

Carvão e Meio Ambiente

Centro de Ecologia

da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul



Editora
da Universidade

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Carvão e meio ambiente é fruto da colaboração de inúmeros grupos de trabalho da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, tendo contado com pesquisadores de outras instituições com o objetivo de estudar os efeitos da exploração e do uso do carvão sobre o meio ambiente, na Região Carbonífera do baixo Jacuí, no Rio Grande do Sul.

A Região, nos seus aspectos ambientais e sociais, é tratada de modo global na primeira parte do livro, que relata sobre a geologia, o clima, os solos, a vegetação e as características demográficas, econômicas e jurídico-políticas.

A partir da descrição geral busca-se uma síntese dos aspectos ambientais e socioeconômicos, visando analisar a sustentabilidade econômica e ambiental da exploração e do uso do carvão.

Estudos sobre as conseqüências da queima do carvão, na atmosfera local, no solo e na água, são abordados nos tópicos ligados ao meio físico. Especial atenção

está voltada para a recuperação de áreas mineradas e com sugestões para os tomadores de decisão quanto ao monitoramento e ao gerenciamento ambiental.

Animais e plantas foram alvo de estudos específicos com objetivo de identificar indicadores dos impactos de atividades carboníferas sobre os organismos vivos, bem como os aspectos relacionados à saúde pública.

A organização social da região e seu engajamento na melhoria do ambiente ocorreram através de estudos sobre as ações de educação ambiental promovidas por escolas e associações comunitárias.

Quer pela caracterização geral da região, quer pelos estudos específicos, *Carvão e meio ambiente* trata de forma aprofundada e original os mais diversos tópicos associados à problemática da exploração e do uso do carvão e suas conseqüências sobre o meio físico, os organismos vivos e a sociedade.

Carvão e Meio Ambiente

Centro de Ecologia

da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul



Editora
da Universidade

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

RESERVA TÉCNICA
Editora da UFRGS

© dos autores
1ª edição: 2000

Direitos reservados desta edição
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Capa: Paulo Antonio da Silveira
Foto da capa: Geraldo Mario Rohde
Editoração eletrônica: William Wazlawik
Toni Peterson Lazaro
Fernando Piccinini Schmitt

C397c Centro de Ecologia/UFRGS
Carvão e meio ambiente/ Centro de Ecologia/UFRGS. – Porto Alegre : Ed. Universidade/UFRGS, 2000.

1. Carvão – Meio ambiente. I. Título.

CDU 622.33:634.0.11

Catálogo na publicação: Mônica Ballejo Canto – CRB 10/1023

ISBN 85-7025-563-2

CARV
C 332

Carvão e Meio Ambiente

RESERVA TÉCNICA
Editora da UFRGS



**UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO
GRANDE DO SUL**

Reitora

Wrana Maria Panizzi

Vice-Reitor

Nilton Rodrigues Paim

Pró-Reitor de Extensão

Luiz Fernando Coelho de Souza

EDITORA DA UNIVERSIDADE

Diretor

Geraldo F. Huff

CONSELHO EDITORIAL

Anna Carolina K. P. Regner

Christa Berger

Eloir Paulo Schenkel

Georgina Bond-Buckup

José Antonio Costa

Livio Amaral

Luiza Helena Malta Moll

Maria da Graça Krieger

Maria Heloisa Lenz

Paulo G. Fagundes Vizontini

Geraldo F. Huff, presidente



Editora da Universidade/UFRGS • Av. João Pessoa, 415 - 90040-000 - Porto Alegre, RS - Fone/fax (51) 224-8821, 316-4082 e 316-4090 - E-mail: editora@orion.ufrgs.br - <http://www.ufrgs.br/editora> • **Direção:** Geraldo Francisco Huff • **Editoração:** Paulo Antonio da Silveira (coordenador), Carla M. Luzzatto, Cláudia Bittencourt, Maria da Glória Almeida dos Santos, Najára Machado • **Administração:** Julio Cesar de Souza Dias (coordenador), José Pereira Brito Filho, Laerte Balbinot Dias, Norival Hermeto Nunes Saucedo • **Apoio:** Idalina Louzada, Laércio Fontoura.

“A VIRTUDE DA MODERAÇÃO”: UMA ORIENTAÇÃO DE POLÍTICA NACIONAL PARA O CARVÃO NO SUL DO BRASIL

José Ginoris Martín
César Antônio Leal

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico auto-sustentado dos estados do sul do Brasil depende da disponibilidade de energia e custos razoáveis para suprir uma demanda crescente. Infelizmente, não há alternativas óbvias para atender a demanda reprimida. A região não é rica em combustíveis fósseis (relativamente) limpos e tampouco é provável que a energia nuclear possa ser usada num futuro próximo, devido à falta de disponibilidade de capital e de aceitação popular. O potencial hidroelétrico não está esgotado, mas o aumento da consciência da população sobre os reais custos sociais e danos ao meio ambiente de áreas da terra alagadas por barragens reduz as chances de novas hidroelétricas, antes de haver uma folga na demanda. Tanto a geração eólica como a geotérmica não deverão pesar no quadro energético. O uso mais eficiente de energia deve ser uma parte importante de qualquer solução racional de longo prazo e, mesmo que alguns poucos abastados privilegiados adotem uma ética conservacionista, as necessidades reprimidas dos despossuídos continuará a pressionar para cima a demanda. Isto nos deixa duas opções que muito tem em comum, além de serem ambas fontes locais: utilização de energia solar e carvão.

A utilização de energia solar é, em princípio, uma alternativa limpa e duradoura. Em qualquer portfólio racional de alocação de energia, geradores solares de eletricidade e coletores solares deveriam ter uma contribuição substancialmente maior do que tem agora na região. Reservas domésticas de carvão não são alternativas nem perenes nem limpas, mas que podem ser atraídas: o carvão é uma fonte de energia relativamente concentrada e as necessidades de capital na opção do carvão (deixando de lado os custos da limpeza e os problemas de saúde dos mineiros) são modestos.

Dada a natureza das alternativas, decisões importantes podem ser feitas com

base no equivalente a paradigmas maquinéistas, baseados na doutrina dos dois princípios em contradição do bem e do mal. Tais decisões podem custar caro. Em *Ética Nicômano*, Aristóteles descreve “virtude” com “um estado relacionado com escolha (*prohairesis*), baseado em uma média (*em mesoteti*) relativa a nós, determinada por um princípio racional (*logos*) e no modo pelo qual um homem com sabedoria prática (*phronimos*) o determinaria” (Ref. [5], 1106b326-1107a2).

Há vários anos a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) estuda tanto o valor potencial como os custos ambientais e financeiros do uso do carvão regional (ver [1] e [2]). Com base na pesquisa derivada deste interesse, pode-se traçar esquematicamente uma política energética racional para a região. Mais especificamente, podem-se alinhar idéias para uma política regional para utilização do carvão. Nós defendemos que a política regional deveria ser *aquela cujo objetivo é adicionar valor ao carvão minerado de modo a tirar vantagem deste recurso mineral e, ao mesmo tempo, aliviar o impacto social e ao meio ambiente da sua utilização.*

Necessariamente estas conclusões serão de natureza geral: o próprio Aristóteles nos chama a atenção que “na área das ações, assim como na medicina ou na navegação, qualquer relato genérico deve carecer de detalhe e precisão” (Ref. [5], 1103b34-1104a10). Entretanto, esta cautela não implica em que especificidades não possam ser reveladas para ilustrar o relato geral. Aqui nós sugerimos que o valor do carvão pode ser melhorado pelo seu uso como: 1) *matéria prima para a indústria de materiais avançados baseada no uso de carbono;* 2) *matéria prima para a manufatura, com uso de energia solar, de combustíveis e outras substâncias químicas e/ou* 3) *combustível em usinas de energia elétrica com ciclo avançado e co-geração.*

Os objetivos deste trabalho foram: 1. Apresentar um breve sumário para ilustrar alguns dos custos sociais e ambientais que representam um desafio ao uso do carvão brasileiro; 2. Colocar este desafio num contexto de um quadro em mudança, onde o carvão vai certamente desempenhar um papel com conseqüências para o meio ambiente ainda previsíveis; 3. Descrever o trabalho até aqui realizado pelos autores e por outros, nas três sugestões aqui apresentadas sobre como melhorar o valor do carvão de modo a aliviar os seus impactos sociais e ao meio ambiente.

IMPACTOS DO CARVÃO SOBRE O HOMEM E SOBRE O MEIO AMBIENTE

O Rio Grande do Sul, o Estado mais ao sul do Brasil, junto ao Uruguai e Argentina, concentra 90% das reservas de carvão do País, [6]. A impressionante descrição das pesadas condições de trabalho dos mineiros em minas subterrâneas de Charqueadas, em [2] não se aplicam ao trabalho dos mineiros que operam equipamentos modernos de remoção de terra em minas a céu aberto, bem administradas, como as atualmente operadas pela COPATEL, na área de Butiá. Lá, há uma preocupação com a segurança dos trabalhadores bem como com a restauração ambiental após a mineração.

O uso direto ou indireto do carvão como combustível ou matéria prima em processos industriais implica, necessariamente, em um impacto sobre o meio ambiente. Na própria mineração, o simples ato de remover o carvão da mina no caso de mineração

a céu aberto (há várias no sul do Brasil) modifica a topografia local com alteração profunda da camada superficial do solo, eliminação de vegetação, liberação de gases e introdução de substâncias potencialmente perigosas na atmosfera e nos ambientes aquáticos. O alto teor de cinzas, em geral, requer a redução de tamanho (moagem) e conseqüente geração de finos e poeira, assim como a geração de efluentes líquidos contaminados. A queima gera grande quantidade de cinza propriamente dita que precisa ou ser utilizada (fabricação de cimento por exemplo) ou adequadamente descartada.

Os principais responsáveis pelos problemas ambientais ligados aos uso de carvão são os dióxido de enxofre (SO_2), óxido nitroso (NO_x) quando o processo envolve combustão com ar, hidrocarbonetos poliaromáticos (muitos deles potencialmente carcinogênicos para o homem e animais), dióxido de carbono (CO_2), elementos pesados (mercúrio, chumbo e cádmio) e o calor rejeitado. A introdução de algumas dessas substâncias ou de calor no meio ambiente (solo, águas e atmosfera) provoca alterações, na maior parte das vezes danosas, que variam desde modificações na flora e na fauna nas imediações do local de liberação até efeitos globais como mudanças climatológicas decorrentes do aumento de CO_2 na atmosfera [7]. Apesar de os teores de enxofre dos carvões gaúchos serem, em geral, relativamente baixos, ao redor de 1,5% em base seca, o uso de grandes quantidades de carvão como combustível, sem tratamento dos efluentes gasosos para remoção do SO_2 , levaria à liberação de quantidades desastrosas de material no meio ambiente. O SO_2 pode ser levado a grandes distâncias do ponto de liberação, danos a plantas distantes 1000 km do ponto de liberação foram observados [8]. O impacto na atmosfera da queima de carvão é um outro grande desafio que impede a sua utilização. O mesmo deriva da química básica que implica na liberação de calor e em mais dióxido de carbono do que se verifica na combustão de combustíveis líquidos.

Apesar dos seus custos sociais e ambientais, é provável que o carvão represente uma parcela crescente do suplemento da demanda global de energia. Depois da crise de energia, as concessionárias norte-americanas passaram a usar mais carvão para atender à demanda por energia elétrica, mas a previsão para o aumento do uso de carvão não se baseia tanto na experiência e expectativas dos países ocidentais industrializados, mas sim em extrapolações realísticas da situação do resto do mundo - notadamente a Ásia. Previsões recentes indicam que mais da metade do total da nova capacidade de geração de energia elétrica a ser instalada no mundo, na próxima década, será na Ásia. Os países asiáticos mais ricos - Japão e Coréia do Sul - têm capital e infra-estrutura para instalar usinas nucleares para sustentar o desenvolvimento econômico, mas os dois gigantes asiáticos - China e Índia - vão depender do seu carvão em futuro próximo para manter a expansão econômica necessária para melhorar o padrão de vida de seu povo. Ditames da química estabelecem que alguns significativos em emissões, tais como dióxido de carbono, vão ser inevitáveis; se considerarmos o provável aumento da combustão de carbono em outros países também, é claro que o planeta está caminhando para uma situação que pode ser classificada como um teste global do meio ambiente sem precedentes em termos de magnitude. Além disto, a maior parte do carvão da China e Índia não é de alta qualidade ou limpo: alívio do impacto ambiental devido às cinzas e emissões gasosas é possível, mas pode ser muito caro para países com necessidades sociais urgentes. A qualidade do ar em cidades como Calcutá e Pequim atualmente já está abaixo dos padrões aceitáveis pela Organização Mundial da Saúde, quase todos os dias do ano.

Neste cenário, medidas tomadas no Rio Grande do Sul para racionalizar o uso das reservas domésticas de carvão parecem irrelevantes. O Brasil é um caso único entre os grandes países em processo de industrialização, pois produz a maior parte da sua eletricidade com hidroelétricas que são fonte cara, mas relativamente limpa. Por que, então, uma política racional e preocupada com o meio ambiente deveria ser uma prioridade na região sul do Brasil? Acontece que o País não pode simplesmente descartar o teste com o meio ambiente, não planejado e de proporções globais, em andamento atualmente. Os que não fazem parte da solução são parte do problema. Uma vez que a atmosfera é comum a todos queimar carvão é na realidade compartilhar um privilégio - e o mesmo constitui uma riqueza que corretamente faz parte de um portfólio racional de consumo de energia. Para evitar o equivalente a uma “tragédia comum a todos”, nós temos que economizar esta riqueza.

Para um dado esquema de geração, variáveis, tais como requisitos para mineração, gases poluentes e cinzas, variam quase que proporcionalmente à energia térmica E_t que deve ser liberada para gerar uma dada quantia de energia útil E_u com uma eficiência n . Da relação $E_t/E_u = 1/n$, segue-se que, para uma produção fixa, qualquer melhoria na eficiência implicará na redução de E_u (dn/n^2) na energia térmica requerida para gerar a energia útil. Isto, por sua vez, implica em um decréscimo proporcional nos requisitos para mineração, gases poluentes e cinzas.

A redução dos impactos sociais e sobre o ambiente decorrentes da utilização do carvão aumenta o seu custo. Ainda que este custo deva ser comparado com as alternativas, o enfoque racional não deve ser o de questionar se uma certa medida de segurança para proteger a vida de um mineiro vale a pena ser tomada, ou se um ar respirável pode ser sacrificado. O enfoque racional é exigir ar puro e proteção para os mineiros - e somente então explorar modelos de desenvolvimento de energia que fazem sentido desde o ponto de vista econômico e que satisfazem estes critérios.

Nós defendemos que aumentando a eficiência energética e intensificando a geração de energia através da incorporação de energia solar haverá uma diminuição da importância do custo do combustível e, portanto, uma redução no impacto dos custos associados com preocupações ambientais. Em outras palavras, tratando o carvão como um bem valioso, ou seja, usando-o eficientemente, será possível tomar as medidas de segurança e ambientais necessárias para que se possa usá-lo proveitosamente. A partir daí, poderemos ajudar outros a fazer o mesmo.

MELHORANDO O VALOR DO CARVÃO

O carvão como matéria prima para uma sociedade industrial energeticamente mais eficiente

A eficiência de conversão de energia térmica em trabalho (ou eletricidade) depende das temperaturas da fonte quente (T_q) e fria (T_f) (em geral a temperatura ambiente), sendo maior quanto mais alta for T_q . Em geral, limitações nas propriedades dos

materiais o quão alto o T_g pode chegar. Atualmente, as limitações dos materiais determinam limites para eficiência de conversão de energia, independentemente de se tratar de uma usina de produção de energia elétrica ou motor de um automóvel. É claro que a solução óbvia é procurar por materiais cujas propriedades mecânicas sejam superiores as dos metais - materiais tais como grafite e carvão de silício ou cerâmicas reforçadas com fibras daqueles materiais.

Existem muitas propriedades que tornam especiais os materiais com base de carbono. O grafite, por exemplo, tem um alto modo de elasticidade, pode servir como isolante ou condutor direcional, tem baixa densidade e alta resistência, comparativamente aos metais, e por último, tem alta estabilidade térmica e baixa relatividade. Stiller *et al.* [9] descreve um processo de extração com solvente, desenvolvido na Universidade de West Virgínia, o qual permite converter o carvão em uma completa linha de insumos para produtos baseados em carvão: coques, piches aglomerantes e piche para impregnação. Os autores relataram que grafite para uso nuclear foi preparado a partir de coque obtido por extração com propriedades superiores aos do grafite nuclear padrão. Piche mesofásico para produção de fibras de alta condutividade e alta resistência foi produzido a partir de carvão usando o processo. Fibras de grafite representam um potencial para novos materiais e uma revolução industrial.

É possível utilizar o carvão das minas da região sul do Brasil como matéria prima para a manufatura de grafite, compostos reforçados com fibras e materiais para alta temperatura em geral. Esta atividade manufatureira é do tipo que intrinsecamente envolve alto valor adicionado e também tem o potencial de servir de base para atividades mais especializadas ou em aplicações na indústria aeroespacial, produtos de consumo - e conversão eficiente de energia. Por fim, mas não menos importante, a ênfase em uma indústria baseada em carvão pode despertar interesses em processos industriais biomiméticos - isto é, processos que imitam o modo pelo qual a natureza processa as substâncias com carbono para criar estruturas e materiais altamente diferenciados e valiosos.

Atividades que adicionam valor como as que geram novos materiais com base no carbono, definem cenários onde a sociedade pode arcar com custos adicionais relativamente pequenos associados à indústria da mineração com recuperação do solo e preservação do meio ambiente. O desenvolvimento de tais atividades deveria ser parte integral de qualquer política de longo prazo para o carvão.

Carvão como matéria prima para fabricação com contribuição de energia solar de combustíveis e outros produtos químicos

Da literatura, sabe-se que é possível o uso de pelotas refratárias ou areia como fluido de trabalho em receptores solares de alta temperatura[3]. A energia radiante pode ser diretamente absorvida por este fluido que serve então como meio de armazenagem e transferência. O aquecimento alternativo em fornalhas a combustível fóssil significa a ibridização; de fato, a experiência comercial em aquecedores de pelotas ou areia a combustível fóssil parece indicar a viabilidade da idéia.

CORTINAS DE PARTÍCULAS SÓLIDAS

Pesquisas e testes com sólidos granulares como fluido de trabalho para aplicações solares estão descritas por Royere [10], o qual também considerou a possibilidade de usar a aglomeração de sólidos granulares para fabricação de materiais especiais. Os primeiros estudos de absorção direta de radiação por areia em queda livre fora realizados nos Laboratórios Nacionais de Sandia (EUA). Para alguns processos a matéria prima pode ser aquecida na forma sólida e este aquecimento pode ser parcial ou totalmente realizado por aquecimento solar direto em calcinação de calcário na fabricação de cimento [11]. Sólidos não reativos também podem ser usados como fluido de trabalho.

Martin [4] discute de maneira abrangente muitas considerações importantes para projeto e produção associados aos equipamentos baseados em transferência de calor por contato direto com partículas, bem como possíveis aplicações. A produção de produtos químicos e combustíveis pode ser viabilizada com o uso destas cortinas de partículas sólidas. A concepção foi apresentada pela primeira vez no relatório “ASCUAS: A Solar Receiver Using a Solid Carrier”; “ascuas” nos idiomas ibéricos quer dizer brasas quentes do fogo.

Na concepção do ASCUAS para traqueamento de etano com vistas a produção de etileno, areia fria é transportada para o topo da torre, e a mesma então desce em queda livre passando por uma abertura no lado da cavidade do receptor onde a mesma é aquecida até cerca de 1000 °C por absorção da radiação solar incidente diretamente. A areia continua e cai em um reservatório, passa por uma cortina de vapor e entra no reator. Após a reação, a areia aquecida pode ser usada para produção de vapor. A mesma passa, então, para uma correia transportadora de areia fria e processo todo é repetido.

Com sólidos, não há necessidade de tubos receptores e a parte inferior que recebe o material pode ser um simples silo refratário. Armazenagem e aquecimento suplementar via combustível fóssil pode ser feito no silo refratário. O condutor sólido ideal deve ser inerte, permanecer sólido em altas temperaturas, ter baixo coeficiente de expansão térmica, alta capacidade calorífica e alto coeficiente de absorção para energia solar. O mesmo deve ser muito resistente a choques térmicos e a abrasão além de baixo custo. Alumina, carbetos de silício, sílica e nitreto de silício são materiais passíveis de uso. Alumina e sílica cristalina já foram usadas como carregador sólido.

Uma série de testes realizados (ver[12]) há algum tempo atrás nas instalações para calor radiante (“Radiant Heat Facilities”) do Laboratório Nacional de Sandia, demonstrou exequibilidade do aquecimento de partículas em queda livre para receptores solares centrais, como meio para recepção e armazenamento de calor em altas temperaturas. O conceito de cortina de partículas sólidas pode ser integrado em um gaseificador solar onde o carvão aquecido e vapor reagem para produzir CO, H₂ e outros produtos. O mesmo também pode ser utilizado no beneficiamento de xisto. Outras aplicações para a cortina de partículas sólidas estão na pirólise do etano para fabricação de etileno e na pirólise de biomassa.

GASEIFICAÇÃO DE CARVÃO

Através da pirólise e gaseificação de carvão é possível obter um gás de poder calorífico médio constituído primeiramente de gás carbônico e hidrogênio. Carling [13] coloca a gaseificação de carvão em terceiro lugar entre as aplicações solares de alta temperatura apesar do seu enorme potencial em termos de mercado, parte devido a razões econômicas e parte devido a considerações relativas ao amadurecimento do processo e sua facilidade de integração com solar.

Em gaseificadores não solares, o calor para as reações é suprido em parte pela combustão do carvão com oxigênio ou ar. Oxigênio aumenta os custos, mas se for usado, o nitrogênio aparecerá no produto diminuindo o seu valor comercial. Em um gaseificador solar hipotético, energia solar seria usada para suprir a energia para as reações mencionadas. Num dos processos propostos a radiação solar seria focalizada diretamente na superfície do combustível através de uma janela do reator, o carvão reagiria diretamente na zona focal da radiação. Conforme mencionado anteriormente, a maturidade de tal conceito, onde um material heterogêneo de morfologia e composição química variável reage atrás de uma janela, não teve uma avaliação muito boa. Além disto, em se tratando de receptores solares centrais, o desafio colocado pelo uso de janelas transparentes, os requisitos impostos pelo projeto dos tubos de síntese de gás, os baixos fatores de capacidade e a necessidade de elevar grandes quantidades de carvão podem prejudicar a viabilidade econômica do sistema.

Para gaseificadores não solares, o problema da contaminação do gás com nitrogênio pode ser avaliada. No processo TOSCOAL, o calor é transferido para o carvão por meio de carregadores sólidos na forma de pelotas cerâmica (alumina) previamente aquecidas. O carvão é secado e pré-aquecido por técnica de leito fluidizado para então ser transportado para um tambor onde entra em contato com as pelotas de alumina. O resíduo e as pelotas deixam o tambor a cerca de 480°C e passam por uma peneira, onde são separadas e retornam para o aquecedor de pelotas. O resíduo é posteriormente processado. Claramente, a queima de parte do combustível gerado para aquecer as pelotas, baixa o rendimento do processo e aumenta a quantidade de poluentes gerados para uma dada quantidade de produto final.

Aparentemente um enfoque do tipo do ASCUAS, no qual pelotas cerâmicas (ou outro material inerte) são aquecidas por radiação solar no receptor, deveria manter as vantagens do processo TOSCOAL com aumento de quantidade produzida e alívio do problema da poluição.

RETORTA DE XISTO

Xisto betuminoso é uma rocha carbonácea que contém quetogenio, um material orgânico de alto peso molecular. Este material quando aquecido no intervalo 427-538 °C, decompõe-se produzindo óleo, gás e matéria carbonizada. Há grandes reservas de xisto betuminoso no sul do Brasil. Revisões abrangentes sobre os aspectos científicos e tecnológicos do

xisto betuminoso podem ser encontrados em [14], [15], [16] e [17]. A retorta do xisto pode ser feita usando combustão direta ou indireta para fornecimento do calor necessário. A combustão indireta pode ajudar no controle do problema de contaminação do produto com nitrogênio. O nitrogênio é um veneno para catálise nas refinarias atuais, portanto as mesmas não poderiam trabalhar com um produto contendo alto teor de nitrogênio.

Dois processos - TOSCO-II, usando pelotas cerâmicas como carregadores térmicos e Lurgi-Ruhrigas que usa areia fina aquecida, coque e xisto processado de combustão indireta - receberam amplo financiamento e estão bastante desenvolvidos. É claro que parte do combustível que poderia ser produzido é gasto para aquecer os carregadores de calor no processo Lurgi-Ruhrigas e todo o gás no processo TOSCO-II. Cabe, portanto, sugerir que um processo baseado em receptor solar central, tal como o ASCUAS, poderia efetivamente aumentar a produção de combustível.

O aumento da produção por tonelada de matéria prima é uma consideração importante. A mineração é cara e ecologicamente passível de objeção. Até cerca de 25% do conteúdo energético do xisto pode ser fornecido por energia solar. Isto traduz-se em enormes reduções em termos de mineração. Por último, mas não menos importante, é o fato de que a aplicação da concepção ASCUAS pode afetar fortemente o problema de efluentes gasosos e este não é um problema insignificante. Caso a gaseificação massiva de carvão e retorta de xisto venham a promover as enormes quantidades de combustível líquido e gases que serão necessárias, é pelo menos reconfortante saber que o sol, e não a combustão, estará suprindo o calor externo.

Na concepção com partículas sólidas com aquecimento solar, a energia adicional necessária para produzir um combustível superior (gás ou líquido) a partir de um combustível de qualidade relativamente baixa (tal como xisto ou carvão) vem do sol. Portanto, em termos de quantidade de combustível de alta qualidade produzido a partir de minério, eficiências altas são possíveis. Além disto, pouco material necessita ser queimado - (ou seja, pouco CO₂ ou outros materiais inúteis precisam ser gerados) para a fabricação de combustível ou produto químico de alta qualidade.

O que se está propondo aqui, é a possibilidade da transformação do carvão minerado no sul do Brasil em combustível fluído ou gases de alta qualidade para uso em transportes domésticos e industriais, através de um processo tal como o ASCUAS.

CARVÃO COMO COMBUSTÍVEL EM USINAS DE CICLO AVANÇADO COMBINADO, COM CO-GERAÇÃO E PARTICIPAÇÃO SOLAR

Turbinas a gás são largamente utilizadas em co-geração, companhias de energia elétrica, distribuição de gás, aviões e outras aplicações mecânicas. A turbina a gás ou o ciclo de Brayton pode ser usada em combinação com outros ciclos, inclusive ciclo de Rankie com caldeira. Entre estas combinações estão ciclos utilizados em larga escala em usinas de gaseificação/liquefação de carvão, as quais tem recebido menos atenção recentemente devido a queda nos preços do petróleo. Em todas estas combinações a

capacidade das turbinas modernas em operar de maneira confiável com temperaturas de entrada de até 1080 °C (2000 °F), com técnicas bem desenvolvidas de resfriamento de gás, é utilizada para se conseguir eficiências combinadas de ciclo muito maiores do que as dos melhores ciclos com turbina a vapor.

Em uma publicação recente, [18], foi proposto o uso de coletor solar central para suplementar o aporte de calor para o evaporador no ciclo combinado. Este é o conceito chamado SOL-GAS, em desenvolvimento com apoio da Comunidade Européia, para uma usina com co-geração a ser construída em Huelva, na Espanha. O sistema SOL-GAS diminui as exigências de projeto do receptor solar e permite uma grande flexibilidade operacional ao mesmo tempo que possibilita que se obtenha uma economia significativa de combustível.

Em geral, somente gás natural e óleo combustível são usualmente considerados para uso no ciclo combinado. Entretanto, é possível integrar gaseificação de carvão com limpeza do produto na planta de modo a permitir o uso de carvão também. As turbinas a gás usadas em ciclo fechado são essencialmente turbinas a gás que permitem de várias combinações de combustível derivado do carvão e já vem sendo usadas a muito na Europa. O uso em ciclo fechado requer que os gases de exaustão da turbina sejam resfriados antes de retornarem ao compressor de entrada da turbina. Se o calor removido no resfriamento destes gases for usado para geração de vapor, tem-se um casamento perfeito entre os conceitos de ciclo fechado e co-geração.

Um número especial de "Deutschland" publicado pelo governo alemão por ocasião da 1ª Conferência dos Países Signatários do Acordo Mundial sobre o Clima, no início de 1995, contém uma lista de exemplos de inovações tecnológicas de eletricidade em um ciclo combinado, onde a gaseificação de carvão é parte integral do ciclo. Duas firmas alemãs participam da construção de uma instalação modelo de uma usina elétrica de carvão deste tipo. A usina de 320MW em Puertollano, na região de Castilla La Mancha, é a maior usina do mundo do tipo combinado, com entrada em operação prevista para 1996. A eficiência da conversão da planta pode chegar a 60%.

Uma usina de turbina a gás e a vapor com gaseificação integrada do carvão tem por natureza um baixo grau de eficiência decorrente das perdas de transformação na produção do gás. Ainda assim, ela também alcança um nível entre 45 e 50 por cento. Isto é muito mais do que é possível conseguir em usinas tradicionais a carvão. Através da gaseificação pode-se transformar tipo de carvão num gás combinado inócuo ao meio ambiente. Nas usinas convencionais dá-se preferência aos carvões de alto ponto de fusão por razões ecológicas, mas nas usinas com turbinas a gás e a vapor com gaseificação integrada do carvão, pode-se empregar todo tipo de carvão. Assim amplia-se claramente o espectro dos carvões apropriados para a produção de eletricidade.

Em analogia com a concepção SOL-GÁS para utilização de gás, pode-se argumentar que vantagens consideráveis podem resultar da incorporação de um receptor central do tipo ASCUAS nos projetos básicos TOSCO Dyna ou PRENFLO. É claro que estas vantagens teriam de ser comparadas com os custos extras mas, conforme anteriormente discutido, haveria uma série de ganhos tais como melhoria da eficiência do ciclo, menos emissão de poluentes, menos controle de efluentes, redução das necessidades de mineração e flexibilidade na otimização do ciclo.

CONCLUSÃO

Neste trabalho, foram propostas três alternativas específicas, economicamente viáveis, visando a utilização de carvão doméstico com teor de cinzas relativamente alto, para um programa de desenvolvimento energético com ênfase na redução do impacto sobre o meio ambiente associado aos processos de geração de energia.

Duas destas alternativas envolvem o uso do carvão como matéria prima para fabricação de materiais, combustíveis e produtos químicos de forma consistente com um desenvolvimento industrial energeticamente consciente. No caso de fabricação de materiais, a ênfase é colocada no grafite e outros materiais cerâmicos e compostos baseados no carbono, os quais oferecem um grande potencial de uso em muitas áreas.

No caso da indústria química, baseada no carvão(e/ou xisto), a ênfase é posta nas tecnologias onde sólidos granulares são usados como carregadores de calor em aplicações envolvendo altas temperaturas. Em especial, destaque foi dado para o conceito ASCUAS ou cortina sólida de partículas para utilização de energia solar. Nestas, o sólido granular é usado para coletar energia solar concentrada a altas temperaturas para uso em reações endotérmicas de modo a melhorar o conteúdo energético de combustíveis e outros produtos químicos. Desta forma também consegue-se reduzir tanto as necessidades de mineração como a emissão de poluentes.

Finalmente, sustenta-se que o aumento de custos de combustíveis associados a estas atividades para aliviar os impactos sobre o meio ambiente da mineração e queima pode tornar-se economicamente aceitável através de tecnologias eficientes de geração de energia, tais como os ciclos combinados de Rankine e Brayton (ou gás-vapor) em co-geração. Além disso um ciclo combinado gás-potência com suprimento de energia solar foi revisto para deixar a sugestão de que um ciclo de co-geração com gaseificação de carvão integrada e suprimento de energia solar é tecnologicamente viável. Tal ciclo permitiria queimar carvão com eficiência extremamente alta. O sistema utilizaria energia solar em substituição a uma parte da queima de carvão, aliviando os impactos da mineração e emissão de poluentes, sobre o meio ambiente. Dado o volume das reservas conhecidas de carvão e xisto e a natureza do suprimento de energia solar, tais ciclos poderiam ser a base de uma economia que, praticamente, pode ser considerada como sustentável.

Por fim sugere-se que as alternativas aqui propostas para o sul do Brasil possam também ser de interesse para outras regiões e países como reservas não negligíveis de carvão e alta incidência de energia solar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARNES, J. (Ed.) *The complete works of Aristotle*. Princeton University Press, 1984. The revised Oxford translation, v.2.
- BLANCO, M; MARTIN, J.; HERNÁNDEZ, V. The SOL-GAS concept: a paradigm shift for the chemical industry. INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SOLAR THERMAL CONCENTRATING TECHNOLOGIES, 7. Moscou, 1994.

- CARLING, R. W.; FISH, J. D.; RODOSEVICH, L. G.; VITKO JR., J. *Solar central receiver fuels and chemicals*, Project Status Report, out. 1980 - jun. 1981. SAND81-8232. Livermore, Califórnia: Sandia Nacional Laboratories, ago. 1981.
- DNPM. Departamento Nacional da Produção Mineral. *Informativo Anual da Indústria Carbonífera*, Ministério de Minas e Energia, 1994.
- ECKERT, C. Os homens das minas. *Ciência Hoje*, v.7, p.41, abr. 1988.
- FALCONE, P. K.; NORING, J. E.; HACKETT, C. E. Evaluation and application of solid thermal energy carriers in a high temperature solar central receiver system. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON SOLAR THERMAL HEAT PRODUCTION AND SOLAR FUELS AND CHEMICALS. W. Hoyer (Editor). Stuttgart, Alemanha: German Aerospace Research Establishment, 13-14 out. 1983.
- KESSLERLING, P. Solar calcining of limestone in cement production. INTERNATIONAL SEMINAR ON SOLAR HEAT THERMAL PRODUCTION AND SOLAR FUELS AND CHEMICALS, 1983.
- LEAL, C. A.; ELBERN, A. W. Técnicas nucleares na indústria química e do carvão. CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 21. Porto Alegre, 26-31 out. 1980.
- MARTIN, J.; VITKO JR., J. *ASCUAS: a solar central receiver utilizing a solid thermal carrier*. Sandia Report, SAND82-8203, jan. 1982.
- MARTIN, J. Solid thermal carriers for high temperature solar applications. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON SOLAR THERMAL HEAT PRODUCTION AND SOLAR FUELS AND CHEMICALS. W. Hoyer (Editor). Stuttgart, Alemanha: German Aerospace Research Establishment, 13-14 out. 1983.
- ROYERE, C. Solar chemical engineering research and test activities using the 1MWITH solar furnace at CNRS, STTFUA. *Workshop proceedings*. Albuquerque, Novo México, USA, 3-4 Maio, 1979.
- SCHORA, F. C.; TARMON, P. B.; FELKIRCHNER. Oil shale - present technology and the IGT/A.G.A. Process. In: SYNTHETIC PIPELINE GAS SYMPOSIUM. 8. *Proceedings...*, 18-20 out. 1976.
- SCHORA, F. C.; TARMON, P. B.; FELKIRCHNER. State of the art - above ground shale reprocessing. *Hydrocarbon Processing*, v.56, n.2, 1977.
- SHIK, C. C.; COTTER, I. E.; PRIEN, C. H.; NEVERS, T. D. Technological overview reports for eight shale oil-recovery processes. *EPA Report*, EPA-600/7-79-07, 1979.
- STILLER, A. H.; ZONDLO, J. W.; IRWIN, C. New coal-based technologies for nuclear graphite and strategic carbon materials. In: GLOBAL CONFERENCE ON ENERGY IN TRANSITION. *Proceedings...*, Plenum (in Press).
- WHITCOMBE, J. A. The TOSCO-II oil shale process. Trabalho apresentado no 79th National Meeting of the American Institute of Chemical Engineers, 16-20 mar. 1975.