

Parte III

Fontes não-renováveis

9

Carvão Mineral

Box 9

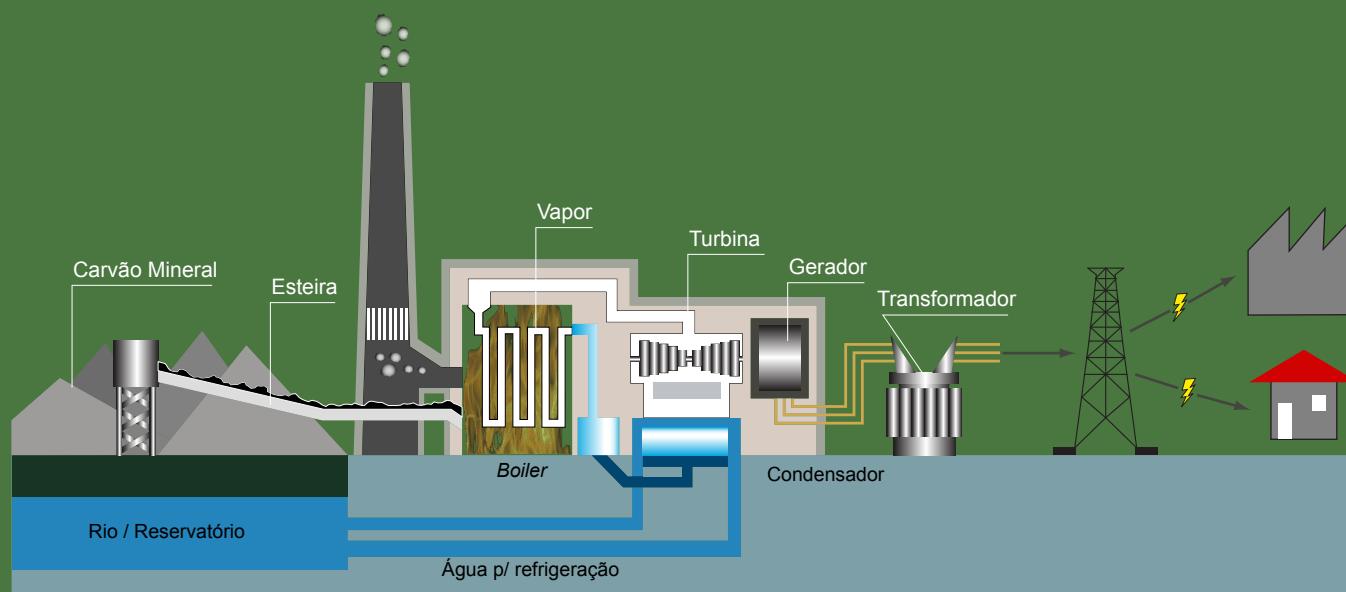
O processo de produção de energia elétrica a partir do carvão mineral

Atualmente, a principal aplicação do carvão mineral no mundo é a geração de energia elétrica por meio de usinas termelétricas. Em segundo lugar vem a aplicação industrial para a geração de calor (energia térmica) necessário aos processos de produção, tais como secagem de produtos, cerâmicas e fabricação de vidros. Um desdobramento natural dessa atividade – e que também tem se expandido – é a co-geração ou utilização do vapor aplicado no processo industrial também para a produção de energia elétrica.

Pesquisas envolvendo processos tecnológicos que permitam um maior aproveitamento do poder calorífico do carvão (como a gaseificação) – e simultaneamente a preservação do meio ambiente – têm sido desenvolvidas no mercado internacional (ver Tópico 10.4). No entanto, o método tradicional, de queima para produção do vapor, continua sendo o mais utilizado.

Considerando-se também a preparação e queima do carvão, este processo se dá, em resumo, da seguinte maneira: o carvão é extraído do solo, fragmentado e armazenado em silos para, posteriormente, ser transportado à usina, onde novamente será armazenado. Em seguida, é transformado em pó, o que permitirá melhor aproveitamento térmico ao ser colocado para queima nas fornalhas de caldeiras. O calor liberado por esta queima é transformado em vapor ao ser transferido para a água que circula nos tubos que envolvem a fornalha. A energia térmica (ou calor) contida no vapor é transformada em energia mecânica (ou cinética), que movimentará a turbina do gerador de energia elétrica.

Este movimento dá origem à energia elétrica. No caso da co-geração, o processo é similar, porém o vapor, além de gerar energia elétrica, também é extraído para ser utilizado no processo industrial.



Perfil esquemático do processo de produção de energia elétrica a partir do carvão mineral



9

Carvão Mineral

9.1 INFORMAÇÕES GERAIS

O carvão mineral, de origem fóssil, foi uma das primeiras fontes de energia utilizadas em larga escala pelo homem. Sua aplicação na geração de vapor para movimentar as máquinas foi um dos pilares da Primeira Revolução Industrial, iniciada na Inglaterra no século XVIII. Já no fim do século XIX, o vapor foi aproveitado na produção de energia elétrica. Ao longo do tempo, contudo, o carvão perdeu espaço na matriz energética mundial para o petróleo e o gás natural, com o desenvolvimento dos motores a explosão.

O interesse reacendeu-se na década de 70, em consequência, sobretudo, do choque do petróleo, e se mantém em alta até hoje. Além da oferta farta e pulverizada, o comportamento dos preços é outra vantagem competitiva. As cotações do petróleo e derivados têm se caracterizado pela tendência de alta e extrema volatilidade. No caso da *commodity* carvão, no entanto, registraram movimentos suaves ao longo dos últimos dez anos, ingressando em um ciclo de baixa em 2005, conforme o Gráfico 9.1 a seguir.

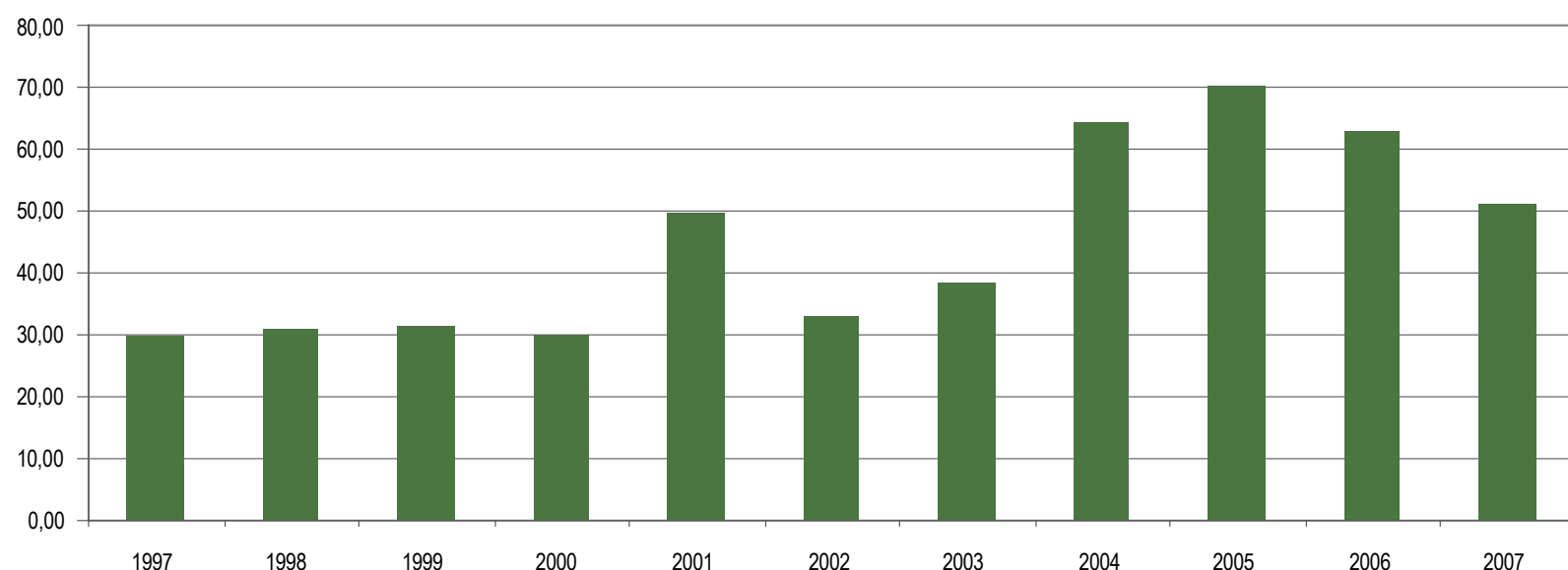


Gráfico 9.1 Preço da tonelada de carvão nos Estados Unidos em US\$ nos últimos anos.

Fonte: BP, 2008.

De acordo com dados da International Energy Agency (IEA), o carvão é a fonte mais utilizada para geração de energia elétrica no mundo, respondendo por 41% da produção total (Gráfico 9.2 abaixo). Sua participação na produção global de energia primária, que considera outros usos além da produção de energia elétrica, é de 26%. A IEA também projeta que o minério manterá posição semelhante nos próximos 30 anos.

A principal restrição à utilização do carvão é o forte impacto socioambiental provocado em todas as etapas do processo de produção e também no consumo. A extração, por exemplo, provoca a degradação das áreas de mineração. A combustão é responsável por emissões de gás carbônico (CO₂). Projetos de mitigação e investimentos em tecnologia (*clean coal technologies*) estão sendo desenvolvidos para atenuar este quadro.

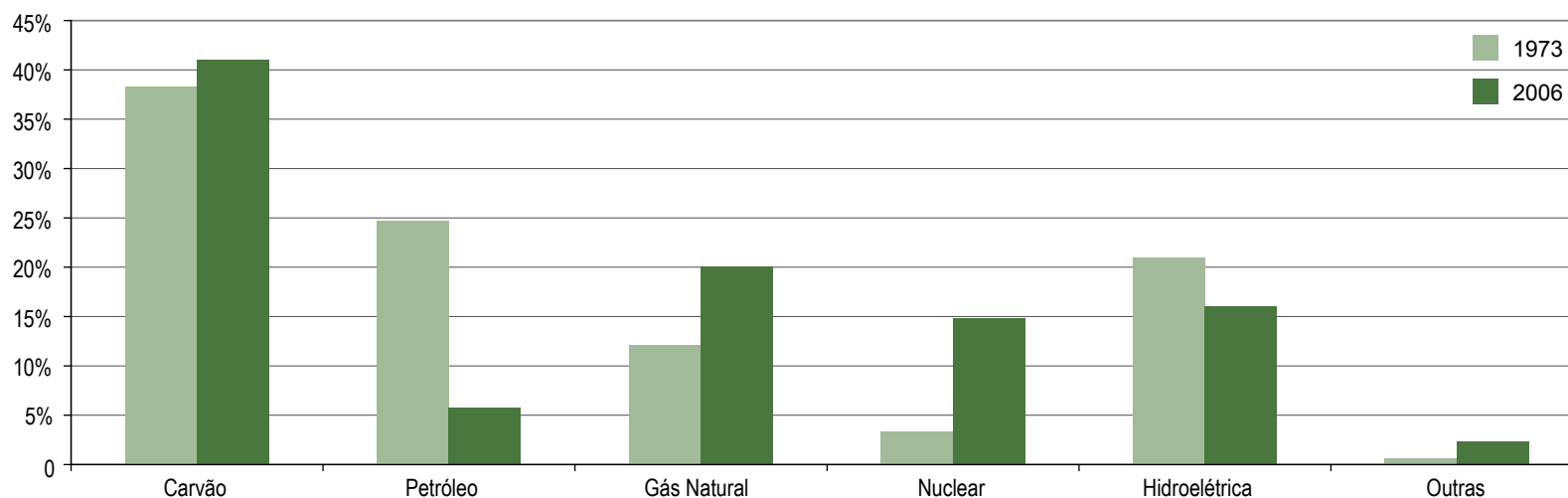


Gráfico 9.2 Geração de energia elétrica por tipo de combustível.

Fonte: IEA, 2008.

O que é o carvão

Existem dois tipos básicos de carvão na natureza: vegetal e mineral. O vegetal é obtido a partir da carbonização da lenha. O mineral é formado pela decomposição da matéria orgânica (como restos de árvores e plantas) durante milhões de anos, sob determinadas condições de temperatura e pressão. É composto por átomos de carbono, oxigênio, nitrogênio, enxofre, associados a outros elementos rochosos (como arenito, siltito, folhelhos e diamictitos) e minerais, como a pirita.

Tanto o carvão vegetal quanto o mineral podem ser usados na indústria (principalmente siderúrgica) e na produção de energia elétrica. No entanto, enquanto o primeiro é pouco utilizado – exceto no Brasil, maior produtor mundial –, o consumo do segundo está bastante aquecido. Este movimento tem a ver não só com a disponibilidade de reservas, mas com a qualidade do carvão, medida pela capacidade de produção de calor – ou poder calorífico, expresso em kcal/kg (kilocaloria obtida por quilo do combustível). Este poder calorífico, por sua vez, é favorecido

pela incidência de carbono e prejudicado pela quantidade de impurezas (elementos rochosos e minerais).

No carvão vegetal, o poder calorífico é baixo enquanto a participação de impurezas é elevada. No carvão mineral, o poder calorífico e a incidência de impurezas variam, o que determina a subdivisão do minério nas categorias: baixa qualidade (linhito e sub-betuminoso) e alta qualidade (ou hulha, subdividida nos tipos betuminoso e antracito).

Como mostra a Figura 9.1 a seguir, 53% das reservas mundiais de carvão mineral são compostas por carvão com alto teor de carbono (hulha) e 47% com baixo teor de carbono. A produção e o consumo mundial concentram-se nas categorias intermediárias: os carvões tipos betuminoso/sub-betuminoso e linhito. O primeiro, de maior valor térmico, é comercializado no mercado internacional. O segundo é utilizado na geração termelétrica local.

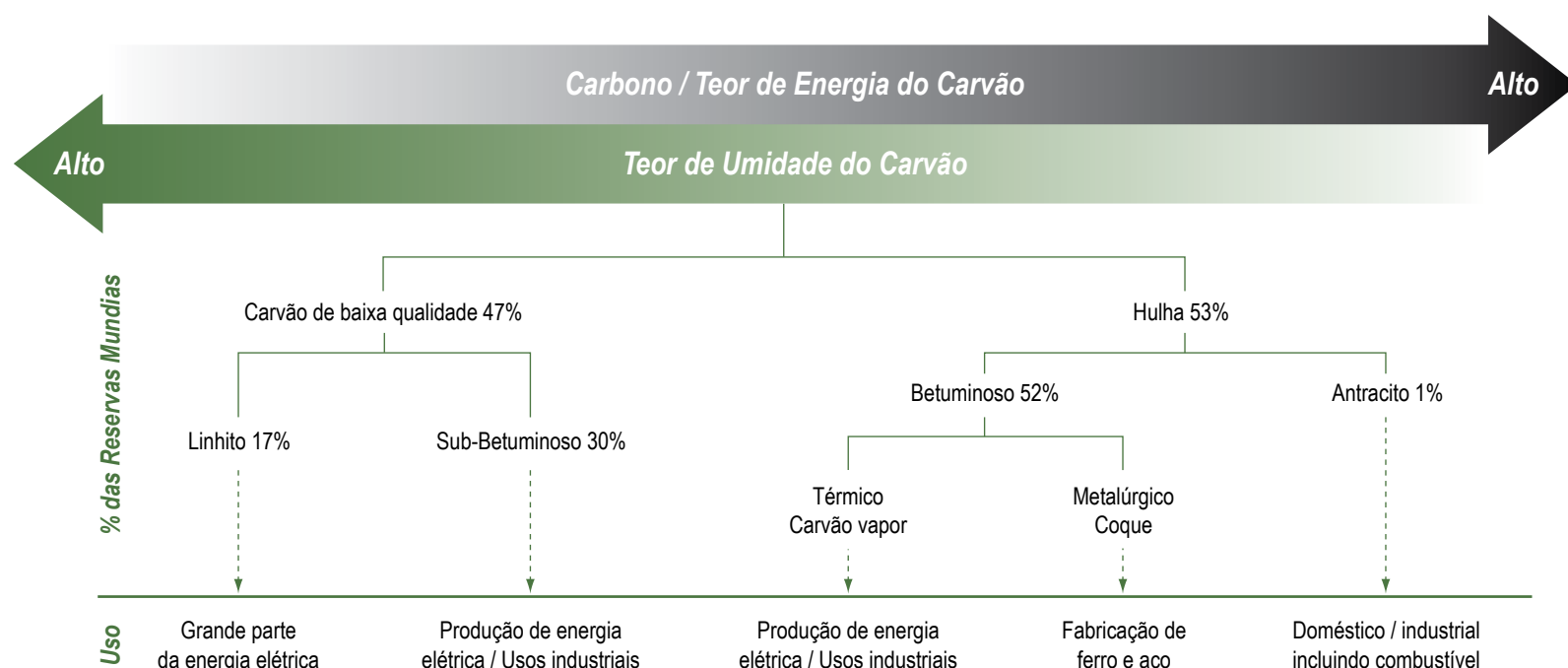


Figura 9.1 Tipos de carvão, reservas e usos.

Fonte: WCI, 2006.

Extração e transporte

A extração (ou mineração) do carvão pode ser subterrânea ou a céu aberto. A opção por uma ou outra modalidade depende, basicamente, da profundidade e do tipo de solo sob o qual o minério se encontra.

Se a camada que recobre o carvão é estreita ou o solo não é apropriado à perfuração de túneis (por exemplo, areia ou cascalho), a opção é a mineração a céu aberto. Se, pelo contrário, o mineral está em camadas profundas ou se apresenta como veios de rocha, há a necessidade da construção de túneis. Neste último caso, a lava pode ser manual, semimecanizada ou mecanizada.

A produtividade das minas a céu aberto é superior à das lavras subterrâneas. No entanto, de acordo com o World Coal Institute (WCI) – ou Instituto Mundial do Carvão, em português –, 60% da oferta mundial de carvão mineral é extraída por meio da mineração subterrânea. No Brasil, a maior parte é explorada a céu aberto. É o que ocorre, também, em importantes países exportadores, como Austrália e Estados Unidos.

O transporte é a atividade mais complexa e dispendiosa da cadeia produtiva do carvão. A título de exemplo, conforme

está registrado no Plano Nacional de Energia 2030, em 2004 o preço CIF – que inclui frete e seguro – de uma tonelada de carvão metalúrgico no Japão era de US\$ 61, enquanto o custo do frete chegava a US\$ 49,50 por tonelada.

Para distâncias muito curtas, o método mais eficiente de transporte é a esteira. Para os trajetos mais longos, utiliza-se caminhões, trens e barcaças. O carvão também pode ser misturado à água formando uma lama que é transportada por meio de dutos.

Além disso, geralmente só são transferidos, de um local para outro, os tipos de carvão com baixo teor de impurezas. Os demais são utilizados nas proximidades do local de mineração – onde, em geral, também são construídas as termelétricas abastecidas por esse combustível. É o que ocorre nas cinco usinas termelétricas movidas a carvão em operação no Brasil, todas localizadas no sul do País, nas proximidades das áreas de mineração. Do ponto de vista econômico, é mais eficiente investir na construção de linhas de transmissão de eletricidade do que no transporte do carvão.

9.2 RESERVAS, PRODUÇÃO E CONSUMO NO MUNDO

O carvão é o combustível fóssil com a maior disponibilidade do mundo. As reservas totalizam 847,5 bilhões de toneladas, quantidade suficiente para atender a produção atual por 130 anos. Além disso, ao contrário do que ocorre com petróleo e gás natural, elas não estão concentradas em poucas regiões. Abaixo,

como mostra a Figura 9.2, as reservas estão bem distribuídas pelos continentes, com ênfase maior no hemisfério norte. Na verdade, são encontradas em quantidades expressivas em 75 países, sendo que três deles – Estados Unidos (28,6%), Rússia (18,5%) e China (13,5%) – concentram mais de 60% do volume total.

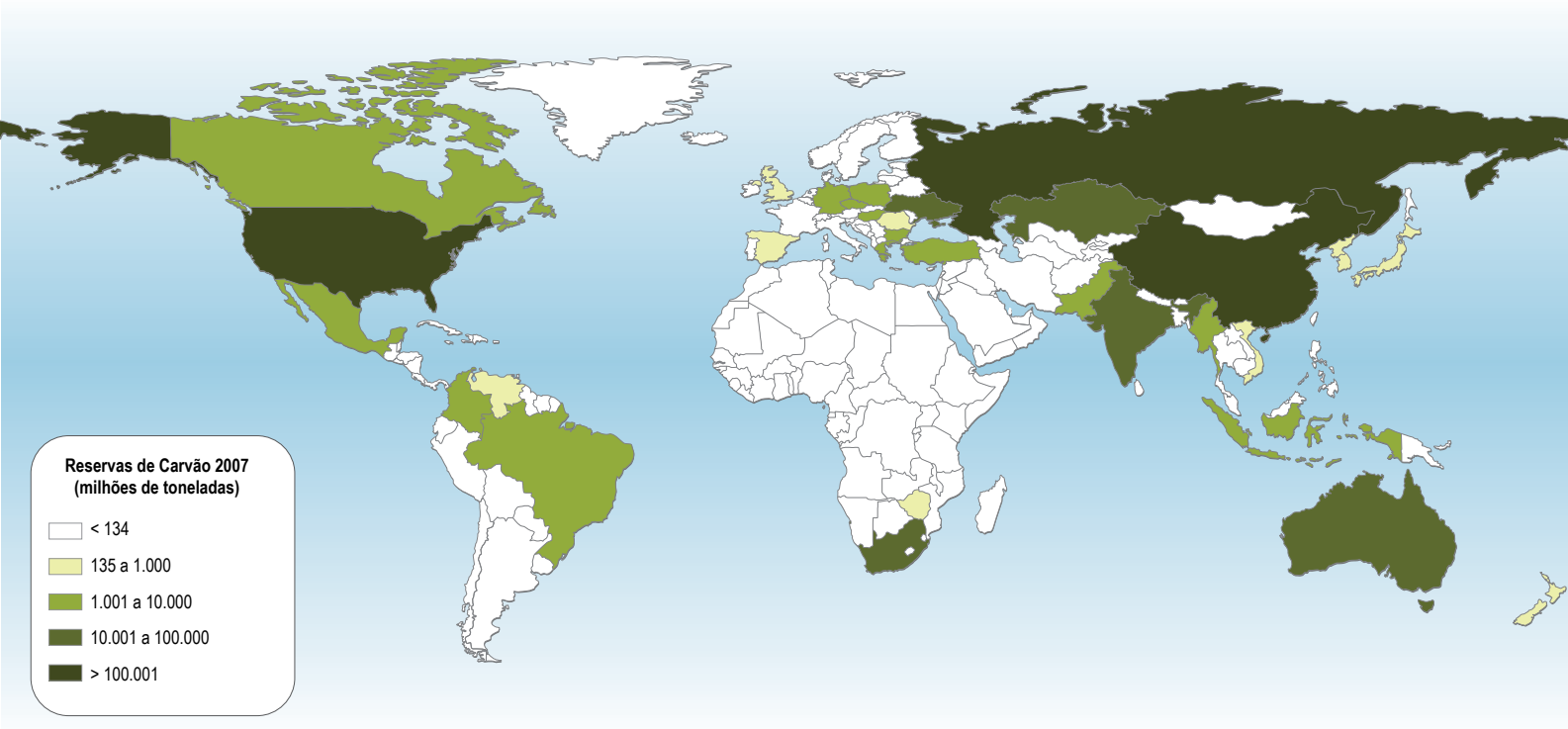


Figura 9.2 Reservas mundiais de carvão mineral – 2007 (em milhões de toneladas).

Fonte: BP, 2008.



Extração de carvão mineral

Fonte: Stock.XCHNG (www.sxc.hu).

O volume extraído e produzido, porém, não é diretamente proporcional à disponibilidade dos recursos naturais. Relaciona-se, também, a fatores estratégicos, como a existência de fontes primárias na região e, em consequência, à maior ou menor dependência da importação de combustíveis.

Atualmente, o maior produtor mundial de carvão é a China que, também estimulada pelo ciclo de acentuado desenvolvimento econômico, tornou-se a maior consumidora do minério. Em 2007, a China produziu 1.289,6 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep) enquanto consumiu 1.311,4 Mtep. A Figura 9.3 a seguir mostra a distribuição do consumo mundial de carvão mineral, medida em tonelada equivalente de petróleo (tep), utilizada na mensuração do poder calorífico.

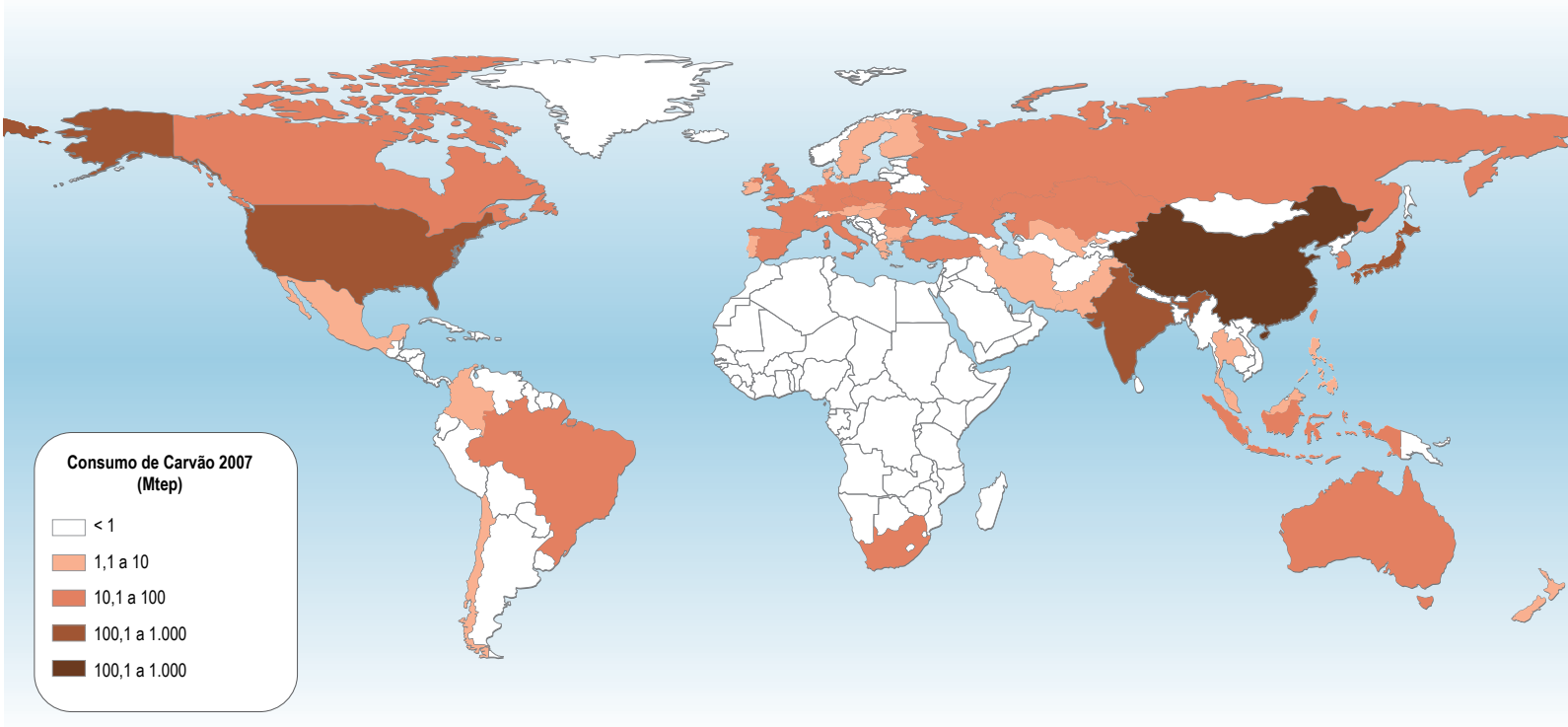


Figura 9.3 Consumo mundial de carvão mineral – 2007 (em Mtep).

Fonte: BP, 2008.

No *ranking* dos maiores produtores de carvão, também figuram os seguintes países: Estados Unidos (587,2 Mtep), Índia (181,0 Mtep) e Austrália, maior exportador do minério do mundo, com 215,4 Mtep, conforme Tabela 9.1, a seguir.

A Rússia, o segundo maior em termos de reservas, ocupa apenas o 6º lugar no *ranking* da produção e do consumo (Tabela 9.2 abaixo). Este desempenho relaciona-se à utilização majoritária, neste país, do gás natural.

Tabela 9.1 - Os dez maiores produtores de carvão mineral (em Mtep)			
	País	Mtep	%
1º	China	1289,6	41,1
2º	Estados Unidos	587,2	18,7
3º	Austrália	215,4	6,9
4º	Índia	181,0	5,8
5º	África do Sul	151,8	4,8
6º	Rússia	148,2	4,7
7º	Indonésia	107,5	3,4
8º	Polônia	62,3	2,0
9º	Alemanha	51,5	1,6
10º	Cazaquistão	48,3	1,5
26º	Brasil	2,2	0,1
Total		3135,6	100

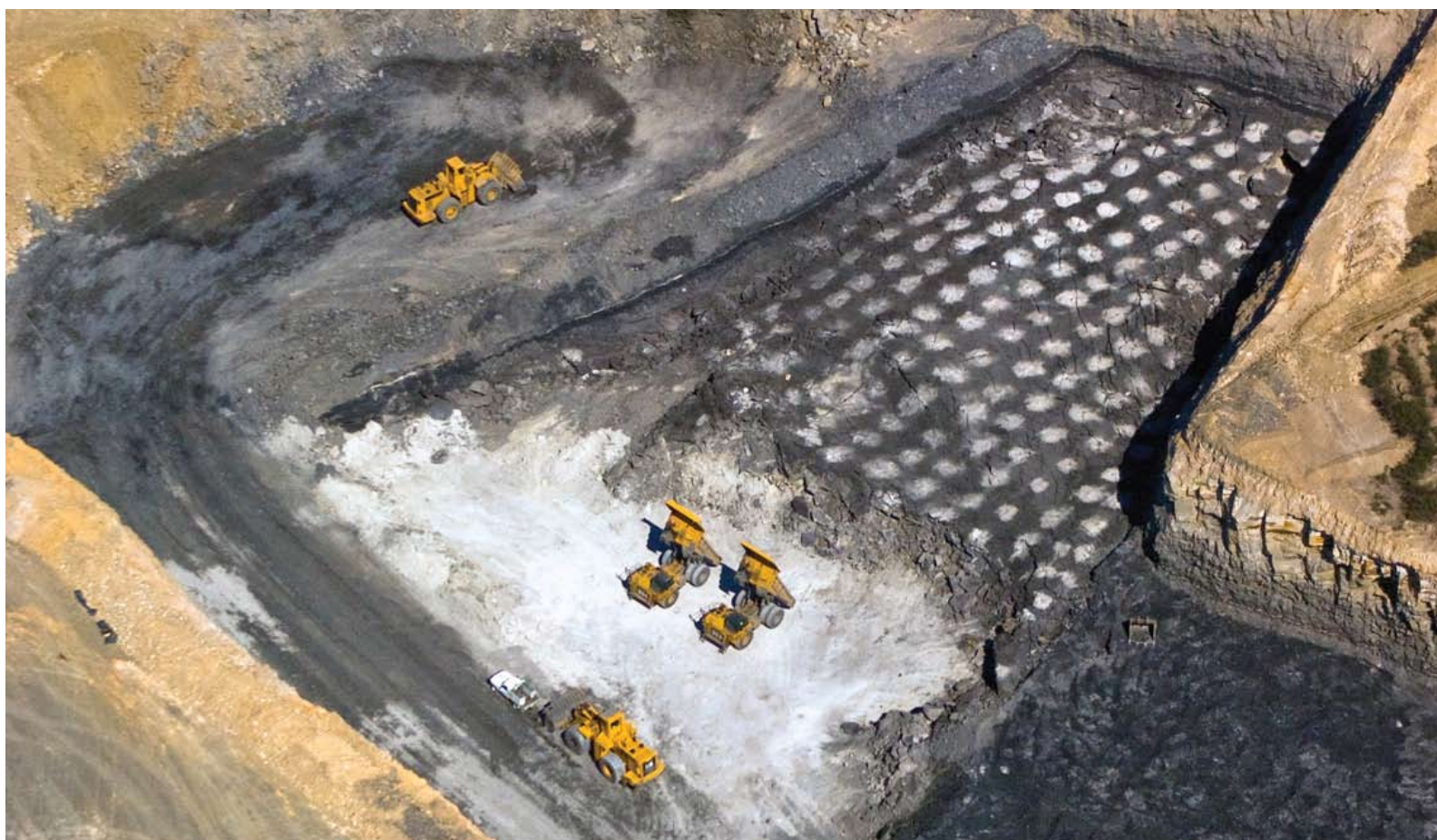
Fonte: BP, 2008.

Tabela 9.2 - Os dez maiores consumidores de carvão mineral (em Mtep)			
	País	Mtep	%
1º	China	1311,4	41,3
2º	Estados Unidos	573,7	18,1
3º	Índia	208,0	6,5
4º	Japão	125,3	3,9
5º	África do Sul	97,7	3,1
6º	Rússia	94,5	3,0
7º	Alemanha	86,0	2,7
8º	Coréia do Sul	59,7	1,9
9º	Polônia	57,1	1,8
10º	Austrália	53,1	1,7
21º	Brasil	13,6	0,4
Total		3177,5	100

Fonte: BP, 2008.

Seja pelo alto custo e pelas dificuldades de transporte, seja porque o carvão se constitui em fator estratégico para a segurança nacional (por ser a principal fonte geradora de energia em vários países), o comércio internacional do mineral é pequeno frente ao porte das reservas e produção. Apenas cinco países dominam este mercado: Austrália, Rússia, Indonésia, África do Sul e Colômbia.

A maioria das transações concentra-se na Ásia e na Oceania, onde estão os grandes exportadores e importadores. Assim, a maior parte do carvão exportado navega pelo Oceano Pacífico. Para o carvão que trafega pelo Oceano Atlântico – e que, por questões logísticas, atenderia ao Brasil –, os principais exportadores são África do Sul e Colômbia, enquanto os maiores importadores são Reino Unido, Alemanha e Estados Unidos.



Extração de carvão mineral na superfície.

Fonte: Stock.XCHNG (www.sxc.hu).

No Brasil

As reservas brasileiras são compostas pelo carvão dos tipos lixinito e sub-betuminoso. As maiores jazidas situam-se nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. As menores, no Paraná e São Paulo. As reservas brasileiras ocupam o 10º lugar no *ranking* mundial, mas totalizam 7 bilhões de toneladas, correspondendo a menos de 1% das reservas totais. A Associação Brasileira do Carvão Mineral (ABCM) calcula que as reservas conhecidas poderiam gerar hoje 17 mil megawatts (MW).

Do volume de reservas, o Rio Grande do Sul responde por 89,25%; Santa Catarina, 10,41%; Paraná, 0,32% e São Paulo, 0,02%. Somente a Jazida de Candiota (RS) possui 38% de todo o carvão nacional. Mas o minério é pobre do ponto de vista energético e não admite beneficiamento nem transporte, em função do elevado teor de impurezas. Isto faz com que sua utilização seja feita sem beneficiamento e na boca da mina.

9.3 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL E NO MUNDO

O carvão responde pela maior parte da produção da eletricidade em vários países. Por exemplo, China e Estados Unidos que, segundo a IEA, em 2006 produziram mais da metade dos 7.775 terawatts-hora (TWh¹) gerados no mundo. Além disso, países como Alemanha, Polônia, Austrália e África do Sul usam o carvão como base da geração de energia elétrica devido à segurança de suprimento e ao menor custo na comparação com outros combustíveis, como pode ser visto na Tabela 9.3 abaixo.

Tabela 9.3 - Geração de energia elétrica a partir do carvão no mundo em 2006	
Carvão Mineral	TWh
China	2.301
Estados Unidos	2.128
Índia	508
Alemanha	302
Japão	299
África do Sul	236
Austrália	199
Rússia	179
Coréia do Sul	153
Reino Unido	152
Outros Países	1.298
Mundo	7.755

Fonte: IEA, 2008.



Usina de carvão mineral Candiotá - Rio Grande do Sul.

Fonte: Banco de Imagens da Companhia de Geração Técnica de Energia Elétrica (CGTEE).

No Brasil, o minério representa, no entanto, pouco mais de 1,5% da matriz da energia elétrica. Em 2007, ano em que 435,68 TWh foram produzidos no País, o carvão foi responsável pela geração de 7,9 TWh, a partir da operação de usinas termelétricas que estão localizadas na região Sul, nas proximidades das áreas de mineração (ver Tabela 9.4 abaixo).

Tabela 9.4 - Centrais termelétricas a carvão mineral em operação no Brasil - situação em novembro de 2008				
Usina	Potência (kW)	Destino da Energia	Município	Proprietário
Charqueadas	72.000	PIE	Charqueadas - RS	Tractebel Energia S/A.
Figueira	160.250	SP	Figueira - PR	Copel Geração S/A.
Jorge Lacerda I e II	232.000	PIE	Capivari de Baixo - SC	Tractebel Energia S/A.
Jorge Lacerda III	262.000	PIE	Capivari de Baixo - SC	Tractebel Energia S/A.
Jorge Lacerda IV	363.000	PIE	Capivari de Baixo - SC	Tractebel Energia S/A.
Presidente Médici A, B e C	796.000	SP	Candiotá - RS	Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica
São Jerônimo	20.000	SP	São Jerônimo - RS	Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica

Fonte: Aneel (2008).

¹ Um terawatt-hora equivale a um milhão de megawatts-hora



Extração do carvão mineral no Rio Grande do Sul.

Fonte: Stock.XCHNG (www.sxc.hu).

Essa aplicação restrita é resultante de fatores como a vocação brasileira para utilização de fontes hídricas na produção de energia elétrica e a baixa qualidade da maior parte do carvão nacional, o que impede o seu transporte por grandes distâncias e afeta o grau de rendimento da usina termelétrica – uma vez que a quantidade de energia produzida é inferior àquela obtida com carvões de alto poder calorífico. Além disso, também há restrições de natureza geopolítica (dependência de importações, por exemplo) e entraves tecnológicos e econômicos que se refletem no custo da geração da eletricidade. Há 20 anos, as pesquisas na área do carvão no Brasil estão virtualmente paralisadas.

Ao projetar a diversificação da matriz nacional, o Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica (PDEE 2006/2015 – MME/EPE, 2006) prevê a expansão da utilização do carvão. Tanto que o Governo Federal destinou R\$ 58 milhões do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) a essas usinas. Dois empreendimentos já se encontram em construção e devem entrar em operação até 2010 na região Sul: Jacuí e Candiota III, cada um com potência de 350 MW. Além disso, em julho de 2008 outros cinco projetos, com potência total de 3.148 MW, se encontravam em fase de estudos de viabilização técnico-econômica e socioambiental, segundo registra o Plano Nacional de Energia 2030.

A maioria utilizará carvão nacional. No entanto, projetos de usinas localizadas nas proximidades de portos que já detêm estrutura para recepção e transporte do carvão destinado à indústria prevêem utilizar o combustível importado. É o caso das termelétricas previstas para o Ceará e Maranhão, que devem entrar em operação até 2012: Pecém (com 700 MW de potência instalada na primeira fase e 360 MW na segunda) e Termomaranhão, com 350 MW de potência.

O Mapa 9.1 a seguir mostra a localização dos empreendimentos no Brasil e sua situação em novembro de 2008.



Convenções Cartográficas

- Capital Federal
- Capitais
- Divisão Estadual

Termelétricas a carvão

- Outorgadas
- Em operação

Por classe de potência (kW)

- Até 7.200
- 7.201 a 440.300
- 440.301 a 542.000
- 542.001 s 1.377.000
- 20.000 a 72.000
- 72.001 a 262.000
- 262.001 a 363.000
- 363.001 a 796.000



Fonte: ANEEL, 2008.

ATLAS DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL - 3ª EDIÇÃO

Escala Gráfica: 0 250 500 km

MAPA 9.1 - Empreendimentos futuros e em operação – situação em novembro de 2008

9.4 IMPACTOS AMBIENTAIS E TECNOLOGIAS LIMPAS

O carvão é uma das formas de produção de energia mais agressivas ao meio ambiente. Ainda que sua extração e posterior utilização na produção de energia gere benefícios econômicos (como empregos diretos e indiretos, aumento da demanda por bens e serviços na região e aumento da arrecadação tributária), o processo de produção, da extração até a combustão, provoca significativos impactos socioambientais.

A ocupação do solo exigida pela exploração das jazidas, por exemplo, interfere na vida da população, nos recursos hídricos, na flora e fauna locais, ao provocar barulho, poeira e erosão. O transporte gera poluição sonora e afeta o trânsito. O efeito mais severo, porém, é o volume de emissão de gases como o nitrogênio (N) e dióxido de carbono (CO₂), também chamado de gás carbônico, provocado pela combustão. Estimativas apontam que o carvão é responsável por entre 30% e 35% do total de emissões de CO₂, principal agente do efeito estufa.

Considerando-se a atual pressão existente no mundo pela preservação ambiental – principalmente com relação ao efeito estufa e às mudanças climáticas – é possível dizer, portanto, que o futuro da utilização do carvão está diretamente atrelado a investimentos em obras de mitigação e em desenvolvimento de tecnologias limpas (*clean coal technologies*, ou CCT).

Para a mineração, as principais medidas adotadas referem-se à recuperação do solo, destinação de resíduos sólidos e negociações com a comunidade local. É com vistas à produção de energia elétrica, porém, que ocorrem os grandes investimentos em P&D (pesquisa e desenvolvimento), focados na redução de impurezas, diminuição de emissões das partículas com nitrogênio e enxofre (NO_x e SO_x) e redução da emissão de CO₂ por meio da captura e armazenamento de carbono.

Atualmente, as rotas mais importantes de tecnologias limpas são a combustão pulverizada supercrítica, a combustão em leito fluidizado e a gaseificação integrada a ciclo combinado, segundo a IEA. Na combustão pulverizada supercrítica, o carvão é queimado como partículas pulverizadas, o que aumenta substancialmente a eficiência da combustão e conversão. O processo de combustão em leito fluidizado permite a redução de enxofre (até 90%) e de nitrogênio (70%-80%), pelo emprego de partículas calcárias e de temperaturas inferiores ao processo convencional de pulverização. Já a gaseificação integrada a ciclo combinado consiste na reação do carvão com vapor de alta temperatura e um oxidante (processo de gaseificação), o que dá origem a um gás combustível sintético de médio poder calorífico.



Recuperação de área degradada com plantio de acácias.

Fonte: Stock.XCHNG (www.sxc.hu).



Usina de carvão mineral Candiota - Rio Grande do Sul.

Fonte: Banco de Imagens da Companhia de Geração Técnica de Energia Elétrica (CGTEE).

Esse gás pode ser queimado em turbinas a gás e recuperado por meio de uma turbina a vapor (ciclo combinado), o que possibilita a remoção de cerca de 95% do enxofre e a captura de 90% do nitrogênio.

Para a utilização do carvão nacional, as tecnologias que apresentam melhores perspectivas de aplicação comercial são, atualmente, a combustão pulverizada e o leito fluidizado. Tanto que as usinas de Jacuí e Candiota III utilizam a combustão pulverizada. Outros dois projetos, a usina Sul Catarinense e a Seival, no Rio Grande do Sul, utilizarão, respectivamente, a combustão em leito fluidizado circulante e a combustão pulverizada, segundo o Plano Nacional de Energia 2030. Em todas será possível utilizar, total ou quase totalmente, o carvão bruto, sem necessidade de beneficiamento.

Já os efeitos das técnicas para seqüestro de carbono serão sensíveis apenas no médio e longo prazo. Projeções apontam que testes em escala comercial serão realizados em unidades de geração até 2015. Neste caso, a primeira usina com emissão zero de CO₂ entraria em operação em 2020.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) – disponível em www.aneel.gov.br

BP Global – disponível em www.bp.com

Empresa de Pesquisa Energética (EPE) – disponível em www.epe.gov.br

International Energy Agency (IEA) – disponível em www.iea.org

World Coal Institute (WCI) – disponível em www.worldcoal.org

World Energy Council (WEC) – disponível em www.worldenergy.org