

**SEGUNDO INVENTÁRIO BRASILEIRO DE
EMISSÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA**

RELATÓRIOS DE REFERÊNCIA

**EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO SETOR
ENERGÉTICO:**

**Emissões Fugitivas na Mineração e Beneficiamento do
Carvão Mineral**



Ministério da Ciência e Tecnologia

2010

PRESIDENTE DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
LUÍS INACIO LULA DA SILVA

VICE-PRESIDENTE DA REPÚBLICA
JOSÉ DE ALENCAR GOMES DA SILVA

MINISTRO DE ESTADO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
SERGIO MACHADO REZENDE

SECRETÁRIO EXECUTIVO
LUIZ ANTONIO RODRIGUES ELIAS

SECRETÁRIO DE POLÍTICAS E PROGRAMAS DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO
LUIZ ANTONIO BARRETO DE CASTRO

EXECUÇÃO

COORDENADOR GERAL DE MUDANÇAS GLOBAIS DE CLIMA
JOSÉ DOMINGOS GONZALEZ MIGUEZ

COORDENADOR TÉCNICO DO INVENTÁRIO
NEWTON PACIORNIK

**SEGUNDO INVENTÁRIO BRASILEIRO DE
EMISSÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA**

RELATÓRIOS DE REFERÊNCIA

**EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO SETOR
ENERGÉTICO:**

**Emissões Fugitivas na Mineração e Beneficiamento do
Carvão Mineral**

Elaborado por:

Associação Brasileira do Carvão Mineral - ABCM

Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina - SATC

P&D Consultoria Empresarial Ltda.

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - PUCRS

Autores:

Eng. Minas Leandro Fagundes

Eng. Minas Cleber Gomes

Ministério da Ciência e Tecnologia

2010

Publicação do Ministério da Ciência e Tecnologia

Para obter cópias adicionais deste documento ou maiores informações, entre em contato com:

Ministério da Ciência e Tecnologia
Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento
Departamento de Programas Temáticos
Coordenação Geral de Mudanças Globais de Clima
Esplanada dos Ministérios Bloco E 2º Andar Sala 268
70067-900 - Brasília - DF
Telefone: 61 3317-7923 e 3317-7523
Fax: 61 3317-7657
e-mail: cpmg@mct.gov.br
<http://www.mct.gov.br/clima>

Revisão:

Mauro Meirelles de Oliveira Santos
Newton Paciornik

Revisão de Editoração:

Márcia dos Santos Pimenta

A realização deste trabalho só foi possível com o apoio financeiro e administrativo do:

Fundo Global para o Meio Ambiente - GEF

Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD

Projeto BRA/05/G31
EQSW 103/104 lote 1 bloco D Setor Sudoeste.
70670-350 - Brasília - DF
Telefone: 61 3038-9065
Fax: 613038-9009
e-mail: registry@undp.org.br
<http://www.undp.org.br>

Agradecimentos:

Expressamos nossa mais profunda gratidão, pelos constantes incentivos e apoio em todos os momentos aos trabalhos realizados, ao Ministro de Estado da Ciência e Tecnologia, Dr. Sérgio Rezende, e ao Secretário Executivo, Dr. Luis Elias. Estendemos nossos agradecimentos ao Dr. Eduardo Campos, que ocupou a pasta de 2004 a 2005 e ao Dr. Luiz Fernandes, que representou a Secretaria Executiva de 2004 a 2007.

Agradecemos às equipes do GEF, do PNUD e da ABC/MRE por meio dos dirigentes dessas instituições: Sra. Monique Barbut, Dr. Jorge Chediek e Ministro Marco Farani, respectivamente, e, em particular, algumas pessoas muito especiais sem as quais a realização desse trabalho não teria sido possível: Robert Dixon, Diego Massera e Oliver Page, do GEF; Rebeca Grynstan, do PNUD/Latino América e Caribe; Kim Bolduc, Eduardo Gutierrez, Carlos Castro, Rose Diegues, Luciana Brant, do PNUD-Brasil, bem como Márcio Corrêa e Alessandra Ambrosio, da ABC/MRE. Agradecemos, igualmente, à equipe da ASCAP/MCT, por meio de sua dirigente, Dra. Ione Egler. Agradecemos, por fim, à equipe da Unidade de Supervisão Técnica e Orientação Jurídica do PNUD-Brasil. A todas essas pessoas, por seu apoio e liderança neste processo, nosso mais sincero agradecimento.

Índice

	Página
Apresentação _____	7
Sumário Executivo _____	8
1. Introdução _____	11
1.1 <i>Caracterização do carvão mineral e do setor energético no Brasil</i> _____	11
1.2 <i>Reservas</i> _____	13
2. Metodologia _____	15
2.1 <i>Emissões de CH₄ na mineração e beneficiamento do carvão mineral</i> _____	15
2.2 <i>Emissões de CO₂ na mineração e beneficiamento do carvão mineral</i> _____	18
3. Dados _____	19
4. Resultados _____	27
4.1 <i>Emissões fugitivas de metano da mineração e beneficiamento do carvão mineral</i>	27
4.2 <i>Emissões de dióxido de carbono a partir da queima espontânea em pilhas de rejeito</i>	28
5. Diferenças em relação ao Inventário Inicial _____	29
6. Referências Bibliográficas _____	30
ANEXO 1 - Dados de produção e emissões da indústria do carvão mineral, de 1990 a 2005	39
ANEXO 2 - Metodologia para Amostragem e Análise de Metano em Minas de Carvão	57

Lista de Tabelas

	Página
<i>Tabela 1 – Oferta de energia interna e participação do carvão mineral</i> _____	12
<i>Tabela 2 – Produção nacional de carvão mineral por tipo</i> _____	12
<i>Tabela 3 – Dependência externa de carvão metalúrgico</i> _____	12
<i>Tabela 4 – Relação entre o carvão mineral e a participação no faturamento setorial</i> _____	13
<i>Tabela 6 – Dados quantitativos das reservas lavráveis no Brasil</i> _____	14
<i>Tabela 7 – Recursos e reservas brasileiras de carvão mineral</i> _____	14
<i>Tabela 9 – Fatores de emissão estimados para as atividades pós-mineração em minas subterrâneas</i> _____	17
<i>Tabela 10 – Fatores de emissão estimados para as atividades pós-mineração em minas a céu aberto</i> _____	17
<i>Tabela 11 - Fatores de emissão para emissões fugitivas de metano</i> _____	18
<i>Tabela 12 - Minas e unidades mineiras em atividade no Brasil</i> _____	20
<i>Tabela 13 – Produção de carvão ROM no Brasil</i> _____	26
<i>Tabela 14 – Emissões de metano da mineração e beneficiamento de carvão mineral no Brasil</i> _____	27
<i>Tabela 15 - Emissões de dióxido de carbono a partir da queima espontânea em pilhas de rejeito</i> _____	29

Apresentação

O Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal (Inventário) é parte integrante da Comunicação Nacional à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (Convenção de Mudança do Clima). A Comunicação Nacional é um dos principais compromissos de todos os países signatários da Convenção de Mudança do Clima.

A responsabilidade da elaboração da Comunicação Nacional é do Ministério da Ciência e Tecnologia, ministério responsável pela coordenação da implementação da Convenção de Mudança do Clima no Brasil, conforme divisão de trabalho no governo que foi estabelecida em 1992. A Segunda Comunicação Nacional Brasileira foi elaborada de acordo com as Diretrizes para Elaboração das Comunicações Nacionais dos Países não Listados no Anexo I da Convenção (países em desenvolvimento) (Decisão 17/CP.8 da Convenção) e as diretrizes metodológicas do Painel Intergovernamental de Mudança do Clima (IPCC).

Em atenção a essas Diretrizes, o presente Inventário é apresentado para o ano base de 2000. Adicionalmente são apresentados os valores referentes aos outros anos do período de 1990 a 2005. Em relação aos anos de 1990 a 1994, o presente Inventário atualiza as informações apresentadas no Primeiro Inventário.

Como diretriz técnica básica, foram utilizados os documentos elaborados pelo Painel Intergovernamental de Mudança Global do Clima (IPCC) “*Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*” publicado em 1997, o documento “*Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*”, publicado em 2000, e o documento “*Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry*”, publicado em 2003. Algumas das estimativas já levam em conta informações publicadas no documento “*2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*”, publicado em 2006.

De acordo com as diretrizes, o Inventário deve ser completo, acurado, transparente, comparável, consistente e ser submetido a processo de controle de qualidade.

A elaboração do Inventário contou com a participação ampla de entidades governamentais e não-governamentais, incluindo ministérios, institutos, universidades, centros de pesquisa e entidades setoriais da indústria. Os estudos elaborados resultaram em um conjunto de Relatórios de Referência, do qual este relatório faz parte, contendo as informações utilizadas, descrição da metodologia empregada e critérios adotados.

Todos os Relatórios de Referência foram submetidos a uma consulta ampla de especialistas que não participaram na elaboração do Inventário diretamente, como parte do processo de controle e garantia de qualidade. Esse processo foi essencial para assegurar a qualidade e a correção da informação que constitui a informação oficial do governo brasileiro submetida à Convenção de Mudança do Clima.

Sumário Executivo

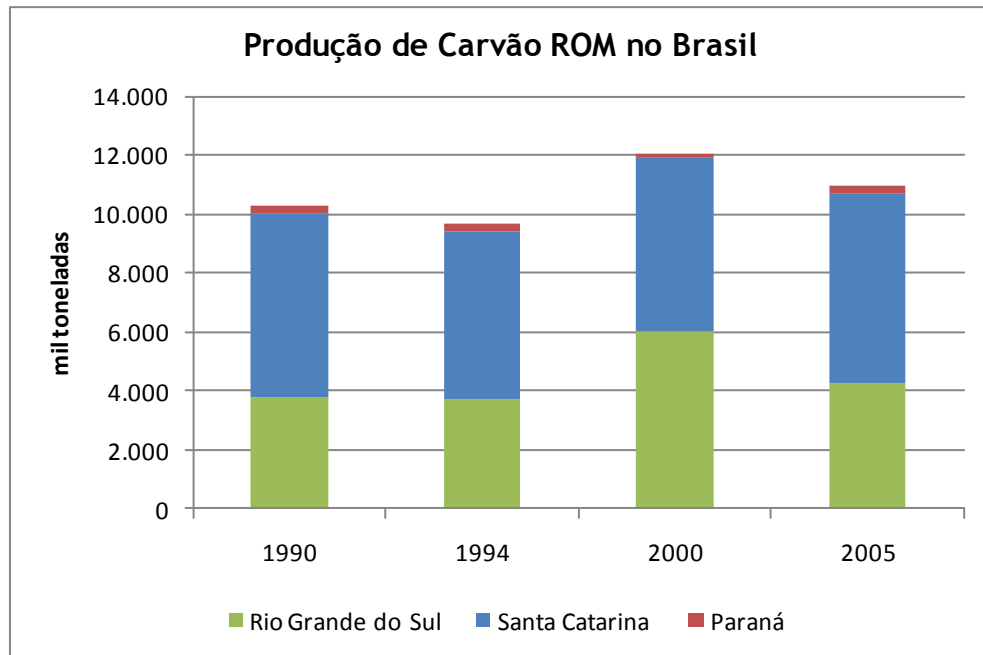
Este relatório apresenta as estimativas das emissões de gases de efeito estufa da indústria de carvão mineral no Brasil para o período de 1990 a 2005, nas operações de mineração e beneficiamento.

O presente relatório foi elaborado conforme contrato firmado entre o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD, a agência implementadora do Fundo Global para o Meio Ambiente, e a Associação Brasileira do Carvão Mineral - ABCM, no âmbito do Projeto BRA/05/G31. A ABCM, devido à reestruturação do setor de carvão mineral, absorveu atribuições do Sindicato Nacional da Indústria de Extração de Carvão Mineral - SNIEC, responsável pelo Inventário Inicial.

Este estudo foi solicitado, revisado e reestruturado pela Coordenação Geral de Mudanças Globais do Ministério da Ciência e Tecnologia, a agência executora do Projeto, e elaborado pelo corpo técnico da empresa P&D Consultoria Empresarial Ltda., localizada em Guaíba - RS. As estimativas compreendem as emissões fugitivas de metano das minas a céu aberto e subterrâneas, bem como as emissões de CO₂ dos depósitos de carvão mineral e pilhas de rejeitos.

As estimativas apresentadas tiveram como base os “*Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories*” - *Guidelines 1996*, publicado em 1997. Os fatores de emissão sugeridos pelo IPCC foram confrontados com medições realizadas em algumas camadas de carvão tanto do Rio Grande do Sul, quanto de Santa Catarina. Foi feita uma correlação entre as características geológicas das minas/camadas amostradas, com as suas características referentes à quantidade e qualidade do carvão ROM (*run-of-mine*) e também do carvão energético produzidos no país. Com isso, foram adotados os fatores de emissão que mais se aproximavam da realidade nacional.

As emissões são apresentadas por estado e para o todo o país. A produção de carvão mineral no Brasil ocorre nos três estados do sul do país, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. Em 1990, a produção total de carvão *run-of-mine* (ROM) no Brasil foi de aproximadamente 10,3 milhões de toneladas. Em 2005, esse valor aumentou 6,7%, chegando ao total de 11,0 milhões de toneladas, sendo que 60,1% da produção de carvão mineral eram provenientes das minas subterrâneas e 39,9% das minas a céu aberto.

Figura I - Produção de carvão mineral *run-of-mine* (ROM) por estado

As emissões totais de metano em 1990 foram estimadas em 49,7 Gg, diminuindo para 49,1 Gg em 2005, com as minas subterrâneas respondendo por 89,8% desse total, as minas de superfície por 1,8% das emissões e as atividades pós-mineração por 8,4%, como apresentado na Figura II. A Figura III apresenta as emissões por estado.

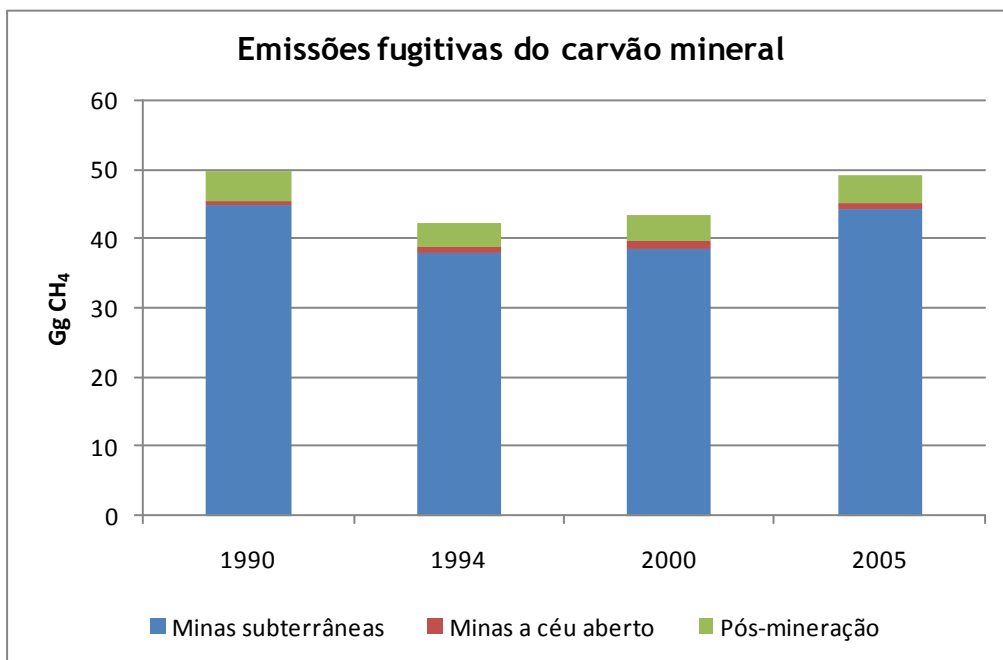
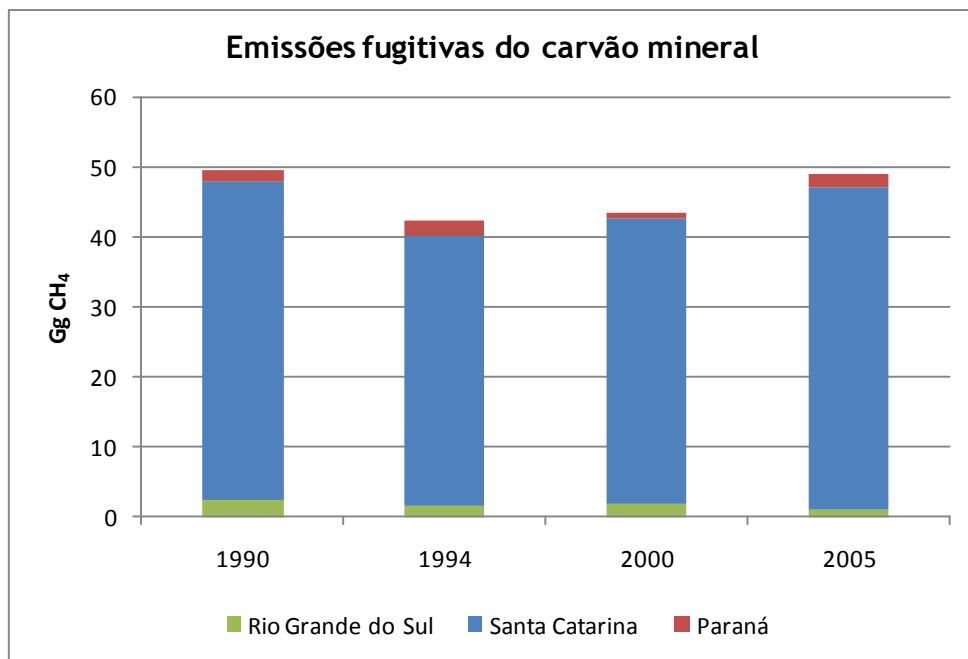
Figura II - Emissões de metano da mineração e beneficiamento de carvão mineral por fonte

Figura III - Emissões de metano da mineração e beneficiamento de carvão mineral por estado



As emissões de dióxido de carbono dos depósitos de carvão mineral e das pilhas de rejeitos foram estimadas em 1.353,0 Gg CO₂ em 1990, diminuindo para 957,0 Gg em 2005.

1. Introdução

1.1 Caracterização do carvão mineral e do setor energético no Brasil

O carvão brasileiro é produzido comercialmente apenas nos estados da Região Sul. O Rio Grande do Sul é o estado que possui as maiores reservas geológicas, seguido por Santa Catarina e depois pelo Paraná.

O perfil de qualidade dos carvões brasileiros varia do sul para o norte, com aumento do teor de cinzas, redução no poder calorífico e aumento do teor de enxofre, o que reforça a necessidade de controle ambiental para o controle das emissões de SO_x (óxidos de enxofre - SO_2 e SO_3).

Os carvões brasileiros são similares aos sul-africanos, australianos e indianos, sendo distintos dos carvões da Europa e Estados Unidos. Eles são ditos carvões gonduânicos, porque teriam sido formados antes da separação de *Gondwana* nos três continentes, o que ocorreu há cerca de 180 milhões de anos. Eles possuem características peculiares, que justificam as diferenças de seu comportamento durante o seu beneficiamento e aplicação industrial.

Em meados dos anos 80 começou a haver a gradual retirada dos subsídios à produção e ao consumo de carvão, que haviam começado na década de 70 (crises do petróleo). A produção de carvão metalúrgico em Santa Catarina chegou a atingir um milhão de toneladas por ano correspondendo a cerca de 10% do consumo nacional em 1985 e cerca de 5% em 1990. Com o fechamento em definitivo do Lavador de Capivari e a desregulamentação do setor no governo Collor (fim da obrigatoriedade da compra de todo carvão metalúrgico nacional) a parcela de carvão nacional utilizada na siderurgia foi substituída pelo carvão importado.

A participação do carvão mineral e seus subprodutos na oferta de energia primária no Brasil passou de 6,8% em 1990 para 6,4% em 2005. A participação do carvão mineral na oferta de energia primária é maior do que a produção, devido à importação por diversos setores. A oferta total é apresentada na Tabela 1 e inclui o carvão metalúrgico.

Tabela 1 - Oferta de energia interna e participação do carvão mineral

Oferta de energia	1990	1994	1998	2002	2005	Var. 1990/2005
	mil tep					
Interna total	141.940	157.288	185.562	198.737	218.663	54,1%
De carvão mineral	9.615	11.353	12.456	13.006	13.732	42,8%

Fonte: MME - Balanço Energético Nacional, 2006

Eletricidade: 1 MWh = 0,086 tep

Dois tipos de carvão mineral são produzidos no Brasil: o carvão energético, também chamado de carvão vapor, de aplicação industrial na geração de vapor e energia; e o carvão metalúrgico de aplicação industrial no setor de redução das indústrias siderúrgicas. A produção por tipo de carvão mineral pode ser vista na Tabela 2. O que se observa é que houve um aumento significativo da produção de carvão energético no período de 1990 a 2005, e um decréscimo também significativo do carvão metalúrgico, que o Brasil produz muito pouco.

Tabela 2 - Produção nacional de carvão mineral por tipo

Carvão mineral	1990	1994	2000	2005	Var. 1990/2005
	mil tep				
Carvão vapor	1.595	1.943	2.603	2.348	47,2%
Carvão metalúrgico	320	76	10	135	-57,8%

Fonte: MME - Balanço Energético Nacional, 2006

A Tabela 3 apresenta a dependência brasileira do carvão metalúrgico importado, que passou de 77,8% em 1990 para 80,1% em 2005¹.

Tabela 3 - Dependência externa de carvão metalúrgico

Carvão metalúrgico	1990	1994	2000	2005
Produção nacional (mil tep)	320	76	10	135
Importação (mil tep)	7.505	8.294	9.789	10.137
Dependência externa	78%	81%	78%	80%

Fonte: MME - Balanço Energético Nacional, 2006

¹ Para maiores detalhes da metodologia e do cálculo da dependência externa, vide Relatório de Referência "Emissões de Dióxido de Carbono por Queima de Combustíveis Fósseis: Abordagem Top-Down".

Os números deixam clara a extrema dependência do setor siderúrgico brasileiro de importações de carvão mineral do tipo metalúrgico.

Considerando somente o setor de mineração e beneficiamento de carvão mineral, a sua representatividade atinge aproximadamente um terço da produção mineral nos estados da Região Sul (Tabela 4).

Tabela 4 - Relação entre o carvão mineral e a participação no faturamento setorial

Substância Mineral	Faturamento Setorial	Participação
Carvão Mineral	R\$ 500,3 x 10 ⁶	-
Região Sul	R\$ 1.487 x 10 ⁶	33,6 %
BRASIL	RS 31.467 x 10 ⁶	1,6 %

Fonte: Anuário Mineral Brasileiro - AMB - 2006, Ano-base 2005 - DNPM/MME

1.2 Reservas

Segundo o BEN (2006), em 2005 o Brasil possuía 27.187 Gt de recursos e reservas de carvão vapor e 5.149 Gt de carvão metalúrgico. De acordo com a nomenclatura internacional, o termo “reserva” refere-se a uma reserva técnica e economicamente aproveitável, levando-se em consideração a recuperação da lavra, sendo também conhecido como “reserva lavrável”, enquanto que o termo “recurso” seria aplicável para as demais, as “reservas medidas, indicadas e inferidas”, em grau decrescente de confiabilidade. Essa categorização de reservas é preferida no Anuário Mineral Brasileiro.

As principais reservas minerais de carvão estão localizadas nos estados da região Sul, ou seja, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. As atividades produtivas também ocorrem somente nesta região.

Estão identificadas e mapeadas ocorrências em outros estados brasileiros, porém com importância somente destacam-se São Paulo e Maranhão, porém sem viabilidade econômica.

Na Região Sul, a distribuição do carvão mineral segundo os municípios é apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 - Jazidas minerais nos municípios brasileiros

Rio Grande do Sul	Santa Catarina	Paraná	Brasil
28 municípios	12 municípios	4 municípios	44 municípios
63,6 %	27,3 %	9,1 %	100 %

Fonte: Anuário Mineral Brasileiro - AMB - 2005 - DNPM - MME

O Estado do Rio Grande do Sul é o que tem a maior reserva lavrável, como mostra a tabela a seguir.

Tabela 6 - Dados quantitativos das reservas lavráveis no Brasil

Rio Grande do Sul - RS	Santa Catarina - SC	Paraná - PR	Brasil
5.375,6 x 10 ⁶ t	1.213,6 x 10 ⁶ t	6,6 x 10 ⁶ t	6.595,8 x 10 ⁶ t
81,5 %	18,4 %	0,1 %	100 %

Fonte: Anuário Mineral Brasileiro - AMB - 2005 - DNPM - MME

A tabela a seguir informa a evolução das reservas brasileiras de carvão mineral.

Tabela 7 - Recursos e reservas brasileiras de carvão mineral

Ano	Carvão Energético	Carvão Metalúrgico	Total
1975	4.423 x 10 ⁶ t	660 x 10 ⁶ t	5.083 x 10 ⁶ t
1980	21.331 x 10 ⁶ t	1.483 x 10 ⁶ t	22.814 x 10 ⁶ t
1985	25.600 x 10 ⁶ t	5.393 x 10 ⁶ t	30.993 x 10 ⁶ t
1990	27.265 x 10 ⁶ t	5.150 x 10 ⁶ t	32.415 x 10 ⁶ t
1995	27.242 x 10 ⁶ t	5.149 x 10 ⁶ t	32.391 x 10 ⁶ t
2000	27.215 x 10 ⁶ t	5.149 x 10 ⁶ t	32.364 x 10 ⁶ t
2005	27.187 x 10 ⁶ t	5.149 x 10 ⁶ t	32.336 x 10 ⁶ t

Fonte: BEN 2006, Ano-base: 2005.

2. Metodologia

Neste relatório apresentamos tanto as emissões de CH₄ da mineração e beneficiamento do carvão mineral quanto as emissões de CO₂ pela queima espontânea nas pilhas de rejeito. A metodologia de avaliação dos gases de efeito estufa produzidos pela indústria de carvão mineral é apresentada no manual de referência dos *Guidelines 1996* e no *Good Practice Guidance and Uncertainty Management on National Greenhouse Gas Inventories (2000)* ou simplesmente *Good Practice Guidance 2000*. No período compreendido entre 1990 e 2005, não foram registrados no Brasil casos envolvendo a recuperação de gases e conversão térmica em empresas de mineração de carvão, sendo desconsiderada esta categoria para a aplicação da metodologia dos *Guidelines 1996*.

2.1 Emissões de CH₄ na mineração e beneficiamento do carvão mineral

De acordo com os *Guidelines 1996*, as estimativas de emissão de metano devem ser desenvolvidas para as três principais fontes de emissão: as minas subterrâneas, as minas a céu aberto e as atividades pós-mineração, ou seja, após a extração do minério, (tanto das minas subterrâneas quanto das minas a céu aberto). Para auxiliar no desenvolvimento dessas estimativas, o IPCC recomenda o uso de uma das três abordagens “Tier” sugeridas, com diferentes níveis de detalhe, e que dependem da disponibilidade de dados. A abordagem *Tier 1* apresenta intervalos de valores para os fatores de emissão segundo os tipos de mina (a céu aberto e subterrâneas); a *Tier 2* é baseada em fatores de emissão estimados por especialistas, por mina; a *Tier 3* envolve um método específico de medição por mina. Nos dois primeiros casos, as emissões de metano provenientes das atividades mineradoras (das minas subterrâneas, das minas a céu aberto e das atividades pós-mineração de minas subterrâneas e a céu aberto) podem ser descrita pela fórmula geral:

$$\text{Emissões de CH}_4 \text{ (Gg)} = \text{Produção do carvão mineral (10}^6 \text{ t)} \times \text{Fator de emissão (m}^3 \text{ CH}_4\text{/t carvão)} \times \text{Fator de conversão (Gg CH}_4\text{/10}^6 \text{ m}^3 \text{ CH}_4\text{)}.$$

Para este Inventário, houve um esforço inicial em busca de fatores de emissão que refletissem melhor a realidade brasileira da mineração e do beneficiamento do carvão mineral. Essa pesquisa foi feita através do Laboratório de Química Analítica Ambiental pertencente à Faculdade de Química da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - PUCRS e consta no ANEXO 2. As minas consideradas para este estudo, com a caracterização dos seus produtos, estão apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8 - Caracterização química do carvão nas diferentes minas consideradas

Caracterização do Carvão		Teor	Matéria	Carbono	Poder	Rank (ASTM)*
		Cinzas	Volátil	Fixo	Calorífico Sup.	
		% b.s.			kcal/kg	
Mina Subterrânea A	SC	69,43	15,72	14,85	2167	BAV-C
Mina Subterrânea B	SC	64,46	14,61	20,93	2781	BMV
Mina Subterrânea C	SC	61,26	16,50	22,25	3032	BAV-A
Mina Céu Aberto D	RS	51,09	22,28	26,63	3224	SB-B
Mina Céu Aberto E	RS	54,18	20,67	25,15	3090	SB-C

Fonte: ANEXO 2

* BAV-C: Betuminoso Alto Volátil C; BMV: Betuminoso Médio Volátil; BVA-A: Betuminoso Alto Volátil A;
SB-B: Sub-betuminoso B; SB-C: Sub-betuminoso C.

Teoricamente, o teor de metano presente no carvão está relacionado com fatores como *rank* (grau de carbonificação da matéria vegetal de origem), profundidade da camada, propriedades físico-químicas, entre outras. Porém, existem fatores geológicos que apresentam extrema relevância e que afetam o equilíbrio dinâmico do metano presente na camada de carvão.

Os fatores de emissão sugeridos pelo IPCC foram confrontados com medições realizadas em algumas camadas de carvão tanto do Rio Grande do Sul, quanto de Santa Catarina, conforme a Tabela 9 e a Tabela 10. As medições indicaram fatores de emissão de metano bem abaixo dos limites inferiores indicados pelos *Guidelines 1996*.

Tabela 9 - Fatores de emissão estimados para as atividades pós-mineração em minas subterrâneas

Fonte	Amostra		Fator de Emissão Pós-Mineração (m ³ CH ₄ / t carvão)		
			Estimado	Subsolo <i>Guidelines 1996</i>	
				Mínimo	Máximo
Mina A Subsolo	ROM Mina		0,0027	0,9	4,0
	ROM Mina	Antes Detonação	0,0204	0,9	4,0
	ROM Mina	Após Detonação	0,0420	0,9	4,0
	ROM	Pilha Pulmão	0,0688	0,9	4,0
Mina B Subsolo	ROM Mina	Antes Detonação	0,0001	0,9	4,0
	ROM Mina	Após detonação	0,0015	0,9	4,0
	ROM	Pilha Pulmão	0,0018	0,9	4,0
Mina C Subsolo	ROM Mina	Antes Detonação	0,0005	0,9	4,0
	ROM Mina	Após detonação	0,0018	0,9	4,0
	ROM Mina	Após detonação	0,0016	0,9	4,0
	ROM Mina	Após Detonação	0,0014	0,9	4,0
	ROM	Pilha Pulmão	0,0053	0,9	4,0
	ROM	Após Detonação	0,0017	0,9	4,0

Tabela 10 - Fatores de emissão estimados para as atividades pós-mineração em minas a céu aberto

Fonte	Amostra		Fator de Emissão Pós-Mineração (m ³ CH ₄ / ton carvão)		
			Estimado	Céu Aberto <i>Guidelines 1996</i>	
				Mínimo	Máximo
Mina D Céu Aberto	ROM Mina		0,0031	0,0	0,2
	ROM Mina		0,0033	0,0	0,2
	ROM	Pilha Pulmão	0,0050	0,0	0,2
	ROM	Pilha Pulmão	0,0019	0,0	0,2
Mina E Céu Aberto	ROM Mina	Após Desmonte	4 x 10 ⁻⁶	0,0	0,2
	ROM Mina	Após Desmonte	4 x 10 ⁻⁶	0,0	0,2
	ROM	Pilha Pulmão	3 x 10 ⁻⁶	0,0	0,2
	ROM	Pilha Pulmão	4 x 10 ⁻⁶	0,0	0,2
	ROM	Furo Sondagem	0,0001	0,0	0,2

Pelo observado, não houve a correlação esperada de carvão com maior *rank* e maiores emissões.

Além disso, os resultados obtidos através do desenvolvimento da parte experimental indicam que o carvão brasileiro apresenta baixo fator de emissão de metano, bem abaixo dos fatores mínimos do IPCC, porém existe a necessidade da realização de trabalhos técnicos consistentes e focados especificamente para emissões fugitivas decorrentes da extração de carvão, de forma a subsidiar a definição de valores efetivamente representativos para as minas do Brasil.

Por isso, em virtude de resultados bem abaixo dos intervalos dos fatores de emissão na abordagem *Tier 1* dos *Guidelines 1996* e do fato de serem as primeiras pesquisas sobre fatores de emissão nacionais para o carvão mineral, adotaram-se os fatores de emissão mínimos dessa abordagem *Tier 1*, não só para a pós-mineração (resultados mostrados acima), quanto, coerentemente, para a mineração também. Tal medida visa resguardar a confiabilidade dos valores a serem calculados, considerando-se que a parte experimental apontou divergências entre o comportamento previsto conceitualmente para as emissões de metano e os resultados efetivamente encontrados nas minas amostradas. Para o caso de minas a céu aberto, o valor mínimo nulo para pós-mineração foi descartado e usado um valor arbitrado, para manter emissões, medidas como não nulas. Os fatores adotados neste relatório estão na tabela a seguir.

Tabela 11 - Fatores de emissão para emissões fugitivas de metano

Fatores de emissão para emissões fugitivas de metano do carvão mineral	BAIXO NÍVEL DE EMISSÃO	
	Mineração	Pós-mineração
	m ³ CH ₄ /t carvão	
Minas subterrâneas	10	0,9
Minas a céu aberto	0,3	0,05

2.2 Emissões de CO₂ na mineração e beneficiamento do carvão mineral

O carbono presente no carvão mineral pode ser convertido em emissões de dióxido de carbono a partir da combustão espontânea na armazenagem e nos rejeitos, bem como no consumo final. Considera-se neste relatório que todo o carvão *run-of-mine* extraído foi processado, produzindo carvão lavado e rejeitos.

Para a avaliação das emissões de dióxido de carbono decorrentes da combustão espontânea em pilhas de rejeito, estimou-se a quantidade deste através dos registros, nas empresas, dos balanços de massa e do teor médio de carbono no carvão mineral ROM e nos produtos beneficiados. Nesta avaliação, considerou-se o carvão *run-of-mine* (ROM) como um produto que não permanece como tal na mina após a extração, sendo imediatamente beneficiado ou vendido.

Um fator limitante para os cálculos das emissões de CO₂ é o desconhecimento do tempo de estocagem dos carvões *run-of-mine* e lavado, bem como das pilhas de rejeito. Considerou-se para este trabalho, que as minas só produzem carvão sob encomenda ou com mercado consumidor garantido e, portanto, não administram estoques.

Desta forma, considerou-se que todo o carbono presente no carvão *run-of-mine* seria transferido tanto para os produtos beneficiados quanto para os rejeitos, sendo as perdas do processo contabilizadas nos rejeitos. Como em Santa Catarina também ocorreu o re-beneficiamento de rejeitos, foram estimados os percentuais de carbono presentes nesses rejeitos e o carbono assim calculado foi acrescentado ao carbono no carvão *run-of-mine* para o balanço de massa. Para o cálculo das emissões de dióxido de carbono, utilizou-se um fator de oxidação de 50% para o carbono contido nos rejeitos.

3. Dados

Os dados utilizados para o desenvolvimento deste trabalho e aplicação da metodologia do IPCC foram obtidos junto a fontes oficiais dos órgãos nacionais de governo, especificamente o Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM, vinculado ao Ministério de Minas e Energia - MME. Essas publicações foram extintas em 2000, o que motivou a revisão da base de dados e a realização de uma consulta ao Relatório Anual de Lavra (RAL) informado pelo setor ao DNPM.

A participação do setor produtivo no II Inventário considera as empresas em atividade no Brasil, separadas pelo tipo de mina, como minas a céu aberto e subterrâneas, e separadas por unidade da federação (Tabela 12).

Tabela 12 - Minas e unidades mineiras em atividade no Brasil

Estado	Empresa	Minas a Céu Aberto	Minas Subterrâneas
Rio Grande do Sul	Cia. Riograndense de Mineração (CRM)	Mina de Candiota	Mina Leão I
		Mina Taquara	
		Mina da Boa Vista	
	Copelmi Mineração Ltda.	Mina do Recreio	Mina Charqueadas
		Mina do Faxinal	
		Mina Butiá-Leste	
		Mina do Seival	
	Carbonífera Palermo Ltda.	Mina Capané I	
		Mina Capané II	
		Rejeitos	
	Cia. Nacional Mineração Candiota	Mina do Seival	
Sociedade Mineradora do Cerro Ltda.	Mina do Cerro		
Santa Catarina	Carbonífera Barro Branco S.A.	Mina Boa Vista	
		Mina Portão	
		Mina Lajeado	
		Mina Loro	
		Mina Rio Apertado	
		Mina Bett	
		Mina Elias	
		Mina Charuto	
		Mina Locks	
		Mina do Campo	
		Mina Farroupilha	
	Carbonífera Criciúma S.A.	UM III - Mina Rio Queimado	UM II - Verdinho
	Carbonífera Metropolitana S.A.	Mina Floresta	Mina Esperança
			Mina Fontanella
			Mina Nesi
	Cia. Carbonífera de Urussanga (CCU)	Mina Sangão	Mina São Geraldo
			Mina Santana
			Mina Santa Augusta
	Carbonífera Treviso S.A.	Mina Rio Pio	Mina Portão
			Mina Rossi
			Mina Itanema II
			Mina Possenti
	Carbonífera Belluno Ltda.	Mina Malha II	Mina Vila Irapuá
		Mina Marion	Mina Malha II
			Mina Fiorita ME
			Mina Cantão
			Mina Morozini Norte
Comin Cia. Ltda.	Mina Comin		
Carbonífera Barro Branco S.A.	Mina Rio Dez	Mina 3G	
	Mina Represa	Mina Bonito I	
	Mina Índio		

		Mina Santana	Mina Trevo
	Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda.		Mina Rio Deserto
			Mina São Geraldo
			Mina Barro Branco
			Mina Santana
	Mineração Pérola Ltda.	Linha Antas D	
		Linha Antas A, B e C	
	Carbonífera Santa Luzia Ltda.	Mina Portão	
	Mineração Forquilha Ltda.	Mina N. Sra. dos Campos	Mina N. Sra. dos Campos
	Nova Próspera Mineração S.A.		Mina Sangão (Mina A)
			Mina Morro Albino (Mina B)
	Cia. Brasileira Carbonífera de Araranguá (CBCA)		Mina São Simão
			Mina São Pedro
			Mina Verdinho - Mina 3
	Carbonífera Catarinense Ltda.		Mina 3G
			Mina Bonito I
	Ibracoque Mineração Ltda. - IBRAMIL		Mina Plano Lajeado
			Mina Figueira
	Cia. Carbonífera Catarinense (CCC)		Mina Rio Maina - Poço 3
			Catarinense III
	MINAGEO - Mineração e Geologia		Mina Santa Augusta
			Mina Trevo
	COOPERMINAS		Mina Verdinho - Mina 3
			Mina São Simão
			Mina São Pedro
			Mina (Criciúma)
			Mina (Lauro Muller)
			Mina (Siderópolis)
	Vale-Beneficiamento de Carvão Mineral Ltda.		Mina Lageado
Paraná	Cia. Carbonífera de Cambuí		Mina Armando Simões
			Mina poço 115
			Mina Frente 20
	Klabin do Paraná Mineração S.A.		Mina 2

Fonte: DNPM/MME - Anuário Mineral Brasileiro 2006. Ano-base: 2005.

No Rio Grande do Sul, a atividade de mineração se desenvolve com a predominância de lavra a céu aberto, porém também ocorrem minas subterrâneas cujo método de lavra é o de câmaras e pilares, mecanizado a semi-mecanizado. O histórico das alterações sofridas pelas empresas do Rio Grande do Sul que desenvolvem atividades de produção/extração de carvão no período referenciado por este inventário está na seguinte tabela:

Rio Grande do Sul - minas a céu aberto e subterrâneas - alterações

1990	Copelmi Mineração Ltda.: mineração subterrânea e a céu aberto. Com a mineração subterrânea (Mina Charqueadas) encerrando atividades em 1990.
1994	A Companhia Nacional de Mineração Candiota Ltda minerou a céu aberto (Mina do Seival) até 1994, sendo depois arrendada pela Copelmi Mineração Ltda., que manteve as atividades de mineração a céu aberto desta mina. A partir de 2005 e até hoje, a Mina do Seival é uma parceria entre a MPX Energia S/A (70%) e Copelmi Mineração Ltda. (30%).
2002	Companhia Riograndense de Mineração (CRM): mineração subterrânea e a céu aberto. Com a mineração subterrânea (Mina Leão I) encerrando atividades em 2002.
2004	A Carbonífera Palermo Ltda. minerou até 2004 a céu aberto (Mina do Capané). Em 2004 a Copelmi Mineração através de sua subsidiária Mineração do Cerro Ltda., passou a operar a mineração a céu aberto (Mina do Cerro).

Além dessas empresas, participam ainda do setor carbonífero estadual as empresas Mineração Santa Heloísa Ltda., que possui os direitos minerários da Mina do Butiá-Leste (Blocos B1, B2 já minerados e Blocos B3 e B4 em operação), sendo que essa mina encontra-se arrendada à Copelmi Mineração Ltda.

A Companhia Nacional de Mineração Candiota, é uma empresa de propriedade de diversas empresas cimenteiras nacionais, sendo detentora dos direitos minerários e, portanto, concessionária da Mina do Seival. Os diversos dados referentes a esta unidade mineira encontram-se computados nos índices da arrendatária.

Em Santa Catarina a mineração se desenvolveu tanto em minas a céu aberto quanto subterrâneas, além do re-beneficiamento de rejeitos. A lavra a céu aberto é realizada através da utilização de desmonte com explosivos, enquanto que a lavra subterrânea é realizada através do método de câmaras e pilares, sem recuperação de pilares, mecanizada a semi-mecanizada.

O histórico das alterações sofridas pelas empresas de Santa Catarina que desenvolvem atividades de produção/extração de carvão no período referenciado por este inventário está nas duas tabelas seguintes:

Santa Catarina - minas a céu aberto - alterações

1990	Carbonífera Criciúma S/A realizou atividades de mineração a céu aberto até este ano. A Companhia Carbonífera de Urussanga Ltda. (CCU) também realizou atividades de mineração a céu aberto até este ano.
1991	A Mineração Pérola Ltda. realizou atividades de mineração a céu aberto até este ano, encerrando as suas atividades extrativas no ano base 1991.
1994	A Carbonífera Belluno Ltda. S/A realizou atividades de mineração a céu aberto, durante o período do II Inventário entre 1994 até 2005.
1995	A Carbonífera Treviso S/A realizou atividades de mineração a céu aberto, durante o período do II Inventário entre 1995 até 1997.
1996	A Carbonífera Santa Luzia Ltda. realizou atividades de mineração a céu aberto, durante o período do II Inventário entre 1996 a 1998.
1997	A Carbonífera Metropolitana S/A realizou atividades de mineração a céu aberto, durante o período do II Inventário em 1997.
1998	A Comim Cia. Ltda. realizou atividades de re-beneficiamento de rejeitos carbonosos desde este ano.
2001	A Mineração Forquilha Ltda. realizou atividades de mineração a céu aberto durante os anos de 2001 e 2005.
2004	A Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda. realizou atividades de mineração a céu aberto durante este ano.

Santa Catarina - minas subterrâneas - alterações

1991	A Carbonífera Belluno Ltda. foi fundada em 1991, minerando as concessões de lavra da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), iniciando suas atividades extrativas em 1993 efetivamente, após avaliação das reservas minerais da CSN.
1995	A Nova Próspera Mineração S/A realizou atividades de mineração subterrânea até este ano, encerrando após suas atividades extrativas. A Companhia Carbonífera de Urussanga Ltda. (CCU) minerou até 1995, sendo que depois disso a CCU teve suas concessões de lavra divididas entre a Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda. e a Carbonífera Siderópolis Ltda. A Companhia Brasileira Carbonífera Araranguá Ltda. (CBCA) encerrou suas atividades extrativas em 1995, sendo a massa falida assumida e operada desde então pela Cooperativa de Extração de Carvão mineral dos Trabalhadores de Criciúma Ltda. (COOPERMINAS). A Ibracoque Mineração Ltda. (IBRAMIL) encerrou suas atividades de mineração neste ano, quando foi incorporada pela Carbonífera Catarinense Ltda.
1996	As operações extrativas da Cooperativa de Extração de Carvão mineral dos Trabalhadores de Criciúma Ltda. (COOPERMINAS) são iniciadas neste ano.
1997	A Carbonífera Treviso S/A encerrou suas atividades em 1997, e depois disto suas atividades de mineração subterrânea foram realizadas pela massa falida até o ano de 1999. A Mineração e Geologia Ltda. (MINAGEO) inicia suas atividades extrativas de carvão neste ano.
1999	A Carbonífera Barro Branco S/A operou atividade extrativas até 1999, sendo hoje pertencente a Carbonífera Catarinense Ltda. que realiza suas operações mineiras. A Carbonífera Catarinense Ltda. foi fundada neste ano, sendo antes parte do grupo representado pela Companhia Carbonífera Catarinense S/A (CCC), que encerrou atividades em 1999.
2001	A Vale-Beneficiamento de Carvão Mineral Ltda. realizou, no período do II inventário a mineração subterrânea de carvão entre os anos de 2001 a 2003.
2002	A Mineração Forquilha Ltda. realizou a extração de carvão por mineração subterrânea entre os anos de 2002 até 2004.

No Paraná, somente duas mineradoras exploram carvão, correspondente a 1% da produção nacional. A única alteração sofrida por empresa do Paraná das que desenvolvem atividades de produção/extração de carvão no período referenciado por este inventário está na tabela seguinte:

Paraná - mina subterrânea - alteração

1993	A Klabin do Paraná Mineração S/A realizou atividades de mineração subterrânea até o ano de 1993, encerrando depois suas atividades extrativas.
-------------	--

A Companhia Carbonífera do Cambuí S/A, mantém ativa a produção nesse estado através de suas diversas minas subterrâneas. Toda a atividade extrativa é subterrânea através do método de câmaras e pilares, semi-mecanizado.

A base de dados elaborada compreende:

- ⇒ Listagem das empresas por estado - situação operacional e características técnicas;
- ⇒ Detalhamento das unidades de extração mineral por estado e mina - produções nos anos-base, camadas de origem e dados de qualidade; e
- ⇒ Detalhamento das unidades de processamento por estado e empresa - produções nos anos-base, características técnicas, detalhes da alimentação, dos produtos beneficiados nas unidades e dados de qualidade.

Os dados de produção de carvão *run-of-mine* (ROM) no Brasil foram obtidos dos Informativos Anuais da Indústria Carbonífera / Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM, com detalhamento por mina. Entretanto, para o ano de 1997, não existem os dados detalhados por minas para os estados do Rio Grande do Sul e Paraná; para o ano 2000, não há dados para todos os estados. O Anuário Mineral Brasileiro - DNPM fornece a produção de carvão *run-of-mine* por estado, no período 1996-2000 e dos produtos beneficiados no período 1996-2005. Como os dados de ROM do Anuário para 1999 e 2000 cresceram muito em relação aos anos anteriores e não há sequência a partir daí, decidiu-se não utilizar os valores de produção de ROM desse Anuário.

Já a série de produtos beneficiados está bastante próxima da obtida a partir dos dados obtidos por mina. Então, para os anos de 1997 e 2000, as quantidades de produção de produtos beneficiados foram retiradas do Anuário Mineral Brasileiro, por estado. Para a produção de ROM, utilizaram-se os seguintes critérios:

Para o ano de 1997, que possui informação apenas para o Estado de Santa Catarina:

- Tomou-se a média da relação ROM/produtos beneficiados entre 1996 e 1998, em relação aos Estados do Rio Grande do Sul e Paraná (164,11%);
- Calculou-se a produção ROM com base nessa média da relação ROM/produtos beneficiados, aplicando-se a produção de beneficiados conhecida (total: 9.595.865 t);
- Foram calculados os fatores gerais de crescimento para ROM e produtos beneficiados em relação a 1996 (36,12% e 26,77%, respectivamente);
- Usaram-se esses fatores para calcular a produção ROM e produtos beneficiados de todas as minas dos Estados do Rio Grande do Sul e Paraná;

Para o ano de 2000, que não possui informação detalhada para nenhum estado:

- Tomou-se a média da relação ROM/produtos beneficiados entre 1999 e 2001 (177,57%);
- Calculou-se a produção ROM com base nessa média da relação ROM/produtos beneficiados, aplicando-se a produção de beneficiados conhecida e acrescentando-se a quantidade conhecida de ROM comercializada, segundo o Anuário Mineral (total: 12.066.303 t);
- Foram calculados os fatores gerais de crescimento para ROM e produtos beneficiados em relação a 1996 (27,32% e 14,93%, respectivamente);
- Usaram-se esses fatores para calcular a produção ROM e produtos beneficiados de todas as minas dos estados.

A Tabela 13 apresenta um resumo da produção de carvão *run-of-mine* no Brasil, por estado e por tipo - a céu aberto e subterrâneas. O ANEXO 1 apresenta os valores para todos os anos.

Tabela 13 - Produção de carvão ROM no Brasil

Produção de Carvão <i>Run-Of-Mine</i> (ROM)	1990	1994	2000	2005	Var. 1990/2005
	t				%
Minas a céu aberto					
Rio Grande do Sul	3.577.545	3.643.478	5.950.038	4.250.367	18,8
Santa Catarina	21.970	397.972	383.873	131.720	499,5
Paraná	0	0	0	0	NA
Total - minas a céu aberto	3.599.515	4.041.450	6.333.911	4.382.087	21,7
Minas subterrâneas					
Rio Grande do Sul	213.527	111.134	53.058	0	-100,0
Santa Catarina	6.231.261	5.255.499	5.571.109	6.300.417	1,1
Paraná	239.313	304.657	108.225	287.573	20,2
Total - minas subterrâneas	6.684.101	5.671.290	5.732.392	6.587.990	-1,4
Total Brasil	10.283.616	9.712.740	12.066.303	10.970.077	6,7

Fonte: Informativo Anual da Indústria Carbonífera / Departamento Nacional de Produção Mineral.

Ano 2000: ver considerações no texto.

4. Resultados

4.1 Emissões fugitivas de metano da mineração e beneficiamento do carvão mineral

Aplicando-se a metodologia exposta anteriormente à produção de carvão *run-of-mine* (ROM) do Brasil, foram obtidas as emissões fugitivas de metano da mineração e beneficiamento do carvão mineral, conforme a tabela a seguir.

Tabela 14 - Emissões de metano da mineração e beneficiamento de carvão mineral no Brasil

Emissões da mineração e pós-mineração do carvão	1990	1994	2000	2005	Var. 1990/2005
	Gg CH ₄				%
Mineração a céu aberto					
Rio Grande do Sul	0,719	0,732	1,196	0,854	18,8
Santa Catarina	0,004	0,080	0,077	0,026	499,5
Paraná	0,000	0,000	0,000	0,000	NA
Total - minas a céu aberto	0,724	0,812	1,273	0,881	21,7
Mineração a subterrâneas					
Rio Grande do Sul	1,431	0,745	0,355	0,000	-100,0
Santa Catarina	41,749	35,212	37,326	42,213	1,1
Paraná	1,603	2,041	0,725	1,927	20,2
Total - minas subterrâneas	44,783	37,998	38,407	44,140	-1,4
Pós-mineração					
Rio Grande do Sul	0,249	0,189	0,231	0,142	-42,7
Santa Catarina	3,758	3,182	3,372	3,804	1,2
Paraná	0,144	0,184	0,065	0,173	20,2
Total - pós-mineração	4,151	3,555	3,669	4,119	-0,8
Total Brasil	49,658	42,365	43,349	49,140	-1,0

4.2 Emissões de dióxido de carbono a partir da queima espontânea em pilhas de rejeito

Para o cálculo das emissões de dióxido de carbono a partir da queima espontânea em pilhas de rejeito da mineração foram utilizados os percentuais médios de carbono na produção ROM e nos produtos beneficiados por empresa.

Não havendo dados do teor médio de carbono na produção ROM para cada mina em todo o período 1990-2005, foi realizado o cálculo médio dos teores disponíveis e atribuído esse valor de uma forma generalizada para todos os anos.

No caso das minas em que é desconhecido qualquer valor de referência para o teor médio de carbono na produção ROM, adotaram-se teores de carbono de acordo com o perfil das minas de cada empresa; para produtos beneficiados sem informação, adotaram-se fatores médios, de acordo com produtos semelhantes em outras empresas.

Com essas premissas, chegou-se à quantificação do carbono contido na produção ROM e nos produtos beneficiados no Brasil para o período 1990 a 2005. É importante lembrar que esses valores estão relacionados com o potencial de liberação de dióxido de carbono, não representando sua efetiva emissão.

A estimativa do percentual de carbono dos antigos depósitos de rejeitos, incluídos na estimativa de emissão, foi feita com base em informações de apenas algumas minas.

No caso da extração de carvão no Brasil, não é prática usual realizar estocagem a céu aberto de rejeitos. Desta forma, a aplicação direta da metodologia dos *Guidelines* 1996 permite apenas a quantificação das emissões que poderiam ser liberadas, caso o carvão brasileiro fosse submetido ao mesmo destino final que o previsto pela metodologia.

O balanço de carbono feito inicialmente para cada mina apresentou, em diversos casos, resultado negativo, indicando carência de informações, tais como produção ou venda não informada, transferências entre empresas ou mesmo percentuais de carbono incorretos. Adotou-se, portanto um critério diverso, qual seja, de se fazer o balanço de massa por estado produtor, de modo a se homogeneizar os resultados. Dessa forma, na série 1990-2005, apenas em três anos houve um resultado negativo no Estado do Paraná e um no Estado do Rio Grande do Sul, lançados como nulos no resultado final.

A tabela a seguir apresenta os resultados obtidos a partir da metodologia exposta. O ANEXO 2 apresenta todos os dados de produção que deram origem a esse cálculo.

Tabela 15 - Emissões de dióxido de carbono a partir da queima espontânea em pilhas de rejeito

Emissões de CO ₂ das pilhas de rejeitos	1990	1994	2000	2005	Var. 1990/2005
	Gg CO ₂				%
Rio Grande do Sul	194,0	196,0	599,5	0,0	-100,0
Santa Catarina	1.147,7	1.132,4	690,3	891,5	-22,3
Paraná	11,3	19,7	1,3	65,5	477,3
Total	1.353,0	1.348,0	1.291,1	957,0	-29,3

5. Diferenças em relação ao Inventário Inicial

O desenvolvimento da pesquisa sobre emissões da mineração do carvão mineral brasileiro, feita para este Inventário, permitiu comprovar que esse carvão apresenta baixo nível de emissão.

Generalizar e empregar o fator mínimo de emissão dos *Guidelines 1996*, conforme foi feito neste Inventário, foi considerado uma abordagem mais precisa do que a atribuição de diferentes valores com base em aspectos teóricos (profundidade e grau de evolução), adotados no Inventário Inicial.

A justificativa reside no fato de que esses aspectos não foram devidamente comprovados para o caso do carvão brasileiro.

6. Referências Bibliográficas

ABCM - Associação Brasileira do Carvão Mineral, 2008 - 2000, Dados Estatísticos do Setor - Ano-base 2008 - 2000, URL: www.sact.edu.br/abcm.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2007, ABNT NBR ISO 14064 - Gases de Efeito Estufa - Parte 2: Especificação com Orientação no Âmbito do Projeto para a Quantificação, Monitoramento e Elaboração de Relatórios das Deduções de Emissão e Melhoria da Remoção de Gases de Efeito Estufa, URL: www.abnt.org.br.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2007, ABNT NBR ISO 14064 - Gases de efeito estufa - Parte 3: Especificação com Orientação para a Validação e Verificação de Declarações de Gases de Efeito Estufa, URL: www.abnt.org.br.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2007, ABNT NBR ISO 14064 - Gases de Efeito Estufa - Parte 1: Especificação com Orientação para a Validação e Verificação de Declarações de Gases de Efeito Estufa, URL: www.abnt.org.br.

ACA - Australian Coal Association, 2009, URL: www.australiancoal.com.

ACARP - Australian Coal Association Research Program, 2009, URL: www.acarp.com.au.

ADAMS D., 2008, Greenhouse Gas Emission Factors for Coal, IEA Clean Coal Centre.

ADAMS, D., 2002, The Kyoto Protocol - Opportunities for Coal, IEA Clean Coal Centre.

AUSTRALIAN GOVERNMENT - Department of Climate Change, 2008, National Greenhouse Accounts (NGA) Factors - Updating and Replacing the AGO Factors and Methods Workbook, URL: www.climatechange.gov.au.

AUSTRALIAN GOVERNMENT - Department of Climate Change, 2008, National Greenhouse Accounts (NGA) Factors for Australia, URL: www.climatechange.gov.au.

BEAMISH, B. B. and Vance, W. E., 1992, Greenhouse Gas Contributions from Coal Mining in Australia and New Zealand, Journal of the Royal Society of New Zealand, vol. 22, No.2, pp. 153-156.

BERTOL, M. A., ; Cesar, S. B., Maciel, L. A. C., Muller, A. A.; Santos, H. M. eSchmitt, J. C. C., 1987, Perfil Analítico do Carvão Mineral - DNPM - 1º Distrito / Porto Alegre, pp. 01 - 140.

BOVESPA - Bolsa de Valores de São Paulo, 2007, Índice de Sustentabilidade Empresarial - ISE, pp. 01-14, URL: www.bovespa.com.br.

BP - British Petroleum, 2009, Statistical Review of World Energy 2009 - Report, URL: www.bp.com.

CAC - Coal Association of Canada, 2009, URL: www.coal.ca.

CANADIAN GOVERNMENT - Greenhouse Gas Division - Environment Canada, 2004, Greenhouse Gas Quantification Guidance, Metal Mining - Guidance for Estimating Greenhouse Gas Emissions for Canada, URL: www.ec.gc.ca.

CANADIAN GOVERNMENT - Greenhouse Gas Division - Environment Canada, 2005, National Inventory Report 1990-2005: Greenhouse Gas Sources and Sinks in Canada - annex 9, URL: www.ec.gc.ca.

CANADIAN GOVERNMENT - Greenhouse Gas Division - Environment Canada, 2007, Canada's GHG Inventory - 1990 to 2007, URL: www.ec.gc.ca.

CEBDS - Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável, 2004, Fatos e Tendências: Energia e Mudança do Clima, URL: www.cebds.org.br.

DAY, S., Duffy, G., Sakurovs, R., Weir, S., 2008, Effect of coal properties on CO₂ sorption capacity under supercritical conditions, *Int. J. Greenhouse Gas Control*, 2: 342-352.

DAY, S. J., Carras, J. N., Fry, R. & Williams, D. J., 2009, Greenhouse Gas Emissions from Australian Open-cut Coal Mines: Contribution from Spontaneous Combustion and Low-Temperature Oxidation, *Environmental Monitoring and Assessment Journal*.

DAY, s., Fry, F., Ganggopakhay, P., Carras, J. - CSIRO, 2006, Assessment of Greenhouse Gas Emissions from Low Temperature Oxidation and spontaneous Combustion at Surface Coal Mines in Australia, CSIRO energy Technology.

DAY, S., McPee, R. - CSIRO, 2008, Assessing Measurement Procedures for Estimating Greenhouse Gas emissions from Underground Coal Mining, CSIRO Energy Technology & CSIRO Exploration and Mining.

DE LORENZO, L. & Socolow R. H., 2006, Modeling Technology Choice under Alternative CO₂ Policies, *Proceedings of the 8th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies*, pp 1474-1492.

DEBRIV - Deutscher Braunkohlen Industrie Verein, 2009, URL: www.braunkohle.de.

DEUTCH, J., Ogden, P. & Podesta, J., 2007, China's Energy - Challenges and Strategies - *Frontiers of Energy and Power Engineering in China Journal*, Volume 1, Number 1, pp 01-08.

DIAMOND, W. P., 1994, Methane Control for Underground Coal Mines, Information Circular 9395, Department of Interior - US, Bureau of Mines, pp. 01-55.

DIAMOND, William P., Schatzel, Steven J., 2008, Measuring The Gas Content Of Coal: A Review, NIOSH - The National Institute for Occupational Safety and Health, pp. 312-331.

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral, 2000-1990, Informativos Anuais da Indústria Carbonífera - 1999-1989.

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral, 2006 - 1997, Anuários Mineraias Brasileiros 2006 - 1997 - Anos-base 2005 - 1996, URL: www.dnpm.gov.br

EEA - European Environment Agency, 2006, Extraction and First Treatment of Solid Fossil Fuels, URL: www.eea.europa.eu.

EEA - European Environment Agency, 2007, Annual European Community Greenhouse Gas Inventory 1990-2005 and inventory report 2007, URL: www.eea.europa.eu.

EEA - European Environment Agency, 2007, Annual European Community Greenhouse Gas Inventory 1990-2007 and inventory report 2009, URL: www.eea.europa.eu.

EEA - European Environment Agency, 2009, Emission Inventory Guidebook: Extraction and distribution of fossil fuels and geothermal energy, URL: www.eea.europa.eu.

EEA - European Environment Agency, 2009, Emission Inventory Guidebook: Fugitive emissions from solid fuels: Coal Mining and Handling, URL: www.eea.europa.eu.

EIA - United States Department of Energy Information Administration, 2007, System for the Analysis of Global Energy Markets 2007, URL: www.eia.doe.gov.

EIA - United States Department of Energy Information Administration, 2008, Annual Energy Outlook 2008, URL: www.eia.doe.gov.

EIA - United States Department of Energy Information Administration, 2009, Annual Energy Outlook 2009, URL: www.eia.doe.gov.

EPA - United States Environmental Protection Agency, 2007, Climate Leaders GHG Inventory Protocol - Direct Emissions from Stationary Combustion Sources, URL: <http://www.epa.gov>.

EUROCOAL - European Association for Coal and Lignite, 2009, URL: www.eurocoal.org.

FAIZ, M. M., Saghafi, A., Barclay, S. A., Stalker, L., Sherwood, N. R., Whitford, D. J., 2007, Evaluating geological sequestration of CO₂ in bituminous coals: The southern Sydney Basin,

Australia as a natural analogue, *Int. J. Greenhouse Gas Control*, 1: 223-235.

FGV - Fundação Getúlio Vargas, Centro de Estudos em Sustentabilidade - Programa Brasileiro GHG Protocol, 2009, Guia para a Elaboração de Inventários Corporativos de Emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE), URL: www.ghgprotocolbrasil.com.br.

FUJIHARA, M.A., 2009, Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa - GEE e Oportunidades de Negócio na Mineração, IBRAM, XIII Congresso Brasileiro de Mineração.

GALLAHER, M. & Delhotal, K. C., 2005, Modeling the Impact of Technical Change on Emissions Abatement Investments in Developing Countries, *Essays in Honor of Edwin Mansfield - The Economics of R&D, Innovation, and Technological Change*, pp. 291-305.

GARG A., Shukla, P.R., Ghosh, D., Kapshe M., & Rajesh N., 2004, Future Greenhouse Gas and Local Pollutant Emissions for India: Policy Links and Disjoints, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change Journal*, Volume 8, Number 1, pp. 71-92.

GEF - Global Environment Facility, 2006, GEF's Work on Global Climate Change, Climate Change Network Publication, URL: www.gefweb.org.

GEF - Global Environment Facility, 2006, L'Action du FEM Face à la Modification du Climat Mondial, Climate Change Network Publication, URL: www.gefweb.org.

GEF - Global Environment Facility, 2006, The GEF and the Montreal Protocol, Ozone Depletion Network Publication, URL: www.gefweb.org.

GEF - Global Environment Facility, 2008, Transfert de Technologies Écologiquement Rationnelles: L'Expérience du FEM, Climate Change Network Publication, URL: www.gefweb.org.

GEF - Global Environment Facility, 2009, Climate Change Network, URL: www.gefweb.org.

GVST - Gesamtverband Steinkohlen, 2009, URL: www.gvst.de.

HAWKINS, D. G., Lashof, D. A. & Williams, R. H., 2006, What to Do About Coal, *Scientific American Magazine*, pp. 68-75.

IBARRARÁN, M. E. & Boyd, R., 2006, Economic Theory, Emission Control, and Kyoto, *Hacia el Futuro*, pp. 75-105.

IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração, 2009, Mudanças Climáticas: Mineradoras podem contribuir para redução das emissões globais.

IEA - International Energy Association, 2002, Coal and Sustainable Development - achieving

balance in priorities, CIAB - Coal Industry Advisory Board, pp 01-18.

IEA - International Energy Association, 2003, Technology Policy Assessment for GHG and SO₂ Mitigation, CIAB - Coal Industry Advisory Board, pp 01-53.

IEA - International Energy Association, 2005, Investment in Coal Supply and Use - An Industry Perspective on the IEA World Energy Investment Outlook, CIAB - Coal Industry Advisory Board, pp 01-113.

IEA - International Energy Association, 2007, Reducing Greenhouse Gas Emissions - The Potential of Coal, CIAB - Coal Industry Advisory Board, pp. 01-69.

IEA - International Energy Association, 2008, Clean Coal Technologies - Accelerating Commercial and Policy Drivers for Deployment, CIAB - Coal Industry Advisory Board, pp 01-54.

IEA - International Energy Association, 2008, CO₂ Emissions from Fuel Combustion, URL: www.iea.org.

IEA - International Energy Association, 2008, Key World Energy Statistics 2008 - Data Inputs, URL: www.iea.org.

IEA - International Energy Association, 2009, World Energy Outlook 2008 - Report Text, URL: www.iea.org.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change & Organisation for Economic Cooperation and Development - OECD, 1995, Climate Change 1995: The Science of Climate Change, Contribution of Working Group I to the Second Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC, OECD, IEA. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Bracknell, UK, 1995.

IPCC, OECD, IEA. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Bracknell, UK, 1997.

IPCC. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. 2000.

IPCC. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006.

ISO - International Organization for Standardization, 2006, ISO 14064-1, 2006, Greenhouse Gases - Part 1: Specification with Guidance at the Organization Level for Quantification and Reporting of Greenhouse Gas Emissions and Removals, pp. 01-20.

ISO - International Organization for Standardization, 2006, ISO 14064-2, 2006, Greenhouse Gases - Part 2: Specification with guidance at the project level for quantification, monitoring and reporting of greenhouse gas emission reductions or removal enhancements, pp. 01-28.

ISO - International Organization for Standardization, 2006, ISO 14064-3, 2006, Greenhouse Gases - Part 3: Specification with guidance for the validation and verification of greenhouse gas assertions, pp. 01-34.

ISO - International Organization for Standardization, 2007, ISO 14065, 2007, Greenhouse Gases - Requirements for greenhouse gas validation and verification bodies for use in accreditation or other forms of recognition, pp. 01-24.

JAPANESE GOVERNMENT - Ministry of the Environment - Japan Greenhouse Gas Inventory Office of Japan, 2006, National Greenhouse Gas Inventory Report of Japan, URL: www-cger.nies.go.jp.

JCOAL - Japan Coal Energy Center, 2009, URL: www.jcoal.or.jp.

KNOTT, T., 2006, Carbon on the Rise, BP Frontiers Magazine, pp. 18-25.

KOCSIS, C. K. ; Hall, R. ; Hardcastle, S. G., 2003, The integration of mine simulation and ventilation simulation to develop a 'Life-Cycle' mine ventilation system, 2003 APCOM - Application of Computers and Operations Research in the Minerals Industries - Symposium Series S31, South African Institute of Mining and Metallurgy - SAIMM, pp. 223-230.

KOCSIS, C. K., Hardcastle, S. G., Hall, R., 2004, The Benefit Of Using Mine Process Simulators To Design A "Life-Cycle" Mine Ventilation System, 2004 SME Annual Meeting and Exhibit, Society of Mining Engineers - SME, pp. 01-07.

LARSON, E., Wu, Z., De Laquil, P., Wenying, C. & Gao, P., 2003, Future Implications of China's Energy-Technology Choices, Energy Policy, Vol. 31 (12), pp. 1189-1204.

LASSEY, K. R., Lowe, D. C., Manning, M. R. and Waghorn, G. C., 1992, A Source Inventory for Atmospheric Methane in New Zealand and its Global Perspective, Journal of Geophysical Research, Vol. 97, pp. 3751-3765.

LEUNG, L, 2002, Coal Mine Greenhouse Gas Emission Measurement Accuracy, LGC Geoscience, CSIRO Project No. C11003.

LLOYD, P. J. D., Cook, A., 2005, Methane Release From South African Coalmines, The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy - SAIMM, pp. 483-490.

MACHADO, L. A. F , 2009, O Papel do Brasil nas Negociações sobre Mudanças Climáticas: Desafios,

Tendências e Oportunidades para o Setor Produtivo, IBRAM, XIII Congresso Brasileiro de Mineração.

MME - Ministério de Minas e Energia e EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2009 - 2006, Balanço Energético Nacional - Anos-base 2008 - 2005, URL: www.epe.gov.br.

NORWEGIAN GOVERNMENT - Norwegian Pollution Control Authority, 2008, The Norwegian Emission Inventory 2008, URL: www.ssb.no.

PILMAN, B., 2009, Sustentabilidade e Mudança do Clima: Estratégias para o Envolvimento do Setor Mineral; IBRAM, XIII Congresso Brasileiro de Mineração.

ROSE, A., Bulte, E. & Folmer, H., 2004, Long-Run Implications for Developing Countries of Joint Implementation of Greenhouse Gas Mitigation, *Environmental and Resource Economics*, Volume 14, Number 1, pp. 19-31.

SAGHAFI A., Roberts D., Fry R., Quintanar A., Day S., Lange T., Hourau P., Evaluating a Tier 3 Method for Estimating fugitive Emissions from Open Cut Coal Mining.

SAGHAFI, A., Roberts, D., Fry, R., Quintana, A., Day, S., Lange, T., Hoarau, P., Dokumcu, C., Carras, J. - CSIRO, 2008, Evaluating a Tier 3 Method for Estimating Fugitive Emissions from Open Cut Coal Mining, CSIRO Energy Technology & CSIRO Exploration and Mining.

SAGHAFI, A., Roberts, D., Fry, R., Quintana, A., Day, S., Lange, T., Williams, D. J., Carras, J. - CSIRO, 2005, Development of an Improved Methodology for Estimation of Fugitive Seam Gas Emissions from Open Cut Mining, CSIRO Energy Technology & CSIRO Exploration and Mining.

SAGHAFI, A., Williams, D. J., Lama, R. D., 1997, Worldwide Methane Emissions from Underground Coal Mining, Society of Mining Engineers - SME, Proceedings of the 6th International Mine Ventilation Congress, pp 441-445.

SCHULTZ, K., 2005, Greenhouse Gas Emissions Measurement - Overseas Practice, climate mitigation Works International LLC.

SHANNON, Robert H., 1989, Coal - Fuel of the Future: : Coal Quality Research and Process Beneficiation , Chapter 6, Society of Mining Engineers - SME, Western Surface Coal Mining, pp 37-55.

SHAPIRO, H. T., Brinkman, W. F., Socolow, R. H., Wrighton, M. S., Ahearne, J. F., Bard, A. J., Beyea, J., Chapin, D. M., Chu, S., Ehlig-Economides, S. A., Fri, R. W. & Goodman, C. H., 2009, America's Energy Future: Technology and Transformation. National Research Council, pp. 01-162.

SLOSS, L., 2002, Non-CO2 Greenhouse Gases - Emissions and Control from Coal, IEA Clean Coal Centre.

SMITH, I. M. & Adams, D., 1995, Sulphates, Climate and Coal, IEA Clean Coal Centre.

SMITH, I. M. & Adams, D., 1997, Climatic Change - Modelling and Measurement, IEA Clean Coal Centre.

SMITH, I. M. & Sloss, L., 1992, Methane Emissions from Coal, IEA Clean Coal Centre.

SMITH, I. M. & Thambimuthu, K., 1991, Greenhouse Gases, Abatement and Control: The Role of Coal, IEA Clean Coal Centre.

SMITH, I. M., 1997, Greenhouse Gas Emission Factors for Coal - The Complete Fuel Cycle, IEA Clean Coal Centre.

SMITH, I. M., 1999, CO2 Reduction - Prospects for Coal, IEA Clean Coal Centre.

SMITH, S., Pitcher, H., Wigley, T., 2005, Future Sulfur Dioxide Emissions, Climatic Change Journal, Volume 73, Number 3, pp 267-318.

TCR - The Climate Registry, 2008, General Reporting Protocol - Version 1.0, URL: www.theclimateregistry.org.

TWARDOWSKA, I & Stefaniak, S., 2006, Coal and Coal Combustion Products: Prospects for Future and Environmental Issues, Coal Combustion Byproducts and Environmental Issues, pp. 13-200.

UNEP - GRID Arendal, 2009, Climate Change Network, URL: www.grida.no.

UNEP - SANet, 2009, Sustainable Alternatives Network, URL: www.sustainablealternatives.net.

VALE - Conselho de Administração e Diretoria, 2008, Relatório de Sustentabilidade 2007, pp. 150-163.

VALE - Conselho de Administração e Diretoria, 2009, Relatório de Sustentabilidade 2008, pp. 76-84.

VALE - Diretoria de Gestão e Sustentabilidade, 2008, Diretrizes Corporativas sobre Mudanças Climáticas e Carbono, pp. 01-04.

VERNON, J., 2004, Sustainable Development in the Production and Use of Coal, IEA Clean Coal Centre.

WCI - World Coal Institute, The Road to Copenhagen, 2009, ECoal Journal, Volume 68, pp. 01-02.

WEC - World Energy Council, 2007, Energy & Climate Change, URL: www.worldenergy.org.

WEC - World Energy Council, 2007, Energy Policy Scenarios 2050, URL: www.worldenergy.org.

WEC - World Energy Council, 2007, Survey of Energy Resources 2007, URL: www.worldenergy.org.

WEC - World Energy Council, 2008, Performance of Generating Plant, URL: www.worldenergy.org.

WEC - World Energy Council, 2008, Regional Energy Integration in Latin America and the Caribbean, URL: www.worldenergy.org.

WEC - World Energy Council, 2009, Survey of Energy Resources Interim Update 2009, URL: www.worldenergy.org.

WEC - World Energy Council, 2009, Trade and Investment Rules for Energy, URL: www.worldenergy.org.

WRI - World Resources Institute & WBCSD - World Business Council for Sustainable Development, 2004, The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard - Revised Edition, URL: www.ghgprotocol.org.

WRI - World Resources Institute & WBCSD - World Business Council for Sustainable Development, 2005, GHG Protocol - Stationary Combustion Guidance, Version 3.0, URL: www.ghgprotocol.org.

ZHANG, L., Todd, D., Xie, H., Chen, W., 2008, CO₂ Emissions and Their Bearing on China's Economic Development: The Long View; 2008, Journal of Geographical Sciences, Volume 15, Number 1, pp. 61-70.

ANEXO 1 - Dados de produção e emissões da indústria do carvão mineral, de 1990 a 2005

Emissões fugitivas de CH₄ da indústria do carvão mineral no Brasil, no período 1990-2005

Emissões da mineração e pós-mineração do carvão	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
	Gg CH ₄															
Mineração a céu aberto																
Rio Grande do Sul	0,719	0,668	0,662	0,634	0,732	0,721	0,735	1,001	0,702	0,939	1,196	0,759	0,767	0,730	0,774	0,854
Santa Catarina	0,004	0,012	0,016	0,029	0,080	0,091	0,071	0,065	0,087	0,061	0,077	0,078	0,064	0,029	0,044	0,026
Paraná	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total minas a céu aberto	0,724	0,680	0,678	0,663	0,812	0,812	0,807	1,066	0,789	1,000	1,273	0,837	0,832	0,758	0,818	0,881
Mineração subterrâneas																
Rio Grande do Sul	1,431	0,992	1,268	1,030	0,745	0,582	0,484	0,658	0,254	0,279	0,355	0,263	0,029	0,000	0,000	0,000
Santa Catarina	41,749	46,121	36,747	39,505	35,212	34,593	20,332	25,699	28,554	29,317	37,326	52,339	37,827	34,803	41,541	42,213
Paraná	1,603	1,941	1,791	1,873	2,041	1,703	1,758	2,393	0,637	0,570	0,725	1,522	1,579	1,988	1,613	1,927
Total minas subterrâneas	44,783	49,053	39,806	42,407	37,998	36,878	22,574	28,751	29,445	30,166	38,407	54,124	39,436	36,790	43,153	44,140
Pós-mineração																
Rio Grande do Sul	0,249	0,200	0,224	0,198	0,189	0,173	0,166	0,226	0,140	0,182	0,231	0,150	0,131	0,122	0,129	0,142
Santa Catarina	3,758	4,153	3,310	3,560	3,182	3,129	1,842	2,324	2,584	2,649	3,372	4,723	3,415	3,137	3,746	3,804
Paraná	0,144	0,175	0,161	0,169	0,184	0,153	0,158	0,215	0,057	0,051	0,065	0,137	0,142	0,179	0,145	0,173
Total pós-mineração	4,151	4,528	3,696	3,927	3,555	3,454	2,166	2,765	2,782	2,882	3,669	5,011	3,688	3,438	4,020	4,119
Total Brasil	49,658	54,261	44,180	46,997	42,365	41,145	25,547	32,582	33,016	34,047	43,349	59,971	43,956	40,986	47,992	49,140

Emissões de CO₂ nas pilhas de rejeito

Cálculo das emissões de CO ₂ das pilhas de rejeito	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Carbono no carvão Run-of-Mine (toneladas)																
Rio Grande do Sul	890.966	837.784	833.815	808.948	915.713	892.079	905.484	1.232.529	852.255	1.129.067	1.437.521	932.022	921.118	858.844	908.693	903.529
Santa Catarina	1.438.429	1.529.227	1.263.848	1.375.799	1.386.489	1.331.633	837.911	1.014.322	1.244.117	1.346.321	1.390.053	1.758.336	1.275.644	1.131.972	1.369.278	1.396.938
Paraná	58.870	70.967	64.781	65.356	69.271	57.791	60.356	82.155	21.869	19.551	24.892	52.247	54.211	68.228	55.357	66.142
Brasil	2.388.265	2.437.977	2.162.444	2.250.104	2.371.473	2.281.503	1.803.751	2.329.006	2.118.241	2.494.938	2.852.467	2.742.605	2.250.972	2.059.044	2.333.329	2.366.608
Carbono nos produtos (toneladas)																
Rio Grande do Sul	785.152	756.479	738.461	694.089	808.804	849.516	794.080	1.006.678	756.034	966.290	1.110.518	833.104	814.780	732.023	786.261	935.743
Santa Catarina	812.407	897.488	704.626	814.634	768.842	872.812	598.839	762.187	792.860	881.893	1.013.524	975.980	934.052	783.238	947.396	910.669
Paraná	52.684	66.338	65.924	60.968	58.549	57.181	53.952	68.396	26.930	21.028	24.167	30.459	29.307	28.078	30.440	30.429
Brasil	1.650.244	1.720.305	1.509.010	1.569.690	1.636.195	1.779.509	1.446.871	1.837.261	1.575.825	1.869.212	2.148.209	1.839.543	1.778.140	1.543.340	1.764.097	1.876.842
Carbono nos rejeitos (toneladas)																
Rio Grande do Sul	105.814	81.305	95.354	114.860	106.909	42.563	111.404	225.851	96.221	162.777	327.004	98.918	106.337	126.821	122.432	0
Santa Catarina	626.022	631.739	559.222	561.165	617.647	458.821	239.072	252.135	451.256	464.427	376.529	782.356	341.592	348.734	421.883	486.268
Paraná	6.186	4.629	0	4.388	10.722	610	6.404	13.759	0	0	725	21.788	24.903	40.149	24.917	35.712
Brasil	738.022	717.673	654.576	680.414	735.278	501.994	356.880	491.745	547.477	627.205	704.258	903.062	472.832	515.704	569.232	521.981
Emissões (Gg CO₂)	1.353,0	1.315,7	1.200,1	1.247,4	1.348,0	920,3	654,3	901,5	1.003,7	1.149,9	1.291,1	1.655,6	866,9	945,5	1.043,6	957,0

Produção brasileira de carvão mineral - Anuário Mineral Brasileiro

Item	Estado / Brasil	Anuário Mineral Brasileiro									
		1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
ROM	Rio Grande do Sul	3.944.715	4.237.699	3.653.643	4.495.255	4.487.944					
	Santa Catarina	3.803.235	4.170.291	4.833.659	7.760.305	9.710.470					
	Paraná	262.416	222.640	95.083	85.003	136.651					
	Brasil	8.010.366	8.630.630	8.582.385	12.340.563	14.335.065	0	0	0	0	0
Produção Beneficiada	Rio Grande do Sul	2.841.469	3.177.358	2.699.416	3.408.157	3.420.580	2.878.748	2.829.972	2.504.320	2.682.373	3.224.856
	Santa Catarina	1.807.808	2.542.020	2.315.890	2.600.887	3.287.151	2.712.035	2.660.503	2.155.011	2.592.980	2.467.542
	Paraná	138.338	127.810	69.051	53.919	84.724	78.000	75.000	72.032	78.000	78.000
	Brasil	4.787.615	5.847.188	5.084.357	6.062.963	6.792.455	5.668.783	5.565.475	4.731.363	5.353.353	5.770.398
ROM comercializada	Rio Grande do Sul	0	0	0	0	0		119	119	226.442	423.661
	Santa Catarina	0	0	0	0	4.839	1.268.401	97.085	90.965	91.352	8.980
	Paraná	0	0	0	0	0					
	Brasil	0	0	0	0	4.839	1.268.401	97.204	91.084	317.794	432.641

Produção brasileira de carvão mineral - Informativos Anuais da Indústria Carbonífera / Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM

Est	tipo	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
RS	ROM	3.791.072	3.469.133	3.483.012	3.308.136	3.754.612	3.674.819	3.731.325	5.079.015	3.531.176	4.714.990	6.003.096	3.814.248	3.822.406	3.630.840	3.852.898	4.250.367
	Prod	2.826.813	2.749.982	2.651.876	2.441.190	2.862.068	2.988.093	2.783.822	3.529.130	2.699.417	3.417.455	3.927.542	2.874.082	2.840.918	2.506.386	2.705.378	3.299.058
SC	ROM	6.253.231	6.945.642	5.563.900	6.041.622	5.653.471	5.616.362	3.390.147	4.159.654	4.694.191	4.677.200	5.954.982	8.200.243	5.966.571	5.337.110	6.418.862	6.432.137
	Rej	410.812	484.532	803.382	830.926	1.559.992	904.132	546.206	350.867	1.950.145	2.610.906	0	1.423.564	1.031.712	871.106	1.193.778	1.859.726
	Prod	1.978.043	2.248.134	1.840.454	2.143.829	2.013.408	2.335.825	1.663.861	2.142.683	2.207.492	2.438.915	2.802.946	2.681.128	2.592.024	2.132.127	2.576.975	2.482.987
PR	ROM	239.313	289.645	267.262	279.494	304.657	254.172	262.416	357.196	95.084	85.003	108.225	227.161	235.699	296.643	240.684	287.573
	Prod	131.519	166.433	166.282	155.179	150.125	146.618	138.338	175.375	69.052	53.919	61.967	78.100	75.147	71.996	78.052	78.024
Brasil	ROM	10.283.616	10.704.420	9.314.174	9.629.252	9.712.740	9.545.353	7.383.888	9.595.865	8.320.451	9.477.193	12.066.303	12.241.652	10.024.676	9.264.593	10.512.444	10.970.077
	Rej	410.812	484.532	803.382	830.926	1.559.992	904.132	546.206	350.867	1.950.145	2.610.906	0	1.423.564	1.031.712	871.106	1.193.778	1.859.726
	Prod	4.936.375	5.164.549	4.658.612	4.740.198	5.025.601	5.470.536	4.586.021	5.847.188	4.975.961	5.910.289	6.792.455	5.633.310	5.508.089	4.710.509	5.360.405	5.860.069

Carbonífera Palermo Ltda. - RS

Tipo	Mina / Produto	Teor C	Tipo	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
		%																	
ROM	Mina Capané I	26,02	CA	216.169	198.802	177.595	253.259	207.767	0	0	0	0	136.294	173.529	146.090	112.455	111.969	103.645	0
ROM	Mina Capané II	26,02	CA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.700	119	119	103.645	0
ROM	Rejeitos	9,00	CA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35.000	44.562	0	0	0	0	0
Prod	CE 3100	27,00	CA	29.444	9.552	12.513	0	3.381	0	13.359	16.936	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 3300	29,35	CA	3.182	17.008	1.681	2.783	11.621	14.737	0	0	4.000	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 3400	27,00	CA	0	0	0	0	1.289	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 3700	31,00	CA	19.389	19.705	10.201	6.945	6.298	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 4200	38,73	CA	53.557	45.746	39.995	62.908	47.671	51.300	63.954	81.076	49.147	56.963	65.465	55.060	40.708	43.905	54.274	0
Prod	CE 4400	34,00	CA	0	0	0	0	5.780	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 4500	35,00	CA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27.287	13.937	0	0	0
Prod	CE 4700	46,27	CA	21.890	26.696	25.598	39.067	36.579	36.141	19.911	25.242	4.213	0	0	0	0	0	0	0
Prod	Finos	39,00	CA	0	0	0	0	0	0	0	0	2.500	0	0	0	0	0	0	0

Cia. Nacional Mineração Candiota - RS

Tipo	Mina / Produto	Teor C	Tipo	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
		%																	
ROM	Mina do Seival	25,86	CA	30.563	49.739	49.349	46.701	28.110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 3300	25,86	CA	30.563	49.739	49.349	46.701	12.364	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Cia. Riograndense de Mineração - CRM - RS

Tipo	Mina / Produto	Teor C	Tipo	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
		%																	
ROM	Mina de Candiota	24,07	CA	1.541.403	1.735.912	1.445.901	1.216.171	1.663.211	1.762.006	1.417.000	1.928.796	1.591.547	2.349.831	2.991.790	1.592.095	1.732.836	1.486.334	1.606.961	2.128.556
ROM	Mina Taquara	23,35	CA	0	0	32.359	71.883	88.688	37.726	15.639	21.288	80.785	111.480	141.936	19.431	0	0	0	0
ROM	Mina da Boa Vista	24,00	CA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59.254	79.796	71.494	122.060	92.442
ROM	Mina Leão I	23,00	SS	140.257	147.988	189.240	153.667	111.134	86.931	72.193	98.268	37.981	41.673	53.058	39.297	4.380	0	0	0
Prod	CE 3100	24,02	CA	0	0	58	28	14.016	6.377	12.546	15.905	12.193	24.927	28.648	11.974	13.412	15.825	22.303	68.807
Prod	CE 3300 Britado	26,07	CA	1.506.996	1.600.944	1.389.738	1.219.496	1.637.834	1.742.190	1.406.846	1.783.499	1.566.605	2.178.133	2.503.240	1.591.134	1.719.139	1.470.654	1.584.352	2.116.666
Prod	CE 3100	23,00	SS	0	0	0	0	2.204	0	0	0	1.948	10.289	11.825	0	0	0	0	0
Prod	CE 4200	31,80	SS	31.559	23.703	43.030	53.101	42.167	31.950	0	0	43.131	58.983	67.787	99.636	82.887	69.487	60.032	45.353
Prod	CE 4700	34,90	SS	58.033	61.232	48.424	48.523	32.697	27.020	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.195
Prod	CE 5200	40,00	SS	0	0	0	0	0	336	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 5700	41,85	SS	0	0	3.014	1.962	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 6000	47,00	SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	359

Copelmi Mineração Ltda. - RS

Tipo	Mina / Produto	Teor C	Tipo	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
		%																	
ROM	Mina do Recreio	24,26	CA	1.074.970	990.048	1.264.978	1.057.130	1.186.056	1.378.091	1.875.507	2.552.908	1.820.863	1.963.270	2.499.623	1.410.789	1.506.517	1.155.629	925.869	400.966
ROM	Mina do Faxinal	21,07	CA	449.920	170.225	306.170	28.620	15.166	12.880	22.678	30.869	0	77.442	98.599	0	217.981	701.179	768.734	819.311
ROM	Mina Butiá-Leste	25,74	CA	264.520	176.419	17.420	480.705	454.480	371.183	305.313	415.587	0	0	0	545.592	168.322	104.116	202.831	385.430
ROM	Mina do Seival	25,86	CA	0	0	0	0	0	26.002	22.995	31.300	0	0	0	0	0	0	0	0
ROM	Mina Charqueadas	27,00	SS	73.270	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 3100	24,24	CA	495.925	326.600	304.806	299.357	284.144	301.133	441.693	559.947	392.032	438.600	504.065	429.089	369.363	275.942	362.074	367.896
Prod	CE 3300	26,90	CA	0	0	0	0	7.746	26.002	18.095	22.940	0	0	0	0	16.782	21.543	2.867	13.244
Prod	CE 3700	28,12	CA	254.730	390.784	478.507	371.590	376.128	343.301	344.638	436.907	243.857	0	0	25.477	0	0	0	0
Prod	CE 4000	33,54	CA	0	0	0	0	311	253	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 4200	33,68	CA	0	0	0	2.683	2.509	2.835	19.915	25.247	833	0	0	11.809	11.397	5.989	6.873	36.690
Prod	CE 4500	35,00	CA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.020	4.620	45.832	39.914	46.028	28.469	2.385
Prod	CE 4700	36,25	CA	321.545	178.273	244.964	240.134	212.933	135.660	120.416	152.655	162.011	417.100	479.356	272.012	258.711	245.657	229.106	321.997
Prod	CE 5200	39,57	CA	0	0	0	0	27.089	262.807	322.449	408.778	216.947	227.400	261.342	268.560	244.219	272.534	305.519	298.760
Prod	CE 5500	41,58	CA	0	0	0	45.912	97.307	6.051	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 6000	46,61	CA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.040	1.195	36.212	30.449	38.822	49.509	22.706

Sociedade Mineradora do Cerro Ltda. - RS

Tipo	Mina / Produto	Teor C	Tipo	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	
		%																		toneladas
ROM	Mina do Cerro	#VALOR!	CA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19.153	423.662

Carbonífera Barro Branco S.A. - SC

Tipo	Mina / Produto	Teor C	Tipo	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
		%		toneladas															
ROM	Camada Bonito	20,14	CA	0	0	59.932	116.060	286.160	385.352	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ROM	Camada Barro Branco	23,00	CA	9.707	28.063	19.271	29.320	105.919	12.097	75.259	39.493	32.538	0	0	0	0	0	0	0
ROM	Mina Rio Dez	20,00	CA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19.987	25.447	0	0	0	0	0
ROM	Mina Represa	20,00	CA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.160	6.570	0	0	0	0	0
ROM	Mina Índio	20,00	CA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.200	4.074	0	0	0	0	0
ROM	Mina 3G	22,00	SS	276.874	443.212	427.052	336.623	114.023	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ROM	Mina 3 E/F	23,00	SS	70.610	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ROM	Mina Bonito I	20,33	SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52.821	67.251	0	0	0	0	0
Rej-b	Mina	9,00	CA	0	0	0	0	0	0	59.109	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 4500	35,00	CA	0	0	0	0	0	70.440	14.423	17.772	14.642	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 5200	39,00	CA	0	0	0	0	0	19.375	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 5400	40,50	CA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	Finos	42,00	CA	0	0	0	0	0	0	0	1.580	976	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 4200	34,00	CA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.880	11.355	0	0	0	0	0
Prod	CE 4500	35,00	CA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 5200	39,00	CA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.920	4.505	0	0	0	0	0
Prod	CE 5400	40,50	CA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	Finos	42,00	CA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	786	903	0	0	0	0	0
Prod	CE 4500	35,00	SS	29.780	34.329	54.547	151.094	79.676	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 5200	39,00	SS	34.129	70.511	45.541	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 5400	40,50	SS	0	0	36.106	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	Finos Met.	42,00	SS	22.789	10.841	15.337	16.038	8.103	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Carbonífera Belluno Ltda. - SC

Tipo	Mina / Produto	Teor C	Tipo	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
		%		toneladas															
ROM	Mina Malha II	21,45	CA	0	0	0	0	5.893	10.099	4.270	28.880	65.808	67.966	86.534	0	0	0	0	0
ROM	Mina Marion	22,25	CA	0	0	0	0	0	0	0	0	13.618	89.285	113.677	165.344	159.425	142.702	92.396	4.860
ROM	Mina Vila Irapuá	21,85	SS	0	0	0	22.000	55.528	0	0	0	0	0	0					
ROM	Mina Malha II	25,20	SS	0	0	0	0	21.315	147.856	247.956	237.459	198.271	119.070	151.599	327.788	0	0	0	0
ROM	Mina Fiorita ME	30,72	SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	212.357	270.372	90.447	0	0	0	0
ROM	Mina Cantão	21,00	SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	277.135	390.098	434.239
ROM	Mina Morozini Norte	21,00	SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	94.033	247.551	356.298
Rej-b	Mina Malha II	9,00	SS	0	0	0	0	0	0	0	0	240.000	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 4500	34,15	SS	0	0	0	0	0	770	42.232	127.559	166.985	233.747	268.636	187.295	180.820	168.623	237.613	281.686
Prod	CE 5200	46,00	SS	0	0	0	12.800	44.041	60.731	40.153	9.767	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	Finos	45,00	SS	0	0	0	0	4.500	5.131	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Carbonífera Catarinense Ltda. - SC

Tipo	Mina / Produto	Teor C	Tipo	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
		%		toneladas															
ROM	Mina 3G	22,00	SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	275.946	277.047	336.853	544.800	594.585
ROM	Mina Bonito I	20,33	SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	452.553	461.466	339.399	445.803	494.479

Companhia Carbonífera Catarinense - CCC - SC

Tipo	Mina / Produto	Teor C	Tipo	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
		%		toneladas															
ROM	Mina Rio Maina - Poço 3	25,44	SS	313.188	319.616	343.246	337.786	373.604	422.861	287.257	320.665	335.162	231.985	295.362	0	0	0	0	0
ROM	Catarinense III	25,00	SS	9.543	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rej-b	Mina Rio Maina - Poço 3	9,00	SS	0	0	0	0	0	22.256	66.164	0	320.529	283.685	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 4200	34,00	SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	248.304	143.306	110.734	125.387
Prod	CE 4500	35,20	SS	0	12.332	11.497	28.550	13.465	31.410	106.493	257.129	259.382	164.437	188.981	243.337	0	0	0	0
Prod	CE 5200	39,89	SS	0	35.947	23.239	8.022	17.289	37.887	0	2.017	0	0	0	0	104.038	115.854	171.240	141.823
Prod	CE 5400	41,82	SS	44.985	54.156	31.671	92.993	132.275	122.845	77.315	14.970	2.071	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 5800	45,00	SS	0	0	56.408	28.506	27.224	5.720	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CPL	40,00	SS	77.587	26.672	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	Finos	45,00	SS	13.633	1.194	12.149	12.465	13.283	12.645	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Carbonífera Criciúma S.A. - SC

Tipo	Mina / Produto	Teor C	Tipo	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
		%		toneladas															
ROM	UM III - Mina Rio Queimado	30,00	CA	7.134	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ROM	UM II - Verdinho	27,01	SS	1.387.511	864.127	566.358	671.022	781.199	747.680	573.574	1.015.750	978.928	1.016.191	1.293.808	1.202.134	1.206.117	981.338	1.175.504	1.292.045
Rej-b	Bacia 1A	9,00	SS	0	0	0	0	0	0	100.892	47.387	235.290	30.751	0	0	0	0	0	0
Rej-b	Bacia 4A	9,00	SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46.563	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 4500	35,97	SS	24.123	38.753	197.345	225.785	230.376	230.376	212.898	418.505	343.669	426.800	490.504	551.903	604.053	451.759	614.918	478.243
Prod	CE 5200	39,97	SS	21.794	378	0	0	0	25.468	41.479	3.250	8.476	26.421	30.365	0	0	0	0	0
Prod	CE 5400 (CPL)	40,00	SS	338.750	196.750	0	20.855	48.614	33.113	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	Finos	48,00	SS	41.407	31.360	11.509	43.822	46.362	24.904	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	Fino Flotado	42,00	SS	26.120	30.689	12.541	11.461	11.462	9.330	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 6000	47,00	SS	0	0	0	0	0	0	5.603	10.204	2.257	26.421	30.365	0	0	0	0	0
Prod	CE 7280	53,16	SS	0	0	0	0	0	0	0	0	4.837	20.100	23.100	0	0	0	0	0
Prod	CE 4400	33,86	SS	0	0	0	0	0	0	13.544	29.956	35.250	26.287	30.210	0	0	0	0	0
Prod	Finos CE 5200	39,97	SS	0	0	0	0	0	0	0	6.820	0	0	0	0	0	0	0	0

Carbonífera Metropolitana S.A. - SC

Tipo	Mina / Produto	Teor C	Tipo	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
		%		toneladas															
ROM	Mina Floresta	21,00	CA	0	0	0	0	0	0	0	10.165	0	0	0	0	0	0	0	0
ROM	Mina Esperança	24,35	SS	1.279.654	2.131.247	1.505.486	1.147.417	1.134.551	1.021.426	945.722	1.099.766	1.273.386	1.192.665	1.518.494	1.388.649	1.250.812	1.293.429	1.302.964	1.025.849
ROM	Mina Fontanella	30,52	SS	0	0	21.356	66.302	89.434	5.631	12.115	56.564	67.868	4.946	6.297	0	0	0	0	26.216
ROM	Mina Nesi	21,00	SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.204	7.899	0	0	0	0	0
Rej-b	Mina União	9,00	CA	0	0	0	0	0	100.000	0	0	207.100	247.997	0	270.276	284.376	318.600	314.574	314.657
Prod	CE 4100	41,00	CA	0	0	0	0	0	0	0	0	16.568	30.279	34.798	0	0	0	0	0
Prod	CE 4100	40,72	SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 4500	35,73	SS	0	142.129	285.835	242.018	214.755	271.732	249.946	427.272	381.983	583.173	670.217	495.316	411.741	400.243	416.529	390.236
Prod	CE 5200	40,57	SS	18.101	381.402	104.937	37.570	54.839	90.620	100.441	24.365	10.502	11.517	13.236	42.679	30.052	33.740	45.789	17.051
Prod	CE 6000	47,00	SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.638	5.264	9.381	12.756	13.469
Prod	Finos	49,50	SS	6.673	7.714	38.159	13.674	19.347	6.888	6.769	15.644	11.361	13.252	15.230	55.251	29.591	20.439	15.713	23.254
Prod	CPL	40,00	SS	264.353	27.634	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	Flotado	49,37	SS	0	0	0	0	0	0	1.788	12.905	15.175	0	0	0	0	0	0	0
Prod	Rejeito	9,00	SS	0	0	0	0	12.051	19.898	22.118	18.382	3.185	987	1.134	0	0	0	0	0
Prod	Carvão moído	24,00	SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	Carvão Metalúrgico	24,00	SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.291	0	0	0	0

Carbonífera Santa Luzia Ltda. - SC

Tipo	Mina / Produto	Teor C	Tipo	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
		%		toneladas															
ROM	Mina Portão	20,06	CA	0	0	0	0	0	0	269.299	203.744	236.048	0	0	0	0	0	0	0
Rej-b	Mina Portão	9,00	CA	0	0	0	0	0	0	0	0	126.351	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 3700	30,00	CA	0	0	0	0	0	0	94.824	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 4500	35,00	CA	0	0	0	0	0	0	14.769	90.975	165.047	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 5200	40,00	CA	0	0	0	0	0	0	16.950	9.408	7.588	0	0	0	0	0	0	0
Prod	Finos	24,00	CA	0	0	0	0	0	0	16.301	14.655	0	0	0	0	0	0	0	0

Carbonífera Siderópolis Ltda. - SC

Tipo	Mina / Produto	Teor C	Tipo	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	
		%		toneladas																
Rej-b	Mina Trevo	9,00	CA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	319.813
Prod	CE 4500	35,00	CA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	68.262

Carbonífera Treviso S.A. - SC

Tipo	Mina / Produto	Teor C	Tipo	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	
		%		toneladas																
ROM	Mina Rio Pio	16,00	CA	0	0	0	0	0	45.688	6.666	41.685	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ROM	Mina Portão	19,39	SS	0	0	0	129.784	0	385.352	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ROM	Mina Rossi	16,85	SS	0	0	0	0	27.520	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ROM	Mina Itanema II	19,00	SS	342.774	179.450	17.800	87.486	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ROM	Mina Possenti	17,00	SS	0	0	48.217	38.429	0	0	0	38.185	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rej-b	Mina Forquilha	9,00	CA	175.162	245.214	230.164	318.201	360.589	0	28.133	6.265	81.405	0	0	0	0	0	0	0	0
Rej-b	Mina Rio América	11,65	CA	0	0	0	0	205.814	291.110	203.215	297.215	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 4500	34,00	SS	9.929	69.667	61.787	87.405	46.555	200.868	24.648	41.768	38.229	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 5200	39,00	SS	8.705	1.490	3.790	8.289	0	0	3.234	695	9.656	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	Finos	45,00	SS	16.545	9.634	8.182	11.236	0	14.880	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CPL	39,88	SS	61.661	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Companhia Carbonífera de Urussanga - CCU - SC

Tipo	Mina / Produto	Teor C	Tipo	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
		%		toneladas															
ROM	Mina Sangão	15,00	CA	5.129	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ROM	Mina São Geraldo	16,04	SS	108.695	187.211	958.990	1.093.827	980.637	873.587	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ROM	Mina Santana	14,90	SS	0	823.824	395.026	201.033	101.566	69.341	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ROM	Mina Santa Augusta	15,00	SS	1.021.417	880.756	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rej-b	Mina Santa Augusta	5,72	SS	0	0	345.483	370.442	458.654	64.356	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rej-b	Mina Santana	9,00	SS	0	0	55.038	67.479	234.928	69.341	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 4500	34,48	SS	22.093	148.833	224.834	239.433	261.809	349.907	319.091	313.371	361.988	428.247	492.167	0	0	0	0	0
Prod	CE 5200	40,00	SS	137.459	0	13.397	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 6000	46,81	SS	102.598	323.764	153.338	127.023	80.786	42.253	0	3.270	647	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CPL	40,00	SS	194.713	7.444	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	Finos Met.	55,00	SS	37.032	43.911	20.620	25.425	22.024	27.616	19.470	16.634	14.182	20.656	23.739	0	0	0	0	0
Prod	Finos Vapor	45,00	SS	0	33.117	0	54.372	46.826	49.945	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	Finos CE 4500	33,00	SS	0	0	0	0	0	0	40.033	36.520	0	18.510	21.273	0	0	0	0	0

Cia. Brasileira Carbonífera de Araranguá - CBCA - SC

Tipo	Mina / Produto	Teor C	Tipo	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
		%		toneladas															
ROM	Mina São Simão	23,05	SS	120.557	123.793	60.900	88.290	76.099	39.730	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ROM	Mina São Pedro	22,90	SS	0	43.737	50.400	91.762	77.036	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ROM	Mina Verdinho - Mina 3	22,85	SS	374.440	618.743	622.840	584.072	503.765	552.049	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 4500	35,30	SS	0	44.448	83.475	112.820	103.943	100.200	121.021	201.541	205.604	203.157	233.480	0	0	0	0	0
Prod	CE 5200	40,00	SS	0	0	0	0	0	0	1.217	1.186	1.109	668	768	0	0	0	0	0
Prod	CE 5400	41,50	SS	0	137.412	147.385	135.817	108.744	99.231	38.035	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CPL	40,00	SS	0	142.456	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	Finos	45,00	SS	18.978	15.313	23.379	22.851	16.438	19.007	15.382	12.154	7.127	4.468	5.135	0	0	0	0	0
Prod	CF 17 - Coque	17,00	SS	0	0	0	0	0	0	3.684	2.409	1.823	516	593	0	0	0	0	0

Comin Cia Ltda - SC

Tipo	Mina / Produto	Teor C	Tipo	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
		%		toneladas															
ROM	Mina Comin	28,56	CA	0	0	0	0	0	0	0	0	84.405	115.906	147.571	178.791	161.270	0	115.206	117.880
Rej-b	Mina Rio América	11,65	CA	0	0	0	0	0	0	0	0	281.714	311.451	0	170.952	161.300	0	298.058	320.350
Rej-b	Mina Comin	9,00	CA	0	0	0	0	0	0	0	0	376.926	0	0	0	0	0	0	0
Rej-b	Mina Antônio de Luca	12,60	CA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	313.915	0	198.578	187.750	0	367.495	220.290
Prod	CE 4200	34,00	CA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.206
Prod	CE 4500	40,69	CA	0	0	0	0	0	0	0	0	107.517	64.358	73.964	70.277	63.849	0	49.035	46.110
Prod	CE 4700	36,00	CA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.939	0
Prod	CE 5200	40,00	CA	0	0	0	0	0	0	0	0	9.656	0	0	0	0	0	0	0
Prod	Finos	49,00	CA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.733	10.036	0	0	0	0	0

COOPERMINAS S.A. - SC

Tipo	Mina / Produto	Teor C	Tipo	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
		%		toneladas															
ROM	Mina Verdinho - Mina 3	22,85	SS	0	0	0	0	0	0	439.198	443.501	374.536	293.317	373.449	632.105	545.701	700.466	996.297	143.081
ROM	Mina São Simão	23,05	SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ROM	Mina São Pedro	22,90	SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ROM	Mina (Criciúma)	22,00	SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.002.540
ROM	Mina (Lauro Muller)	22,00	SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	128.088	225.145	126.848	188.000	0
ROM	Mina (Siderópolis)	22,00	SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	128.088	0	0	0	0
Prod	CE 3300	26,00	SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 4500	35,90	SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	270.527	293.688	199.514	231.222	226.993
Prod	CE 5200	42,20	SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47	548	77.497	545	197
Prod	Finos	45,00	SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19.287	12.802	88.246	114.752	144.842

Coque Catarinense Ltda. - COCALIT - SC

Tipo	Mina / Produto	Teor C	Tipo	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	
		%		toneladas																
Rej-b	Mina Estiva dos Pregos	9,00	CA	235.650	239.318	172.697	74.804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rej-b	Mina Rio Fiorita	9,00	CA	0	0	0	0	300.007	350.955	0	0	0	632.675	0	650.098	243.123	423.333	0	0	0
Rej-b	Mina Trevo	9,00	CA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	213.651	0	0
Prod	CE 4500	38,17	CA	55.312	39.636	22.105	13.138	42.014	45.075	0	0	0	65.031	74.737	103.478	33.108	66.506	74.765	0	0
Prod	Finos	43,10	CA	0	0	0	0	5.742	2.826	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	Conc. Piritoso	5,00	CA	0	36.096	20.324	12.689	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CE Adquirido	24,00	CA	3.500	12.327	9.718	9.481	0	19.526	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Gabriela Mineração Ltda. - SC

Tipo	Mina / Produto	Teor C	Tipo	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	
		%		toneladas																
Rej-b	Mina Rio Fiorita	9,00	CA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	230.151
Prod	CE 4500	35,00	CA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20.714

Ibracoque Mineração Ltda. - IBRAMIL - SC

Tipo	Mina / Produto	Teor C	Tipo	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	
		%		toneladas																
ROM	Mina Plano Lageado	16,85	SS	66.751	130.365	111.787	80.858	23.123	2.673	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ROM	Mina Figueira	17,00	SS	30.055	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rej-b	Moinha de Bacias	9,00	SS	0	0	0	0	0	6.114	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 4500	30,50	SS	27.170	23.644	23.701	18.025	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 5400	40,00	SS	9.784	0	0	8.737	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CPL	24,00	SS	0	0	0	0	0	2.137	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	Finos	45,00	SS	0	0	0	0	0	680	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	Carvão 57%Cz	24,00	SS	0	0	0	0	0	4.302	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Ind. Carbonífera Rio Deserto Ltda. - SC

Tipo	Mina / Produto	Teor C	Tipo	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
		%		toneladas															
ROM	Mina Santana	14,80	CA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11.129	0
ROM	Mina Trevo	17,37	SS	0	0	0	0	0	0	0	0	74.476	1.196.994	1.524.005	2.279.544	658.821	247.629	0	0
ROM	Mina Rio Deserto	16,00	SS	0	137.665	167.956	114.837	132.943	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ROM	Mina São Geraldo	16,08	SS	0	0	0	0	0	0	440.138	616.703	933.139	11.769	14.984	0	0	0	0	0
ROM	Mina Barro Branco	16,30	SS	0	0	0	0	0	0	88.693	0	0	14.983	19.076	468.371	507.219	458.211	822.162	880.325
ROM	Mina Santana	14,80	SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50.760
Rej-b	Mina São Geraldo	9,00	SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	164.029	0	0	0	0	0	0
Rej-b	Mina Santana	9,00	SS	0	0	0	0	0	0	88.693	0	80.830	0	0	0	0	0	0	0
Prod	Carvão Antracitoso	40,00	SS	6.155	27.962	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	Fino Antracitoso	43,00	SS	0	3.536	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 4500	36,28	SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	579.912	496.304	309.698	471.425	458.267
Prod	CE 5200/6200	42,00	SS	3.173	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	Fino Metalúrgico	52,90	SS	15.319	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	Cata RT	16,00	SS	8.414	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

MINAGEO - Mineração e Geologia - SC

Tipo	Mina / Produto	Teor C	Tipo	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
		%		toneladas															
ROM	Mina Santa Augusta	29,48	SS	0	0	0	0	0	0	0	7.094	26.008	22.394	28.512	35.704	34.662	11.655	0	0
ROM	Mina Trevo	17,37	SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	51.136	35.905	0
Prod	(OBS: venda carvão bruto)	17,37	SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26.286	7.473	0	0

Mineração Forquilha Ltda. - SC

Tipo	Mina / Produto	Teor C	Tipo	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
		%		toneladas															
ROM	Mina N. Sra. dos Campos	15,00	CA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44.380	0	0	0	8.980
ROM	Mina N. Sra. dos Campos	15,00	SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	97.085	14.936	51.047	0

Mineração Pérola Ltda. - SC

Tipo	Mina / Produto	Teor C	Tipo	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
		%		toneladas															
ROM	Linha Antas D	15,00	CA	0	30.925	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ROM	Linha Antas A, B e C	15,00	CA	0	2.908	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 4500	35,00	SS	0	0	0	2.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 5200	40,00	SS	0	24.653	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 5400	41,00	SS	0	0	10.080	21.858	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	Finos	45,00	SS	0	0	0	2.752	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Mineração São Domingo - SC

Tipo	Mina / Produto	Teor C	Tipo	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
		%		toneladas															
Rej-b	Mina P8/P10	9,00	CA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	264.000	0	133.660	93.330	55.345	0	0
Rej-b	Mina Rocinha	9,00	CA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	315.840	0	0	61.833	29.206	0	206.269
Rej-b	Mina 4	9,00	CA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44.622	0	248.196
Prod	CE 4500	35,00	CA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46.564	53.514	52.890	51.576	39.848	0	38.247

Nova Próspera Mineração S.A. - SC

Tipo	Mina / Produto	Teor C	Tipo	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
		%		toneladas															
ROM	Mina Sangão (Mina A)	21,98	SS	532.204	0	187.283	804.714	763.156	894.940	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ROM	Mina Morro Albino (Mina B)	23,00	SS	296.988	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 4500	36,00	SS	0	0	63.977	266.049	263.576	239.670	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 5200	42,00	SS	10.674	0	0	3.485	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	Fino Flotado	53,00	SS	69.616	0	2.304	1.180	2.775	10.860	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	Fino Ciclonado	28,65	SS	0	0	11.237	14.111	34.514	27.559	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CPL	40,00	SS	194.989	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Vale-Beneficiamento de Carvão Mineral Ltda. - SC

Tipo	Mina / Produto	Teor C	Tipo	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
		%		toneladas															
ROM	Lageado	16,70	SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	402.311	381.801	261.340	0	0

Cia Carbonífera de Cambuí - PR

Tipo	Mina / Produto	Teor C	Tipo	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
		%		toneladas															
ROM	Mina Armando Simões	23,00	SS	138.454	175.861	170.153	194.034	224.606	187.320	262.416	357.196	95.084	85.003	108.225	227.161	235.699	296.643	240.684	287.573
ROM	Mina Poço 115	22,00	SS	59.933	55.806	50.971	66.035	80.051	66.852	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ROM	Mina Frente 20	25,50	SS	20.926	37.668	28.865	5.205	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ROM	Mina 830	26,00	SS	0	0	1.649	7.101	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 6000	39,00	SS	117.519	152.060	155.482	150.674	150.125	146.618	138.338	175.375	69.052	53.919	61.967	78.100	75.147	71.996	78.052	78.024

Klabin do Paraná Mineração S.A. - PR

Tipo	Mina / Produto	Teor C	Tipo	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
		%		toneladas															
ROM	Mina 2	42,52	SS	20.000	20.310	15.624	7.119	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prod	CE 6000	48,94	SS	14.000	14.373	10.800	4.505	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ANEXO 2 - Metodologia para Amostragem e Análise de Metano em Minas de Carvão

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL - PUCRS

Faculdade de Química

RELATÓRIO FINAL

Prof. Marçal Pires

e

Profa. Rosângela da Silva

Laboratório de Química Analítica Ambiental

Porto Alegre, Novembro 2009.

1. INTRODUÇÃO

Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), a concentração de metano aumentou 150% desde 1750. A maioria das projeções sobre a concentração dos gases de efeito estufa indica que seus níveis na atmosfera serão muito maiores no final deste século do que são atualmente (IPCC, 2001). As principais fontes de emissão de metano à atmosfera são de origem natural, entretanto são as atividades humanas as responsáveis pelo aumento desse gás na atmosfera, dentre elas cabe destacar a mineração de carvão.

O metano e o carvão são formados ao mesmo tempo durante os processos de carbonificação, quando a biomassa vegetal, através de processos biológicos e geológicos, é transformada em carvão. À medida que esta matéria orgânica vai se distribuindo em camadas mais profundas, a pressão e a temperatura aumentam, o que favorece o aumento do teor de carbono (*rank*) no carvão é seu conteúdo em metano. O CH₄ armazenado no carvão é liberado quando a pressão acima ou no entorno da jazida é reduzida como resultado da erosão natural, mineração subterrânea ou de superfície. Pequenas quantidades de metano também são liberadas durante o beneficiamento, armazenamento e transporte de carvão. Minas subterrâneas abandonadas também podem contribuir para a quantidade total de metano liberado à atmosfera (Ceccala et al. 1981).

Geralmente, o metano entra em contato com o ar da mina em concentrações elevadas através de uma fonte pontual, como uma descontinuidade na rocha (sistema de falhas), onde o seu nível pode estar próximo a 100%. Felizmente o metano se mistura rapidamente com o ar, sendo diluído a níveis menores do que 1% quando existe ventilação no interior de minas subterrâneas, por exemplo. Outro aspecto a ser considerado é a sua densidade, que é menor do que a do ar, o que pode levar a formação de uma camada de alta concentração de CH₄ ao longo do teto de uma mina subterrânea mal ventilada. Esse comportamento sugere que os níveis de metano vão depender muito da localização da medição. Além disso, os instrumentos de medida para esse gás devem ser sensíveis a uma vasta gama de concentrações de metano.

Muitos modelos de detectores de gás estão disponíveis para medir as concentrações de metano, bem como a maioria dos outros gases contaminantes encontrados em minas de carvão. Grande parte destes detectores utilizados na mineração possui sensores baseados na medida do calor da combustão catalisada para detectar metano e outros gases. Esses equipamentos apresentam operação confiável, porém para seu bom funcionamento é necessária tanto uma concentração menor que 8% em metano quanto maior que 10% em oxigênio, requisitos que são geralmente satisfeitos na mineração. Alguns detectores medem a concentração de metano através de sua absorção característica no infravermelho. Estes detectores podem medir com precisão, sem a presença de oxigênio e em um intervalo de concentração de até 100% de metano. No entanto, o

vapor de água e a poeira podem causar dificuldades de funcionamento. Além disso, em algumas minas, o metano pode ser acompanhado por etano e outros hidrocarbonetos leves, gerando erros nas medições. Entre outras exigências, os sistemas de detecção de metano devem ter sensibilidade mínima de 0,25% e uma precisão de pelo menos 20%. Entretanto, quando medidas com maior sensibilidade (níveis partes por milhão - ppm) e precisão são necessárias, ou se deseja conhecer a composição do gás em detalhes, as técnicas apresentadas acima não são adequadas.

O metano pode ser detectado e quantificado no ar ambiente por meio de métodos *ex situ* nos quais o gás é coletado na mina em frascos apropriados, que são transferidos ao laboratório onde ocorre a análise. Nesses casos a quantificação do metano é feita utilizando cromatógrafo a gás com detector de ionização de chama (FID - *Flame Induced Detector*) ou com detector de condutividade térmica (DTC- *Conductivity Thermal Detector*), (Sitaula et al., 1992; Fernandes et al., 2002; Flessa et al., 2002; Ruser et al., 1998; Loftfield et al., 1997). A cromatografia utilizando o detector de ionização de chama permite a análise direta de metano sem necessidade de preconcentração.

Apesar dos diversos métodos disponíveis tanto as medições diretas de metano quanto a coleta do gás nas minas de carvão e posterior análise em laboratório podem ser procedimentos complexos. Isso ocorre devido não só as atividades de mineração, mas também pela dificuldade de acesso aos locais de monitoramento, dificultando a amostragem e o transporte que garanta a integridade da amostra.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Otimizar e implementar metodologias de coleta e análise de amostras gasosas contendo metano em minas de carvão no Brasil, visando subsidiar tecnicamente a elaboração do "II Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa emitidos pelo Setor de Mineração e Beneficiamento de Carvão Mineral" (convênio P&D, ABCM e o MCT/PNUD - Projeto BRA/05/G31).

2.2 Objetivos específicos

- ⇒ Avaliação de diferentes procedimentos de coletas de ar ambiente em minas de carvão, utilizando sacos plásticos de coleta (Tedlar) e cilindros metálicos (Canisters), e propor a técnica mais apropriada para a amostragem em minas superficiais e subterrâneas;
- ⇒ Avaliar a viabilidade da coleta e estocagem de amostras de carvão (furo de sondagem, ROM, britado) e da determinação do metano formado;
- ⇒ Implementar e otimizar a determinação da concentração de metano, nas amostras

coletadas no ar ambiente e nas emanações dos carvões estocados, utilizando a técnica de cromatografia gasosa com detector de ionização de chama (CG-FID).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Identificação das minas monitoradas e caracterização do carvão Nesse trabalho foram estudadas cinco minas de carvão em atividade, localizadas no sul do Brasil. Na Tabela I apresenta dados de identificação e localização das referidas minas, as quais foram atribuídas a códigos (A-E) para facilitar o tratamento dos dados. Nessa tabela são também indicados os dias de amostragem, o tipo e o número de amostras coletadas em cada mina. Na Figura 1 é mostrado um mapa da região sul do Brasil com a localização das principais jazidas de carvão bem como das minas monitoradas.

Três minas são subterrâneas (A, B e C) e estão localizadas no estado de Santa Catarina. As outras duas minas superficiais (D e E) localizam-se no Rio Grande do Sul. Essas minas foram escolhidas por apresentarem características geológicas diferenciadas.

Tabela I - Localização e identificação das minas monitoradas, data e tipo de amostras coletadas.

Mina					Coleta		
Código	Tipo	Jazida	Camada	UF	Data	Tipo amostra	
						Gases	Carvão
A	Subterrânea	Sul Catarinense	Barro Branco	SC	22/dez/08	7	4
B	Subterrânea	Sul Catarinense	Barro Branco	SC	23/dez/08	4	2
C	Subterrânea	Sul Catarinense	Bonito	RS	4/mai/09	5	6
D	Superficial	Leão-Butiá	"M "	RS	21/jan/09	9	4
E	Superficial	Candiota	"S" - Malha 4	RS	6/abr/09	6	9
Total de Amostras						31	25

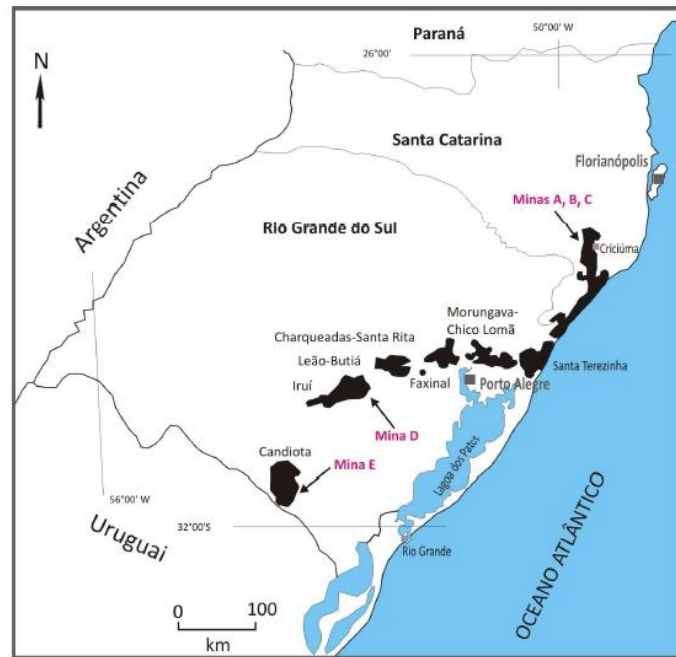


Figura 1 - Mapa das principais jazidas de carvão no sul do Brasil e localização aproximada das cinco minas monitoradas nesse estudo (em vermelho). Fonte: CPRM (2003).

As características dos carvões minerados também foram levadas em conta no momento da escolha das minas. Na Tabela II são mostradas as características químicas e petrográficas dos carvões ROM dessas minas, que apresentam elevados teores de cinzas, como a maioria dos carvões brasileiros, e baixos *ranks*.

Tabela II - Características dos carvões nas cinco minas onde foram coletas amostras de ar para determinação da concentração de metano.

Parâmetros	Unid.	Minas				
		A	B	C	D	E
Umidade Higroscópica	%	1,34	1,01	1,66	6,36	3,99
Cinzas	%	33,74	45,94	61,26	51,09	54,18
Matéria Volátil	%	28,93	23,92	16,50	22,28	20,67
Carbono Fixo	%	37,33	30,14	22,25	26,63	25,15
Poder Calorífico Superior	kcal kg ⁻¹	5460	3880	3032	3224	3090
Enxofre total	%	12,83	6,92	3,09	9,82	1,78
<i>Rank</i> (ASTM) ^a		BAV-C	BMV	BAV-A	SB-B	SB-C
Reflectância da vitrinita	% Vol	0,64	1,21	0,85	0,44	0,41

^a - BAV-C: Betuminoso alto volátil C, BMV: betuminosos médio volátil, BAV-A: Betuminoso alto volátil A, SB-B: Sub-betuminoso B, SB-C: Sub-betuminoso C. Dados em base seca.

3.2. Coleta

3.2.1. Ar ambiente

As amostras de gases foram coletadas utilizando sacos de polipropileno do tipo *Tedlar Bags* de 1 e 2 litros (Supelco). As amostras gasosas foram transferidas aos sacos através de um amostrador sequencial (Supelco, Modelo 1063). Esse sistema gera um vácuo na câmara interna de amostragem (Figura 2A), o que permite uma coleta sem contaminação, que eventualmente ocorreria com a utilização de bombas de vácuo.

Foram também usados canisters de metal (2,1 L) especialmente construídos em alumínio e dotados de válvulas e medidores de pressão acoplados (Figura 2B). Os canisters foram previamente testados, submetidos a vácuo em laboratório e transportados aos pontos de coleta, onde as válvulas foram abertas, sendo o gás do local transferido por diferença de pressão.

Todas as amostras foram estocadas ao abrigo da luz em ambiente refrigerado ($20 \pm 10^\circ\text{C}$) até o momento da análise. Visando verificar a estabilidade dos sistemas de coleta, bem como uma eventual variação na composição, as amostras coletadas na primeira campanha de amostragem (22 e 23/12/08) nas minas A e B, foram analisadas em diferentes dias após a coleta (2, 10, 22 e 30 dias).

Na Tabela III são identificadas as amostras de carvão coletadas nas minas monitoradas bem como os diferentes frascos de amostragem testados. Cada coleta foi identificada através de um código (p.ex. M1) que será utilizado ao longo desse trabalho.

Na Tabela IV estão apresentadas às condições meteorológicas do dia da coleta das amostras de gases nas minas a céu aberto indicando condições favoráveis à amostragem, com tempo bom, temperaturas amenas e baixa velocidade dos ventos, diminuindo a possibilidade de contaminação/diluição das amostras coletadas. Nas minas subterrâneas foi medida a temperatura do ar ambiente sendo observados valores coerentes com a profundidade dos locais amostrados.

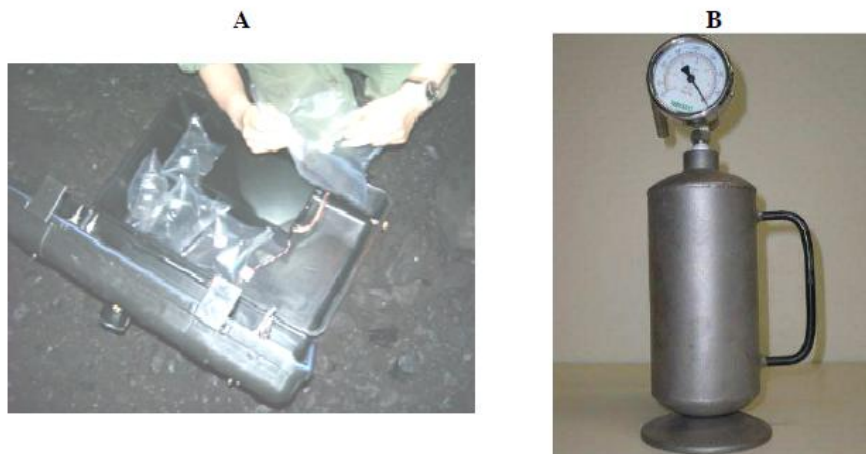


Figura 2 – Tipos de sistema de coleta de ar ambiente em minas de carvão: (A) sacolas plásticas *Tedlar* e (B) *canister* metálicos.

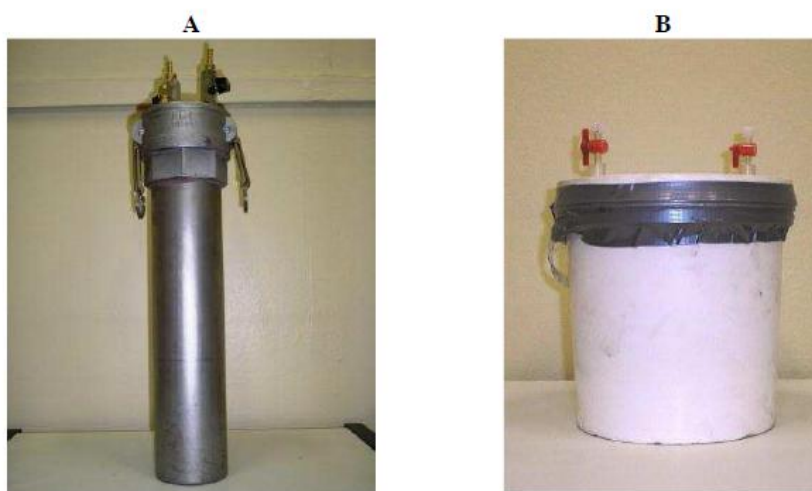


Figura 3 – Tipos de sistemas de coleta das amostras de carvão utilizadas no estudo do metano emanado durante o período de estocagem: (A) *canister* metálicos e (B) baldes plásticos adaptados.

3.2.2. Carvão

Visando verificar o potencial de emissão de metano do carvão pós-mineração, diversas amostras sólidas foram coletadas e imediatamente estocadas em frascos lacrados. As coletas desse tipo de amostra geralmente são feitas em cilindros (*canisters*) metálicos ou plásticos (PVC) especialmente construídos para esse fim. Entretanto, esses frascos são relativamente caros e pesados o que pode dificultar e/ou inviabilizar a coleta de um grande número de amostras em locais de difícil

acesso, tais como as minas de carvão subterrâneas. Em função disso, dois tipos de frascos foram testados e são mostrados na Figura 3 onde: (A) canisters metálicos de 2,0 L (alumínio), dotados de válvulas para medição da pressão interna e septo para retirada de amostras para análise cromatográfica e (A) frascos alternativos constituídos de baldes plásticos de 4,0 L em polipropileno adaptados com válvulas plásticas e septo.

Tabela III – Identificação e descrição dos pontos de coleta de gás nas minas monitoradas.

ID	Mina	Pontos de Coleta	
		Código	Descrição
M1	A	A_1	Eixo 3 SW Galeria 10 T8 – Altura Superior Bancada, com ventilação
M2	A	A_1	Eixo 3 SW Galeria 10 T8 – Altura Média Bancada, com ventilação
M4	A	A_1	Eixo 3 SW Galeria 10 T8 – Altura Média Bancada, sem ventilação
M5	A	A_2	Eixo 4 SW Galeria 10 T8 – Altura Média da Bancada, com ventilação antes da detonação
M6	A	A_2	Eixo 4 SW Galeria 10 T8 – Altura Média da Bancada, com ventilação após a detonação
M8	B	B_1	Poço de Ventilação 2, saída
M9	B	B_2	NW 14 T241, Furo de Sondagem
M10	B	B_3	G1 NW11 244 antes da detonação
M11	B	B_3	G1 NW11 244 após a detonação
M12	C	C_1	Antes da detonação
M13	C	C_2	Área de descanso
M14	C	C_1	Após detonação
M15	C	C_3	Entrada da mina
M16	C	C_4	Saída da ventilação
M17	D	D_1	1º furo de sondagem 1m profundidade
M18	D	D_1	1º furo de sondagem 1m profundidade
M19	D	D_2	2º furo de sondagem 1,5m profundidade
M20	D	D_3	Na face recentemente minerada
M21	D	D_4	Na pilha pulmão carvão
M22	D	D_4	Na pilha pulmão carvão
M26	E	E_1	Malha 4, uma semana após desmonte
M27	E	E_1	Nível de fundo próximo máquina (elétrica)
M28	E	E_2	Furo de sondagem 2,8m (D 30 cm)
M29	E	E_2	Furo de sondagem 2,8m (D 30 cm)
M30	E	E_3	Na pilha pulmão carvão
Níveis de Fundo			
M23	D	D_1	No escapamento do compressor diesel
M24	D	D_5	Nível de fundo no ar (1,5m do solo)
M25	D	D_5	Nível de fundo próximo ao solo (0,1 m)
M31	E	E_4	no ar livre

Tabela IV - Condições meteorológicas no dia da coleta de amostras de ar nas minas a céu aberto e algumas condições do ar nas minas subterrâneas.

Dados	Minas subterrâneas			Minas a céu aberto	
	A	B	C	D	E
Data	22-dez-09	23-dez-09	04-mai-09	21-jan-09	06-abr-09
Temperatura máxima	nm	30 °C	31 °C	23,9 °C (14:48)	27,2 °C (15:49)
Temperatura mínima	nm	25 °C	18 °C	18,9 °C (02:00)	20,4 °C (04:50)
Direção do vento	x	x	x	Sudeste	Oeste-Sudoeste
Rajada máxima diária	x	x	x	51 km/h (16:13)	18 km/h (13:46)
Condição climática	x	x	x	Tempo bom	Tempo bom
Precipit. Pluviométrica	x	x	x	0 mm	0 mm
Pressão do ar	nm	nm	nm	1020 hPa	1017 hPa
Umidade Relativa ar	nm	nm	nm	53%	61%

x – não aplicável; nm: parâmetro não medido.

Esses sistemas foram testados em laboratório quanto a existência de possíveis vazamentos antes de serem utilizados em campo. Os baldes plásticos apresentaram alguns problemas e precisaram ser lacrados com fita adesiva para evitar a perda/contaminação dos gases emanados pelo carvão. Testes adicionais foram feitos para verificar possíveis perdas do metano, emitido pelo carvão, por adsorção ou permeação pelas paredes dos baldes plásticos. Alguns baldes foram preenchidos (P 1atm) com amostras gasosas padrão de metano e a concentração do gás foi monitorada ao longo do tempo. Os resultados preliminares obtidos não indicaram variação significativa na composição do gás, indicando a possibilidade do uso dos mesmos.

Na Tabela V são identificadas as amostras de carvão coletadas e armazenadas em diferentes frascos (baldes plásticos e cilindros metálicos) utilizados no estudo da emissão de metano ao longo do tempo.

A massa de carvão contida em cada frasco foi determinada por diferença (massa total menos massa do frasco vazio) no início dos experimentos. O volume de ar (*headspace*) contido nos frascos foi estimado através da adição de volume conhecido de água no final dos experimentos. Cabe destacar que esse procedimento pode acarretar em erros na estimativa, principalmente para amostras de granulometria diferenciadas como as estudadas nesse trabalho.

3.3. Análise dos gases contendo metano

A determinação da concentração de metano presente nas amostras gasosa bem como no gás emanado pelo carvão estocado, foi feita utilizando-se um cromatógrafo a gás com detector de ionização de chama (GC-FID Varian, Modelo 3300) com coluna empacotada (Chromosorb 102). O

gás carreador utilizado foi o nitrogênio (99,99% de pureza). Como gases combustíveis foram utilizados hidrogênio (99,9% de pureza) e ar sintético (grau analítico). Na Tabela V apresenta-se a identificação das amostras de carvão coletadas e armazenadas, em baldes e cilindros, para estudo da emissão de metano.

Tabela V - Identificação das amostras de carvão coletadas e armazenadas, em baldes e cilindros, para estudo da emissão de metano.

ID	Mina		Descrição Coleta	
	Nome	Ponto	Tipo amostra	Tipo Coletor
C1	A	Eixo 3 SW Galeria 10 T8	ROM	Balde 1
C2	A	Eixo 4 SW antes detonação	ROM	Balde 2
C3	A	Eixo 4 SW após detonação	ROM	Balde 3
C4	A	Pilha pulmão	Carvão britado	Balde 4
C5	B	Amostra furo de detonação	Core	Balde 5
C6	B	G1 NW11 244 após a detonação	ROM	Balde 6
C7	B	Pilha pulmão	Carvão britado	Canister 6
C8	C	Antes da detonação	ROM	Balde 3
C9	C	Após detonação	ROM	Balde 4
C10	C	Após detonação	ROM	Canister 7
C11	C	Após detonação	ROM	Balde 9
C12	C	Pilha pulmão	Carvão britado	Canister 13
C13	C	Pilha pulmão	Carvão britado	Canister 14
C14	D	Amostra furo de detonação	Carvão fino	Balde 1
C15	D	Amostra furo de detonação	Carvão fino	Balde 2
C16	D	Pilha pulmão	Carvão britado	Balde 3
C17	D	Pilha pulmão	Carvão britado	Balde 4
C18	E	01 semana após desmonte	ROM	Balde 2
C19	E	01 semana após desmonte	ROM	Canister 3 c/headspace
C20	E	Furo de detonação 2,8m	Carvão fino	Balde 11
C21	E	Furo de detonação 2,8m	Carvão fino	Canister 13 s/headspace
C22	E	Furo de detonação 2,8m	Carvão fino	Canister 14 c/headspace
C23	E	Pilha pulmão	Carvão britado	Canister 6 c/headspace
C24	E	Pilha pulmão	Carvão britado	Canister 7 s/headspace
C25	E	Pilha pulmão	Carvão britado	Balde 8

ROM- *run-of-mine*

As condições de operação do cromatógrafo estão apresentadas na Tabela VI e na Figura 4 é mostrada uma foto do equipamento.

Para a determinação do percentual de metano foram utilizadas amostras de padrões de referência gasoso contendo 500 ppm de metano (*Air Products*) balanceados com N₂ de alta pureza.

Tabela VI - Condições de operação do cromatógrafo a gás com detector por ionização de chama, para a análise do metano.

Parâmetros	Condições de operação	Parâmetros	Condições de operação
T coluna	Isoterma a 120 °C	Gás combustível	Hidrogênio (30 mL min ⁻¹)
T Injetor	140 °C	Gás oxidante	Ar sintético 250 mL min ⁻¹)
T detector	250 °C	Gás carreador	Nitrogênio (30 mL min ⁻¹)
		Volume da amostra	10 a 2500 µL

Os padrões gasosos foram transferidos para frascos xilenques previamente purgados e com volume calibrados de 100 mL para posteriores injeções no GC/FID com micro seringas em volumes que variaram de 10 a 2500 mL (Hamilton, tipo Gastight com conexão Luer Lock). Foram feitas também diluições (2 a 100 vezes) do padrão utilizando nitrogênio com pressão total de 1 atm. O percentual de metano nos padrões puros e nas diluições foi determinado utilizando-se diferentes sensibilidades do detector (range 9 a 12) do GC/FID com o objetivo de construção de curvas de maior precisão para valores de menores concentrações. A identificação do metano nas amostras reais foi feita através do seu tempo de retenção ($0,37 \pm 0,01$ min), determinado nos padrões de referência e por comparação com a literatura. A quantificação do CH₄ foi feita através de curvas de calibração externa construídas em amplas gamas de concentração (1 ppm a 25%) visando abranger as concentrações esperadas, e que serão discutidas no próximo item. Além do teor de metano presente nas emanações das amostras de carvão estocadas, a pressão total no interior dos frascos foi monitorada utilizando um sistema de medida por variação da altura de uma coluna d'água (Figura 5). Essas medidas foram feitas em alguns frascos, a diferentes intervalos de tempo, após a coleta e estocagem das amostras de carvão em condições controladas (T 20± 1 oC).

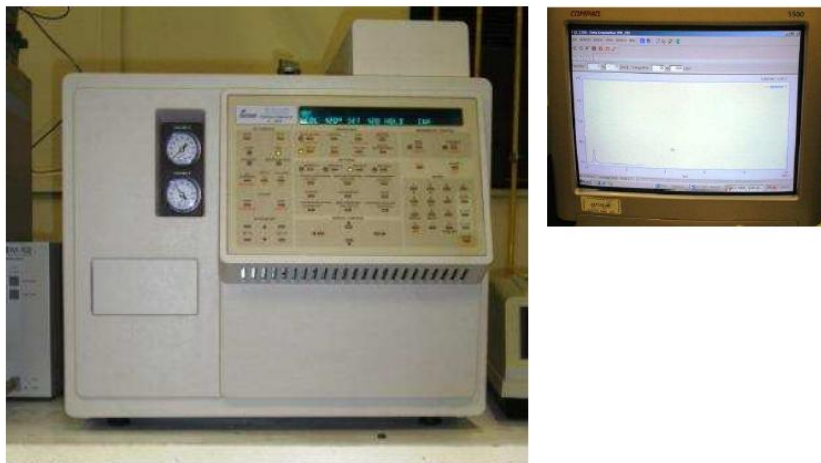


Figura 4 - O cromatógrafo gasoso GC-FID (Varian, Modelo 3300) e o computador utilizado para a aquisição e tratamento dos dados de determinação do metano em amostras gasosas.



Figura 5 - Sistema de medida da pressão interna dos frascos de estocagem das amostras de carvão, conectado a um canister metálico.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Otimização da metodologia de análise de metano por GC-FID

A Figura 6 apresenta as curvas de calibração obtidas a partir do padrão de referência concentrado de metano (500 ppm), realizadas em dias diferentes e aplicando a sensibilidade média do equipamento (Range 9). Observa-se que as curvas apresentam uma boa linearidade com R2 variando entre 0,999 e 0,998. Cabe também destacar a pequena variação nas curvas de calibração que apresentaram um slope médio de $1,21 \times 10^6$ e um desvio padrão percentual $< 3\%$ indicando a robustez do método de análise.

Comportamento semelhante, com relação à linearidade e correlação, é observado com as curvas obtidas com padrões diluídos (10, 20 e 40 ppm) a partir do padrão de referência concentrado de metano (500 ppm). As curvas de calibração para esses padrões diluídos são mostradas na Figura 7, para as quais foi utilizada uma maior sensibilidade do detector (*range* 12). Nessas condições o *slope* médio de $9,9 \times 10^8$ e um desvio padrão percentual $< 6\%$, indicando que as diluições feitas não aumentaram significativamente o erro da análise. Esse comportamento sugere que o método proposto pode ser utilizado para uma vasta gama de concentrações de CH_4 , o que será confirmado com as amostras reais discutidas a seguir.

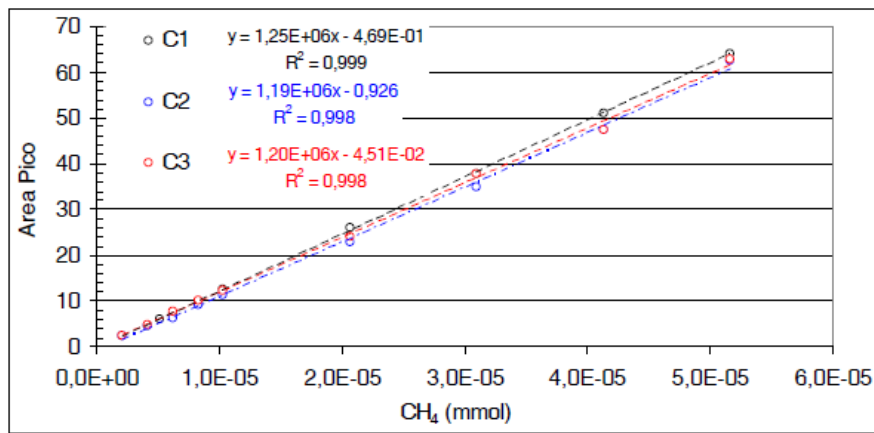


Figura 6 - Variação das curvas de calibração, feitas a partir do padrão de referência concentrado (500 ppm de metano), em três dias diferentes (C1, C2 e C3), obtidas no range de sensibilidade média do equipamento.

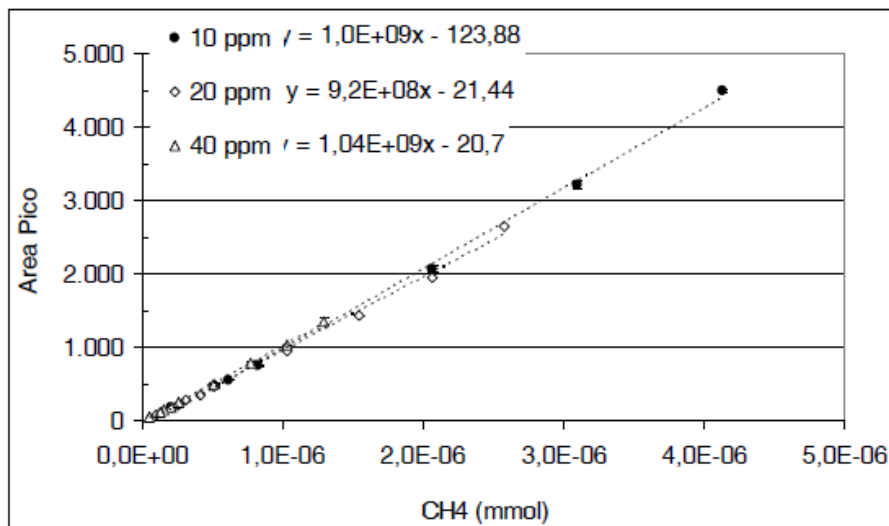


Figura 7 - Curvas de calibração obtidas a partir de padrão de diluição (10, 20 e 40 ppm) do padrão de referência concentrado (500 ppm), obtidas no *range* de maior sensibilidade do equipamento.

A análise de metano, em amostras reais de ar de mina, apresentou uma boa repetitividade, conforme está demonstrado na Tabela VII. Os erros observados variaram entre 1,4-6,8%, valores próximos da própria reprodutibilidade das curvas de calibração (Fig. 6 e 7), indicando que a matriz das amostras reais (outros gases, partículas, vapor d'água) aparentemente não causam interferência na análise.

Tabela VII - Repetitividade para análise de metano em amostras reais de ar de mina, com injeções de 100 mL, valores da média e desvio padrão e coeficiente de variação de três replicadas.

Amostra	Media	±	Desvio padrão	Coeficiente de variação
			(ppm)	(%)
1	13.850	±	936	6,8
3	69.851	±	2.648	3,8
4	71.013	±	1.027	1,4
5 ^a	91.554	±	2.870	3,1
6 ^a	169.534	±	9.189	5,4

Na Tabela VIII são mostrados os resultados da concentração de metano em amostras reais coletadas em sacos (Tedlar) e cilindros (Canisters) de amostragem, obtidos 2, 10 e 22 dias depois da coleta. Pode-se observar que a maioria das amostras se manteve estável entre o tempo de coleta e das respectivas análises. No geral, verificam-se diminuições nas concentrações (valores negativos na diferença percentual) após 22 dias de coleta, indicando perdas de CH₄ que podem ocorrer por diferentes motivos, tais como decomposição e/ou adsorção nas paredes dos frascos amostradores, difusão para o ar ambiente, entre outros. Entretanto, para a maioria das amostras um tempo de estocagem de até 10 dias antes da análise aparentemente não causa perdas significativas em metano (-2 a 4%). Como esperado, as variações mais significativas (-27% a -34%) ocorreram para as amostras mais diluídas. Observa-se também uma menor variação nas amostras coletadas em sacos Tedlar que em canister, para concentrações de metano na mesma faixa (662-969 ppm). Esse comportamento pode estar relacionado aos diferentes procedimentos de transferência da amostra, que no caso do canister exige a transferência prévia para um frasco intermediário onde podem ocorrer perdas.

Tabela VIII - Estabilidade da concentração do metano em amostras de ar ambiente de minas coletadas em sacos plásticos (Tedlar) e cilindros metálicos (Canisters), verificada após diferentes tempos após a coleta.

Frasco de Amostragem	Tempo entre coleta e análise					
	2 dias		10 dias		22 dias	
	CH ₄ (ppm)		CH ₄ (ppm)	Var. %	CH ₄ (ppm)	Var. %
<i>Tedlar</i>	274.116		280.920	2	254.741	-7
<i>Tedlar</i>	94.610		92.539	-2	64.750	-32
<i>Tedlar</i>	3.414		3.458	1	3.299	-3
<i>Tedlar</i>	969		948	-2	879	-9
<i>Canister</i>	662		484	-27	432	-35
<i>Tedlar</i>	19		13	-34	12	-38
<i>Tedlar</i>	18		13	-27	21	11

4.2 Concentração de metano no ar das minas de carvão monitoradas

Na Tabela IX é mostrado um sumário das medições das concentrações de metano nas cinco minas de carvão monitoradas nesse estudo (ver identificação na Tab. I). De acordo com os resultados dessa tabela constata-se que a metodologia otimizada possibilita a análise de metano em uma ampla faixa de concentração, variando de valores que vão de 2 ppm a 2%. Conforme pode ser visto, a Mina A apresenta os maiores valores dentre todas as concentrações de metano analisadas nesse estudo.

Os altos valores observados na Mina A devem-se, provavelmente, devido à proximidade de zonas e sistemas de falhas constituindo fontes de emissão de metano. Em uma dessas áreas foram coletadas amostras em diferentes distâncias do ponto de emissão (ponto A_1) com e sem ventilação ligada. Observa-se concentrações elevadas no ponto de emissão (200.105 ppm -2%) que se diluem com a ventilação (15.513 ppm) mas que podem concentrarem-se rapidamente se o sistema de ventilação for desligado (74.742 ppm). Em outro local dessa mina (A_2) os níveis de metano são menores (3.414 ppm), porém aumentam significativamente após a detonação (29.070 ppm), como esperado.

Para as outras duas minas subterrâneas (B e C) as concentrações de metano foram bem inferiores às que foram estimadas para a mina A. Como esperado, foram observados aumentos dos níveis de metano após as detonações, em especial na mina B onde a concentração de metano aumentou 34 vezes após a detonação.

Os níveis observados para as minas a céu aberto foram também diferenciados, onde a Mina D apresenta valores superiores à Mina E. Cabe destacar a concentração elevada de CH₄ nos furos de sondagem na mina D (306-470 ppm) superiores aos verificados na mina E para esse tipo de amostra (56 ppm). Os valores observados nas faces mineradas são baixos nas duas minas (3 a 12 ppm), se aproximando dos valores de fundo.

Cabe ressaltar que o uso dos equipamentos movidos a derivados de petróleo (diesel, gás liquefeito de petróleo - GLP e/ou gasolina) principalmente no interior das minas subterrâneas, podendo ser uma fonte geradora simultânea e/ou associada de gases de efeito estufa.

As amostras coletadas para controle de possíveis contaminações externas ao ambiente em estudo (*background*) evidenciam baixos teores de metano (3-11 ppm) no ar não influenciado pela mineração do carvão.

As diferenças observadas entre as coletas realizadas com o amostrador sequencial e os canisters podem ser atribuídas à perda de vácuo durante o transporte até o local de difícil acesso da mina, bem como problemas na análise dos canisters comentadas anteriormente.

Tabela IX - Concentrações de metano medidas nas amostras de ar coletadas em minas subterrâneas e a céu aberto no sul do Brasil.

ID	Mina	Pontos de Coleta	CH ₄ ppm	Obs
		Código		
M1	A	A_1	200.105	Altura Superior Bancada, com ventilação
M2		A_1	15.513	Altura Média Bancada, com ventilação
M4		A_1	74.742	Altura Média Bancada, sem ventilação
M5		A_2	3.414	antes da detonação
M6		A_2	29.070	após da detonação
M8		B	B_1	18
M9	B_2		8	
M10	B_3		19	Antes detonação
M11	B_3		662	Após detonação
M12	C		C_1	35
M13		C_2	7	Antes detonação
M14		C_1	111	Após detonação
M15		C_3	3	
M16		C_4	14	
M17		D	D_1	470
M18	D_1		382	furo de sondagem
M19	D_2		306	furo de sondagem
M20	D_3		12	face minerada
M21	D_4		14	pilha pulmão
M22	D_4		15	pilha pulmão
M26	E		E_1	4
M29		E_2	56	Furo de sondagem
M30		E_3	3	pilha pulmão
Níveis de Fundo				
M24	D	D_5	11	
M25	D	D_5	5	
M31	E	E_4	3	

Estas dificuldades podem ser contornadas pelo uso de uma bomba de vácuo portátil durante a coleta e pela otimização do procedimento de transferência das alíquotas do canister ao cromatógrafo durante a análise. Entretanto, tais procedimentos tornam mais complexa e cara a análise.

Na figura 8 são mostradas as concentrações médias de metano no ar das minas monitoradas. Em função da grande variação de concentrações (3 ppm a 2%) e visando uma melhor visualização dos resultados, foi utilizada uma escala logarítmica.

4.3 Concentração de metano nas amostras de carvão estocado

Na Tabela X é mostrado um sumário dos resultados obtidos das concentrações do metano emanado pelo carvão estocado em baldes e canisters. Observa-se que os carvões que apresentaram maiores concentrações de metano emanado foram os da mina A (até 81.306 ppm), com as minas C (13.182 ppm), B (7.012 ppm) e D (8.725 ppm) apresentando valores intermediários e os carvão da mina E (8-276 ppm) os níveis muito mais baixos. Apesar desses resultados não poderem ser comparados diretamente devido às diferentes formas de estocagem (baldes e canister metálicos) e granulometria do carvão (ROM, britado, fino), os níveis de CH₄ observados são muito diferentes entre si. O fato mais surpreendente é a grande variação não só entre as diferentes minas, mas também entre as amostras de uma mesma mina. Neste contexto cabe salientar as emanações mais elevadas dos carvões britados, para todas as minas, quando comparadas com as demais amostras (ROM mina e carvão fino dos furos de sondagem).

Nessa Tabela X são também mostrados os valores medidos da massa de carvão (bases úmida e seca) em cada amostra bem como o volume de ar contido nos frascos (headspace) estimado no final dos testes através da adição de volume conhecido de água. Cabe destacar que os valores do volume de *headspace* estimados, em especial para os baldes, foram mais elevados do que os esperados considerando a massa e a densidade provável do carvão estocado. O uso desses dados deve levar em conta os prováveis erros associados a essa estimativa.

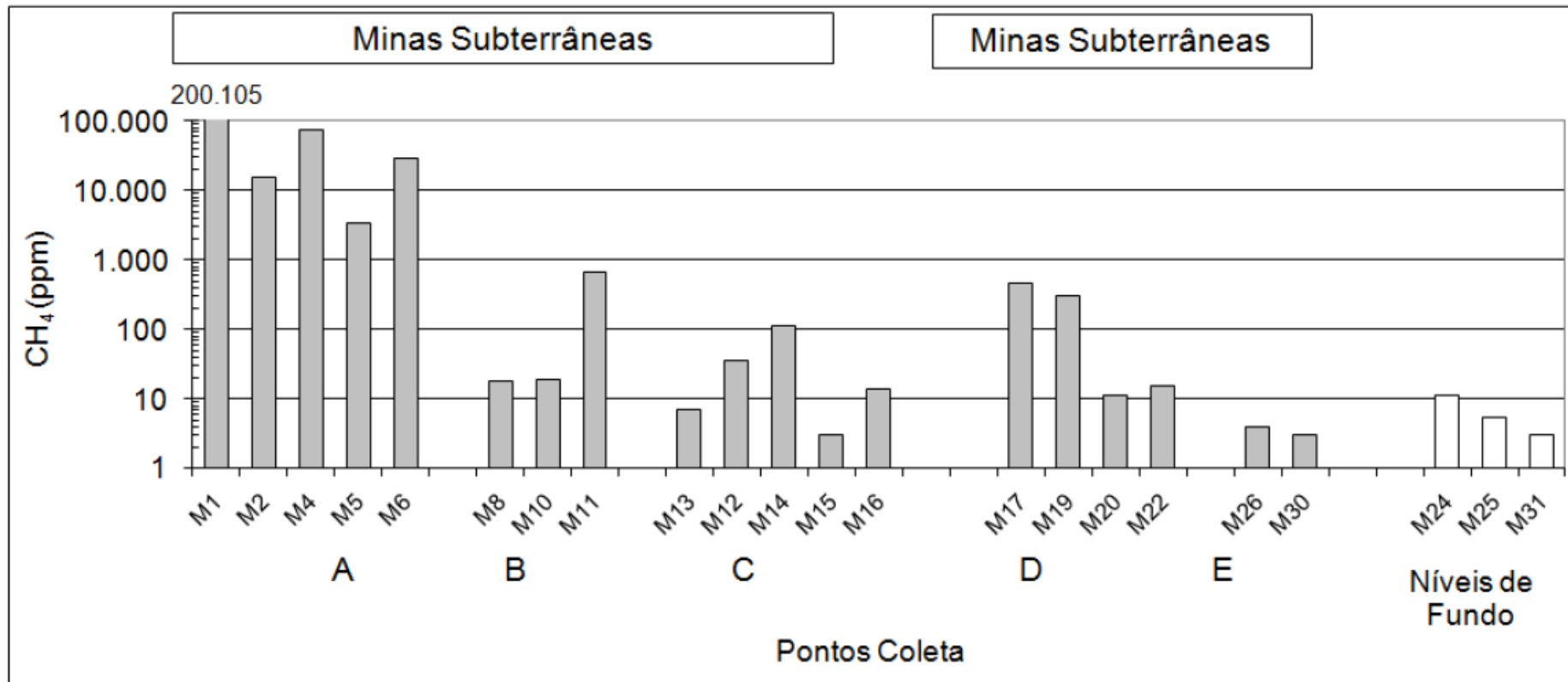


Figura 8 - Concentração de metano medidas no ar de minas de carvão no sul do Brasil (pontos identificados na Tab. III) .

1 **Tabela X** - Concentrações máximas medidas, massa de carvão e volume de ar contido nos frascos
 2 de coleta (*headspace*) das amostras estocadas.

ID	Mina			Massa carvão (g)*		Vol. (L)	CH ₄
	Nome	Amostra	Coletor	(bu)	(bs)	<i>Headspace</i>	ppm
C1	A	Rom Mina	Balde	1.855	1.830	3,0	1.677
C2	A	Rom Mina	Balde	1.410	1.387	3,3	8.719
C3	A	Rom Mina	Balde	1.861	1.834	3,1	25.209
C4	A	Carvão britado	Balde	2.954	2.922	2,5	81.306
C5	B	Rom Mina	Balde	1.796	1.767	3,1	73
C6	B	Rom Mina	Balde	2.150	2.116	3,1	1.023
C7	B	Carvão britado	Canister	3.500	3.449	0,9	7.012
C8	C	Rom Mina	Balde	5.000	4.909	2,6	937
C9	C	Rom Mina	Balde	5.610	5.491	2,1	4.893
C10	C	Rom Mina	Canister	2.005	1.971	0,9	3.627
C11	C	Rom Mina	Balde	4.250	4.171	2,2	2.715
C12	C	Carvão britado	Canister	2.225	3.971	0,9	13.182
C13	C	Carvão britado	Canister	1.995	1.962	0,9	3.710
C14	D	Carvão fino	Balde	3.483	3.378	1,9	5.685
C15	D	Carvão fino	Balde	4.184	4.080	1,6	8.725
C16	D	Carvão britado	Balde	3.188	2.975	2,2	7.266
C17	D	Carvão britado	Balde	3.637	3.485	1,1	6.136
C18	E	Rom Mina	Balde	4.140	4.087	1,7	9
C19	E	Rom Mina	Canister	1.740	1.719	0,8	8
C20	E	Carvão fino	Canister	1.920	1.884	0,8	8
C21	E	Carvão fino	Canister	1.775	1.753	nm	8
C22	E	Carvão fino	Balde	4.110	4.062	1,6	10
C23	E	Carvão britado	Balde	3.965	3.865	2,0	211
C24	E	Carvão britado	Canister	1.275	1.240	nm	276
C25	E	Carvão britado	Canister	1.480	1.435	nm	145

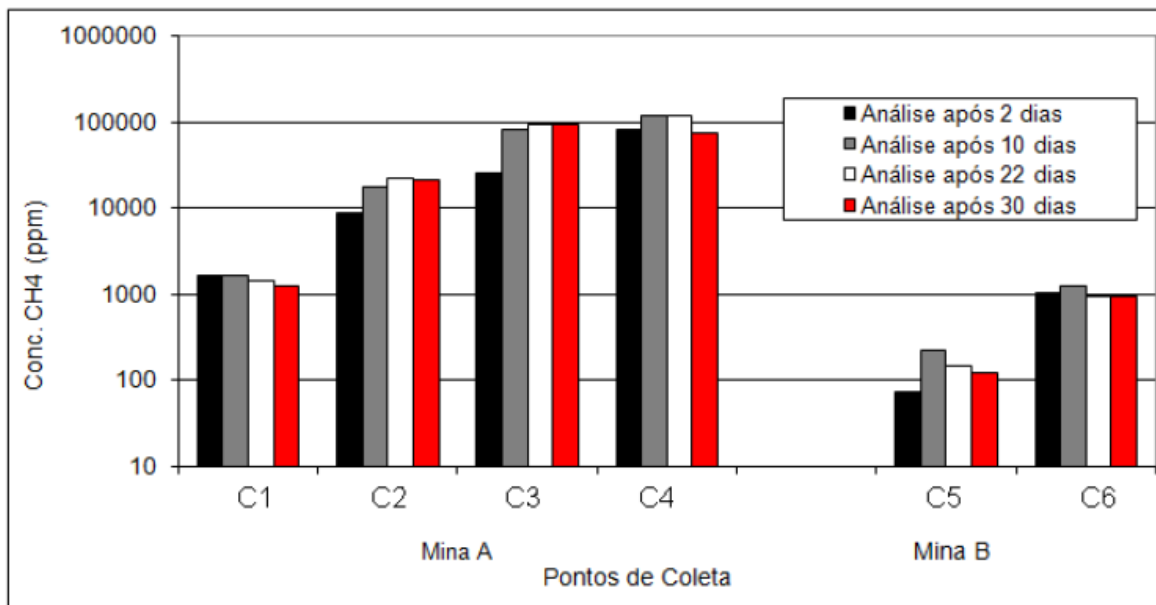
3 * base seca calculada utilizando a umidade higroscópica disponível para todas as amostras analisadas.

4

5 Outro aspecto importante a destacar é a variação dessas emanações ao longo do tempo de
 6 estocagem, parâmetro que permite estimar o comportamento desses carvões pós mineração. Na
 7 Figura 9 são mostrados as concentrações de CH₄ (ppm) emanadas de amostras de carvão das
 8 minas A e B, após diferentes tempos de estocagem. Observa-se que para a maioria das amostras a
 9 máxima concentração de metano é medida após 10-22 dias de estocagem. Após esse tempo
 10 ocorre uma pequena diminuição dessa razão devido provavelmente a re-adsorção do metano no
 11 carvão ou eventuais perdas ou contaminação do ar dos baldes e canisters. Esses dados indicam
 12 que o monitoramento das emanações deve ser feito no mínimo até 20 dias após a coleta do
 13 carvão, uma vez que os níveis de metano aumentam em até 4 vezes durante esse período.

1 Os resultados referentes às medidas da variação da pressão dos baldes e canisters não foram
 2 conclusivos. Foram observadas variações muito pequenas em algumas amostras de carvão, valores
 3 incoerentes com os níveis de metano informados anteriormente. Esse comportamento pode estar
 4 relacionado a eventuais perdas do gás, principalmente nos baldes e também à presença de
 5 *headspace* nos canisters metálicos. Foram feitas modificações na construção dos canisters, na
 6 tentativa de contornar o problema de *headspace*, porém não foi possível coletar um número
 7 suficiente de amostras para testar o sistema modificado. O preenchimento dos vazios com água
 8 no momento da coleta poderia ser uma alternativa para esse problema. Entretanto, tal
 9 procedimento pode acarretar em reações indesejáveis com as superfícies do carvão e dos frascos,
 10 um aumento no conteúdo de vapor d'água, além de uma possível inibição na emissão de
 11 metano pela pressão hidrostática. Outra opção é a purga dos frascos com um gás inerte (hélio ou
 12 argônio) no momento da coleta, o que acarreta em maiores custos e dificuldades de logística. Um
 13 estudo mais aprofundado é indicado no que concerne essas medidas.

14 Uma análise dos resultados obtidos nesse estudo indica que diversos fatores devem influenciar as
 15 emissões de metano pela mineração de carvões brasileiros além do *rank* e profundidade das
 16 minas. O uso de coeficientes genéricos que levem em conta somente esses parâmetros deve ser
 17 efetuado com cautela. A quantificação mais precisa dessas emissões necessita de um estudo mais
 18 detalhado e abrangente, envolvendo a coleta de um maior número de amostras e de minas com
 19 características diferenciadas.



20

21 **Figura 9** - Concentração de metano no gás emanado por amostras de carvão de minas A e B
 22 (subterrâneas) em diferentes tempos de estocagem.

23

24

1 5. CONCLUSÕES

2 A metodologia analítica desenvolvida para a amostragem e análise de metano em ar coletado em
3 minas de carvão subterrânea e superficial mostrou-se eficiente para os objetivos propostos. A boa
4 repetitividade das análises realizadas em diferentes dias indica a estabilidade das amostras
5 evidenciando que o procedimento implantado para coleta preserva a integridade das mesmas. A
6 coleta com a utilização do amostrador sequencial apresentou maior praticidade, quando
7 comparado com os canisters, por realizar o vácuo no momento da coleta. O ajuste das curvas de
8 calibração refletiu a adequação da metodologia otimizada para a determinação de metano nas
9 diferentes amostras coletadas, permitindo a sua quantificação em uma ampla faixa de
10 concentração.

11 Foi observada uma grande variação na concentração de metano (2 ppm a 2%) analisado no ar
12 ambiente das minas monitoradas. A mina subterrânea A apresentou concentrações muito elevadas
13 de CH₄, devido provavelmente a geologia do local que apresenta fraturas na camada de carvão.
14 Concentrações menores, porém significativas, foram observadas nas outras minas subterrâneas
15 em especial após as detonações. Para as minas superficiais teores acima do nível de fundo foram
16 observados somente nos furos de sondagem, sendo que a mina de D apresentou níveis 5-8 vezes
17 superiores aos medidos na mina E.

18 Observou grande variação nos resultados obtidos nas análises do gás emanado pelas amostras de
19 carvão, estocado em condições controladas, oriundas das diferentes minas estudadas. Diversos
20 fatores parecem influenciar as emissões de metano pela mineração do carvão brasileiro além do
21 *rank* e profundidade das minas. A quantificação mais precisa dessas emissões necessita de um
22 estudo mais detalhado e abrangente.

23

24

1 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

2

3 Ball, B.C. et al. Field N₂O, CO₂ and CH₄ fluxes in relation to tillage, compaction and soil quality
4 in Scotland. *Soil & Tillage Research*, v.53, p.29-39, 1999.

5 CPRM - Serviço Geológico do Brasil (2000). *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil :
6 texto, mapas & SIG / organizadores, Luiz Augusto Bizzi, Carlos Schobbenhaus, Roberta Mary
7 Vidotti, João Henrique Gonçalves - Brasília : 2003. 692 p.*

8 Cecala, A. B.; Grau, R. H.; Thimons, E. D. How Gassy non-coal can simulate methane flow. *E&MJ-
9 Engineering and Mining Journal*, vol. 185, p.51-53, 1984.

10 Cheng, W. et al. N₂O and NO production in various Chinese agricultural soils by nitrification. *Soil
11 Biology Biochemistry*, v.36, p.953-963, 2004.

12 Fernandes, S.A.P. et al. Seasonal variation of soil chemical properties and CO₂ and CH₄ fluxes in
13 unfertilized an P-fertilizes pastures in an Ultisol of the Brazilian Amazon. *Geoderma*, v.107,
14 p. 227-241, 2002.

15 Flessa, H. et al. N₂O and CH₄ fluxes in potato fields: automated measurement, management
16 effects and temporal variation. *Geoderma*, v.105, p.307-325, 2002

17 IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate change 2001: the scientific basis.
18 United Kingdom: Cambridge University, 2001. 881p.*

19 Kalkreuth W. et. al., *International Journal of Coal Geology*, v 68, p. 79-116, 2006.

20 Kissell, F. N. *Sampling for Methane control in mining, Chapter 1, Facts about methane that are
21 important to mine safety, 191p, 2006.*

22 Loftfield, N. et al. Automated gas chromatographic system for rapid analysis of the atmospheric
23 trace gases methane, carbon dioxide, and nitrous oxide. *Journal of*

24 *Environmental Quality*, v.26, p.560-564, 1997.

25 Ruser , R. et al. Compaction and fertilization effects on nitrous oxide and methane fluxes in
26 potato fields. *Soil Science Society American Journal*, v.62, p.1587-1595, 1998.

27 Sitaula, B.K. et al. Rapid analysis of climate gases by wide bore capillary gas chromatography.
28 *Journal of Environmental Quality*, v.21, p.493-496, 1992.

Anexo

Tabela A1 - Caracterização das amostras de carvão estudadas

ID	Análise Imediata					Análise Elementar				
	Umidade Higroscópica	Umidade Total	Cinzas	Matéria Volátil	Carbono Fixo	Poder Calorífico Superior	Enxofre Total	N	C	H
	(%)	(%)	(%, bs)	(%, bs)	(%, bs)	kcal/kg	(%, bs)	(%, bs)	(%, bs)	(%, bs)
C1	1,34	n.d.	33,74	28,93	37,33	5460	12,83	1,13	49,92	3,70
C2	1,62	n.d.	46,59	22,43	30,98	3882	5,14	0,92	41,66	3,24
C3	1,45	n.d.	54,37	21,46	24,17	3521	3,36	0,87	36,09	3,11
C4	1,08	n.d.	50,17	22,26	27,57	3870	7,19	0,92	38,40	3,10
C5	1,64	n.d.	71,66	12,47	15,87	2004	1,49	0,60	22,17	2,25
C6	1,6	n.d.	68,88	11,45	19,67	2169	2,81	0,49	18,23	1,92
C7	1,47	2,15	67,56	12,39	20,05	2478	3,98			
C8	1,82	4,8	55,95	15,01	22,2	3740	6,67	0,47	33,74	2,46
C9	2,12	2,31	66,3	11,92	21,78	2637	4,28	0,30	26,24	2,20
C10	1,68	6,38	56,31	14,8	28,89	3596	5,12	0,35	34,96	2,56
C11	1,85	3,58	61,04	13,81	25,15	3155	4,06	0,38	31,87	2,48
C12	1,47	1,46	61,48	19,18	19,34	2909	2,11	0,38	32,04	2,62
C13	1,64	3,03	57,91	14,91	27,18	3440	5,08	0,63	32,53	2,15
C14	2,99	n.d.	48,62	28,83	27,55	3787	4,04	0,74	39,74	3,00
C15	2,49	n.d.	46,71	24,38	28,91	3637	6,58	0,71	39,73	3,07
C16	6,67	n.d.	37,85	27,31	34,84	4405	5,37	0,80	47,40	3,43
C17	4,16	n.d.	51,01	21,48	27,51	3487	5,99	0,61	33,70	2,86
C18	1,27	6,31	56,13	21,67	22,2	2736	1,78	0,27	28,78	2,29
C19	1,18	6,05	54,65	22,04	23,31	2946	0,94	0,37	30,84	2,40
C20	1,88	18,39	63,78	16,08	20,14	2447	0,87	0,28	24,98	2,01
C21	1,24	10,43	55,59	23,79	20,62	2702	0,81			

Tabela A1 - Continuação

ID	Análise Imediata					Análise Elementar				
	Umidade Higroscópica	Umidade Total	Cinzas	Matéria Volátil	Carbono Fixo	Poder Calorífico Superior	Enxofre Total	N	C	H
	(%)	(%)	(%, bs)	(%, bs)	(%, bs)	kcal/kg	(%, bs)	(%, bs)	(%, bs)	(%, bs)
C22	1,16	11,79	47,23	28,15	24,62	3052	0,80	0,50	34,42	2,62
C23	2,51	15,07	52,14	19,29	28,57	3487	1,99	0,32	35,08	2,43
C24	2,76	15,38	51,98	19,55	28,47	3467	1,96	0,28	34,99	2,49
C25	3,07	19,83	51,93	18,75	29,32	3439	4,23	0,26	33,72	2,33

Análise Imediata, teor de enxofre total e poder calorífico executados na SACT.