conteúdo ácido tem efeito corrosivo em equipamentos metálicos).

O tratamento da drenagem ácida consiste basicamente na neutralização do pH da água com cal e na sedimentação dos sólidos, com a utilização da água tratada nas plantas de beneficiamento ou descarte nos rios.

No caso da mineração a céu aberto, o esquema de lavra adotado no Brasil, que não prevê as mínimas medidas de proteção ambiental, implica uma emissão ainda maior de sólidos para os recursos hídricos. Isto decorre do fato de o material estéril, originalmente encoberto pela camada de solo, ser amontoado em imensas pilhas completamente expostas, ficando sujeito à erosão, ou seja, arraste de sólidos. O controle desta poluição consiste na compactação destas pilhas com posterior recobrimento com o solo original, o que minimiza tanto a poluição hídrica como os impactos causados à estética da região.

Outros problemas decorrentes da mineração a céu aberto, e que são de difícil controle e avaliação em termos econômicos, são a interrupção no uso da terra, a expulsão da fauna, a destruição da flora e/ou florestas locais e a perda da atividade agrícola. Na mineração subterrânea, o principal impacto causado aos solos é a subsidência, ou seja, a queda das camadas deixadas vazias pela lavra, o que causa problemas para o futuro aproveitamento dos solos e danifica as estruturas já existentes, além de alterar a drenagem natural.

3.2 — Beneficiamento

Os problemas de poluição atmosférica decorrentes do beneficiamento do carvão também podem ser considerados desprezíveis, sendo a poluição hídrica o mais sério. O mecanismo que a propicia é o simples descarte final das águas de lavagem nos rios onde elas são captadas, conferindo-lhes características semelhantes às das águas de drenagem ácida. Dependendo do processo de beneficiamento utilizado, e principalmente do sistema de recuperação de finos, as águas de lavagem podem trazer grandes quantidades de sólidos em suspensão. O problema é ainda agravado, em geral, pelo grande consumo de água das unidades de beneficiamento.

Tanto a descarga ácida quanto o problema dos sólidos em suspensão podem ser evitados com a utilização da água em circuito fechado. O tratamento é semelhante ao da drenagem ácida, ou seja, correção do pH da água residuária com cal e uso de espessadores para sedimentação dos sólidos, possibilitando a recirculação das águas clarificadas para o processo. Esta tecnologia é amplamente conhecida, não demanda grandes investimentos adicionais, permite o cumprimento de legislações bastante rigorosas (nos Estados Unidos a carga poluidora das plantas de beneficiamento deve ser nula) e possibilita uma redução de cerca de 75% no volume de água limpa captada. Este procedimento é convencional no beneficiamento de diferentes minérios em praticamente todos os países desenvolvidos.

3.3 — Disposição dos rejeitos do beneficiamento

Como já salientado, a disposição dos rejeitos da mineração e do beneficiamento do carvão constitui um dos maiores problemas ambientais associados à sua produção no Brasil. É fácil compreender este fato porque, no processo de beneficiamento, quanto mais o carvão é tratado, maior será a quantidade de substâncias minerais contidas nos rejeitos, principalmente ferro e enxofre, elementos precursores das ocorrências de poluição hídrica e atmosférica.

A poluição atmosférica nesta atividade decorre essencialmente da combustão espontânea do material carbonoso dos rejeitos do beneficiamento, que é função de diversos elementos, notadamente da presença de oxigênio e de umidade, da temperatura e da composição do material. As substâncias

emitidas são principalmente óxidos de enxofre, nitrogênio e carbono, material particulado e hidrocarbonetos.

Além de pouco utilizados, os métodos de controle são ineficientes e caros, em face da dispersão geográfica das áreas de disposição dos rejeitos, o que torna o problema bastante sério, porque em geral atinge as cidades próximas a estas áreas, com intensidade que depende da dispersão dos poluentes no ar, da distância e das condições meteorológicas. As técnicas básicas de prevenção são o nivelamento, a compactação e o recobrimento do material, minimizando o contato com o ar e a água (isto é, a possibilidade de combustão) e o efeito sobre o aspecto estético.

Um dos impactos que ainda gera certa polêmica quanto aos seus efeitos, mas que certamente decorre das emissões da combustão espontânea, são as chuvas ácidas, que podem reduzir o pH dos recursos hídricos (que ao atingir certos níveis pode ser insuficiente para a sobrevivência de organismos vivos), produzem efeitos danosos na folhagem, diminuem a disponibilidade de nitrogênio do solo, causam alterações na germinação de sementes, etc. Estes efeitos nos solos são mais ou menos intensos conforme sua natureza ácida ou alcalina.

Com relação à poluição hídrica, que pode decorrer da disposição dos rejeitos da lavagem do carvão, o problema é semelhante ao dos rejeitos da mineração a céu aberto. Os efeitos são essencialmente os mesmos que os da drenagem ácida, embora as concentrações da lixívia dos rejeitos sejam maiores que as da mineração. A contaminação dos rios e/ou do lençol de água subterrâneo decorre da presença de ferro na lixívia, além do ácido sulfúrico originado da oxidação da pirita pelo ar, água e bactérias. A compactação dos rejeitos, o recobrimento do material e a posterior revegetação da área utilizada para evitar a combustão espontânea também são técnicas básicas adotadas no controle da poluição hídrica nesta etapa.

Deve-se salientar aqui que os baixos teores de matéria carbonosa por material minerado originam, no Brasil, uma fração de rejeitos do lavador de até 2/3 do total alimentado, além de outros 10% serem de lama do lavador, que, depois de decantada na bacia, também é rejeitada ou aproveitada em coquerias locais. Nos principais países produtores de carvão, a fração de rejeitos do lavador não chega em geral a 1/3 e, além disso, dada a melhor qualidade do carvão destes países, grande parte não é beneficiada, indo diretamente para o consumo. Com isto, são necessárias grandes áreas para disposição dos rejeitos e, mesmo que se façam os trabalhos de "preservação ambiental", perde-se parte da produtividade das terras e degrada-se, ao menos parcialmente, a estética destas áreas.

3.4 — Saúde dos mineiros

Com relação à saúde dos mineiros, devemos ressaltar inicialmente a falta de dados e de conhecimento de alguns aspectos técnicos envolvidos. Não são bem conhecidos os índices de incidência das doenças, bem como a interdependência (efeito sinérgico) entre elas (problemas respiratórios, cardíacos, cânceres de pulmão e estômago, hipertensão e surdez), além de não se dispor de uma avaliação precisa sobre os efeitos dos elementos radioativos e das poeiras de carvão e sua relação com os cânceres de pulmão e estômago, entre outros. De qualquer modo, o problema indubitavelmente mais sério das minas de carvão é a poeira das escavações, o que propicia uma maior incidência das doenças respiratórias, podendo-se mesmo colocar todas as outras em segundo plano.

Por motivos evidentes, a dimensão do risco e da incidência das doenças e acidentes é extremamente maior no caso da mineração subterrânea do que naquela que é feita a céu aberto. Em função disto, muito mais atenção vem sendo dada à questão das minas subterrâneas, que adicionalmente empregam cerca de 95% dos mineiros no Brasil.

As partículas das poeiras das minas⁹ podem prejudicar o funcionamento dos pulmões quando inaladas em grande quantidade ao longo do tempo, e a exposição contínua durante os anos de trabalho produz uma irritação mais ou menos constante no trato respiratório superior. A falta de ar também é significativa, mesmo entre os mineiros que não apresentam evidência de pneumoconiose ao raio X. Todos os pesquisadores acreditam que esta falta de ar é relacionada com uma doença broncopulmonar obstrutiva crônica não específica.

As pneumoconioses¹⁰ são doenças ocupacionais mais graves produzidas pela aspiração contínua e prolongada de poeiras, que se acumulam nos pulmões, provocando reação tissular.¹¹ A pneumoconiose dos trabalhado-

⁹ As poeiras das minas são compostas de proporções variadas de carvão, quartzo, mica, caulim, óxidos de ferro e alumínio e outros elementos em menores concentrações.

¹⁰ Para uma discussão mais detalhada do assunto, ver Office of Technology Assessment (s. d.) e *Jornal de Pneumologia*, 7 (2), jun. 1981.

¹¹ "Todas as poeiras das minas — das quais a do carvão é a mais proeminente — são classificadas em respiráveis ou não respiráveis, de acordo com seu tamanho. Em geral, é aceito que somente as menores partículas (menores que 5 μ em tamanho) são respiráveis, ficando retidas nos alvéolos e causando pneumoconiose, enquanto as maiores (poeiras não respiráveis) não penetram nos alvéolos e, por isso, parece que não causam a doença".

res das minas de carvão (PTMC), que é a que nos interessa, tem evolução lenta e sem regressão. Após um período de exposição de cerca de 10 a 15 anos, já aparece uma acentuada relação de "dose-resposta".

Os diferentes estágios da doença são classificados em categorias conforme a gravidade, sendo a sintomatologia, portanto, variada, indo desde um exame clínico praticamente normal, eventualmente associado à bronquite crônica ou à chamada asma dos mineiros (categoria 1), até aos tipos A, B, ou C, com queda do estado geral, apatia, emagrecimento, diminuição da força muscular e dispnéia aos médios e pequenos esforços. Nas fases finais da doença (fibrose maciça), o paciente encontra-se em estado grave, obrigado a permanecer no leito sob oxigênio constante, totalmente debilitado.

A incidência da PTMC varia conforme a composição geológica do solo e o tipo de mineração empregada, tendo a crescente mecanização das minas de subsolo gerado maior quantidade de poeiras finas, aumentando a incidência da doença. Além da sensibilidade individual, que tem papel importante no seu aparecimento, sabe-se também que o tipo de atividade exercida pelo trabalhador (furador, foguista, ajudante, eletricista, etc.) e o tempo de exposição às poeiras são fatores preponderantes na incidência da doença. O tempo médio do aparecimento para furadores e operadores de máquinas, por exemplo, é de apenas cerca de cinco anos. Percentualmente, a incidência de PTMC varia de 2% em regiões da Grã-Bretanha a 15% em regiões da Alemanha, França e Iugoslávia, enquanto no Brasil esta taxa é de cerca de 5 a 8%.

Para controle e prevenção da PTMC, o método mais eficiente parece ser a aspersão de água nas máquinas formadoras de pó, como cortadeiras, perfuratrizes, etc. Nos Estados Unidos existem padrões federais de ventilação nas galerias, exigência de aspersão de água, monitoramento de metano e poeira, além de um padrão de poeira de 2 mg/m³. A situação brasileira neste particular encontra-se bastante aquém do desejado, podendo-se atribuí-la tanto à falta de preocupação dos mineradores quanto à própria falta de conhecimento dos mineiros a respeito dos riscos a que estão sujeitos, aliada à necessidade de melhores salários.

4 — Avaliações quantitativas

Os valores aqui estimados referem-se aos custos de controle necessários para que se atinjam padrões ambientais considerados "aceitáveis" pela socie-

dade. Este é um procedimento usual na literatura, mas que quase certamente não leva a níveis ótimos de qualidade ambiental e de produção de carvão do ponto de vista de maximização do bem-estar social (ver Seção 2).

Lembramos que o objetivo deste trabalho é identificar, através da interação com o MOCAM, apresentado resumidamente na Introdução, a parcela dos custos de produção de carvão mineral que representa os custos ambientais. Alguns resultados da “rodada” do modelo com os dados sobre meio ambiente e saúde e segurança dos mineiros são apresentados de forma resumida no final desta seção.

Os aspectos de meio ambiente sobre os quais se tentou fazer avaliações quantificadas são em número de quatro: o primeiro diz respeito aos custos da mineração a céu aberto a ser feita futuramente, de modo a resguardar os padrões ambientais; o segundo refere-se aos custos do beneficiamento, também atendendo àqueles padrões, sendo seus subitens a disposição dos rejeitos e o tratamento da drenagem ácida; o terceiro refere-se à poluição já gerada, com o levantamento dos custos de recuperação das áreas cobertas com rejeitos de mineração a céu aberto e de beneficiamento; e, finalmente, o quarto aspecto refere-se ao custo de “recuperação e controle” da saúde e segurança dos mineiros.

As questões da saúde da população local, da estética das áreas de mineração e dos diversos impactos sócio-econômicos sentidos pelas comunidades locais, como conseqüência da degradação da qualidade ambiental, representam também custos sociais que devem ser atribuídos à produção de carvão mineral. Na execução do trabalho tentamos quantificar alguns destes itens, embora os dados disponíveis não possuíssem uma dose razoável de confiabilidade, além do fato de todos os valores a que chegamos serem de segunda ordem, em comparação com aqueles obtidos para os outros itens aqui apresentados. Em função disto, optamos por não considerar estes custos, acreditando que eles não representam de fato uma parcela de peso nos custos de degradação associados à poluição gerada na produção de carvão.

As quantificações envolvem uma série de dificuldades ligadas a aspectos até mesmo subjetivos sobre como medir os impactos, particularmente os referentes às questões de saúde e segurança dos mineiros. Alguns dos dados apresentados são bastante detalhados, com custos explicitados item a item, e outros são estimativas baseadas em bibliografia internacional, outros ainda provêm de contatos diretos mantidos com técnicos da área. De

qualquer modo, percebe-se uma disponibilidade bastante limitada de dados, o que não surpreende, tendo em vista tratar-se de um assunto que somente agora recebe a atenção devida. Adicionalmente, os custos de mineração, beneficiamento e, principalmente, recuperação de áreas abandonadas variam muito entre as regiões, minas e lavadores. Assim, os custos que levantamos tentam ser típicos e significativos para a média dos casos ocorrentes, podendo não ser nada realistas para situações particulares.

Os valores são apresentados em dólares constantes, que é a unidade utilizada pelo modelo. As conversões de cruzeiros para dólares foram feitas em julho de 1983, com o dólar considerado ao câmbio oficial. Também foi considerada a atualização do dólar pelo Índice de Preços por Atacado dos Estados Unidos, ano-base de 1975.

4.1 — Mineração a céu aberto com recuperação paralela

Entende-se por recuperação paralela o transporte do solo de uma frente de mineração para uma de recuperação, em geral no corte precedente,¹² seguido de recomposição topográfica e nivelamento do terreno (*grading*), recuperação do solo (calagem e adubação) e revegetação.

O valor adotado (de US\$ 1.00/t de ROM) foi adaptado a partir dos resultados de Misiolek e Noser (1982) para condições semelhantes às típicas do Brasil, coincidindo aproximadamente com aquele encontrado no trabalho pioneiro feito no Brasil por Klippel (s. d.). Misiolek e Noser relatam uma simulação, em computador, dos custos de recuperação paralela do carvão na mineração a céu aberto e tomam como parâmetros básicos a espessura da cobertura e do veio de carvão, além da produção anual da mina. Para ajustar os resultados ao caso brasileiro, baseamo-nos nos valores de US\$ 0.81/t de ROM ou US\$ 23,627.00/ha referentes ao estado do Colorado, cujos carvões têm características semelhantes aos das nossas grandes reservas a céu aberto.¹³ Considerando-se que a espessura típica

¹² Supõe-se que o manuseio do material estéril (*overburden*) esteja incluído no custo de mineração.

¹³ Capeamento de 47 pés, veio de carvão de 6,7 pés, produção anual de 2×10^6 t de ROM — comparáveis com os 45 pés de capeamento e 5,25 pés de veio de carvão tipicamente encontrados no Brasil. Ver *Informativo Anual da Indústria Carbonífera*, Brasília, jul. 1982 e jul. 1983.

do veio de carvão em Candiota é de 5,25 pés, inferior aos 6,7 pés do carvão do Colorado, ajustamos o custo para US\$ 1.03/t de ROM.

Ilustrativamente, os custos operacionais de mineração a céu aberto adotados pelo MOCAM variam de US\$ 4.50/t de ROM a US\$ 16.00/t de ROM, o que significa que o atendimento aos padrões ambientais pode aumentar os custos operacionais em mais de 20%.

4.2 — Beneficiamento

Existem quatro aspectos distintos a considerar na avaliação dos custos associados ao beneficiamento: o primeiro é o custo do fechamento dos circuitos dos lavadores atualmente existentes; o segundo refere-se ao acréscimo do custo operacional de beneficiamento gerado pelo fechamento do circuito; o terceiro é o custo operacional adicional de uma disposição “cuidadosa” dos rejeitos do beneficiamento; e o quarto aspecto relaciona-se com o custo do tratamento da drenagem ácida, que, apesar de não se referir diretamente ao beneficiamento, é aqui abordado em virtude do fato de geralmente ser feito junto com o das águas de lavagem.

Nossa estimativa sobre este item baseia-se essencialmente em um trabalho da Internacional de Engenharia S. A. (1983), que estuda separadamente o tratamento dos efluentes líquidos (incluindo o fechamento dos circuitos e o tratamento das águas de lavagem, de drenagem de mina e das pilhas de carvão) e a disposição “adequada” dos rejeitos sólidos do beneficiamento.

Adotamos, entretanto, uma avaliação diferente para os custos de investimento para fechamento dos circuitos, uma vez que os próprios autores reconheceram, em comunicação privada, que os valores estão subestimados. Estimamos que os investimentos necessários ao fechamento do circuito dos lavadores já existentes seria de US\$ 17.5 milhões, que correspondem a cerca de 10 a 15% do investimento por capacidade de operação, tendo como referência os contatos diretos mantidos com a CIENTEC e os dados contidos em FINEP (1981), no *Informativo Anual da Indústria Carbonífera* (1982 e 1983) e no trabalho da Internacional de Engenharia S. A. (1983). Tomando uma vida útil de 10 anos e uma produção anual estimada de 16.400.000 t de ROM em Santa Catarina, chegamos a um investimento equivalente de US\$ 0.16/t de ROM e a um acréscimo no custo operacional de beneficiamento de US\$ 0.36/t de ROM. Quanto à dispo-

sição dos rejeitos sólidos, o investimento anualizado, admitindo a vida útil de 13 anos, é de US\$ 0.02/t de ROM, com um custo operacional de US\$ 0.08/t de ROM.

Resumindo nossa estimativa, o custo total de meio ambiente no beneficiamento é de US\$ 0.62/t de ROM, o que corresponde a um máximo de 60% dos custos totais de beneficiamento.

4.3 — Recuperação das áreas cobertas com rejeitos (poluição já gerada)

Nesta subseção são apresentadas duas situações com custos distintos, ou seja, a recuperação das áreas cobertas com rejeitos da mineração a céu aberto e da pré-lavagem. Os rejeitos da mineração são principalmente pedras grandes e pesadas colocadas em pilhas de altura extremamente variável ou preenchendo antigas cavas de mineração, quando então não alteram tanto a topografia da área. Os rejeitos do beneficiamento são formados apenas por material de pequena granulometria e apresentam o inconveniente de se localizarem em áreas até mesmo afastadas dos lavadores, inclusive em regiões urbanas.

As estimativas conhecidas¹⁴ da área coberta com os rejeitos em Santa Catarina apresentam alguma discrepância entre si. Adotaremos aqui os valores estimados pela FATMA (que é a secretaria do meio ambiente daquele estado), que calcula existirem ali 2.000 ha cobertos com rejeitos da mineração a céu aberto e 200 ha no Rio Grande do Sul, além de 1.000 ha e apenas 80 ha cobertos com rejeitos do beneficiamento nos dois estados, respectivamente.

As estimativas dos custos de recuperação das áreas com rejeitos da mineração a céu aberto não são discutidas em detalhe nas referências internacionais. Contatos informais com os pesquisadores de quatro instituições envolvidas com a questão (CRM, IESA, CIENTEC e ECP) indicaram que estes custos devem ser de duas a quatro vezes aqueles relativos à recuperação simultânea. Conservadoramente, adotamos a menor destas estimativas (US\$ 2.00/t de ROM), que corresponde a US\$ 40.000.00/ha (assumindo uma densidade de 20.000 t de ROM/ha). Assim, o custo total

¹⁴ Ver, por exemplo, Internacional de Engenharia S. A. (1983) e FATMA/Engenheiros Consultores e Projetistas (s. d.).

de recuperação das áreas cobertas com rejeitos da mineração a céu aberto no Brasil é estimado em cerca de US\$ 88,000,000.00, dos quais US\$ 80,000,000.00 referentes ao estado de Santa Catarina.

Quanto aos custos de recuperação das áreas cobertas com rejeitos do beneficiamento, a única estimativa encontrada foi a de um estudo-piloto da FATMA/Engenheiros Consultores e Projetistas (s. d.), que considera diferentes técnicas de controle e diferentes tipos de área (urbana, suburbana ou rural). O custo médio final obtido foi de US\$ 7,400.00/ha, que, multiplicado pela estimativa de 1.080 ha a recuperar, fornece um custo fixo adicional de US\$ 8,000,000.00, dos quais US\$ 7,400,000.00 referentes ao estado de Santa Catarina.

4.4 — Recuperação e controle da saúde e segurança dos mineiros

Ressaltamos mais uma vez que os valores aqui apresentados são certamente subestimativas daqueles que seriam possíveis de se atribuir à saúde e à vida de uma pessoa. Além disso, nossa estimativa definitivamente *não* tenta captar estes valores, mas apenas fazer as medidas tradicionalmente empregadas na literatura, quais sejam, o valor da produção econômica que se perde, os custos de tratamento das diversas doenças e o salário-insalubridade pago aos trabalhadores. Como já salientado, a motivação para se proceder desta maneira é a constatação de que a alocação ótima de recursos no setor carbonífero poderá se alterar caso se considerem estes custos, bem como deverá aumentar o custo médio da tonelada produzida. Estamos certos de que o alcance destas medidas é bastante limitado, uma vez que, no caso da segurança dos mineiros, por exemplo, a consideração do incremento dos custos não será o único determinante da opção por uma tecnologia de mineração segura.

Outra motivação para o estudo e a avaliação quantificada das questões de saúde dos mineiros foi a de que ela nos parece afeta ao meio ambiente, pois tem sua origem básica na poluição atmosférica dentro das minas.

Tratando inicialmente apenas das questões de saúde, verificamos que há dois tipos de custos envolvidos. O primeiro é o salário-insalubridade pago, que é uma medida¹⁵ de quanto a sociedade está disposta a pagar aos

¹⁵ Supomos, em princípio, que não há grande poder de barganha da classe, de modo a "superestimar" os custos que aqui discutimos.

mineiros para que eles trabalhem nas minas, correndo riscos de saúde conhecidos (inclusive por eles). Este valor, que é aceito pelos mineiros, já está internalizado no custo da tonelada de carvão produzida. O segundo refere-se ao fato de que, independentemente do pagamento do salário-insalubridade, persistem as doenças pulmonares dos trabalhadores, que demandam um tratamento e têm um custo associado. É necessário analisar como é financiado o tratamento destas doenças -- se pela previdência social, se pela empresa mineradora ou se pelo próprio trabalhador -- para esclarecer se ele já está incluído no custo de mercado do carvão. De fato, é a previdência social que paga o tratamento de qualquer doença ou acidente de trabalho, desde que, como usualmente ocorre, o hospital a que se recorra tenha convênio com o INPS. É fácil perceber que os riscos incluídos na mineração de carvão são muito maiores que os das demais atividades profissionais, havendo portanto uma distorção no custo social da tonelada de carvão produzida, no sentido de que os setores com menores riscos de acidentes estão contribuindo para o tratamento da saúde dos mineiros e, portanto, "escondendo" parcialmente o verdadeiro custo social de se produzir carvão. Uma medida para esta distorção seria a diferença entre o custo do tratamento e a contribuição feita pelo trabalhador e pela empresa. Ela *não* está embutida no preço da tonelada de carvão e, portanto, deve ser adicionada ao salário-insalubridade para se obter uma medida dos custos sociais relativos à degradação da saúde dos trabalhadores.

A inclusão das questões de segurança nas quantificações deve-se unicamente, como já salientado, ao fato de que o salário-insalubridade reflete também o risco de acidente de trabalhar numa mina subterrânea, sendo impossível distinguir qual parcela do salário-insalubridade refere-se à saúde dos mineiros e qual diz respeito aos acidentes.

A medição da parte relativa ao salário-insalubridade é simples, mas devemos ressaltar que ele, por si, pode não refletir a disposição do trabalhador de incorrer em riscos, pois o que importa a ele é o salário total. De fato, nem existe o salário-insalubridade no Brasil, uma vez que ele foi aglutinado ao salário-base. Como, entretanto, a qualificação dos trabalhadores das minas subterrâneas que ganham o piso salarial é igual à de um trabalhador da construção civil que percebe um salário mínimo, decidimos considerar a diferença entre o piso salarial dos mineiros e um salário mínimo como sendo a medida do salário-insalubridade, que em outubro de 1983 foi de cerca de US\$ 82.00. Fazendo a compensação para

o turno de trabalho dos mineiros, que é de seis horas, temos um valor de US\$ 100.00/mês, equivalentes a US\$ 0.57/t de ROM.¹⁶

Com relação aos custos de tratamento das doenças, não apresentaremos detalhadamente todos os cálculos e dados levantados. Apenas, ilustrativamente, podemos dizer que a metodologia consistiu em identificar as taxas médias de incidência das doenças e acidentes e multiplicá-las pelos respectivos custos médios de tratamento. Os números a que assim chegamos foram de US\$ 0.03/t de ROM para os acidentes fatais,¹⁷ US\$ 0.12/t de ROM para os acidentes não fatais e US\$ 0.08/t de ROM para as doenças pulmonares. Quanto às contribuições feitas à previdência social, pela empresa e pelo trabalhador, nossa estimativa é de US\$ 0.15/t de ROM.¹⁸

Sumariando, temos que o valor que atribuímos ao custo social da degradação da saúde dos mineiros nas minas subterrâneas é de US\$ 0.80/t de ROM (US\$ 0.57/t de ROM da insalubridade mais US\$ 0.23/t de ROM associado ao tratamento das doenças). A contribuição feita à previdência social é de US\$ 0.15/t de ROM e já estava internalizada no modelo, bem como o salário-insalubridade.

5 — Análise dos resultados

Inicialmente, sumariamos os valores relativos aos aspectos de meio ambiente adotados na interação com o MOCAM. Os custos operacionais da

¹⁶ Usando os dados do DNPM [ver *Informativo Anual da Indústria Carbonífera* (1982 e 1983)], em 1982 o número de trabalhadores das minas subterrâneas era de 8.423 e a produção brasileira foi de 19.103.980 t de ROM. Multiplicando então os US\$ 100.00/mês por 13 salários/ano e o resultado por 8.423 mineiros, obtemos o total pago em salários-insalubridade: US\$ 10,949,900.00. Dividindo este número pela produção do ano, obtemos o valor apresentado de US\$ 0.57/t de ROM.

¹⁷ Os custos associados aos acidentes fatais são medidos usualmente pela perda da produção que a morte (ou a incapacitação total) do trabalhador acarreta; esta perda é feita multiplicando-se a vida útil residual do trabalhador pelo salário recebido. O sistema do INPS de compensação por acidentes fatais (ou incapacitação total), por exemplo, considera 6.000 dias como a vida útil residual do trabalhador. Usamos basicamente este procedimento e chegamos ao valor apresentado no texto.

¹⁸ Consideramos a contribuição de 8% do trabalhador e de 10% da empresa. Como o salário é de US\$ 144.00/mês, temos uma contribuição anual de US\$ 336.00/trabalhador. Multiplicando pelos 8.423 mineiros e dividindo pela produção de 19.103.980 t de ROM, chegamos ao valor apresentado de US\$ 0.15/t de ROM.

mineração a céu aberto ficam aumentados em US\$ 1.00/t de ROM, os de beneficiamento em US\$ 0.62/t de ROM, as questões de saúde dos mineiros representam um custo de US\$ 0.80/t de ROM e os custos de recuperação das áreas abandonadas somam US\$ 96,000,000.00. Observe-se que, como a função-objetivo do modelo é a de minimizar custos, os custos fixos devem ser tratados exogenamente, pois não interferem na solução ótima, razão pela qual os custos de recuperação das áreas abandonadas não são medidos em dólares por tonelada.

Como os únicos aspectos de meio ambiente tratados neste trabalho referem-se aos módulos de mineração e de beneficiamento, é de se esperar que as alterações que eles causem à solução do modelo sejam perceptíveis praticamente apenas nestas etapas do ciclo do carvão. Por conseguinte, também, só nos parece interessante analisar aqui a variação percentual do total ótimo a ser gasto na produção do carvão, quando são comparadas a situação que leva em conta os aspectos do meio ambiente com aquela que não os considera, assim como eventuais alterações nas principais variáveis deste módulo do MOCAM. Com relação a estas últimas, salientamos que são todas praticamente desprezíveis, razão pela qual não serão aqui apresentadas.¹⁹

O total a ser gasto em mineração até o ano 2000 (horizonte de planejamento) fornecido pelo modelo é de US\$ 3,264,179.00. A parcela de meio ambiente de todas as minas²⁰ corresponde a um total de US\$ 317,025,000.00, ou seja, 9,71% do custo total de mineração. No beneficiamento, o gasto total é US\$ 982,228,000.00, enquanto a parcela de meio ambiente é de US\$ 136,573,000.00, correspondendo a 13,9%. A participação do meio ambiente no total da mineração e do beneficiamento é de 10,68%. Se incluirmos também os custos fixos (US\$ 96,000,000.00) relativos à recuperação das áreas abandonadas — que não entraram no modelo —, a parcela total de meio ambiente passa a ser de 12,94%.²¹

A maioria dos trabalhos consultados chega a estimativas da parcela dos custos ambientais envolvidos na produção de carvão mineral discretamente

¹⁹ Em Margulis (1983), entretanto, são apresentadas detalhadamente as principais destas pequenas alterações.

²⁰ US\$ 1.00/t de ROM nas minas a céu aberto e US\$ 0.80/t de ROM nas de subsolo, multiplicados pelas respectivas produções.

²¹ A parcela de meio ambiente (US\$ 96,000,000.00 relativos à poluição gerada + US\$ 317,025,000.00 da mineração + US\$ 136,573,000.00 do beneficiamento) dividida pelo custo da produção (US\$ 3,264,179,000.00 da mineração + US\$ 982,228,000.00 do beneficiamento) dá o valor apresentado de 12,94%.

superiores às apresentadas acima. Dois fatores principais nos parecem conduzir a esta situação. O primeiro deles é que os padrões de saúde e segurança dos mineiros são bastante mais severos nos países desenvolvidos, o que traduz apenas o nível de bem-estar social mais elevado. Isto quer dizer, em relação à análise da Seção 2 (ver Gráfico 2), que a curva de custos de degradação no caso americano, por exemplo, está acima daquela que se verifica no caso brasileiro. Como os custos de controle são essencialmente os mesmos, é de se esperar que o ótimo no caso americano esteja num ponto de qualidade ambiental mais elevado (uma hipótese feita quando supusemos que o ponto da legislação coincide com o ótimo social). Neste caso, os custos de controle são mais elevados, mas os de degradação podem ser inclusive menores que no caso brasileiro. A diferença de valores associados à saúde (degradação + controle), de US\$ 9.50/t de ROM no caso americano [ver OECD (1978)] para nossa estimativa de US\$ 0.80/t de ROM, decorre então: a) do fato de que a curva de custos de degradação americana deve estar muito acima daquela que se verifica no caso brasileiro; b) do nível de preços de tratamento e assistência médica, que é obviamente muito mais elevado nos Estados Unidos, ou seja, internações, assistência médica, medicamentos são muito mais caros neste país (o que eleva os custos de degradação); e c) da deficiência, já salientada no trabalho, de não ter sido possível captar e medir todos estes efeitos, de modo que o valor a que chegamos no caso brasileiro deve estar subestimado.²²

Outro fator que nos parece importante para justificar a discrepância entre os valores aqui apresentados e os da literatura é a abrangência do estudo. Por exemplo, os custos de controle associados à poluição atmosférica decorrente da mineração e da secagem térmica do carvão lavado e também os custos de degradação associados à subsidência foram aqui considerados de segunda magnitude e desprezados, enquanto Morgan *et alii* (1973) estimam que eles sejam cerca de US\$ 2.80/t de ROM nos Estados Unidos.

Com relação aos itens de meio ambiente propriamente, a parcela dos custos ambientais em relação aos custos totais de produção do caso americano deve ser bastante parecida com a do caso brasileiro, pois as relações

²² Pode-se levantar a hipótese também de que os padrões de saúde referidos no caso americano sejam excessivamente rigorosos, afastando-se do que seria socialmente ótimo e levando a uma elevação dos custos de degradação e/ou controle, que neste caso particular nos parece bastante plausível.

de custos ambientais e de custos de produção de ambos os países devem ser as mesmas, o que torna as parcelas de meio ambiente praticamente iguais. Juntando-se este fato à diferença observada nos custos associados à saúde e segurança dos mineiros, chega-se à discreta diferença entre as parcelas totais de meio ambiente no Brasil e nos países desenvolvidos.

Devemos salientar ainda um aspecto não abordado até este ponto, referente ao cumprimento dos padrões ambientais, considerados ótimos do ponto de vista econômico. Pode existir uma grande defasagem entre a adoção de todos os controles por parte dos mineradores e a satisfação dos padrões previstos. Em verdade, além do controle atual, é fundamental a recuperação das áreas abandonadas, responsáveis por grande parcela da poluição corrente. Os custos associados a esta recuperação são diluídos em um período, por exemplo, de 20 anos, como foi no nosso caso. Neste período de execução da recuperação, os custos de controle levantados não correspondem a um nível de qualidade ambiental ótimo. Uma maneira de medirmos os custos ambientais totais neste período é através dos custos de degradação, como se faz em Morgan *et alii* (1973), Pearce (1976) e Penner e Ierman eds. (1974). A medição destes custos é necessariamente subjetiva e quase sempre de confiabilidade questionável. Os itens incluídos neste rubrica são tipicamente os aspectos estéticos e a degradação da qualidade das águas, ficando excluídos aspectos como o impacto sobre a flora e a fauna locais, a perda da piscosidade, os impactos na saúde da população local atingida pela poluição (que foi aqui tentada mas considerada de segunda magnitude), etc.

A quantificação dos custos de degradação não foi feita aqui porque o levantamento das informações necessárias a estas medidas exigiria um novo porte do trabalho, bem como a pequena disponibilidade de dados tornar-se-ia quase certamente um impedimento a estas medidas. Como é fácil perceber, são bastante escassas as informações acerca da própria qualidade das águas locais, da qualidade do ar, da saúde da população local, das deficiências e do valor que as pessoas atribuem à qualidade do meio ambiente em que vivem, quais os consumidores potenciais das águas atualmente contaminadas, alterações observadas na microflora e fauna locais, etc.

Apesar de todas as deficiências e imprecisões apontadas, acreditamos que este trabalho seja uma tentativa de fazer uma avaliação das principais questões ambientais observadas na produção de carvão mineral para o caso brasileiro, e cujos resultados observados parecem coerentes com a bibliografia conhecida, feitas as ressalvas acima.

Bibliografia

- ARROW, Keneth. *Social costs and individual values*. Cowles Comission Monograph, 12. 2.^a ed.; Nova York, John Wiley & Sons Inc., 1963.
- BAUMOL, William J., e OATES, Wallace E. *The theory of environmental policy: externalities, public outlays and the quality of life*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1975.
- Carvão de Pedra*, Rio de Janeiro, 14 (70/71), jul./ago. 1982.
- CETESB. *Controle de poluição em minas de carvão*. São Paulo, s. d.
- CONTADOR, Cláudio R. *Avaliação social de projetos*. São Paulo, Atlas, 1981.
- DE CICCIO, Francesco M. G. A. F. *Brasil, 1980: estatísticas de acidentes do trabalho*. São Paulo, FUNDACENTRO, 1982.
- DIAS, Artur C. *Recuperação de áreas mineradas*. (Trabalho apresentado no Congresso Brasileiro de Conservação do Solo, Brasília, 27-31 out. 1980.) Poços de Caldas, Alcoa Alumínio S. A., 1980.
- DOYLE, William S. *Deep coal mining: waste disposal technology*. Park Ridge, New Jersey, Noyes Data Corporation, 1976a.
- . *Strip mining of coal: environmental solutions*. Park Ridge, New Jersey, Noyes Data Corporation, 1976b.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Processes, procedures, and methods to control pollution from mining activities*. EPA-430/9-73-011. Washington, D. C., out. 1973.
- FATMA/ENGENHEIROS CONSULTORES E PROJETISTAS (ECP). *Avaliação ambiental da região carbonífera do estado de Santa Catarina*. Florianópolis, s. d.
- FEUERSCHUETTE, Irmoto J. *O carvão nacional como matéria-prima para a indústria química*. Imbituba, Indústria Carboquímica Catarinense S. A., 1983.
- FINEP. *Informações técnicas e econômicas preliminares para a elaboração de um modelo de otimização para o carvão mineral no Brasil*. Rio de Janeiro, maio 1981.

- FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA (CIENTEC). *Projeto conceitual de proteção ambiental – mina de Gravataí*. Porto Alegre, s. d.
- Informativo Anual da Indústria Carbonífera*, Brasília, jul. 1982 e jul. 1983.
- INTERNACIONAL DE ENGENHARIA S. A. *Preservação do meio ambiente: relatório conceitual*. (Relatório preparado para o Sindicato Nacional da Indústria da Extração de Carvão – SNIEC, Diretoria de Santa Catarina.) Vol. 1. Rio de Janeiro, 1983.
- Jornal de Pneumologia*, 7 (2), jun. 1981.
- KLIPPEL, Altair F. *Regeneração de solos em áreas mineradas a céu aberto nas jazidas Boa Vista e Shumaikal*. Porto Alegre, Companhia Riograndense de Mineração, s. d.
- LEUSIN, João Carlos. *Minas do Leão I e II e mina do Iruí: preservação do meio ambiente*. Porto Alegre, Companhia Riograndense de Mineração, 1983.
- LIN, William, *et alii*. Land reclamation and strip mined coal production in Appalachia. *Journal of Environmental Economics and Management*, 3 (3):236-52, out. 1976.
- MARGULIS, Sérgio. *Impactos ambientais decorrentes da produção de carvão mineral – uma abordagem quantificada*. Texto para Discussão do Grupo de Energia, 18. Rio de Janeiro, IPEA/INPES, 1983.
- MISIOLEK, Walter, e NOSER, Thomas C. Coal surface mine land reclamation costs. *Land Economics*, 58 (1):67-85, fev. 1982.
- MODIANO, Eduardo M., e TOURINHO, Octavio A. F. A economia do carvão mineral. *Pesquisa e Planejamento Econômico*, Rio de Janeiro, 12 (1): 51-86, abr. 1982.
- MORGAN, M. Granger, *et alii*. The social costs of producing electric power from coal: a first-order calculation. *Proceedings of the IEEE*, 61 (10): 1.431-42, out. 1973.
- OECD. *Steam coal, prospects to 2000*. Paris, 1978.
- OFFICE OF TECHNOLOGY ASSESSMENT. *The direct use of coal: prospects and problems of production and combustion*. Washington, D. C., s. d.
- Impactos ambientais decorrentes da produção de carvão mineral*

- PEARCE, D. W. *Environmental economics*. Londres, Longman, 1976.
- PENNER, S. S., e ICERMAN, L., eds. *Energy, demands, resources, impact, technology and policy*. Vol. I. Reading, Mass., Addison Wesley Publ. Co., 1974.
- PIATNICK, Slawomir. *Beneficiamento de carvões*. 1980.
- RANDALL, Alan, *et alii*. Reclaiming coal surface mines in Central Appalachia: a case study of the benefits and costs. *Land Economics*, 54 (4): 472-89, nov. 1978.
- Relatório do Grupo de Trabalho Interministerial criado pela Portaria n.º 330, de 16-3-1981. Vol. 1 e relatório final. Brasília, jun. 1981.
- SIDDIQI, Toufig, e JAMES, David. Coal use in Asia and the Pacific: some environmental considerations. *Energy*, 7 (3):281-300, mar. 1982.
- THUROW, Delmar. *Mina de Candiota, preservação do meio ambiente – reabilitação do meio ambiente*. Porto Alegre, Companhia Riograndense de Mineração, 1983.
- UFRGS – Núcleo Interdepartamental de Estudos Ecológicos. *Estudos sobre o impacto ecológico da mineração e do beneficiamento do carvão na região sul do estado de Santa Catarina*. (Trabalho realizado em convênio com a FATMA de Santa Catarina.) Porto Alegre, jan. 1978.
- VARIAN, Hal. *Microeconomic analysis*. Nova York, W. W. Norton & Co., 1978.
- WORLD COAL STUDY (WOCOL). *Coal: bridge to the future*. Cambridge, Mass., Ballinger Publ. Co., 1980.

(Originais recebidos em maio de 1984. Revistos em dezembro de 1984.)