

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

RELATÓRIOS DE REFERÊNCIA

**EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NOS
PROCESSOS INDUSTRIAIS E POR USO DE
SOLVENTES**

Ministério da Ciência e Tecnologia
2002

PRESIDENTE DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FERNANDO HENRIQUE CARDOSO

MINISTRO DE ESTADO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
RONALDO MOTA SARDENBERG

SECRETÁRIO DE POLÍTICAS E PROGRAMAS DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
LUIZ GYLVAN MEIRA FILHO
SECRETÁRIA ADJUNTA DE POLÍTICAS E PROGRAMAS DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
THELMA KRUG

EXECUÇÃO

COORDENADOR GERAL DE MUDANÇAS GLOBAIS
JOSÉ DOMINGOS GONZALEZ MIGUEZ

COORDENADOR TÉCNICO DO INVENTÁRIO
NEWTON PACIORNIK

IMPRESSÃO

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Expressamos nossa mais profunda gratidão ao Prof. José Israel Vargas, Ministro de Estado da Ciência e Tecnologia, de 1992 a 1999, por compartilhar conosco seus conhecimentos e suas idéias sobre as questões da mudança do clima e por sua incessante orientação e seu constante incentivo. Estendemos nosso agradecimento ao Prof. Luiz Carlos Bresser Pereira, Ministro da Ciência e Tecnologia de janeiro a julho de 1999.

Agradecemos, ainda, à equipe do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, na pessoa do seu presidente, Sérgio Besserman Vianna, pelo apoio na impressão desta publicação.

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

RELATÓRIOS DE REFERÊNCIA

**EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NOS
PROCESSOS INDUSTRIAIS E POR USO DE
SOLVENTES**

Ministério da Ciência e Tecnologia
2002

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 Ciência e Tecnologia
Departamento de Programas Temáticos
Coordenação Geral de Mudanças Globais
Esplanada dos Ministérios Bloco E 2º Andar Sala 244
70067-900 - Brasília - DF
Telefone: 61-317-7923 e 317-7523
Fax: 61-317-7657
e-mail: cpmg@mct.gov.br
<http://www.mct.gov.br/clima>

Revisão:

Branca Bastos Americano
Newton Paciornik
Mauro Meirelles de Oliveira Santos

Revisão de Editoração:

Mara Lorena Maia Fares
Anexandra de Ávila Ribeiro

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/95/G31
SCN Quadra 02 Bloco A - Ed. Corporate Center 7º Andar
70712-901 - Brasília - DF
Telefone: 61-329-2000
Fax: 61-329-2099
e-mail: registry@undp.org.br
<http://www.undp.org.br>

U.S. Country Studies Program

PO-2, Room GP-196
1000 Independence Avenue, SW
Washington, D.C. 20585 USA
Telefone: 1-202-426-1628
Fax: 1-202-426-1540/1551
e-mail: csmt@igc.apc.org
<http://www.gcric.org/CSP/webpage.html>

Agradecemos à equipe administrativa do GEF, do PNUD e do U.S. Country Studies Program e, em particular, a algumas pessoas muito especiais sem as quais a realização deste trabalho não teria sido possível: Emma Torres, Richard Hosier e Vesa Rutanen, todos do PNUD/Nova York; Cristina Montenegro, do PNUD/Brasil, de 1985 a 1999, por seu apoio e incentivo em todos os momentos; e Jack Fitzgerald e Robert K. Dixon, do U.S. Country Studies Program, que propiciaram o encaminhamento do programa. A todas essas pessoas, por sua liderança neste processo, nosso mais sincero agradecimento.

Índice

	Página
Prefácio	11
Introdução	13
Sumário Executivo	15
1 Introdução	21
2 Processos Industriais	21
2.1 Produtos minerais	21
2.1.1 Produção de cimento	21
2.1.2 Produção de cal	25
2.1.3 Produção e uso de carbonato neutro de sódio (barrilha)	30
2.2 Indústria química	32
2.2.1 Introdução	32
2.2.2 Metodologia	32
2.2.3 Produção de amônia	33
2.2.4 Produção de ácido nítrico	34
2.2.5 Produção de ácido adípico	34
2.2.6 Produção de outros químicos	35
2.3 Produção de metais	38
2.3.1 Ferro e aço	38
2.3.2 Ferroligas	50
2.3.3 Alumínio	54
2.4 Produção e consumo de halocarbonos e hexafluoreto de enxofre (HFCs, PFCs e SF ₆)	64
2.4.1 Emissões na produção de HFCs	64
2.4.2 Emissões no consumo de HFCs, PFCs e SF ₆	65

2.5	Outras produções	70
2.5.1	Indústria de papel e celulose	70
2.5.2	Alimentos e bebidas	78
3	Uso de Solventes e Outros Produtos	80
3.1	Aplicação em tintas	82
3.2	Desengraxe de metais	86
3.3	Limpeza a seco	87
3.4	Processamento de espumas de poliestireno	89
3.5	Indústria de impressão	89
3.6	Extração de óleos vegetais comestíveis	90
3.7	Uso doméstico	91
3.8	Consolidação das emissões e comentários finais	92
4	Referências Bibliográficas	95

Lista de Tabelas

	Página
TABELA 1 – Produção nacional de cimento e clínquer	22
TABELA 2 – Emissões de CO ₂ derivadas da produção do clínquer	25
TABELA 3 – Dados sobre produção de cal	26
TABELA 4 – Produção de cal – total, virgem e hidratada	27
TABELA 5 – Classificação das cales, conforme teor de CaO presente	28
TABELA 6 – Produção de cal calcítica, magnesiana e dolomítica	29
TABELA 7 – Percentual médio de CaO e CaOMgO nas cales calcítica, magnesiana e dolomítica	29
TABELA 8 – Emissões de CO ₂ da produção de cal calcítica, magnesiana e dolomítica	30
TABELA 9 – Produção, importação e exportação de barrilha	31
TABELA 10 – Emissões de CO ₂ no consumo de barrilha	31
TABELA 11 – Produção de amônia e emissões correspondentes	34
TABELA 12 – Produção de ácido nítrico e emissões correspondentes	34
TABELA 13 – Produção de ácido adípico e emissões correspondentes	35
TABELA 14 – Fatores de emissão dos demais produtos químicos	36
TABELA 15 – Produção brasileira dos demais produtos químicos	37
TABELA 16 – Emissões totais devidas aos demais produtos químicos	37
TABELA 17 – Produção de aço bruto	38
TABELA 18 – Produção de aço bruto da América Latina	39
TABELA 19 – Produção brasileira de aço bruto	40
TABELA 20 – Produção de ferro-gusa em altos-fornos, por processo, em 1998	40
TABELA 21 – Produção de aço bruto em aciarias, por processo, em 1998	40
TABELA 22 – Consumo energético das usinas siderúrgicas	41

TABELA 23 – Principais combustíveis utilizados pelo setor metalúrgico	43
TABELA 24 – Poder calorífico inferior (PCI) dos combustíveis utilizados	44
TABELA 25 – Fatores de emissão de carbono	45
TABELA 26 – Determinação do carbono estocado	46
TABELA 27 – Fração de carbono oxidada	47
TABELA 28 – Produção de aço bruto e emissões totais de CO ₂ do setor siderúrgico brasileiro, de 1990 a 1998	48
TABELA 29 – Produção de aço bruto do setor siderúrgico por grau de integração, de 1990 a 1998	48
TABELA 30 – Emissões de CO ₂ do setor siderúrgico por grau de integração, de 1990 a 1998	49
TABELA 31 – Emissão específica de CO ₂ do setor siderúrgico por grau de integração, de 1990 a 1998	49
TABELA 32 – Usinas a carvão vegetal (incluída em integradas)	50
TABELA 33 – Fatores de emissão por tipo de ferroliga	51
TABELA 34 – Produção brasileira de ferroligas	52
TABELA 35 – Produção brasileira de ferroligas a carvão vegetal	52
TABELA 36 – Produção brasileira de ferroligas a carvão mineral e coque	53
TABELA 37 – Emissões CO ₂ referentes à produção de ferroligas	54
TABELA 38 – Produção brasileira de alumínio primário	57
TABELA 39 – Comparação entre produção, importação e exportação de alumínio	57
TABELA 40 – Emissões de CO ₂ pela geração de eletricidade para a produção de alumínio, por fonte de combustível	58
TABELA 41 – Fatores de emissão de CO ₂ na produção de alumínio primário	59
TABELA 42 – Emissões de CO ₂ na produção de alumínio primário	59
TABELA 43 – Fatores de emissão de PFCs para o Brasil, fornecidos pela ABAL	61
TABELA 44 – Resultados obtidos na estimação das emissões de PFCs no Brasil	62

TABELA 45 – Fatores de emissão de NO _x e CO na produção de alumínio primário	63
TABELA 46 – Emissões de NO _x e CO	63
TABELA 47 – Emissão de HFC-23 devido à produção de HCFC-22	64
TABELA 48 – Estimativa de consumo de fluidos refrigerantes HFCs	68
TABELA 49 – Consumo dos HFCs básicos	69
TABELA 50 – Potenciais de emissões de HFCs para os períodos 1990-1994 e 1995-1999	69
TABELA 51 – Níveis de integração industrial no setor de celulose e papel	71
TABELA 52 - Fatores de emissão de não-combustão para a produção de polpa e papel pelo processo <i>kraft</i>	73
TABELA 53 – Produção e venda de celulose no Brasil, de 1990 a 1996	75
TABELA 54 – Produção e venda de papel no Brasil, de 1990 a 1996	76
TABELA 55 – Produção brasileira de pastas de celulose por tipo de processo produtivo	77
TABELA 56 – Emissões de gases de efeito estufa relativas à produção de celulose no Brasil	77
TABELA 57 – Fatores de emissão para a produção de bebidas alcoólicas	78
TABELA 58 – Produção brasileira de bebidas	78
TABELA 59 – Emissões de NMVOC da indústria de bebidas	78
TABELA 60 – Fatores de emissão para a produção de bebidas alcoólicas	79
TABELA 61 – Produção brasileira de alimentos	79
TABELA 62 – Emissões NMVOC da produção de pães e outros alimentos	80
TABELA 63 – Produção brasileira de automóveis – 1990/1996	82
TABELA 64 – Fatores de emissão correlacionados com a área pintada	83
TABELA 65 – Emissões de NMVOC - produção de automóveis	83
TABELA 66 – Emissões de NMVOC - construção e edifícios	84
TABELA 67 – Emissões de NMVOC - uso doméstico	84
TABELA 68 – Relação entre as emissões de NMVOC de “Outras Aplicações Industriais” com as da “Indústria Automobilística”, em 28 países	85

TABELA 69 – Emissões de NMVOC – outras aplicações industriais	85
TABELA 70 – Emissões de NMVOC - aplicação em tintas	86
TABELA 71 – Emissões de NMVOC – desengraxe de metais	87
TABELA 72 – Consumo brasileiro de percloroetileno em lavanderias	88
TABELA 73 – Emissões de NMVOC – limpeza a seco	88
TABELA 74 – Evolução da produção de EPS e emissões de NMVOC correspondentes	89
TABELA 75 – Evolução das emissões de NMVOC – indústria de impressão	90
TABELA 76 – Evolução das emissões de VOC – extração de óleos vegetais comestíveis	91
TABELA 77 – Evolução das emissões VOC – uso doméstico	92
TABELA 78 – Evolução das emissões de NMVOC e VOC – uso de solventes	92

Prefácio

A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima entrou em vigor no Brasil em 1994, após ratificação pelo Congresso Nacional. Nos termos da Convenção, os países assumem, entre outros, o compromisso de desenvolver e atualizar, periodicamente, inventários nacionais das emissões antrópicas por fontes e remoções por sumidouros dos gases de efeito estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal, além de fornecer uma descrição geral das providências para implementar a Convenção. A série de relatórios setoriais, aqui apresentada, abrange os trabalhos que serviram de base para a elaboração do primeiro inventário brasileiro de gases de efeito estufa, referente ao período 1990-1994.

Para que o Brasil atendesse seus compromissos internacionais nesse campo, foi estabelecido, sob a coordenação do Ministério da Ciência e Tecnologia, um quadro institucional, na forma de um Programa, que também envolveu, para a elaboração dos relatórios setoriais, especialistas externos e instituições com reconhecida capacidade em cada área específica. Aos coordenadores setoriais coube a tarefa de envolver instituições e especialistas nas áreas definidas, para coleta e organização de dados, informações e bibliografia. As atividades foram desenvolvidas de maneira descentralizada, dada sua natureza multidisciplinar, envolvendo cerca de uma centena de instituições e quinhentos especialistas dos setores energético, industrial, florestal, agropecuário e de tratamento de resíduos. Os trabalhos, em muitos casos, envolveram a estimativa de indicadores e coleta de informações que não estão disponíveis na literatura científica nacional e, em alguns casos, informações privadas de empresas nacionais.

A metodologia adotada pela Convenção foi desenvolvida pelo Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima - IPCC, em conjunto com a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômicos - OCDE e a Agência Internacional de Energia - IEA, com o objetivo de permitir o cálculo e a apresentação das emissões antrópicas líquidas nacionais de gases de efeito estufa e encorajar sua disseminação entre os países participantes do IPCC e Partes da Convenção.

Algumas características importantes merecem ser ressaltadas. Em primeiro lugar, as emissões representam estimativas feitas em *bona fide*, ou seja, visam minimizar as incertezas e não criar viés infundado. Buscou-se a melhor estimativa possível, levando em consideração o atual estágio do conhecimento científico e a disponibilidade de recursos humanos e financeiros. Nem sempre as estatísticas existentes no País permitem a adequada avaliação das emissões e, de modo geral, em determinados setores onde não existe informação, métodos específicos foram desenvolvidos para avaliação do nível de atividade.

Adicionalmente, a coordenação do MCT, mediante a revisão detalhada dos resultados, orientou-se na busca do controle da qualidade, da confiabilidade e da transparência das informações contidas nos relatórios setoriais, disponíveis a qualquer interessado no endereço eletrônico www.mct.gov.br/clima. São encorajados comentários e sugestões que possam aprimorar o conteúdo dos relatórios, que resultarão no documento final a ser apresentado à Convenção.

Cumpramos ressaltar que esta série de relatórios representa um pequeno passo na compreensão dos diferentes processos de emissões de gases de efeito estufa por atividades antrópicas no País, mas representa um grande avanço para o Brasil. O enfoque baseado na idéia de um processo de melhorias contínuas e graduais permitiu o êxito, alcançado em apenas cinco anos, no esforço de coordenação das atividades nos diferentes setores nacionais, a participação abrangente de instituições e especialistas e a capacitação e conscientização da sociedade nas questões da mudança do clima.

Esse esforço permitiu e continuará a garantir o papel de relevo do Brasil nas negociações internacionais sobre mudança do clima, ao qual se soma, do ponto de vista interno, a recente ratificação do Protocolo de Quioto pelo Brasil. Mais do que isso, boa parte desse esforço terá sido empreendida não apenas em cumprimento a disposições de uma convenção internacional, mas em proveito do País e da sociedade brasileira.

Embaixador Ronaldo Mota Sardenberg
Ministro de Estado da Ciência e Tecnologia
Brasília, junho de 2002

Introdução

A questão do aquecimento global, difícil de ser compreendida por sua complexidade científica e a existência de poucos especialistas neste tema no Brasil, geralmente envolvidos com projetos considerados mais prioritários, tornam a elaboração do inventário brasileiro de emissões de gases de efeito estufa um esforço complexo e pioneiro.

Há, além dessas dificuldades, a falta de material disponível em português sobre o assunto, a falta de conhecimento sobre as obrigações brasileiras no âmbito da Convenção, a falta de recursos para estudos mais abrangentes e dúvidas sobre os benefícios que adviriam para as instituições envolvidas nesse processo.

Outra dificuldade encontrada é o fato de a mudança do clima não ser um tema prioritário nos países em desenvolvimento, cujas prioridades referem-se ao atendimento de necessidades urgentes, nas áreas social e econômica, tais como a erradicação da pobreza, a melhoria das condições de saúde, o combate à fome, a garantia de condições dignas de moradia, entre outras. Neste sentido, os países em desenvolvimento, como o Brasil, confrontam-se com padrões do século 21, antes mesmo de haverem superado os problemas do século 19. O Brasil, entretanto, é um país em desenvolvimento que possui uma economia muito complexa e dinâmica. É o quinto país mais populoso e de maior extensão do mundo, oitava economia mundial, grande produtor agrícola e um dos maiores produtores mundiais de vários produtos manufaturados, incluindo cimento, alumínio, produtos químicos, insumos petroquímicos e petróleo.

Em comparação com os países desenvolvidos, o Brasil não é um grande emissor no setor energético. Isso se deve ao fato de ser o Brasil um país tropical, com invernos moderados e por mais de 60% de sua matriz energética ser suprida por fontes renováveis. Mais de 95% da eletricidade brasileira é gerada por usinas hidrelétricas e há uma ampla utilização de biomassa (utilização de álcool nos veículos, uso do bagaço da cana-de-açúcar para a geração de vapor, uso de carvão vegetal na indústria siderúrgica, etc.). Além disso, programas de conservação de energia têm buscado, desde meados da década de 80, melhorar ainda mais a produção de energia e os padrões de consumo no Brasil.

Para que o Brasil cumprisse as obrigações assumidas no âmbito da Convenção, foi estabelecido um quadro institucional na forma de um Programa, sob a coordenação do Ministério da Ciência e Tecnologia, com recursos financeiros aportados pelo PNUD/GEF e apoio adicional do governo norte-americano. Buscou-se, durante a elaboração do inventário, por sua abrangência e especificidade, envolver diversos setores geradores de informação e a participação de especialistas de diversos ministérios, instituições federais, estaduais, associações de classe da indústria, empresas públicas e privadas, organizações não-governamentais, universidades e centros de pesquisas.

Por sua própria origem, a metodologia do IPCC adotada pela Convenção tem, como referência, pesquisas realizadas e metodologias elaboradas por especialistas de países desenvolvidos, onde as emissões provenientes da queima de combustíveis fósseis representam a maior parte das emissões. Em consequência, setores importantes para os países em desenvolvimento, como a agricultura e a mudança no uso da terra e florestas, não são tratados com a profundidade necessária. Portanto, os fatores de emissão *default* ou até mesmo a própria metodologia devem ser analisados com a devida cautela, uma vez que não refletem, necessariamente, as realidades nacionais. Em muitos casos, não há pesquisa no Brasil que permita avaliar os valores apresentados ou a própria metodologia proposta. Onde existem pesquisas foram encontrados, em

alguns casos, valores significativamente discrepantes. A avaliação de emissões decorrentes do uso intensivo de biomassa no Brasil também não encontra apoio na metodologia, muito embora tais emissões, dado o caráter renovável da biomassa, não sejam contabilizadas nos totais nacionais.

A aplicação da metodologia do IPCC pelos países em desenvolvimento impõe a esses países um ajuste a um sistema para cuja elaboração pouco contribuíram. De qualquer modo, durante sua aplicação, não abdicamos do dever de exercer alguma influência, ainda que modesta, por exemplo, em relação à mudança de uso da terra e florestas. Deve-se levar em conta que o Brasil é um dos países que têm melhores e mais abrangentes sistemas de monitoramento permanente deste setor. Estudos pioneiros foram realizados em relação às emissões de gases de efeito estufa pela conversão de florestas em terras para uso agrícola, pelos reservatórios de hidrelétricas e por queimadas prescritas do cerrado. Cuidado deve ser tomado, também, ao se comparar os resultados totais de emissões por tipo de gás de efeito estufa. Diferenças metodológicas com outros inventários internacionais de emissões de gases de efeito estufa, em especial com alguns países desenvolvidos que não relatam adequadamente suas emissões, como, por exemplo, no caso de mudanças no uso da terra e florestas, impedem a simples comparação dos resultados.

No Brasil, a busca e coleta de informação não são adequadas por causa do custo de obtenção e armazenamento de dados e há pouca preocupação institucional com a organização ou fornecimento de informação, principalmente em nível local. Há, ainda, carência de legislação que obrigue as empresas a fornecer informações, em especial no que diz respeito às emissões de gases de efeito estufa. Por outro lado, muitas vezes, medições não se justificam para o inventário de emissões de gases de efeito estufa por si só, devido ao custo relativamente alto da medição, quando comparado a qualquer melhoria da precisão da estimativa.

Deve-se ter em conta que a elaboração de um inventário nacional é um empreendimento intensivo em recursos. Há que se estabelecer prioridades para realizar estudos e pesquisas de emissões nos setores e gases de efeito estufa principais, uma vez que a metodologia das estimativas e a qualidade dos dados podem melhorar com o tempo. Em virtude deste fato, os relatórios setoriais baseiam-se, normalmente, em trabalhos previamente feitos por diversas instituições nacionais.

Finalmente, é preciso lembrar que ao mesmo tempo que a avaliação das emissões anuais por cada um dos países é importante para o dimensionamento das emissões globais e para a compreensão da evolução futura do problema das mudanças climáticas, as emissões anuais de gases de efeito estufa não representam a responsabilidade de um país em causar o aquecimento global, visto que o aumento da temperatura é função da acumulação das emissões históricas dos países, que elevam as concentrações dos diversos gases de efeito estufa na atmosfera. Para cada diferente nível de concentração de cada gás de efeito estufa, há uma acumulação de energia na superfície da Terra ao longo dos anos. Como é mencionado na proposta brasileira apresentada durante as negociações do Protocolo de Quioto (documento FCCC/AGBM/1997/MISC.1/Add.3), a responsabilidade de um país só pode ser corretamente avaliada se forem consideradas todas as suas emissões históricas, o conseqüente acúmulo de gases na atmosfera e o aumento da temperatura média da superfície terrestre daí resultante. Portanto, os países desenvolvidos, que iniciaram suas emissões de gases de efeito estufa a partir da Revolução Industrial, têm maior responsabilidade por causar o efeito estufa atualmente e continuarão a ser os principais responsáveis pelo aquecimento global por mais um século.

Sumário Executivo

Este relatório apresenta as estimativas das emissões de gases de efeito estufa provenientes dos processos produtivos do setor industrial brasileiro e por utilização de solventes, para o período de 1990 a 1994, com base nas Diretrizes Revisadas de 1996 do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima – IPCC. São estimadas as emissões de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), e outros compostos orgânicos voláteis não metânicos (NMVOC).

Processos Industriais

O relatório cobre apenas as emissões de gases de efeito estufa resultantes dos processos produtivos da indústria. Não são cobertas as emissões provenientes do uso de combustíveis para produção de energia, que são incluídas nos relatórios referentes à queima de combustíveis. Foram estimadas as emissões na indústria de produtos minerais, na indústria química, na indústria metalúrgica, na produção e consumo de HFCs, na indústria de alimentos e bebidas e na indústria de papel e celulose.

Produtos Minerais

Neste setor foram estimadas as emissões nas indústrias de produção de cimento, cal e barrilha (carbonato neutro de sódio).

Em 1994, o Brasil ocupava a 11ª posição na produção de cimento no mundo, com 1,9% da produção mundial. O cimento é produzido em diversas unidades da federação, sendo o estado de Minas Gerais o maior produtor, nesse ano, com 24% do total produzido. O estado de São Paulo ocupava o segundo lugar, com 20% da produção, seguido pelo Paraná com 9% e Rio de Janeiro com 8%.

O cimento Portland é basicamente uma mistura de clínquer com gesso, sendo o clínquer obtido a partir da calcinação de calcário. Nesse processo de calcinação ocorre a emissão de CO_2 . Essas emissões foram estimadas com base nos dados de produção anual de clínquer, fornecidos pelo Sindicato Nacional das Indústrias de Cimento – SNIC, e são apresentadas na Tabela I.

Tabela I – Emissões de CO₂ da produção de cimento

1990	1991	1992	1993	1994
10.224	10.881	9.000	9.334	9.337

Unidade: Gg

No processo produtivo da cal, ocorre também a calcinação de calcário, gerando, como na produção de cimento, emissões de CO₂. Essas emissões foram estimadas a partir dos valores anuais de produção de cal fornecidos pela Associação Brasileira de Produtores de Cal – ABPC, que reúne a maioria das grandes e médias indústrias do setor, complementadas por informações do Sumário Mineral do Ministério das Minas e Energia (DNPM, 1995 e 1997). As estimativas das emissões são apresentadas na Tabela II.

Tabela II – Emissões de CO₂ da produção de cal

1990	1991	1992	1993	1994
3.743	3.807	4.009	4.312	4.152

Unidade: Gg

Na produção de barrilha (carbonato neutro de sódio), ocorre emissão de CO₂ apenas quando é utilizado o processo de produção denominado natural. No Brasil só é utilizado o processo sintético (Solvay), inexistindo portanto emissões de CO₂ nesta fase. Porém, quando a barrilha é utilizada, há liberação de CO₂. Essas emissões foram estimadas a partir dos dados de produção, importação e exportação de barrilha fornecidos pela Associação Brasileira da Indústria Química – ABIQUIM, e são apresentadas na Tabela III.

Tabela III – Emissões de CO₂ do consumo de barrilha

1990	1991	1992	1993	1994
182	191	166	187	187

Unidade: Gg

Indústria Química

Na indústria química, há emissões de vários gases de efeito estufa durante o processo produtivo de vários produtos. Por sua importância, são relatadas separadamente as emissões

devidas à produção de amônia, de ácido nítrico e de ácido adípico. As demais ocorrências de emissão devem-se à indústria petroquímica. As informações necessárias para as estimativas de emissão foram fornecidas pela ABIQUIM.

Durante o processo de produção de amônia ocorre a emissão de CO₂. Na produção de ácido nítrico ocorre emissão de N₂O e NO_x e na produção de ácido adípico ocorre emissão de N₂O, NO_x e CO. As estimativas de emissões são apresentadas na Tabela IV.

Tabela IV – Emissões da produção de amônia, ácido nítrico e ácido adípico

Produto químico	Gás	1990	1991	1992	1993	1994
Amônia	CO ₂	1.297	1.139	1.168	1.298	1.301
Ácido nítrico	N ₂ O	0,387	0,405	0,399	0,417	0,554
	NO _x	0,677	0,708	0,698	0,729	0,970
Ácido adípico	N ₂ O	7,988	10,419	9,635	12,816	12,956
	CO	0,511	0,667	0,617	0,820	0,829
	NO _x	0,160	0,208	0,193	0,256	0,259

Unidade: Gg

Na indústria petroquímica foi identificada a ocorrência de emissões de gases de efeito estufa durante a produção de 19 produtos. A Tabela V sumariza os valores estimados para as emissões de CH₄, N₂O, NO_x, e NMVOC.

Tabela V – Emissões da produção dos demais produtos químicos (Gg)

Gás	1990	1991	1992	1993	1994
CH ₄	2,725	2,569	2,520	2,603	2,942
N ₂ O	0,015	0,017	0,015	0,018	0,018
NO _x	0,025	0,026	0,026	0,028	0,029
NMVOC	26,514	24,832	24,674	27,798	30,563

Unidade: Gg

Indústria Metalúrgica

Neste relatório são cobertas a indústria siderúrgica, a indústria de ferroligas e a indústria de alumínio.

Nas indústrias siderúrgica e de ferroligas, ocorre emissão de CO₂ no processo de redução

do minério de ferro. Os agentes redutores (coque de carvão mineral e carvão vegetal) são também utilizados para as necessidades de combustão da indústria. Pela não disponibilidade da informação de consumo desses agentes por uso específico, as emissões de CO₂ devidas ao processo de redução foram incluídas nos relatórios referentes às emissões de queima de combustíveis. Assim as emissões das indústrias siderúrgica e de ferroligas são incluídas nesse relatório apenas a título informativo.

O Brasil ocupava, em 1994, a sexta posição entre os maiores produtores mundiais de alumínio primário, com 6% do total. A eletrólise do óxido de alumínio produz alumínio fundido, gerando emissões de CO₂ pela reação do oxigênio com o carbono do anodo. Durante esse processo, há também a ocorrência eventual e indesejável do chamado “efeito anódico”, que tem como uma de suas conseqüências a emissão de tetrafluormetano (CF₄) e hexafluoretano (C₂F₆), gases de efeito estufa com alta capacidade de absorção infravermelha e elevado tempo de permanência na atmosfera. Ocorrem ainda, no processo produtivo, emissões de NO_x e CO.

As emissões da indústria do alumínio foram estimadas pela Associação Brasileira de Alumínio – ABAL e são apresentadas na Tabela VI.

Tabela VI – Emissões da produção de alumínio

Gás	1990	1991	1992	1993	1994
CO ₂	1.510	1.832	1.913	1.874	1.892
CF ₄	0,290	0,341	0,353	0,342	0,345
C ₂ F ₆	0,029	0,034	0,035	0,034	0,034
NO _x	0,815	0,876	0,88	0,829	0,827
CO	346	447	475	473	480

Unidade: Gg

Produção e Consumo de HFCs

Emissões de HFCs ocorrem por fugas durante o processo de produção, por fugas durante a utilização de equipamentos contendo esses gases, bem como durante a manutenção e descomissionamento desses equipamentos. Emissões de HFCs ocorrem também como efeito secundário do processo produtivo de HCFCs.

No Brasil não existe produção de HFCs, ocorrendo emissões de HFC-23 como subproduto da produção de HCFC-22. Os HFCs estão começando a ser utilizados em substituição

aos CFCs, banidos pelo Protocolo de Montreal, mas a importação desses gases é registrada apenas a partir de 1994. A Tabela VII apresenta as estimativas de emissões desses gases.

Tabela VII – Emissões na produção e no consumo de HFCs

Gás	1990	1991	1992	1993	1994
HFC-23	0,120	0,138	0,164	0,172	0,157
HFC-134a					0,125

Unidade: Gg

Outras Indústrias

Na indústria de papel e celulose, emissões de gases de efeito estufa (CO, NO_x, e NMVOC) ocorrem durante a preparação da celulose, quando são usados processos químicos para dissolver a lignina da madeira. O principal desses processos, no Brasil, é o *kraft*, mais adequado para o processamento do eucalipto.

A Associação Brasileira de Celulose e Papel – BRACELPA reuniu os dados de produção e calculou as emissões do setor, de acordo com os fatores de emissão para os processos produtivos considerados pelo IPCC (1997). Os valores estimados são apresentados na Tabela VIII.

Tabela VIII – Emissões da indústria de papel e celulose

Gás	1990	1991	1992	1993	1994
NO _x	5	6	7	7	8
NMVOC	13	15	17	17	19
CO	20	23	25	26	29

Unidade: Gg

No setor de alimentos e bebidas as emissões devidas aos processos produtivos são de compostos orgânicos voláteis não metânicos (NMVOC). Essas emissões foram estimadas com base nos fatores de emissão sugeridos pelo IPCC (1997). Os dados de produção foram fornecidos pela Associação Brasileira de Bebidas – ABRABE, pela Associação Brasileira das Indústrias da Alimentação – ABIA e pela **União Brasileira de Vitivinicultura** – UBIBRA. A Tabela IX apresenta os valores estimados para as emissões.

Tabela IX – Emissões de NMVOC da indústria de alimentação e bebidas

Indústria	1990	1991	1992	1993	1994
Alimentação	137	140	150	146	151
Bebidas	171	164	157	164	158

Unidade: Gg

Solventes e Outros Produtos

Neste relatório são também estimadas as emissões de compostos orgânicos voláteis não metânicos (NMVOC) pela utilização de solventes. As estimativas foram calculadas por tipo de utilização, incluindo a aplicação de tintas, o desengraxe de metais, a limpeza a seco, o processamento de espumas, a indústria de impressão, a extração de óleos vegetais e o uso doméstico. Foram utilizadas as diretrizes recomendadas pelo IPCC (1997) e pelo CORINAIR (1996). A Tabela X apresenta os valores obtidos.

Tabela X – Emissões de NMVOC pelos uso de solventes

Subsetor	1990	1991	1992	1993	1994
Aplicação de tintas	253	272	296	356	396
Desengraxe de metais	13	15	14	12	16
Limpeza a seco	1	1	1	1	1
Espumas	1	1	1	1	1
Indústria da impressão	40	42	44	47	48
Óleos vegetais*	14	12	13	15	17
Uso doméstico*	15	16	17	18	18
Total	336	358	386	447	496

Unidade: Gg

* Podem eventualmente incluir metano.

1 Introdução

O presente relatório apresenta as estimativas das emissões antrópicas de gases de efeito estufa devidas aos processos produtivos da indústria. Essas emissões ocorrem adicionalmente às emissões por queima de combustíveis já reportadas nos relatórios relativos ao setor de energia.

As informações aqui apresentadas são fruto de vários trabalhos setoriais realizados por entidades e consultores, tendo sido reestruturadas pela Coordenação-Geral de Mudanças Globais do MCT.

O relatório não é exaustivo, existindo alguns setores ainda não totalmente estudados, como a utilização de calcário em alguns processos, e a produção de carburetos na indústria química. Cobre, no entanto a quase totalidade das emissões da indústria.

São também apresentadas as emissões de gases de efeito estufa devidas à utilização de solventes.

2 Processos Industriais

2.1 Produtos minerais

Fontes e Autores:

Sindicato Nacional das Indústrias de Cimento – SNIC

Associação Brasileira de Produtores de Cal – ABPC

Associação Brasileira da Indústria Química - ABIQUIM

2.1.1 Produção de cimento

2.1.1.1 Considerações iniciais

Em 1994, o Brasil ocupava a 11^a posição na produção de cimento no mundo, com 1,9% da produção mundial, de acordo com o Sumário Mineral (DNPM, 1995). As matérias-primas para fabricação do cimento, principalmente o calcário, são abundantes nos países produtores.

No Brasil o cimento é produzido em diversas unidades da federação. Em 1994, Minas Gerais foi o maior produtor, com 24,3% do total produzido. São Paulo esteve em segundo

lugar, com 19,7%, seguido pelo Paraná com 9,0% e Rio de Janeiro com 8,2%.

2.1.1.2 Dados de produção

Os dados sobre a produção de cimento e clínquer foram fornecidos pelo Sindicato Nacional das Indústrias de Cimento – SNIC.

Tabela 1 – Produção nacional de cimento e clínquer

Ano	Produção de Cimento	Produção de Clínquer	Clínquer/Cimento
1990	25.848.359	20.161.401	78,0%
1991	27.490.090	21.458.207	78,1%
1992	23.902.730	17.747.749	74,2%
1993	24.842.915	18.407.115	74,1%
1994	25.229.609	18.412.262	73,0%

Unidade: t

2.1.1.3 Cimento e clínquer

Existem vários tipos de cimento. O cimento Portland é basicamente uma mistura de clínquer e gesso.

O clínquer, por sua vez, é uma mistura de óxidos de silício, alumínio, ferro e cálcio. O óxido de cálcio, mais conhecido como cal, é produzido a partir da calcinação do calcário (processo em que o calcário é submetido a altas temperaturas, em fornos), gerando emissões de CO₂, como mostra a equação abaixo:



Tendo em vista que as emissões de CO₂ ocorrem durante a produção de clínquer e não na produção do cimento propriamente dito, as estimativas das emissões devem basear-se, preferivelmente, na produção de clínquer e no seu conteúdo de óxido de cálcio, como define o IPCC.

2.1.1.4 Cálculo das emissões de CO₂

O fator de emissão do clínquer ($FE_{\text{clínquer}}$) é o produto de dois termos:

1 - da fração de óxido de cálcio (CaO) contida no clínquer e

2 - da constante que relaciona a massa de CO₂ emitida por unidade de óxido de cálcio produzido.

$$(FE_{\text{clínquer}}) = \text{fração de CaO} \times (44,01 \text{ g/mol de CO}_2 / 56,08 \text{ g/mol CaO}) \quad \text{Eq. 2}$$

$$(FE_{\text{clínquer}}) = \text{fração de CaO} \times 0,785$$

? FE do IPCC

A fração de CaO no clínquer, recomendada pelo IPCC, é 0,646. Assim, utilizando-se a Equação 2, chega-se ao fator de emissão para o clínquer de 0,5071 t CO₂/tonelada de clínquer produzido:

$$(FE_{\text{clínquer}}) = \text{fração de CaO} \times 0,785$$

$$(FE_{\text{clínquer}}) = 0,646 \times 0,785 \quad \text{Eq. 3}$$

$$(FE_{\text{clínquer}}) = 0,5071$$

? FE calculado

A fração de óxido de cálcio contido no clínquer, que é um dos dois termos do fator de emissão, foi também calculada no âmbito deste relatório. Os cálculos foram feitos baseados nas normas técnicas estabelecidas para esse produto. Verificou-se, desta forma, a adequação do fator de emissão proposto pelo IPCC às características do clínquer nacional. As especificações que o clínquer nacional deve obedecer são:

- a) a relação entre as massas do óxido de alumínio e do óxido de ferro deve variar entre 1,2 e 3,2;
- b) a relação entre as massas do óxido de silício e o somatório das massas dos óxidos de ferro e alumínio deve variar entre 1,7 e 3,1; e
- c) a relação entre as massas do óxido de cálcio e o somatório das massas dos óxidos de ferro, alumínio e silício deve variar ente 1,8 e 2,2.

O sistema de inequações a ser resolvido é:

$$1,2 ? \frac{yAl_2O_3}{xFe_2O_3} ? 3,2$$

$$1,7 ? \frac{zSiO_2}{yAl_2O_3 ? xFe_2O_3} ? 3,1$$

$$1,8 ? \frac{tCaO}{zSiO_2 ? yAl_2O_3 ? xFe_2O_3} ? 2,2$$

O sistema é, portanto, indeterminado. Fazendo x igual a 1 e considerando-se, de forma simplificada, os valores intermediários ao invés de cada um dos intervalos de variação acima, resolve-se o sistema. Além disso, sabendo-se que 5% do clínquer é composto de outros materiais, encontra-se 0,633 para a fração de CaO no clínquer, o que é muito próximo de 0,646, conforme sugerido pelo IPCC. Deve-se lembrar, no entretanto, que os resultados possíveis, dentro da faixa estabelecida pelas normas técnicas, podem variar entre 0,611 e 0,653.

A partir da fração de CaO no clínquer, pode-se calcular o seu fator de emissão:

$$(FE_{\text{clínquer}}) = \text{fração de CaO} \times 0,785$$

$$(FE_{\text{clínquer}}) = 0,633 \times 0,785 \quad \text{Eq. 4}$$

$$(FE_{\text{clínquer}}) = 0,4969$$

? Cálculo das emissões

As emissões são calculadas multiplicando-se a quantidade de clínquer produzida pelo seu fator de emissão. Foi utilizado o fator de emissão do IPCC, já que o resultado do cálculo realizado a partir da fração de CaO do clínquer médio brasileiro é praticamente o mesmo do IPCC e as incertezas no seu cálculo são maiores do que a diferença entre o calculado neste trabalho e o proposto pelo IPCC.

Tabela 2 – Emissões de CO₂ derivadas da produção do clínquer

Ano	Produção de Clínquer (t)	Emissões (Gg CO ₂)
1990	20.161.401	10.224
1991	21.458.207	10.881
1992	17.747.749	9.000
1993	18.407.115	9.334
1994	18.412.262	9.337

Unidade: Gg

2.1.2 Produção de cal

2.1.2.1 Considerações iniciais

Em 1994, o Brasil era o sétimo maior produtor mundial de cal, antecedido pela ex-URSS, China, Estados Unidos, Japão, Alemanha e México, nessa ordem. Neste ano, a produção de cal no Brasil estava localizada, principalmente, nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Sergipe, Rio Grande do Sul e Bahia.

Embora os níveis de produção de rochas calcárias sejam altos e seu uso intensivo, não se prevê escassez de calcário e dolomito no país. Importa observar que uma parcela considerável da produção de cal virgem está fortemente atrelada à indústria de aço: aproximadamente 80% da produção brasileira de cal virgem refere-se à produção cativa de responsabilidade de usinas siderúrgicas, equivalendo a 30% da produção nacional.

2.1.2.2 Tipos de cal

Há dois tipos de cal: a cal virgem, também chamada cal viva ou ordinária e a cal hidratada, resultado da combinação química entre os óxidos de cal virgem e água.

O termo cal é utilizado, na literatura brasileira e nas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas, para designar o produto composto predominantemente por óxido de cálcio (CaO) ou por óxido de cálcio e óxido de magnésio (CaOMgO), resultantes da calcinação de calcários, calcários magnesianos e dolomitos. As cales são classificadas conforme o óxido predominante, em:

- Cal calcítica ou cálcica - com óxido de cálcio (CaO) entre 100 e 90% do peso total;
- Cal magnésiana - com teores intermediários de óxido de cálcio, entre 90 e 65% do peso total;
- Cal dolomítica - com óxido de cálcio entre 65 e 58% do peso total.

Sendo assim, ao referir-se a um tipo de cal, refere-se na realidade a uma gama de cales, com composições de CaO e CaOMgO variáveis.

2.1.2.3 Dados de produção de cal

A tabela abaixo mostra os dados obtidos sobre a produção nacional de cal.

Tabela 3 – Dados sobre produção de cal

Ano	Sumário Mineral Produção Total PT-SM (t)	ABPC (65% do mercado)			
		Cal Virgem (t)	Cal Hidratada (t)	Total de cal (t)	% da PT-SM
1990	4.900.000	2.383.194	978.765	3.361.959	69%
1991	5.000.000	2.366.658	1.067.414	3.434.072	69%
1992	5.240.000	2.587.157	1.012.741	3.599.898	69%
1993	5.634.000	2.702.451	1.051.399	3.753.850	67%
1994	5.425.267	2.875.532	1.122.159	3.997.691	74%

SM - Sumário Mineral (DNPM, 1995 e 1997);

ABPC - Associação Brasileira de Produtores de Cal;

Os dados sobre a produção total de cal foram obtidos no Sumário Mineral do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 1995 e 1997). Foram obtidos dados sobre a produção de cal virgem e hidratada da Associação Brasileira de Produtores de Cal – ABPC, que reporta ser responsável por aproximadamente 65% da produção nacional. Tal participação, se calculada a partir dos dados da ABPC sobre o total da produção apresentada no Sumário Mineral, é mais significativa do que a própria associação reivindica (ver coluna % da PT-SM). É provável que o total da produção que consta do Sumário Mineral esteja subestimado. Tendo em vista a impossibilidade de se estimar com maior precisão o complemento da produção de cal reportada pela ABPC, optou-se por utilizar os dados sobre produção total de cal do Sumário Mineral.

Também seria desejável identificar-se a parcela correspondente à cal hidratada para se subtrair da mesma a fração de peso relativa à água. Foi adotada inicialmente a hipótese de que a distribuição entre cal virgem e cal hidratada da produção da ABPC seria aplicável a toda cal produzida no país. Cada tonelada de cal virgem dá origem a 1,27 toneladas de cal hidratada¹, o que equivale a dizer que 21,3% do peso da cal hidratada é constituído de água. Então, este percentual deve ser subtraído do total da produção de cal hidratada para se ter o equivalente em cal virgem. A Tabela 4 abaixo mostra os dados utilizados nos cálculos.

Tabela 4 – Produção de cal – total, virgem e hidratada

Ano	Produção Total	Cal Virgem	Cal Hidratada	Cal Hidratada s/ água	Produção s/ água
	(A) = (B) + (C)	(B)	(C)	(D)	(E) = (B) + (D)
1990	4.900.000	3.473.466	1.426.534	1.123.255	4.596.721
1991	5.000.000	3.445.848	1.554.152	1.223.742	4.669.590
1992	5.240.000	3.765.857	1.474.143	1.160.742	4.926.600
1993	5.634.000	4.055.998	1.578.002	1.242.521	5.298.519
1994	5.425.267	3.902.385	1.522.882	1.199.120	5.101.505

Unidade: t

Na coluna (A) encontram-se os dados de produção de cal do Sumário Mineral (DNPM, 1995 e 1997). Nas colunas (B) e (C) encontram-se as partes deste total correspondentes à cal virgem e a cal hidratada, conforme a distribuição da ABCP. Na coluna (D) encontram-se os pesos referentes à cal hidratada da qual foi retirada a água e na coluna (E), o total da produção de cal, sem água, que será utilizado para os cálculos das emissões.

2.1.2.4 Fatores de emissão de CO₂

De acordo com a metodologia do IPCC, os fatores de emissão diferem para os dois tipos de cal considerados, de acordo com as equações a seguir:

a) cal calcítica: CaCO_3 (calcário) + aquecimento ? CaO (cal calcítica) + CO_2

A partir dessa equação, o fator de emissão para a cal calcítica ($\text{FE}_{c. \text{ calcítica}}$) é calculado:

¹ A média nacional segundo o Panorama Setorial da Gazeta Mercantil (pg.136).

$$FE_{c. \text{ calcítica}} = 44,01\text{g/mol de CO}_2/56,08\text{g/mol CaO} \quad \text{Eq. 5}$$

$$FE_{c. \text{ calcítica}} = 0,785 \text{ t. CO}_2/\text{t. de cal calcítica}$$

b) cal dolomítica: $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ (dolomito) + aquecimento ? CaOMgO (cal dolomítica) + 2CO_2

A partir dessa equação, o fator de emissão para a cal dolomítica ($FE_{c. \text{ dolomítica}}$) é calculado:

$$FE_{c. \text{ dolomítica}} = 2 \times 44,01\text{g/mol de CO}_2/96,39\text{g/mol CaOMgO} \quad \text{Eq. 6}$$

$$FE_{c. \text{ dolomítica}} = 0,913 \text{ t. CO}_2/\text{t. de cal dolomítica}$$

Para as cales intermediárias, os fatores de emissão poderão ser calculados usando a ponderação desses dois fatores segundo a proporção de cal calcítica e dolomítica presentes na cal.

2.1.2.5 Cálculo das emissões

Efetua-se o cálculo das emissões multiplicando-se a quantidade de cal produzida, subtraída da água referente à eventual hidratação, pelo fator de emissão da cal, segundo o tipo de cal. Tendo visto que os fatores de emissão variam segundo o tipo de cal, faz-se necessário a quantificação das cales segundo a sua composição, ou seja, o seu conteúdo de CaO e de CaOMgO.

De acordo com informações da ABPC, a cal virgem é basicamente calcítica. A cal hidratada é dividida em calcítica - 20% - e dolomítica - 80%. A cal dolomítica pode ser ainda subdividida entre dolomítica, propriamente dita, - 30% - e magnesiana - 50%. Os diferentes tipos de cales apresentam diferentes quantidades de óxido de cálcio na sua composição conforme a Tabela 5, a seguir.

Tabela 5 – Classificação das cales, conforme teor de CaO presente

Limites	Teor de CaO total por tipo de cal		
	Calcítica	Magnesiana	Dolomítica
Valor máximo	100%	90%	65%
Valor mínimo	90%	65%	58,2%
Valor médio	95,0%	77,5%	61,6%

O fator de emissão para a cal calcítica, com 100% de CaO, corresponde à Equação 6; o fator de emissão para a cal dolomítica (com 100% de CaOMgO ou 58,2% de CaO), à Equação 7.

Hipóteses

- i) a cal virgem é toda considerada calcítica
- ii) cal hidratada é dividida em calcítica (20%), magnesiana (50%) e dolomítica (30%).
- iii) neste caso elaboraram-se hipóteses de composição média de CaO nas cales nacionais.

Partindo das hipóteses *i* e *ii* acima, a produção de cal no Brasil foi classificada de acordo com a Tabela 6.

Tabela 6 – Produção de cal calcítica, magnesiana e dolomítica

Ano	Produção total de Cal	Calcítica	Magnesiana	Dolomítica
1990	4.596.721	3.698.117	561.628	336.977
1991	4.669.590	3.690.596	611.871	367.123
1992	4.926.600	3.998.006	580.371	348.223
1993	5.298.519	4.304.502	621.261	372.756
1994	5.101.505	4.142.209	599.560	359.736

Unidade: t

Partindo da hipótese *iii* acima, os percentuais médios de CaO total da cal correspondem a distintas proporções de CaO e CaOMgO na composição do cal, como mostra a Tabela 7.

Tabela 7 – Percentual médio de CaO e CaOMgO nas cales calcítica, magnesiana e dolomítica

Teor Médio de	Tipo de cal		
	Calcítica	Magnesiana	Dolomítica
CaO	88,0%	46,2%	8,2%
CaOMgO	12,0%	53,8%	91,8%

Para o cálculo das emissões de CO₂, aplicou-se o fator de 0,785 para a fração de CaO (Equação 6) e o fator de 0,913 para a fração CaOMgO (Equação 7) de cada cal. O resultado encontra-se na Tabela 8, a seguir:

Tabela 8 – Emissões de CO₂ da produção de cal calcítica, magnesiânica e dolomítica

Ano	Calcítica	Magnesiânica	Dolomítica	Emissões totais
1990	2.960	480	304	3.743
1991	2.954	522	331	3.807
1992	3.200	496	314	4.009
1993	3.445	530	336	4.312
1994	3.315	512	325	4.152

Unidade: Gg de CO₂

2.1.3 Produção e uso de carbonato neutro de sódio (barrilha)

A barrilha (carbonato neutro de sódio, Na₂CO₃) é usado como material de consumo em um grande número de indústrias, incluindo a manufatura de vidro, sabões e detergentes, produção de papel e de polpa de celulose e tratamento de água. O dióxido de carbono é emitido a partir do uso da barrilha e pode ser emitido durante sua produção, dependendo do processo industrial usado para fabricá-la. Quatro diferentes processos podem ser usados comercialmente para produzir barrilha. Três deles são referidos como processos naturais e usam trona como material de consumo básico. O quarto, o processo Solvay, é classificado como processo sintético.

Os processos naturais são os únicos que, sabidamente, produzem emissões de CO₂ durante a fabricação de barrilha. Toda a produção brasileira é feita usando o processo sintético e portanto nenhuma emissão líquida é produzida.

Dióxido de carbono também é emitido quando a barrilha é consumida na indústria. Os dados sobre produção, importação e exportação de barrilha no Brasil foram obtidos da ABIQUIM (1993 e 1998) e são mostrados na Tabela 9.

Tabela 9 – Produção, importação e exportação de barrilha

Ano	Produção	Importação	Exportação	Consumo
1990	195.893	242.788	0	438.681
1991	207.607	253.610	0	461.217
1992	220.596	179.785	0	400.381
1993	231.390	218.954	10	450.334
1994	219.471	231.827	255	451.043

Unidade: t
ABIQUIM, 1997

? Metodologia

Quando a barrilha é consumida, há a emissão de CO₂. Assume-se que um mol de carbono seja liberado a cada mol de barrilha consumido.

Então:

$$EF = \frac{44,01}{105,99} \text{ kg CO}_2 / \text{ t Na}_2\text{CO}_3 = 415 \text{ kg CO}_2 / \text{ t Na}_2\text{CO}_3$$

Em 1994, com um consumo de barrilha de 451.043 t no Brasil, as emissões alcançaram 187 Gg de CO₂, conforme mostrado na Tabela 10.

Tabela 10 – Emissões de CO₂ no consumo de barrilha

Ano	Emissões	Varição Anual	Varição 90-94
	GgCO ₂	%	%
1990	182,1		
1991	191,4	5,1%	
1992	166,2	-13,2%	
1993	186,9	12,5%	
1994	187,2	0,2%	2,8%

2.2 Indústria química

Fontes e Autores:

Associação Brasileira da Indústria Química – ABIQUIM

Jacques Gruman

Rachmiel M. Litewski

2.2.1 Introdução

Os principais gases estufa, diretos e indiretos, abordados neste estudo, compreendem apenas aqueles gerados por força das atividades humanas (antropogênicos) e são: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) - os diretos - e monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis, genericamente referidos por NMVOC (*non methanic volatile organic compounds*).

Desde 1992, as empresas associadas à ABIQUIM vêm desenvolvendo, voluntariamente, o Programa de Atuação Responsável, uma iniciativa concebida para ser uma ferramenta na busca da melhoria contínua de desempenho da indústria química nos aspectos relacionados às questões de saúde, segurança e meio ambiente. No âmbito desse programa, a Comissão de Meio Ambiente da ABIQUIM vem reunindo, desde 1998, informações ambientais das empresas químicas associadas, quantificando as emissões dos gases dióxido de carbono, óxidos de nitrogênio e dióxido de enxofre que contribuem para o efeito estufa, gerados nos processos produtivos. Destaca-se, finalmente, que as empresas químicas brasileiras têm realizado investimentos para reduzir as emissões de gases desde 1978, particularmente as emissões de dióxido de enxofre e de óxidos de nitrogênio, geradas nos processos produtivos.

É importante destacar também que o modelo de implantação do setor petroquímico no Brasil permitiu a utilização de tecnologias atualizadas. Assim sendo, não é provável que as fábricas aqui instaladas produzam cargas de emissão significativamente superiores às das congêneres de países industrialmente maduros.

2.2.2 Metodologia

A metodologia utilizada no presente trabalho está baseada nas recomendações do IPCC (1997) e no CORINAIR (1996). Esses documentos padronizam informações recolhidas em vários países na área de emissões de gases provenientes de processos de produção num conjunto selecionado de indústrias.

De forma sintética, a metodologia correlaciona, através de coeficientes de emissão, os gases emanados dos processos de produção com as quantidades produzidas de produtos químicos.

Os fatores de emissão sugeridos por essa literatura foram confrontados com os informados pelas indústrias associadas à ABIQUIM. Verifica-se da comparação que, em relação a determinados produtos, grande discrepância entre tais fatores e aqueles informados pelas empresas. Isso pode ser atribuído ao fato de que os fatores de emissão sugeridos resultem de informações prestadas por um grande número de empresas, de tecnologia variada. Como já foi dito, a implantação do setor petroquímico no Brasil é recente e nele foram empregadas tecnologias mais atualizadas, com fatores de emissão no processo produtivo inferiores as informados na bibliografia utilizada.

Por isso, no caso brasileiro, houve a alteração dos fatores de emissão para os seguintes produtos químicos: ácido adípico, ácido nítrico, amônia, caprolactama, metanol e negro de fumo.

As estatísticas de produção apresentadas neste estudo compreendem o período 1990/1994. Por sua vez, as fontes utilizadas foram os Anuários da Indústria Química Brasileira/ABIQUIM, 1995 e 1997, e Relatório Anual do Sistema Dinâmico de Informações Estatísticas da ABIQUIM, 1995 e 1996.

Para o anidrido ftálico, poliestireno e PVC, o CORINAIR (1996) mostra coeficientes diferenciados por tipo de tecnologia utilizada nos processos de produção. Conhecendo os processos predominantes nas unidades produtivas nacionais, foi possível correlacioná-los com fatores de emissão específicos.

2.2.3 Produção de amônia

Na produção de amônia, segundo a Associação Brasileira da Indústria Química - ABIQUIM, é emitido o CO₂, na proporção de 1,125 t / t amônia, sendo este o fator de emissão utilizado.

Na Tabela 11 estão apresentadas tanto a produção de amônia quanto as emissões correspondentes, no período 1990-1994.

Tabela 11 – Produção de amônia e emissões correspondentes

Ano	Amônia	
	Produção (t)	Emissões de CO ₂ (Gg)
1990	1.152.563	1.296,6
1991	1.012.110	1.138,6
1992	1.038.436	1.168,2
1993	1.153.336	1.297,5
1994	1.156.830	1.301,4

Abiquim (1995, 1997)

2.2.4 Produção de ácido nítrico

Na produção de ácido nítrico, segundo a Abiquim, são emitidos N₂O e NO_x, nas proporções de 1 kg e 1,75 kg, respectivamente, por tonelada de ácido nítrico, sendo estes os fatores de emissão utilizados.

Na Tabela 12 estão apresentadas tanto a produção de ácido nítrico quanto as emissões correspondentes, no período 1990-1994.

Tabela 12 – Produção de ácido nítrico e emissões correspondentes

Ano	Ácido nítrico		
	Produção	N ₂ O	NO _x
	t	Gg	Gg
1990	386.888	0,387	0,677
1991	404.823	0,405	0,708
1992	398.608	0,399	0,698
1993	416.789	0,417	0,729
1994	554.265	0,554	0,970

Abiquim (1995, 1997)

2.2.5 Produção de ácido adípico

Na produção de ácido adípico, segundo a Abiquim, são emitidos N₂O, CO e NO_x, nas proporções de 250 kg, 16 e 5 kg, respectivamente, por tonelada de ácido adípico, sendo estes os fatores de emissão utilizados.

Na Tabela 13 estão apresentadas tanto a produção de ácido adípico quanto às emissões correspondentes, no período 1990-1994.

Tabela 13 – Produção de ácido adípico e emissões correspondentes

Ano	Ácido nítrico			
	Produção	N ₂ O	CO	NO _x
	t	Gg	Gg	Gg
1990	31.951	7,988	0,511	0,160
1991	41.676	10,419	0,667	0,208
1992	38.538	9,635	0,617	0,193
1993	51.264	12,816	0,820	0,256
1994	51.825	12,956	0,829	0,259

Abiquim (1995, 1997)

2.2.6 Produção de outros químicos

Os fatores de emissão considerados para os demais produtos químicos foram retirados do IPCC (1997), com algumas exceções anotadas na tabela a seguir.

Tabela 14 – Fatores de emissão dos demais produtos químicos

Produto químico	CH ₄	N ₂ O	NO _x	NMVOG
ABS				27,2
Acrilonitrila				1
Anidrido Ftálico*				1,3
Borracha de Butadieno Estireno (SBR)**				5,8
Caprolactama**		0,35		
Cloreto de Vinila Monômero (MVC)**				8,5
Dicloroetano				2,2
Estireno	4			18
Eteno	1			1,4
Etilbenzeno				2
Formaldeído				5
Negro de Fumo**			0,14	
Policloreto de Vinila (PVC)*				1,5
Poliestireno*				3,3
Polietileno PEAD				6,4
Polietileno PEBD				3
Polietileno PELBD				2
Polipropileno				12
Propeno				1,4

Unidade: kg/t.

* Fatores de acordo com uma das tecnologias sugeridas pelo CORINAIR;

** Fatores de emissão determinados pelos autores e pela ABIQUIM.

Na Tabela 15 apresenta-se a produção de outros produtos químicos, estando as emissões correspondentes na Tabela 16.

Tabela 15 – Produção brasileira dos demais produtos químicos

Produto químico	1990	1991	1992	1993	1994
ABS	27.000	26.300	28.300	32.000	32.100
Acrilonitrila	78.000	63.470	74.159	74.258	76.522
Anidrido ftálico	65.645	77.364	77.210	76.037	91.390
Borracha de butadieno estireno (SBR)	184.692	188.639	196.400	191.623	209.409
Caprolactama	42.059	47.193	41.699	50.824	50.838
Cloreto de vinila monômero (MVC)	480.415	331.897	333.782	381.824	409.757
Dicloroetano	538.183	369.538	420.540	495.139	499.934
Estireno	306.217	279.963	253.605	223.413	261.613
Eteno	1.499.714	1.448.812	1.505.573	1.709.460	1.895.754
Etilbenzeno	441.007	314.440	286.812	237.793	345.514
Formaldeído	177.391	194.594	206.421	244.942	261.775
Negro de fumo	178.395	182.567	186.422	197.248	204.301
Policloreto de vinila PVC	504.330	500.264	488.940	510.794	593.413
Poliestireno	134.332	154.718	136.572	163.356	153.641
Polietileno PEAD	322.219	339.233	311.100	429.565	478.549
Polietileno PEBD	626.028	585.374	570.475	609.139	609.248
Polietileno PELBD	0	0	0	103.610	133.433
Polipropileno	303.841	356.319	374.992	478.288	521.540
Propeno	793.544	779.224	826.543	974.982	1.086.330

Unidade: t
Abiquim (1995, 1997)

Tabela 16 – Emissões totais devidas aos demais produtos químicos

Ano	CH ₄	N ₂ O	NO _x	NM VOC
1990	2,725	0,015	0,025	26,514
1991	2,569	0,017	0,026	24,832
1992	2,520	0,015	0,026	24,674
1993	2,603	0,018	0,028	27,798
1994	2,942	0,018	0,029	30,563

Unidade: Gg

2.3 Produção de metais

Fontes e Autores:

Instituto Brasileiro de Siderurgia – IBS

Associação Brasileira de Alumínio – ABAL

2.3.1 Ferro e aço

Basicamente há duas rotas tecnológicas para a produção de aço, com algumas possíveis variações ou combinações entre elas: integradas (redução, refino e laminação) e forno elétrico a arco - EAF (refino e laminação). A diferença básica entre esses dois tipos de rotas está na matéria-prima utilizada na produção de aço. Na rota integrada predomina o minério de ferro, com uma pequena quantidade de sucata de aço, enquanto que as usinas com fornos elétricos a arco usam principalmente sucata ou ferro esponja por redução direta.

O Brasil ocupou, em 1998, a oitava posição no *ranking* mundial com uma produção de 25,8 milhões de toneladas, o que representou aproximadamente 4% da produção mundial de aço (ver Tabela 17).

Tabela 17 – Produção de aço bruto

	1970	1980	1990	1996	1997	1998
Mundial	595,4	715,6	770,5	750,1	799,0	776,4
América Latina	13,2	28,9	38,2	50,0	52,4	51,5
Brasil	5,4	15,3	20,6	25,2	26,2	25,8
Participação brasileira no mundo	0,9%	2,1%	2,7%	3,4%	3,3%	3,3%
Participação brasileira na América Latina	40,9%	52,9%	53,9%	50,4%	50,0%	50,1%
Posição relativa do Brasil no mundo	18°	10°	9°	7°	7°	8°

Unidade: 10⁶t

Fonte: IISI/ILAFA/IBS

Na América Latina, o Brasil é o maior produtor de aço (50% da produção em 1998), seguido do México e Argentina (Tabela 18).

Tabela 18 – Produção de aço bruto da América Latina

País	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	Part. 98
Brasil	20.567	22.617	23.934	25.207	25.747	25.076	25.237	26.153	25.760	50,0%
México	8.726	7.964	8.459	9.199	10.260	12.147	13.172	14.218	14.097	27,4%
Argentina	3.634	2.972	2.700	2.886	3.314	3.581	4.075	4.169	4.201	8,2%
Venezuela	2.998	3.197	4.263	3.392	3.524	3.568	3.941	3.987	3.679	7,1%
Chile	772	807	1.013	1.069	1.040	1.014	1.178	1.167	1.171	2,3%
Trinidade Tobago	355	440	498	496	631	738	695	736	781	1,5%
Colômbia	701	652	657	687	693	714	695	734	662	1,3%
Peru	290	404	343	417	509	512	578	607	630	1,2%
Cuba	255	180	134	91	131	207	231	342	284	0,6%
América Central	81	81	85	54	26	27	84	127	77	0,1%
Equador	20	20	20	27	32	35	20	44	64	0,1%
Paraguai	48	61	86	76	87	95	96	66	56	0,1%
Uruguai	38	41	55	36	36	40	34	39	51	0,1%
Total	38.485	39.436	42.247	43.637	46.030	47.754	50.036	52.389	51.513	100,0%

Unidade: 10⁶t

Fonte: ILAFA/IBS

O parque brasileiro conta com 11 usinas integradas e 15 semi-integradas, administradas por 15 empresas. São elas:

- Acesita S.A.
- Aço Minas Gerais S.A. - AÇOMINAS
- Aços Villares S.A.
- Companhia Brasileira do Aço - CBAço
- Companhia Industrial Itaunense
- Companhia Siderúrgica Belgo-Mineira
- Companhia Siderúrgica Nacional
- Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA
- Companhia Siderúrgica de Tubarão - CST
- Gerdau S.A.
- Mannesmann S.A.
- Mendes Júnior / BMP

- Siderúrgica Barra Mansa S.A.
- Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais - USIMINAS
- Villares Metals S.A.

A produção brasileira de aço bruto por grau de integração é mostrada na Tabela 19 a seguir. A Tabela 20 mostra a divisão por tipo de processamento de ferro-gusa e a Tabela 21, por tipo de aciaria.

Tabela 19 – Produção brasileira de aço bruto

Configuração técnica das usinas	Produção de aço bruto (10 ³ t)	Participação (%)
Integradas	21.381	83,0
Semi-integradas	4.379	17,0
Total	25.760	100,0

Fonte: IBS

Tabela 20 – Produção de ferro-gusa em altos-fornos, por processo, em 1998

Agente redutor	Produção de ferro-gusa
Coque	18.683
Carvão vegetal	6.428
Total produzido	25.111

Unidade: 10³t

Fonte: IBS

Tabela 21 – Produção de aço bruto em aciarias, por processo, em 1998

Processo	Produção de aço bruto (10 ³ t)	Participação (%)
Sopro de oxigênio (BOF)	20.413	79,3
Arco elétrico (EAF)	4.981	19,3
EOF	366	1,4
Total	25.760	100,0

Fonte: IBS

A siderurgia usa o carbono para geração de energia e como agente redutor do minério de ferro (esse último no caso de usinas integradas). Posteriormente, fração deste carbono é incorporada aos produtos e a maior parte é emitida na atmosfera em forma de CO₂.

Para o cálculo das emissões de CO₂, é importante fazer distinção entre o carbono consumido no processo químico (uso direto) e o carbono necessário para gerar energia (uso indireto).

Segundo o International Iron and Steel Institute - IISI, o processo de produção de ferro-gusa (coqueria, sinterização/pelotização e alto-forno) consome 60-70% do total da energia consumida em usinas integradas, sendo devido principalmente ao uso do coque como agente redutor na transformação do minério de ferro em ferro-gusa.

No processo siderúrgico as outras fontes de carbono, além do carvão/coque, são o óleo diesel, o óleo combustível, o GLP e o gás natural.

As usinas semi-integradas não têm a etapa de redução e, em consequência, consomem carbono basicamente com fins energéticos.

Segundo o IISI, o carbono consumido em usinas integradas é de cerca de 550 kg/tab (tonelada de aço bruto), enquanto que o consumo de carbono em usinas a forno elétrico a arco é de cerca de 130 kg/tab, ou seja cerca de ¼ do carbono consumido nas usinas integradas.

O consumo energético das usinas siderúrgicas brasileiras situa-se em torno de 21 GJ/t aço. Este número está próximo à média mundial, colocando o país no nível das usinas siderúrgicas da Europa e do Japão.

Tabela 22 – Consumo energético das usinas siderúrgicas

País	1989	1990	1991
Espanha	15,1	14,8	14,8
Japão	17,3	17,3	17,5
Holanda	18,0	18,4	18,5
Alemanha	19,4	19,2	18,9
Finlândia	19,0	19,5	19,3
Suécia	19,0	19,3	19,3
Reino Unido	19,5	19,6	19,9
EUA	20,6	19,7	20,1
França	20,5	20,1	20,2
Brasil	20,7	21,2	20,7
África do Sul	26,4	29,2	26,1

Fonte: Statistics on Energy in the Steel Industry, 1996 Up date, IISI (Committee on Economic Studies)

2 Metodologia

Para o cálculo das emissões de CO₂ do setor, o IBS constituiu Grupo de Trabalho formado por representantes das usinas siderúrgicas. Utilizou-se a metodologia recomendada pelo IPCC (1997).

A metodologia abrange os seguintes passos:

1. Levantamento /Estimativa do consumo de combustível;
2. Conversão dos consumos de combustíveis para uma unidade comum de energia (TJ);
3. Seleção dos fatores de emissão de carbono / Cálculo do conteúdo total de carbono existente no combustível (multiplicar o consumo de combustível pelos fatores de emissão);
4. Cálculo do carbono estocado, para se computar o conteúdo real de carbono a ser emitido;
5. Correção dos valores para considerar combustão incompleta, computando-se a quantidade de carbono realmente oxidada durante a queima.
6. Conversão da quantidade de carbono oxidado em emissões de CO₂.

Para o cálculo de CO₂ nesta fase foram excluídas as emissões geradas na calcinação e no uso tanto da energia empregada na dessulfurização do ferro quanto do combustível consumido no transporte de matéria prima e produtos acabados, consideradas insignificantes perante as demais emissões.

Segundo a mesma metodologia, não foram considerados também os seguintes consumos de carbono:

Transformação de combustíveis primários em secundários:

O consumo na transformação do carvão metalúrgico em coque nas coquearias é considerado zero, assumindo-se que todos os gases formados no processo são voláteis, alcatrão e gás de coquearia, e que são consumidos em etapas posteriores.

Biomassa:

As emissões da biomassa não devem ser incluídas na contabilidade das emissões do setor energético pois são objeto do setor “Uso do Solo, Mudanças no Uso do Solo e Florestas”.

? Principais combustíveis utilizados pelo setor metalúrgico

A Tabela 23 lista os combustíveis considerados para o cálculo das emissões de CO₂ do setor metalúrgico.

Tabela 23 – Principais combustíveis utilizados pelo setor metalúrgico

• Combustíveis fósseis líquidos	<i>Combustíveis primários</i>	Petróleo
		Líquidos de Gás Natural
	<i>Combustíveis secundários</i>	Gasolina
		Querosene
		Óleo Diesel
		Óleo Combustível
		GLP
		Lubrificantes
		Coque de Petróleo
	Outros	
• Combustíveis fósseis sólidos	<i>Combustíveis primários</i>	Carvão Metalúrgico
		Antracito
		Carvão Betuminoso
		Carvão Sub-betuminoso
	<i>Combustíveis secundários</i>	Alcatrão de Carvão Mineral
	Coque	
• Combustíveis fósseis gasosos		Gás Natural Seco
		Gás de Refinaria
• Biomassa sólida		Carvão Vegetal

? Conversão para uma unidade comum de energia

Tabela 24 – Poder calorífico inferior (PCI) dos combustíveis utilizados

Combustível	IPCC	ABM ¹	BEN ²
Combustíveis fósseis líquidos			
<i>Combustíveis primários</i>			
Petróleo	42,54		
Líquidos de Gás Natural	45,22		
<i>Combustíveis secundários</i>			
Gasolina	44,80		
Querosene	44,75		
Óleo Diesel	43,33		
Óleo Combustível	40,19		
GLP	47,31		
Lubrificantes	40,19		
Coque de Petróleo	31,00		
Outros	40,19		
Combustíveis fósseis sólidos			
<i>Combustíveis primários</i>			
Carvão Metalúrgico			
Antracito		27,20	
Carvão Betuminoso		27,20	
Carvão Sub-betuminoso			
<i>Combustíveis secundários</i>			
Alcatrão de Carvão Mineral			
Coque		28,88	
Combustíveis fósseis gasosos			
Gás Natural Seco			37,31
Gás de Refinaria			
Biomassa sólida			
Carvão Vegetal			28,46

Unidade: TJ/10³t

¹ XX Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades.

² Balanço Energético Nacional - BEN.

? Fatores de emissão de carbono

Os fatores de emissão de carbono utilizados neste relatório foram os recomendados pelo IPCC e expressam a quantidade de carbono no combustível por unidade de energia.

Tabela 25 – Fatores de emissão de carbono

Combustível	IPCC
Combustíveis fósseis líquidos	
<i>Combustíveis primários</i>	
Petróleo	20,0
Líquidos de Gás Natural	17,2
<i>Combustíveis secundários</i>	
Gasolina	18,9
Querosene	19,6
Óleo Diesel	20,2
Óleo Combustível	21,1
GLP	17,2
Lubrificantes	20,0
Coque de Petróleo	27,5
Outros	20,0
Combustíveis fósseis sólidos	
<i>Combustíveis primários</i>	
Carvão Metalúrgico	25,8
Antracito	26,8
Carvão Betuminoso	25,8
Carvão Sub-betuminoso	26,2
<i>Combustíveis secundários</i>	
Alcatrão de Carvão Mineral	
Coque	29,5
Combustíveis fósseis gasosos	
Gás Natural Seco	15,3
Gás de Refinaria	18,2
Biomassa sólida	
Carvão Vegetal	29,9

Unidade: tC/TJ

? Determinação do carbono estocado

Dentre os combustíveis consumidos pelo setor industrial como insumo energético, alguns ou parte deles são utilizados como matéria-prima na manufatura de produtos não energéticos, onde o carbono torna-se fixo. Na metodologia do IPCC, este carbono é denominado “estocado”, devendo ser subtraído do consumo dos combustíveis. A Tabela 26 a seguir apresenta o percentual de carbono estocado para os diversos combustíveis utilizados pelo segmento industrial.

Tabela 26 – Determinação do carbono estocado

Combustível	IPCC	RTD ¹ (%)
Combustíveis fósseis líquidos		
<i>Combustíveis primários</i>		
Petróleo		
Líquidos de Gás Natural		
<i>Combustíveis secundários</i>		
Gasolina		
Querosene		
Óleo Diesel	0,50	
Óleo Combustível		
GLP	0,80	
Lubrificantes	0,50	50
Coque de Petróleo		
Outros		
Combustíveis fósseis sólidos		
<i>Combustíveis primários</i>		
Carvão Metalúrgico		
Antracito		
Carvão Betuminoso		
Carvão Sub-betuminoso		
<i>Combustíveis secundários</i>		
Alcatrão de Carvão Mineral		49
Coque		
Combustíveis fósseis gasosos		
Gás Natural Seco	0,33	29
Gás de Refinaria		14
Biomassa sólida		
Carvão Vegetal		

¹ Relatório Emissões de Dióxido de Carbono por Queima de Combustível - Metodologia Top-Down, MCT.

? Fração de carbono oxidada

Parte do carbono disponível para ser queimado (carbono contido no combustível menos carbono estocado) não é oxidado. Isto se deve ao fato de que a combustão ocorre de forma incompleta, ou seja, uma pequena quantidade de carbono se incorpora às cinzas e a outros subprodutos. Para o cálculo das emissões reais, esse fato deve ser levado em conta, devendo-se para isso multiplicar o carbono disponível para a queima pela fração de carbono oxidado na combustão. A Tabela 27 apresenta os valores recomendados pelo IPCC.

Tabela 27 – Fração de carbono oxidada

Combustível	IPCC	RTD ¹
Combustíveis fósseis líquidos		
<i>Combustíveis primários</i>		
Petróleo	0,990	0,990
Líquidos de Gás Natural	0,990	0,990
<i>Combustíveis secundários</i>		0,990
Gasolina		0,990
Querosene		0,990
Óleo Diesel		0,990
Óleo Combustível		0,990
GLP		0,990
Lubrificantes		0,990
Coque de Petróleo		0,990
Óleos e subprodutos	0,990	
Outros		0,990
Combustíveis fósseis sólidos		
<i>Combustíveis primários</i>		
Carvão Metalúrgico		0,980
Antracito		0,980
Carvão Betuminoso		0,980
<i>Combustíveis secundários</i>		
Coque		0,990
Combustíveis fósseis gasosos		
Gás Natural Seco		0,995
Gás de Refinaria		0,995
Biomassa sólida		
Carvão Vegetal		0,995

¹ Relatório Emissões de Dióxido de Carbono por Queima de Combustível - Metodologia Top-Down, MCT.

7 Emissões de CO₂ do setor siderúrgico brasileiro

Nas emissões de CO₂ aqui estimadas estão incluídos os dados de todas as siderúrgicas nacionais, com exceção da CBA, da Mafersa e da Itauense, cobrindo 99,3% da produção bruta de aço em 1998.

As emissões de CO₂ do setor siderúrgico brasileiro referentes aos anos de 1990 a 1998 estão sumarizados nas tabelas a seguir.

Tabela 28 – Produção de aço bruto e emissões totais de CO₂ do setor siderúrgico brasileiro, de 1990 a 1998

Produção de Aço Bruto (tab)								
1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
19.998.640	22.218.632	23.547.766	24.713.862	25.280.406	24.827.621	25.003.738	26.032.350	25.579.180
Emissões de CO ₂ (Gg)								
1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
24.399	28.830	30.027	31.490	31.752	32.921	32.921	33.589	34.375
Emissão específica (t CO ₂ /tab)								
1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
1,2200	1,2976	1,2752	1,2742	1,2560	1,3260	1,3166	1,2903	1,3439

Tabela 29 – Produção de aço bruto do setor siderúrgico por grau de integração, de 1990 a 1998

Produção de Aço Bruto (tab)								
Total do setor								
1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
19.998.640	22.218.632	23.547.766	24.713.862	25.280.406	24.827.621	25.003.738	26.032.350	25.579.180
Usinas integradas								
1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
15.732.284	18.474.162	19.419.054	20.294.939	20.755.961	20.901.278	20.588.565	21.158.830	21.002.059
Usinas semi-integradas								
1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
3.950.356	3.434.470	3.798.712	4.040.923	4.168.445	3.578.343	4.031.173	4.489.520	4.180.821
Redução direta								
1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
316.000	310.000	330.000	378.000	356.000	348.000	384.000	384.000	396.300

Tabela 30 – Emissões de CO₂ do setor siderúrgico por grau de integração, de 1990 a 1998

Emissão de CO ₂ (Gg)								
Total do setor								
1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
24.399	28.830	30.027	31.490	31.752	32.921	32.921	33.589	34.375
Usinas integradas								
1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
23.521	28.008	29.168	30.546	30.801	31.997	31.928	32.570	33.359
Usinas semi-integradas								
1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
632	581	602	650	680	616	677	744	702
Redução direta								
1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
246	241	257	294	271	308	316	275	314

Tabela 31 – Emissão específica de CO₂ do setor siderúrgico por grau de integração, de 1990 a 1998

Emissão específica (t CO ₂ /tab)								
Total do setor								
1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
1,2200	1,2976	1,2752	1,2742	1,2560	1,3260	1,3166	1,2903	1,3439
Usinas integradas								
1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
1,4951	1,5161	1,5020	1,5051	1,4840	1,5309	1,5508	1,5393	1,5884
Usinas semi-integradas								
1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
0,1600	0,1692	0,1585	0,1609	0,1631	0,1721	0,1679	0,1657	0,1679
Redução direta								
1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
0,7785	0,7774	0,7788	0,7778	0,7612	0,8851	0,8229	0,7161	0,7923

Tabela 32 – Usinas a carvão vegetal (incluída em integradas)

Usinas a carvão vegetal (incluída em integradas)								
Produção de aço bruto (tab)								
1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
2.609.447	2.668.230	2.756.779	2.927.046	2.924.604	2.628.010	2.608.063	2.552.056	2.572.860
Emissão de CO ₂ (Gg)								
1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
398	604	993	1.175	1.039	930	1.364	1.694	1.629
Emissão específica (t CO ₂ /tab)								
1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
0,1523	0,2264	0,3603	0,4013	0,3554	0,3537	0,5230	0,6640	0,6333

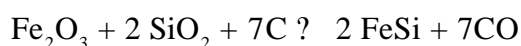
Nota: A partir de 1996, parte do carvão vegetal foi substituído por coque.

2.3.2 Ferroligas

Ferroliga é um termo usado para descrever ligas concentradas de ferro e um ou mais metais, tais como silício, manganês, cromo, molibdênio, vanádio e tungstênio. Tais ligas são usadas para desoxidar e alterar as propriedades físicas do aço. As fábricas de ferroligas produzem compostos concentrados que são despachados para as aciarias para serem incorporadas às diversas ligas de aço. A produção de ferroligas envolve o processo de redução metalúrgica que resulta em emissões de dióxido de carbono.

Na produção de ferroligas, minério, coque e escória são derretidos juntos sob alta temperatura. Uma tecnologia bastante usada é a do forno elétrico de abertura superior a arco submerso ou EAF, sigla pela qual é conhecido. No EAF, o aquecimento é conseguido por uma corrente que passa por eletrodos de grafite suspensos numa cuba de aço recoberta de refratários, em forma de xícara. A redução de carbono dos óxido metálicos ocorre quando são consumidos tanto o coque quanto os eletrodos de grafite.

Durante a fusão dos ferroligas, a reação de redução ocorre em alta temperatura. O carbono captura o oxigênio dos óxidos metálicos para formar CO₂, enquanto que os minerais são reduzidos a metais básicos derretidos. Conseqüentemente, os metais presentes combinam-se na solução. Por exemplo, a seguinte reação ocorre na produção de ferro-silício a 50%:



Emissões primárias em fornos a arco cobertos consistem quase inteiramente de CO, ao

invés de CO₂, devido ao meio fortemente redutor. Entretanto, assume-se que todo CO será convertido a CO₂ daí a poucos dias.

A metodologia mais acurada é calcular as emissões a partir das quantidades de agente redutor usadas. As emissões também podem ser calculadas a partir do volume de produção. O IPCC (1997) sugere valores *default* supondo-se a utilização única de carbono fóssil, conforme a Tabela 33. Como no Brasil a produção de ferroliga utiliza predominantemente carvão vegetal, será descontada a utilização desse tipo de carvão nos cálculos posteriormente apresentados.

Tabela 33 – Fatores de emissão por tipo de ferroliga

Tipo de ferroliga	Fator de emissão
Ferro-silício (50% Si)	2-2,7
Ferro-silício (75% Si)	3,9
Ferro-silício (90% Si)	4,8-6,5
Silício metálico ¹	4,3
Ferroligas à base de manganês	1,6
Silício manganês	1,7
Ferrocromo	1,3
Ferrocromo silício	ND

Unidade: tCO₂/t ferroliga

ND - Não Disponível

¹Apenas neste caso, considera-se um consumo de carvão vegetal de 1,6 tCO₂/t silício, valor não incluído no fator de emissão da tabela.

Fonte: IPCC, 1997

Os dados de produção nacional e por tipo de liga foram fornecidos pela Associação Brasileira dos Produtores de Ferroligas e de Silício Metálico - ABRAFE, e estão dispostos na Tabela 34.

Tabela 34 – Produção brasileira de ferroligas

Ano	Ferro-silício (50% Si)	Ferro-silício (75% Si)	Silício metálico	Ferroligas à base de manganês	Silício-manganês	Ferro-cromo	Ferro-cromo-silício	Outras	Total
1990	5.471	223.937	131.614	170.504	216.779	83.753	4.973	102.246	939.277
1991	5.486	185.378	106.002	169.103	272.046	82.225	4.524	110.516	935.280
1992	4.620	239.218	93.734	178.937	299.995	91.100	6.759	104.183	1.018.546
1993	5.338	233.526	90.379	201.518	284.147	83.892	4.128	117.234	1.020.162
1994	3.056	195.449	90.017	199.667	248.158	77.163	7.735	115.108	936.353
1995	3.758	240.066	115.756	130.207	167.162	95.840	5.129	114.463	872.381
1996	2.831	234.007	150.054	215.260	232.218	72.609	4.622	62.365	973.966
1997	1.745	210.438	136.884	152.530	175.919	67.429	7.056	91.083	843.084
1998	9.618	156.660	126.744	121.633	124.458	65.683	6.824	93.840	705.460

Unidade: t

Os dados da Associação Brasileira de Florestas Renováveis (ABRACAVE) e da ABRAFE discriminam a produção de ferroligas que utiliza carvão vegetal, conforme a Tabela 35.

Tabela 35 – Produção brasileira de ferroligas a carvão vegetal

Ano	Produção total (t)	Produção a carvão vegetal (t)	% da produção a carvão vegetal
1990	939.277	911.099	97%
1991	935.280	907.222	97%
1992	1.018.546	998.175	98%
1993	1.020.162	999.759	98%
1994	936.353	908.262	97%
1995	872.381	854.933	98%
1996	973.966	954.487	98%
1997	843.084	758.776	90%
1998	705.460	663.132	94%

A partir dessas informações, é possível saber a parcela da produção de ferroligas que utiliza carvão mineral e coque e que, portanto, emite o CO₂ que deve ser contabilizado.

Tabela 36 – Produção brasileira de ferroligas a carvão mineral e coque

Ano	Produção total (t)	Produção a carvão mineral e coque (t)	% da produção a carvão mineral e coque
1990	939.277	28.178	3%
1991	935.280	28.058	3%
1992	1.018.546	20.371	2%
1993	1.020.162	20.403	2%
1994	936.353	28.091	3%
1995	872.381	17.448	2%
1996	973.966	19.479	2%
1997	843.084	84.308	10%
1998	705.460	42.328	6%

Considerando o perfil da produção nacional homogêneo, no sentido de que todas as empresas utilizam a mesma porcentagem de carvão vegetal, o perfil de utilização de combustível fóssil será o apresentado na Tabela 36 para se calcular as emissões de cada um dos tipos de liga produzidos.

Fórmula:

$$\text{Emissões de CO}_2 \text{ (t)} = \text{produção da ferroliga (t)} \times \% \text{ de produção a combustível fóssil} \times \text{fator de emissão do IPCC}$$

No caso do silício metálico, que a Tabela 33 informa que foi descontado o valor de 1,6 tCO₂/t Si, devido ao uso de carvão vegetal, deve-se somar este número ao apresentado na tabela para que, posteriormente, seja aplicado o percentual correto de utilização de combustível fóssil no Brasil. Para os casos onde a tabela propõe um intervalo de variação, empregou-se o valor médio.

Assim, a Tabela 37 apresenta as emissões CO₂ referentes à produção de ferroligas no Brasil, destacando-se a ausência do ferro-silício (90% Si), por não haver produção nacional, e do ferro-cromo-silício, por não haver fator de emissão designado pelo IPCC.

Tabela 37 – Emissões CO₂ referentes à produção de ferroligas

Ano	Ferro-silício (50% Si)	Ferro-silício (75% Si)	Silício metálico	Ferroligas à base de manganês	Silício-manganês	Ferro-cromo	Total
1990	386	26.201	23.296	8.184	11.056	3.266	72.388
1991	387	21.689	18.762	8.117	13.874	3.207	66.036
1992	217	18.659	11.061	5.726	10.200	2.369	48.231
1993	251	18.215	10.665	6.449	9.661	2.181	47.421
1994	215	22.868	15.933	9.584	12.656	3.009	64.265
1995	177	18.725	13.659	4.167	5.684	2.492	44.903
1996	133	18.253	17.706	6.888	7.895	1.888	52.764
1997	410	82.071	80.762	24.405	29.906	8.766	226.319
1998	1.356	36.658	44.867	11.677	12.695	5.123	112.377

Unidade: t

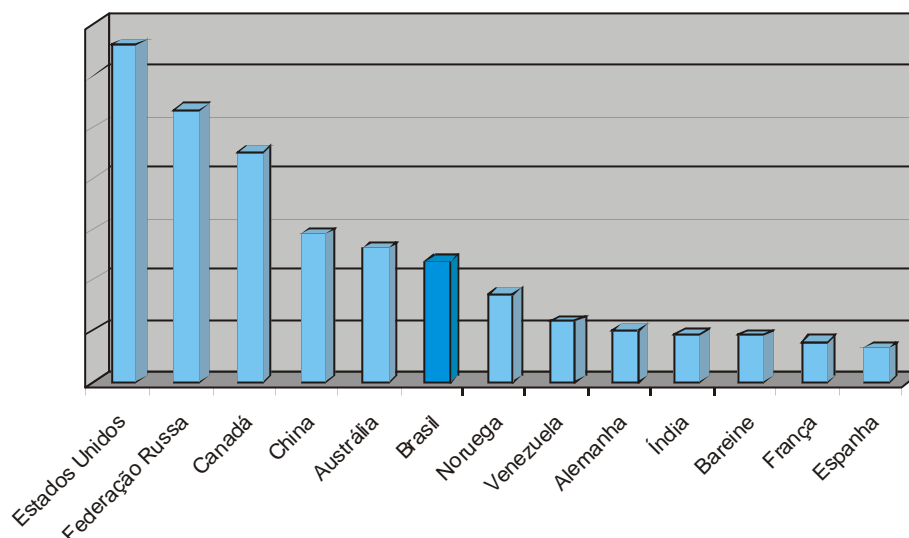
É importante ressaltar que, além de o setor de ferroligas ter uma contribuição muito pequena nas emissões de CO₂ devido a uma utilização média de 97,4% de carvão vegetal, entre 1990 e 1994, as emissões apresentadas na Tabela 37 já foram contabilizadas na Setor de Energia, conforme classificação do IPCC, como consumo geral de combustíveis fósseis.

2.3.3 Alumínio

? Características gerais

O Brasil possui a terceira maior reserva de bauxita do mundo. Esse fator, aliado ao grande potencial hidráulico, às condições geográficas favoráveis e à tradição industrial brasileira na área de metalurgia, coloca o Brasil na sexta posição entre os maiores produtores mundiais de alumínio primário, precedido de Estados Unidos, Rússia, Canadá, China e Austrália. No ano de 1994, foram produzidas 1.185 mil toneladas de alumínio primário, representando 6% do total mundial.

Maiores produtores mundiais de alumínio - 1994



A produção de alumínio e alumina responde à crescente demanda mundial por alumínio sendo, portanto, uma fonte de divisas imprescindível às metas brasileiras de desenvolvimento. Por essa razão, a indústria mantém uma posição de destaque na pauta de exportações brasileiras, tendo participado com 3,5% do valor exportado pelo Brasil no ano de 1996, gerando receitas da ordem de US\$ 1.664 milhões. No mesmo período, as importações dessa indústria representam US\$ 369 milhões, participando com 0,7% do valor importado pelo Brasil.

Vale enfatizar que, no ano de 1996, a indústria brasileira de alumínio participou com 2,4% do PIB industrial, investimentos da ordem de US\$ 1,0 bilhão e faturamento de US\$ 5,9 bilhões, sendo responsável pela manutenção de cerca de 53.000 empregos diretos.

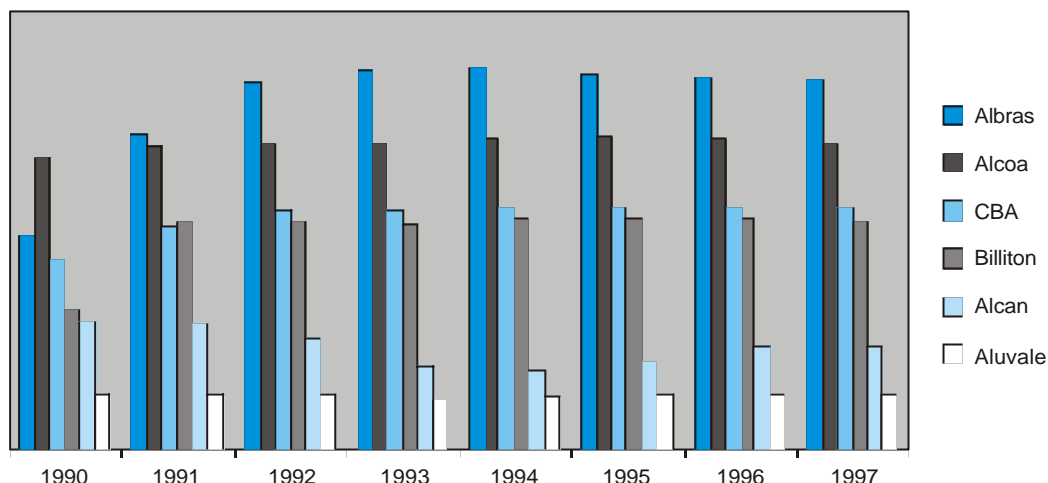
Atualmente, existem, no Brasil, seis usinas de alumínio primário:

- Albras Alumínio Brasileiro (PA)
- Alcan Alumínio do Brasil Ltda (MG/BA)
- Alcoa Alumínio S.A. (MG)
- Alumar² – Consórcio de Alumínio do Maranhão (MA) (Alcoa/Billiton Metais)
- Companhia Brasileira de Alumínio (SP)
- Valesul Alumínio S.A.³ (RJ) (Aluvale/ Billiton Metais)

² As empresas Alcoa e Billiton Metais possuem participação acionária nessa usina.

³ As empresas Vale do Rio Doce e Billiton Metais possuem participação acionária nessa usina.

Produção primária de alumínio no Brasil - por empresa



Essas empresas têm como filosofia manter um rígido controle de todos os processos que possam interferir, de alguma forma, na qualidade ambiental. Todas elas têm procurado trabalhar dentro de conceitos modernos de gerenciamento ambiental, compreendendo desde o planejamento da tecnologia a ser utilizada por suas unidades industriais, até os critérios de localização de suas atividades. Com isso, as tecnologias e o controle ambiental podem variar de empresa para empresa; porém, as metas seguidas são as mesmas.

O setor vem continuamente realizando investimentos visando melhorias nos controles dos parâmetros e atualização tecnológica, com impacto positivo nas emissões dos resíduos. Essa atuação é reconhecida internacionalmente, tendo sido citada pela UNIDO (*United Nations Industrial Development Organization*) como exemplo de tecnologia e gerenciamento ambiental na América Latina.

Como consequência, percebe-se o ritmo decrescente ano a ano dos índices de emissão de gases perfluorcarbono (PFCs) na indústria de alumínio primário, segundo os dados que serão apresentados posteriormente neste relatório.

Tabela 38 – Produção brasileira de alumínio primário

Ano	Albras	Aluvale	Billiton	Alcoa	Alcan	CBA	Total
1990	194,0	51,4	128,7	266,1	115,9	174,5	930,6
1991	288,0	51,0	206,7	275,9	113,7	204,3	1.139,6
1992	335,2	50,6	209,6	278,3	102,2	217,4	1.193,3
1993	345,0	46,5	206,2	279,0	77,2	218,1	1.172,0
1994	347,4	49,7	210,0	283,6	72,1	221,8	1.184,6
1995	341,1	50,6	211,2	284,8	79,9	220,5	1.188,1
1996	339,7	50,2	210,7	283,4	93,4	220,0	1.197,4
1997	338,0	50,6	206,5	279,7	93,3	221,0	1.189,1

Unidade: 1.000 t

Tabela 39 – Comparação entre produção, importação e exportação de alumínio

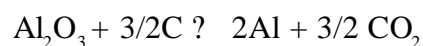
Ano	Produção Primária	Importações (metais primários, ligas, semis e manufaturados)	Exportações (metais primários, ligas, semis e manufaturados)
1990	930,6	16,1	639,4
1991	1.139,6	19,6	829,5
1992	1.193,3	19,7	872,6
1993	1.172	32,6	873,0
1994	1.184,6	55,0	876,1
1995	1.188,1	93,9	797,4
1996	1.197,4	83,7	804,9
1997	1.189,1	135,1	799,7

Unidade: 1.000 t

? Processo químico de produção do alumínio primário

O alumínio primário é produzido através de um processo de redução eletrolítica. A reação ocorre num recipiente de carbono, onde está contida a solução eletrolítica, e que age como catodo. O anodo é o carbono que é parcialmente submerso na solução e consumido no final do processo.

A eletrólise do óxido de alumínio produz alumínio fundido, que se deposita no catodo, e oxigênio, que se deposita no anodo e reage com o carbono para produzir CO₂, segundo a equação:



O processo de produção de alumínio primário pode utilizar dois tipos principais de tecnologia, Soderberg e Prebake, e a distinção entre as duas relaciona-se ao tipo de anodo utilizado.

? A geração de CO₂ no processo de fundição do alumínio

As emissões de dióxido de carbono ocorrem durante a eletrólise e durante a produção de energia, se gerada por carvão fóssil. Na eletrólise, a maioria do CO₂ é resultado da reação química entre o anodo carbono e a alumina, mas alguma quantidade é formada quando o anodo reage com outras fontes de oxigênio (como o do ar).

A produção de eletricidade, usada no processo de fundição, também é responsável por emissões adicionais de gases de efeito estufa. O nível e o tipo das emissões dependem do combustível utilizado para gerar essa eletricidade. Considerando que a eletricidade média requerida para fundição é de 15.000 kWh por tonelada de alumínio, pode-se calcular as emissões de CO₂ geradas na produção elétrica destinada à indústria de alumínio, por fonte de energia, conforme a Tabela 40.

Tabela 40 – Emissões de CO₂ pela geração de eletricidade para a produção de alumínio, por fonte de combustível

Fonte de eletricidade	Geração de CO ₂ (kg/kWh)	Emissões (t / t de alumínio)
Queima de carvão	1,0	15
Geradores a gás	0,4	6
Hidrelétrica	0,0	0

Em outras etapas da produção de alumínio, tais como refinamento e produção do anodo, também há emissões de CO₂, mas são relativamente insignificantes. Quase todo o dióxido de carbono é produzido no processo de geração de energia.

No Brasil, a fonte principal de energia utilizada no processo de fundição é a hidreletricidade, portanto, pode-se considerar que essa atividade não tem contribuição nas emissões de CO₂.

2.3.3.1 Emissões de CO₂ na produção de alumínio

? Metodologia

Uma das metodologias para se calcular as emissões de CO₂, resultantes do processo de produção de alumínio, indicada pelo IPCC (1997), consiste em multiplicar a quantidade produzida de alumínio por um fator de emissão, dependendo da tecnologia utilizada.

Tabela 41 – Fatores de emissão de CO₂ na produção de alumínio primário

Tecnologia utilizada	Soderberg	Prebaked Anode
Fator de emissão	1,8	1,5

Unidade: t CO₂ /t alumínio produzido

? Cálculo das emissões

Tabela 42 – Emissões de CO₂ na produção de alumínio primário

Ano	Produção de alumínio primário			Emissão de CO ₂		
	Soderberg ¹	<i>Prebaked Anode</i> ²	Total	Soderberg	<i>Prebaked Anode</i>	Total
1990	378.900	551.700	930.600	682.020	827.550	1.509.570
1991	407.400	732.200	1.139.600	733.320	1.098.300	1.831.620
1992	409.300	784.000	1.193.300	736.740	1.176.000	1.912.740
1993	385.500	786.500	1.172.000	693.900	1.179.750	1.873.650
1994	384.743	799.931	1.184.674	692.537	1.199.897	1.892.434
1995	390.378	797.729	1.188.107	702.680	1.196.594	1.899.274
1996	402.918	794.520	1.197.438	725.252	1.191.780	1.917.032
1997	404.193	784.862	1.189.055	727.547	1.177.293	1.904.840

Unidade: t

¹ Tecnologia Soderberg – considera as empresas Alcan (MG), Alcan (BA), Alcoa (MG) e CBA (SP);

² Tecnologia *Prebaked* – considera as empresas Albras (PA), Alumar (MA) e Valesul (RJ).

2.3.3.2 Emissões de PFCs da produção de alumínio

Na produção de alumínio, a alumina (Al_2O_3) é dissolvida num fluoreto fundido, que consiste principalmente de creolina (Na_3AlF_6), ocorrendo as seguintes reações:



Quando uma célula eletrolítica de alumínio está operando normalmente, as mensurações demonstram que não há produção de PFCs. Contudo, se o óxido de alumínio contido na solução dilui-se muito, abaixo de 1,5%, ocorre um rápido aumento de voltagem (o chamado “efeito anódico”) e a solução passa a participar da reação, reagindo com o carbono para produzir os PFCs. Portanto, a emissão de PFCs durante o efeito anódico depende da frequência e duração do mesmo.

Esse processo de produção foi identificado como sendo a maior fonte antropogênica de emissões de tetrafluormetano (CF_4) e hexafluoretano (C_2F_6), gases que contribuem para o aquecimento global por sua alta capacidade de absorção infravermelha e sua relativa inércia na atmosfera.

Apesar de as concentrações atmosféricas de PFCs serem relativamente pequenas, se comparadas às concentrações de CO_2 e CH_4 , os PFCs são removidos muito lentamente da atmosfera. O tempo de vida estimado de CF_4 e C_2F_6 na atmosfera é de 50.000 e 10.000 anos, respectivamente. O potencial de aquecimento global é relativamente alto: uma tonelada de CF_4 e C_2F_6 emitida equivale a aproximadamente 6.500 e 9.200 toneladas, respectivamente, de CO_2 quando se considera o aquecimento de um período de 100 anos.

? Metodologia

Considerando-se que as emissões de CF_4 e C_2F_6 variam dependendo do tipo de tecnologia usada, os fatores de emissão devem ser escolhidos de acordo com a tecnologia e aplicados à produção nacional de alumínio primário.

A Associação Brasileira do Alumínio (ABAL) estimou as emissões utilizando a metodologia de Tabereaux, quando as próprias indústrias não o fizeram através do método de Espectrometria Infravermelha com Transformada de Fourier.

A equação de Tabereaux relaciona o princípio da Lei de Faraday (a quantidade de gás

gerada depende do fluxo de corrente elétrica que a célula sofre) e está descrita abaixo:

$$\text{KgCF}_4/\text{t Al} = (\text{kgCF}_4/\text{kA min})/(\text{kg Al /kA min}) \times (1000\text{kg/t}) \times (\text{p/EC}) \times \text{EFA} \times \text{DEA},$$

ou seja, a quantidade de CF_4 emitida por tonelada de alumínio produzido depende da quantidade de CF_4 e de alumínio formados em cada minuto de kiloampere, da porcentagem (p) de CF_4 produzida no efeito anódico, da eficiência da corrente na produção de alumínio (EC), do número de efeitos anódicos por dia (EFA) e da duração do efeito anódico, em minutos (DEA).

Tabela 43 – Fatores de emissão de PFCs para o Brasil, fornecidos pela ABAL

Ano / Tecnologia	Produção Primária de Alumínio (t)	Emissões de CF_4 (kg/t de alumínio produzido)	Emissões de C_2F_6 (kg/t de alumínio produzido)
1994			
Soderberg	384.743	0,46	0,046
<i>Prebaked Anode</i>	799.931	0,21	0,021
Total	1.184.674		
1995			
Soderberg	390.378	0,40	0,040
<i>Prebaked Anode</i>	797.729	0,17	0,017
Total	1.188.107		
1996			
Soderberg	402.918	0,31	0,031
<i>Prebaked Anode</i>	794.520	0,13	0,013
Total	1.197.438		
1997			
Soderberg	404.193	0,24	0,024
<i>Prebaked Anode</i>	784.862	0,23	0,023
Total	1.189.055		

Notas:

- 1) A geração de C_2F_6 é 1/10 da geração total de CF_4 ;
- 2) Fonte: Produtores de alumínio primário (ABAL).

? Cálculo das emissões

Tabela 44 – Resultados obtidos na estimação das emissões de PFCs no Brasil

Ano / Tecnologia	Produção Primária de Alumínio (t)	Emissões totais de CF ₄ (kg)	Emissões totais de C ₂ F ₆ (kg)
1990*			
Soderberg	378.900	174.294	17.429
<i>Prebaked Anode</i>	551.700	115.857	11.586
Total	930.600	290.151	29.015
1991*			
Soderberg	407.400	187.404	18.740
<i>Prebaked Anode</i>	732.200	153.762	15.376
Total	1.139.600	341.166	34.116
1992*			
Soderberg	409.300	188.278	18.828
<i>Prebaked Anode</i>	784.000	164.640	16.464
Total	1.193.300	352.918	35.292
1993*			
Soderberg	385.500	177.330	17.733
<i>Prebaked Anode</i>	786.500	165.165	16.517
Total	1.172.000	342.495	34.250
1994			
Soderberg	384.743	176.982	17.698
<i>Prebaked Anode</i>	799.931	167.986	16.799
Total	1.184.674	344.967	34.497
1995			
Soderberg	390.378	156.151	15.615
<i>Prebaked Anode</i>	797.729	135.614	13.561
Total	1.188.107	291.765	29.176
1996			
Soderberg	402.918	124.905	12.490
<i>Prebaked Anode</i>	794.520	103.288	10.329
Total	1.197.438	228.192	22.819
1997			
Soderberg	404.193	97.006	9.701
<i>Prebaked Anode</i>	784.862	180.518	18.052
Total	1.189.055	277.525	27.753

* Apenas para se ter uma idéia das emissões realizadas no período de 1990 a 1993, foram utilizados os índices do ano de 1994 pois, até essa data, esses cálculos não haviam sido realizados.

2.3.3.3 Outras emissões da produção de alumínio: NO_x e CO

? Metodologia

As emissões de NO_x e CO, de acordo com o IPCC (1997), devem ser estimadas a partir dos dados de produção de alumínio, multiplicando-se esse valor por um fator de emissão fornecido pelo IPCC (1997), de acordo com a tabela abaixo:

Tabela 45 – Fatores de emissão de NO_x e CO na produção de alumínio primário

Gás	Processo	Fator de Emissão (kg /t alumínio produzido)
NO _x	Eletrólise	2,15
	Cozimento do anodo	0,0
CO	Eletrólise	135
	Cozimento do anodo	400

? Cálculo das emissões

As emissões referentes ao cozimento do anodo estão presentes apenas no processo *Prebaked Anode*, onde os anodos são preparados previamente; quanto às emissões referentes à eletrólise, este é o caso de ambos os processo de produção.

Tabela 46 – Emissões de NO_x e CO

Ano	Produção de alumínio primário			Emissões de NO _x			Emissões de CO		
	Soderb.	<i>Prebaked Anode</i>	Total	Soderb.	<i>Prebaked Anode</i>	Total	Soderb.	<i>Prebaked Anode</i>	Total
1990	378.900	551.700	930.600	815	1.186	2.001	51.152	295.160	346.311
1991	407.400	732.200	1.139.600	876	1.574	2.450	54.999	391.727	446.726
1992	409.300	784.000	1.193.300	880	1.686	2.566	55.256	419.440	474.696
1993	385.500	786.500	1.172.000	829	1.691	2.520	52.043	420.778	472.820
1994	384.743	799.931	1.184.674	827	1.720	2.547	51.940	427.963	479.903
1995	390.378	797.729	1.188.107	839	1.715	2.554	52.701	426.785	479.486
1996	402.918	794.520	1.197.438	866	1.708	2.574	54.394	425.068	479.462
1997	404.193	784.862	1.189.055	869	1.687	2.556	54.566	419.901	474.467

Unidade: t

2.4 Produção e consumo de halocarbonos e hexafluoreto de enxofre (HFCs, PFCs e SF₆)

Fontes e Autores:

Roberto de Aguiar Peixoto

Cândido Souza Lomba Neto

2.4.1 Emissões na produção de HFCs

As emissões de HFCs devido à produção de halocarbonos podem ser devidas a fugas existentes durante a produção de HFCs ou a emissão de HFCs produzidos como produtos secundários e que são emitidas para a atmosfera.

Como no Brasil não tem havido produção de HFCs, a emissão que em ocorre é a de HFC-23 durante a produção de HCFC-22. Das duas empresas que têm produzido HCFC-22 no Brasil, uma delas encerrou suas atividades nesse setor, no país, em 1994. A tabela a seguir apresenta as emissões de HFC-23 geradas a partir da produção de HCFC-22. Estima-se que a quantidade de HFC-23 que é emitida desta forma é igual a 4% da produção de HCFC-22 (U.S. EPA, 1994).

Tabela 47 – Emissão de HFC-23 devido à produção de HCFC-22

Ano	Produção de HCFC-22 (t)	Emissão de HFC-23 (t)
1990	3.006	120,24
1991	3.438	137,52
1992	4.090	163,60
1993	4.307	172,28
1994	3.915	156,60
1995	3.826	153,04
1996	2.226	89,04
1997	2.383	95,32

Fonte: PROZON (1999).

2.4.2 Emissões no consumo de HFCs, PFCs e SF₆

? Introdução

Na última década, diversos setores industriais estiveram envolvidos em um grande movimento de discussão e avaliação dos seus impactos ambientais devido à proteção da camada de ozônio e à eliminação das *Substâncias Destruidoras da Camada de Ozônio - SDOs*⁴ que originou e ainda vai gerar diversas modificações nos projetos dos seus produtos e equipamentos, nos processos de fabricação e procedimentos de manutenção.

Em 1985, a primeira evidência da destruição da camada de ozônio veio com o relato do buraco na camada de ozônio na Antártica. Em 1987 um tratado internacional, o Protocolo de Montreal, foi estabelecido para o controle do uso de SDOs, com uma proposta de 50% de redução do consumo em 1998 para países desenvolvidos. O Protocolo foi substancialmente fortalecido em 1990 (Londres), com 100% de eliminação CFCs em 2000, e em 1992 (Copenhague), com 100% de eliminação dos CFCs e HCFCs em 1996 e 2030, respectivamente. Em Viena (1995) o controle sobre os HCFCs se tornou mais rígido com 99,5% de eliminação até 2020. Essas datas foram estabelecidas para os países denominados desenvolvidos, sendo que os países em desenvolvimento têm um prazo adicional de 10 anos. Os HCFCs têm uma eliminação posterior aos CFCs porque eles são removidos da atmosfera 5-10 vezes mais rápido que os CFCs, tendo, por isso, um menor potencial de destruição da camada de ozônio (PDO).

Os hidrofluorcarbonos (HFCs) foram desenvolvidos nos anos 80 e 90 como substâncias alternativas aos CFCs e HCFCs. HFCs não contêm cloro e desta forma não destroem a camada de ozônio, mas contribuem para o aquecimento global.

Em refrigeração e condicionamento de ar, HFCs estão sendo utilizados como uma das principais alternativas, junto com outros fluidos refrigerantes. Os HCFCs estão sendo usados em algumas aplicações, mas apenas como “substâncias de transição”, uma vez que deverão ser finalmente eliminados devido ao seu potencial de destruição de ozônio.

Nos usos de CFCs e HCFCs nas instalações de refrigeração e ar condicionado existentes, a conversão, recuperação, reciclagem e prevenção de vazamentos são ações importantes para a redução das emissões a curto prazo.

⁴ SDOs - conhecidas na linguagem do Protocolo de Montreal como “substâncias controladas” são substâncias destruidoras da camada de ozônio. Compreendem CFCs, halons, HBFCs, tetracloreto de carbono, metil clorofórmio e HCFCs.

Na indústria de fabricação de espumas plásticas, os CFCs têm sido usados como agentes de expansão tanto para espumas rígidas (isolamento) quanto para espumas flexíveis (estruturais). Vários agentes de expansão alternativos estão agora em amplo uso, incluindo HCFCs, hidrocarbonetos, HFCs, cloreto de metileno, dióxido de carbono e água.

No setor de solventes, várias SDO têm sido usadas como agentes de limpeza, incluindo CFC-113, tetracloreto de carbono e metil clorofórmio. Eles estão sendo substituídos de várias maneiras. Alternativas, tais como álcoois, terpenos e água, são comprovadamente efetivas em muitas necessidades industriais. Na indústria eletrônica, novas técnicas tornaram possível eliminar a necessidade de limpeza em algumas operações.

Os CFCs 11 e 12 foram amplamente utilizados como propelentes em latas de spray aerossol, sendo que em muitos países esse uso já foi quase que totalmente interrompido.

Propelentes alternativos, tais como hidrocarbonetos, estão substituindo todos os antigos usos de CFCs.

HFCs e PFCs têm sido utilizados como substituição aos halons para o combate ao fogo, mas representam uma pequena parcela das substâncias alternativas em uso. Na maioria das aplicações, halons têm sido substituídos por espuma, dióxido de carbono ou até mesmo água. Novas névoas de água em alta pressão estão sendo desenvolvidas para o combate a incêndios com óleos e gasolina. Gases inertes, tais como argônio e nitrogênio, são alternativas para aplicações em que as outras soluções têm sérias desvantagens. Os halons existentes em equipamentos de combate ao fogo estão sendo recolhidos e estocados em bancos de halons para impedir emissões para a atmosfera e para estarem disponíveis para “usos essenciais”⁵, como decidido sob o Protocolo de Montreal. Em termos globais, mas considerando fundamentalmente os países desenvolvidos, apenas 20% das aplicações de halons foram substituídas por HFCs e menos de 1% por PFCs. Essas proporções podem ser menores em determinados países, dependendo do tipo de uso e dos riscos a serem protegidos.

HFCs são substitutos importantes para os halons em áreas ocupadas onde espaço e peso são restrições ou a velocidade de extinção do fogo é importante. O crescimento do uso de HFCs está limitado pelos custos elevados do sistema comparativamente com outras alternativas. PFCs não são tecnicamente necessários, exceto em circunstâncias muito raras. As práticas de conservação de halons que foram desenvolvidas e implementadas devido às

⁵ Usos essenciais são definidos como aplicações necessárias de SDO onde não existem ainda uma alternativa tecnológica passível de adoção.

restrições do Protocolo de Montreal são agora aplicadas aos sistemas com HFCs.

Prevê-se que as emissões de HFC devido aos sistemas de combate ao incêndio sejam 0,3% de todas emissões de HFCs no ano 2010, representando 0,006% das emissões de gases de efeito estufa.

O uso de SDOs, CFC-113 e 1,1,1 tricloroetano, como solventes, foi substituídos nos países Artigo 5(1)⁶ por três alternativas básicas: *No-clean*, soluções aquosas ou semi-aquosas e solventes orgânicos. Estima-se que 90% dos solventes SDOs foram eliminados por essas alternativas ou outras constituídas por tecnologias não convencionais. Os solventes orgânicos representam os 10% restantes.

? Metodologia

De uma forma geral, podem-se dividir as metodologias para estimativa de HFCs em dois grupos: um envolvendo os setores de espumas, aerossóis, extintores de incêndio e solventes; e um outro envolvendo o setor de refrigeração e ar-condicionado.

Para o primeiro grupo, o IPCC (1997) apresenta metodologias simples que podem apresentar bons resultados a partir de algumas informações de mercado. No caso brasileiro, não têm ocorrido, até o momento, utilização e, conseqüentemente, emissões significativas de HFCs nesses setores. Para a estimativa futura de emissões, com o início de utilização de HFCs em algumas aplicações, será necessária uma monitoração da comercialização e do uso de HFCs. Isso pode ser feito através da estrutura que foi desenvolvida para a elaboração do Programa Brasileiro de Eliminação da Produção e do Consumo das Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio - PBCO (PROZON, 1999). Essa estrutura é baseada nos contatos e na participação das associações industriais setoriais.

Com relação ao segundo grupo, que compreende o setor de refrigeração e ar-condicionado, as características são mais complexas em termos de diversidade de aplicações e usos. As metodologias do IPCC (1997) para a estimativa de emissões de fluidos de refrigerantes HFCs refletem essa complexidade.

Para este grupo, além da mesma necessidade de monitoração, cabem também algumas observações adicionais com relação às metodologias sugeridas pelo IPCC. Elas diferem

⁶ Países Artigo 5(1) na denominação do Protocolo de Montreal são países em desenvolvimento que consumiam e consomem menos de 0,3 kg de substâncias controladas per capita por ano. Eles são chamados “países do Artigo 5”, porque a sua situação é definida no Artigo 5 do texto do Protocolo de Montreal.

pelo grau de detalhamento e pelas informações necessárias para o cálculo das emissões. Em princípio, um maior nível de detalhamento pode conduzir a uma maior precisão nos resultados, ou seja, em uma melhor estimativa dos valores de emissões. No entanto uma questão importante a ser considerada é a relação custo-benefício envolvida nessa atividade. Um maior grau de precisão, necessário ou pretendido, para as estimativas, deve-se traduzir em um custo maior na obtenção das informações necessárias. Por ora tais informações não estão totalmente disponíveis no Brasil.

Portanto, como o uso de HFC no país é ainda pequeno, a metodologia simples, *TIER 1*, permite uma estimativa do potencial de emissões existente:

$$\text{Potencial de Emissões} = \text{Produção} + \text{Importação} - \text{Exportação} - \text{Destruição}$$

Essa forma é a mais simples e denominada *TIER 1a*. A opção *TIER 1b*, incluiria nos cálculos as quantidades de gases contidas em produtos importados e exportados, o que não foi feito por falta de informações, embora se considere pouco relevante no caso brasileiro.

? Cálculo das emissões

O único setor em que tem havido uso de HFCs no Brasil é o de Refrigeração e Ar Condicionado.

Tabela 48 – Estimativa de consumo de fluidos refrigerantes HFCs

Ano	HFC-134a	R-401A (HCFC-22 – 55%; HFC-152a – 12%; HCFC-124 – 34%)	R-402 ^A (HCFC-22 – 38%; HFC-125 – 60%; HC-290 – 2%)	R-404A (HFC-143a – 52%; HFC-125 – 44%; HFC-134a – 4%)	R-409A (HCFC-22 – 60%; HFC-142b – 15%; HCFC-124 – 25%)
1994	125				
1995	250	3		5	
1996	650	4		16	
1997	1.050	6	3	20	0,5
1998	1.500	10	5	30	1,0
1999	1.850	10	7	50	2,0

Unidade: t

Fonte: PROZON (1999).

A partir da Tabela 48 pode ser calculado o consumo dos componentes básicos das misturas refrigerantes, resultando a Tabela 49.

Tabela 49 – Consumo dos HFCs básicos

Ano	HFC-125	HFC-134a	HFC-142b	HFC-143a	HFC-152a
1994		125,0			
1995	2,2	250,2		2,6	0,4
1996	7,0	650,6		8,3	0,5
1997	10,6	1.050,8	0,1	10,4	0,8
1998	16,2	1.501,2	0,2	15,6	1,3
1999	26,2	1.852,0	0,3	26,0	1,3

Unidade: t

Considerando que o consumo apresentado na Tabela 49 se refere à importação e que não houve neste período produção, exportação ou destruição, chega-se, usando a metodologia *TIER 1*, aos potenciais de emissões mostrados na Tabela 50.

Tabela 50 – Potenciais de emissões de HFCs para os períodos 1990-1994 e 1995-1999

Gás	Período 1990-1994	Período 1995-1999
HFC-125		62,2
HFC-134a	125,0	5.304,8
HFC-142b		0,5
HFC-143a		62,9
HFC-152a		4,3

Unidade: t

2.5 Outras produções

Fontes e Autores:

Indústria de papel e celulose

Associação Brasileira de Celulose e Papel – BRACELPA

Alimentos e bebidas alcoólicas

Associação Brasileira de Bebidas – ABRABE

Associação Brasileira das Indústrias da Alimentação – ABIA

União Brasileira de Vitivinicultura – UVIBRA

2.5.1 Indústria de papel e celulose

A produção de papel e pasta de celulose possuem três fases principais: a polpação, o branqueamento e a produção de papel. O tipo de polpação e a quantidade de branqueamento usados dependem da natureza da matéria-prima e a qualidade desejada do produto final. A polpação do tipo *kraft* (sulfato) é o processo mais largamente utilizado, sendo tipicamente usado para produzir produtos mais fortes de papel. O processo de polpação do tipo *kraft* inclui o branqueamento, a recuperação química e a recuperação de subprodutos.

Polpação sulfito é um outro processo de polpação química. Ele produz um papel mais fraco do que alguns outros tipos de polpação mas a polpa fica menos colorida, reduzindo a quantidade de branqueamento e tornando-o mais adequado à impressão.

2.5.1.1 Estrutura da indústria no Brasil

O setor é altamente globalizado, demandante de capital intensivo e longo prazo de maturação financeira, sendo composto por 220 empresas que operam 255 unidades industriais localizadas em 16 estados brasileiros.

2.5.1.2 Grau de integração

Segundo as estatísticas da Associação Brasileira de Celulose e Papel (BRACELPA), que cobrem um universo de empresas responsável por 98% da produção, os níveis de integração industrial apresentam-se conforme a seguinte tabela:

Tabela 51 – Níveis de integração industrial no setor de celulose e papel

Nível de Integração	Nº de Empresas
Pastas, celulose e papel	03
Pastas e papel	27
Celulose e papel	23
Pastas	23
Celulose	05
Papel	139

2.5.1.3 Capacidade instalada e mão-de-obra

Em 1997 a capacidade instalada do setor situava-se em 7,5 milhões de toneladas de papel e 7,1 milhões toneladas de celulose/pastas. O nível de utilização no exercício foi de 86% e 89% respectivamente, para papel e celulose/pastas.

2.5.1.4 Situação do setor internacional

Segundo a bibliografia especializada, o Brasil ocupava em 1997 o sétimo lugar na produção mundial de celulose e o décimo segundo na de papel. O setor conta com alto nível de capacitação técnica e investe continuamente na utilização e expansão de seu parque produtivo.

2.5.1.5 Matéria-prima

O setor conta com $1,4 \times 10^6$ hectares de florestamentos próprios, principalmente eucalipto (62%) e pinus (35%), sendo o restante de outras espécies. A produção de celulose é exclusivamente feita a partir de madeira oriunda de florestas plantadas, nas quais se incorporam modernas técnicas silviculturais, e de manejo florestal sustentável.

A produtividade média é de 46 metros cúbicos estéreos/ha/ano para o eucalipto e 34 metros cúbicos estéreos/ha/ano para pinus. Esforços vêm sendo feitos para dobrar essas taxas nas próximas décadas. As práticas florestais do setor superam as exigências do código florestal brasileiro. Dados preliminares indicam que as empresas consumiram, em 1997, cerca de 2,2 milhões de toneladas de papéis recicláveis

2.5.1.6 Meio ambiente e energia

Em levantamento efetuado no início de 1997 pelo grupo de trabalho de proteção e melhoria do meio ambiente da BRACELPA, referente a indicadores de desempenho ambiental sobre um universo de 11 unidades industriais que representavam, em relação ao ano de 1996, 78,5% da produção anual de celulose e 90% do volume exportado, verificaram-se os seguintes valores médios para o lançamento de efluentes hídricos:

Captação: 65,3 m³/tcsa*

DBO: 2,05 kg/tcsa

DQO: 14,12 kg/tcsa

TSS: 3,1 kg/tcsa

AOX: 0,44 kg / tcsa

* tcsa - tonelada de celulose seca ao ar

Tais valores são considerados muito bons no contexto da bibliografia internacional.

As emissões de efluentes aéreos, em termos de valores médios em relação ao material particulado e emissões de compostos de enxofre reduzido, mostram-se também bastante enquadradas nos padrões internacionais. Tais emissões, a partir das caldeiras de recuperação, caldeiras de força, tanques de dissolução de fundidos e fornos de cal, constituem-se nas principais fontes de poluição da indústria de celulose.

Quanto à energia total consumida, incluindo a despendida em plantas químicas e outras atividades, além da produção de papel e celulose, apresenta no citado levantamento um valor médio de 32 GJ/tcsa, com extensiva utilização de combustíveis de origem renovável.

2.5.1.7 Fontes de celulose e processos de obtenção

A madeira proveniente de florestas plantadas é a matéria-prima mais importante de toda a cadeia produtiva para a fabricação de papel.

A preparação da pasta celulósica para papéis e outras finalidades consiste na separação das fibras dos demais componentes da madeira, principalmente a lignina, que confere rigidez à madeira.

Alguns tipos de madeira, tais como pinho e araucária, possuem fibras longas (3 a 5 mm), enquanto que as de eucalipto possuem fibras mais curtas e finas (0,8 a 1,2 mm). As do

primeiro grupo são denominadas coníferas ou *softwood* (madeira macia), enquanto as do segundo grupo são conhecidas por folhosas ou *hardwood* (madeira dura). Existem diferentes fontes e processos de preparação de pastas celulósicas, que por sua vez produzem pastas com características diversas, conforme apresentado a seguir.

2.5.1.8 Processos de preparação da pasta celulósica e emissões de gases de efeito estufa

Os processos de preparação da pasta celulósica são muitos e variam desde os puramente mecânicos até os químicos, nos quais a madeira é tratada com produtos químicos, pressão e calor (temperaturas maiores que 150°C) para dissolver a lignina. Entretanto, como o objetivo é a estimativa das emissões de gases de efeito estufa, serão considerados neste relatório apenas os processos químicos relevantes quanto àquelas emissões.

De acordo com o IPCC (1997), os principais processos de preparação de pasta celulósica são:

1. **Processo Químico - Kraft:** em que a madeira, sob a forma de cavacos, é tratada em vasos de pressão (i.e. digestores) com soda cáustica (NaOH) e sulfeto de sódio (Na₂S) para dissolver a lignina que liga as fibras de celulose. Este tipo é bastante utilizado na produção de papéis cuja característica desejada seja resistência (i.e. sacos de cimento, sacolas de supermercado etc). Os fatores de emissão são baseados na produção de polpa seca ao ar, conforme a seguinte tabela:

Tabela 52 - Fatores de emissão de não-combustão para a produção de polpa e papel pelo processo *kraft*

Poluente	Fator de emissão (default)	Fator de emissão (intervalo)
NO _x	1,5	0,017 - 1,5
NMVOG	3,7	0,1 - 4,9
CO	5,6	N.D.

Unidade: kg/tcsa

N.D. - não disponível

IPCC, 1997.

2. **Processo Químico - Sulfito:** processo em que os cavacos são cozidos em digestores com um licor ácido, preparado com compostos de enxofre e uma base (i.e. $\text{Ca}[\text{OH}]_2$, NaOH , NH_4OH , etc.). Esse processo, que era muito utilizado para a confecção de papéis para imprimir e escrever, tem sido substituído pelo processo sulfato, devido à dificuldade de recuperação dos produtos químicos e problemas de poluição das águas. É similar ao *kraft*, exceto pelo fato de que uma solução sulfurosa é utilizada na dissolução da lignina da madeira.

Além desses, existem variações que também são usadas no Brasil:

3. **Processo Químico - Sulfato:** nesse processo são utilizados os mesmos produtos químicos do *kraft*. Entretanto, empregam-se maiores dosagens de sulfeto (Na_2S) e soda, além de o cozimento ser feito por mais tempo e a temperaturas mais elevadas. Esse é o processo mais utilizado no Brasil e é considerado o mais adequado para a obtenção de pastas químicas provenientes de eucalipto, em razão de preservar a resistência das fibras e, ao mesmo tempo, dissolver a lignina. Neste relatório foram usados os mesmos fatores de emissão do *kraft*, mostrados na Tabela 52.

4. **Processo Químico - Soda:** neste processo, o licor de cozimento é composto apenas de carbonato de sódio (Na_2CO_3), livre de enxofre. Nesse caso, são utilizados os padrões de emissão para o processo *kraft*, com exceção dos compostos reduzidos de enxofre, que se tornam insignificantes.

2.5.1.9 Histórico dos dados de produção

A Tabela 53 apresenta os dados relativos à produção e venda de celulose no Brasil no período de 1990 a 1996 e a Tabela 54, tais dados em relação ao papel produzido e vendido.

Tabela 53 – Produção e venda de celulose no Brasil, de 1990 a 1996

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Produção							
Fibra Longa							
branqueada	216.703	224.820	239.486	301.090	289.032	261.849	221.520
não-branqueada	957.753	987.644	1.022.833	1.056.322	1.074.205	1.149.656	1.123.827
Fibra Curta							
branqueada	2.377.540	2.794.642	3.246.655	3.351.528	3.729.049	3.760.118	4.098.038
não-branqueada	362.692	339.414	361.593	301.248	283.985	271.319	292.793
P.A.R.	436.455	431.596	431.777	460.742	452.599	492.965	465.257
TOTAL	4.351.143	4.778.116	5.302.344	5.470.930	5.828.870	5.935.907	6.201.435
Vendas Domésticas							
Fibra Longa							
branqueada	70.210	78.535	82.201	85.078	93.055	84.002	64.177
não-branqueada	38.518	29.714	23.701	21.887	18.365	12.188	24.290
Fibra Curta							
branqueada	488.096	544.904	511.885	477.341	561.637	559.010	577.060
não-branqueada	23.921	18.212	20.735	20.708	25.779	26.004	27.457
P.A.R.	56.611	47.381	54.168	48.039	57.175	66.784	63.502
TOTAL	677.356	718.746	692.690	653.053	756.011	747.988	756.486
Vendas Externas							
Fibra Longa							
branqueada	89.515	82.614	99.822	141.829	105.546	72.383	72.950
não-branqueada	466	356	358	170	728	1.643	546
Fibra Curta							
branqueada	981.882	1.264.175	1.566.039	1.856.093	1.906.385	1.738.951	2.196.595
não-branqueada	11.969	12.494	14.296	10.296	19.253	20.276	18.364
P.A.R.	7.445	8.670	7.472	4.045	4.563	5.278	5.674
TOTAL	1.091.277	1.368.309	1.687.987	2.012.433	2.036.475	1.838.531	2.294.129

Unidade: t

Fonte: Associação Brasileira de Celulose e Papel - BRACELPA

Tabela 54 – Produção e venda de papel no Brasil, de 1990 a 1996

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Produção							
Papel de imprensa	246.400	253.097	237.453	275.823	263.890	294.893	277.293
Papel de impressão	931.531	995.701	1.110.307	1.398.947	1.653.647	1.643.097	1.667.171
Papel de escrever	357.732	378.841	286.650	239.943	171.003	158.736	139.550
Papel de embalagem	2.184.300	2.229.720	2.204.420	2.283.918	2.441.469	2.509.918	2.799.751
Papéis sanitários	403.712	419.257	442.382	444.694	428.844	466.177	549.696
Cartões e cartolinas	470.038	509.838	502.215	538.442	561.705	588.457	596.702
Papéis especiais	122.078	127.659	117.411	119.273	133.039	136.948	138.244
TOTAL	4.715.791	4.914.113	4.900.838	5.301.040	5.653.597	5.798.226	6.168.407
Consumo Próprio							
Papel de imprensa	0	0	0	0	0	0	0
Papel de impressão	13.725	5.640	8.001	3.280	3.872	2.836	2.186
Papel de escrever	14.599	18.405	20.019	26.129	17.339	15.236	18.077
Papel de embalagem	625.716	712.606	675.414	987.464	1.016.415	1.056.074	1.192.864
Papéis sanitários	126	78	56	1.022	38	0	0
Cartões e cartolinas	4.139	4.258	4.937	5.025	9.256	7.055	6.086
Papéis especiais	12.599	13.490	11.372	12.652	15.968	16.496	19.982
TOTAL	670.904	754.477	719.799	1.035.572	1.062.888	1.097.697	1.239.195
Vendas Domésticas							
Papel de imprensa	229.972	232.656	218.072	248.408	245.992	267.858	243.917
Papel de impressão	549.669	642.840	607.185	763.628	897.055	945.306	971.408
Papel de escrever	228.262	217.522	161.241	139.124	119.034	111.172	100.005
Papel de embalagem	1.065.192	1.110.412	1.007.215	918.119	1.009.847	1.008.929	1.247.717
Papéis sanitários	388.922	411.009	424.170	414.084	390.780	430.396	516.849
Cartões e cartolinas	386.733	422.233	406.049	460.061	504.871	522.210	534.306
Papéis especiais	101.623	106.700	98.727	96.303	103.790	105.219	104.011
TOTAL	2.950.373	3.143.372	2.922.659	3.039.727	3.271.369	3.391.090	3.718.213
Vendas Externas							
Papel de imprensa	16.668	8.328	23.891	23.152	16.113	15.476	19.690
Papel de impressão	367.544	331.952	495.530	610.010	808.602	675.025	669.538
Papel de escrever	110.328	152.876	113.469	77.321	36.468	24.433	20.600
Papel de embalagem	390.944	439.906	526.754	417.534	449.196	367.123	381.248
Papéis sanitários	10.058	6.000	12.933	21.168	38.720	30.821	26.203
Cartões e cartolinas	61.522	80.190	91.316	63.905	68.341	43.963	51.748
Papéis especiais	5.280	6.471	8.446	10.520	15.010	13.643	12.611
TOTAL	962.344	1.025.723	1.272.339	1.223.610	1.432.450	1.170.484	1.181.638

Unidade: t

A Tabela 55, por sua vez, apresenta a produção brasileira de pastas de celulose para os anos de 1990 a 1996, por tipo de processo produtivo.

Tabela 55 – Produção brasileira de pastas de celulose por tipo de processo produtivo

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Celulose Química	3.843.747	4.275.509	4.795.270	4.958.204	5.342.744	5.409.057	5.694.822
Sulfato	3.593.547	4.018.086	4.512.600	4.723.283	5.127.981	5.190.912	5.481.647
Soda	218.989	225.286	252.447	210.287	188.304	194.928	194.872
Sulfito	22.386	22.153	21.956	16.448	19.331	20.106	18.303
Cal	8.825	9.984	8.267	8.186	7.128	3.111	
Celulose Semiquímica	70.941	71.011	75.297	51.984	33.527	33.885	41.356
Sulfito Neutro	10.281	12.759	10.498	10.196	3.522	697	2.205
Soda	45.083	40.856	48.377	28.898	27.225	30.522	36.825
Cal	15.577	17.396	16.422	12.890	2.780	2.666	2.326
Pastas de Alto Rendimento	436.455	431.596	431.777	460.742	452.599	492.965	465.257
Mecânica	338.161	331.146	312.714	316.185	307.663	313.709	297.419
Quimimecânica	6.748	5.526	7.676	8.772	6.415	1.408	
Termomecânica	88.564	93.465	80.560	82.452	89.722	106.681	100.260
Quimitermo-mecânica	2.982	1.459	30.827	53.333	48.799	71.167	67.578
Total	4.351.143	4.778.116	5.302.344	5.470.930	5.828.870	5.935.907	6.201.435

Unidade: t

2.5.1.10 Cálculo das emissões de gases de estufa

O único dos processos utilizados no Brasil na produção de pasta de celulose para os quais o IPCC apresenta fatores de emissão é o processo sulfato (*kraft*), que no entanto representava 88% da produção em 1996. Aplicando-se os fatores de emissão *default* da Tabela 52 à produção do respectivo processo apresentado na Tabela 55, obtêm-se finalmente as emissões de gases de efeito estufa do setor, discriminadas na Tabela 56.

Tabela 56 – Emissões de gases de efeito estufa relativas à produção de celulose no Brasil

Gás	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
NOx	5.390	6.027	6.769	7.085	7.692	7.786	8.222
NMVOc	13.296	14.867	16.697	17.476	18.974	19.206	20.282
CO	20.124	22.501	25.271	26.450	28.717	29.069	30.697

Unidade: t

2.5.2 Alimentos e bebidas

2.5.2.1 Bebidas alcoólicas

Durante a utilização de cereais e frutas nos processos de fermentação há a emissão de compostos orgânicos voláteis não metânicos, conhecidos pela sigla em inglês NMVOC (*non methanic volatile organic compounds*). Para se conhecer as emissões de NMVOC, a taxa de atividade, ou seja, a produção total anual, é multiplicada por fatores de emissão, que são apresentados na Tabela 57, de acordo com o IPCC (1997).

Tabela 57 – Fatores de emissão para a produção de bebidas alcoólicas

Bebida	Fator de emissão
Vinho	0,08
Cerveja	0,035
Destilados	15

Unidade: kg/hL

Tabela 58 – Produção brasileira de bebidas

Bebida	Produção				
	1990	1991	1992	1993	1994
Vinho ¹	308.954	293.005	277.056	261.107	245.158
Cerveja ²	5.499.000	5.786.000	4.966.000	5.145.000	6.088.000
Destilados (cachaça) ³	1.125.000	1.080.000	1.035.000	1.080.000	1.035.000

Unidade: 1000L

¹UVIBRA;

²ABIA (1999);

³ABRABE.

As emissões do setor estão apresentadas na Tabela 59 a seguir.

Tabela 59 – Emissões de NMVOC da indústria de bebidas

Bebida	Emissões de NMVOC				
	1990	1991	1992	1993	1994
Vinho	247	234	222	209	196
Cerveja	1.925	2.025	1.738	1.801	2.131
Destilados (cachaça)	168.750	162.000	155.250	162.000	155.250
Total	170.922	164.260	157.210	164.010	157.577

Unidade: t

2.5.2.2 Produção de pães e outros alimentos

O gás precursor relevante emitido durante a produção de alimentos é o NMVOC. Excluídos estão os processos de extração de óleos vegetais (ver item 3.6) e bebidas alcoólicas (ver item 2.5.2.1)

Tabela 60 – Fatores de emissão para a produção de alimentos

Processo de produção de alimentos	Fator de emissão
Carnes, peixes e aves	0,3
Açúcar	10
Margarinas e gorduras sólidas para cozinha	10
Bolos, biscoitos e cereais matinais	1
Pães	8
Rações animais	1
Torrefação de café	0,55

Unidade: kg/t

Tabela 61 – Produção brasileira de alimentos

Alimentos	Produção				
	1990	1991	1992	1993	1994
Carnes, peixes e aves	7.010	7.635	7.981	8.511	8.821
Açúcar	9.342	9.607	10.647	10.164	10.372
Margarinas e gorduras sólidas para cozinha	356	336	314	304	366
Bolos, biscoitos e cereais matinais	580	676	600	665	742
Pães	3.548	3.612	3.587	3.587	3.712
Rações animais	8.258	8.613	8.639	8.998	9.832
Torrefação de café	394	408	427	437	446

Unidade: 1000t.

As emissões do setor estão apresentadas na Tabela 62 a seguir.

Tabela 62 – Emissões NMVOC da produção de pães e outros alimentos

Alimentos	Emissões NMVOC				
	1990	1991	1992	1993	1994
Carnes, peixes e aves	2.103	2.291	2.394	2.553	2.646
Açúcar	93.420	96.070	106.470	101.640	103.720
Margarinas e gorduras sólidas para cozinha	3.560	3.360	3.140	3.040	3.660
Bolos, biscoitos e cereais matinais	580	676	600	665	742
Pães	28.384	28.896	28.696	28.696	29.696
Rações animais	8.258	8.613	8.639	8.998	9.832
Torrefação de café	217	224	235	240	245
Total	136.522	140.130	150.174	145.833	150.542

Unidade: t

3 Uso de Solventes e Outros Produtos

Fontes e Autores:

Jacques Gruman

Rachmiel M. Litewski

? Introdução

Neste capítulo são apresentadas as séries de emissões NMVOC (*non methanic volatile organic compounds*) provenientes do uso de solventes no Brasil, para o período 1990/96. Em alguns setores, as emissões podem eventualmente incluir o metano, sendo então representadas como VOC (*volatile organic compounds*).

Sempre que possível, os cálculos fugiram de correlações válidas exclusivamente para outros países. Cada item contém, a esse respeito, comentários elucidativos.

O presente texto pretende mostrar os resultados obtidos com o estudo dos subsetores recomendados pela metodologia CORINAIR (1996). Cabe, de antemão, destacar dois obstáculos à confiabilidade dos resultados alcançados. O primeiro é que, no Brasil, são freqüentemente precários os dados e séries estatísticos, o que é particularmente sério quando se trabalha com níveis complexos de desagregação de informações. O segundo é reconhecido

na metodologia utilizada: mesmo em países com tradição na medição de emissões (o que não se aplica ao Brasil), o grau de incerteza relacionado aos resultados finais é elevado.

São analisados nove subsetores, a saber:

- Aplicação de tintas
- Desengraxe de metais
- Limpeza a seco
- Processamento de espumas de polietireno e de poliuretano
- Indústria de impressão
- Extração de óleos vegetais comestíveis
- Uso doméstico
- Aeração de asfalto
- Preservação de madeira

Os dados relativos às vendas internas e importações de produtos químicos foram extraídos do Anuário da ABIQUIM (1995 e 1997).

? Principais Emissões de NMVOC no Uso de Solventes

Seguindo a abordagem na metodologia, são enfocadas as seguintes atividades: Aplicação em Tintas, Desengraxe de Metais, Limpeza a Seco, Processamento de Espumas de Poliestireno e de Poliuretano, Indústria de Impressão, Extração de Óleos Vegetais Comestíveis, Uso Doméstico, Aeração de Asfalto e Preservação de Madeira .

A quantificação das emissões está, por sua vez, intimamente relacionada com a demanda doméstica dos solventes utilizados naquelas atividades (ou subatividades, quando for o caso). No Brasil, para a maioria das atividades acima descritas, verifica-se uma total ausência de dados estatísticos. Assim sendo, ao se abordar uma atividade específica que possa ter alguma relevância para o caso brasileiro, mesmo com a ausência de informações estatísticas, considera-se neste estudo, como primeira aproximação, os fatores de emissão *per capita* observados em um conjunto de países, aplicados à população economicamente ativa do Brasil (cuja série histórica foi obtida a partir de Anuários Estatísticos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE).

Não foram incluídas as atividades Aeração de Asfalto e Preservação de Madeira (uso de asfalto para construção/conserto de telhados e de agentes químicos para a preservação de

madeira, respectivamente), fundamentalmente pela inexistência de estatísticas internas e de fatores de emissão *per capita*, associado ao fato de haver, em princípio, uma pequena expressividade destas atividades no país.

3.1 Aplicação em tintas

Esta atividade é desagregada em quatro subatividades: produção de autoveículos; construção e edifícios; uso doméstico; e outras aplicações industriais.

a. Produção de autoveículos: A indústria brasileira de autoveículos apresenta uma participação significativa na formação do PIB nacional. Considerando que essa atividade é intensivamente consumidora de tintas (conseqüentemente de solventes) e que podem ser encontradas estatísticas de boa qualidade e em adequado nível de desagregação, foi possível quantificar as emissões delas derivadas.

A atividade **aplicação em tintas na produção de autoveículos** compreende o revestimento, incluindo-se a proteção contra corrosão. Para o cálculo das emissões nesta área é necessário o conhecimento das estatísticas de produção da indústria brasileira de autoveículos, a seguir apresentadas na Tabela 63.

Tabela 63 – Produção brasileira de autoveículos – 1990/1996

Categoria	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
AUTOMÓVEIS	663,1	705,3	815,9	1.100,3	1.248,8	1.297,4	1.458,6
Passageiros	267,5	292,9	338,3	391,6	366,8	270,6	245,2
Uso Misto	395,6	412,4	477,6	708,7	882,0	1.026,8	1.213,4
COMERCIAIS LEVES	184,8	182,7	201,6	224,4	251,0	239,4	279,6
Camionetas/Uso Misto	17,3	12,0	16,1	25,5	39,0	44,0	67,7
Utilitários	1,8	1,7	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2
Camionetas de Carga	165,7	169,0	185,1	198,6	211,8	195,2	211,7
COMERCIAIS PESADOS	66,6	72,3	56,3	66,8	81,5	92,1	66,0
Caminhões	51,6	49,3	32,0	47,9	64,1	70,5	48,7
Ônibus	15,0	23,0	24,3	18,9	17,4	21,6	17,3

Unidade: 1000 veículos.

ANFAVEA – Anuário Estatístico/1997.

A partir dos dados contidos em CORINAIR (1996), elaborou-se a Tabela 64 contendo os fatores de emissão em autoveículos, relevantes para esta subatividade.

Embora o manual considere que valores mais realistas possam ser obtidos quando os fatores de emissão são correlacionados com a área pintada, particularmente no caso da pintura de carros (pequenos e grandes), é mencionado que tais fatores são, essencialmente, para processos não controlados, *i. e.*, não considera as ações visando a redução das emissões, o que pode, eventualmente, sobredimensionar a quantificação.

Tabela 64 – Fatores de emissão correlacionados com a área pintada

Tipo de Autoveículo	Superfície Pintada (m ²)	Emissão de NMVOC (g/m ²)
Carro Pequeno	65	203 ⁽¹⁾
Carro Grande	117	277 ⁽¹⁾
Caminhão	171,5 ⁽²⁾	120
Vans	120	120
Ônibus	271,5 ⁽³⁾	500

CORINAIR (1996)

⁽¹⁾ Média aritmética dos fatores de emissão considerando pinturas com tintas sólida e metálica, cujos fatores de emissão são, respectivamente, para carros pequenos, 189 e 217 g/m² e, para carros grandes, 270 e 284 g/m² (cf. pág. B610-12 da fonte).

⁽²⁾ Somatório das áreas pintadas das distintas partes do caminhão (cf. pág. B610-13 da fonte):

Cabine: 60 – 75 m² por veículo ? área média pintada da cabine = 67,5 m² por veículo.

Carroceria: 80 m² por veículo.

Eixos: 4 – 8 m² por veículo ? área média pintada dos eixos = 6 m² por veículo.

Chassis: 11 – 25 m² por veículo ? área média pintada do chassis = 18 m² por veículo.

⁽³⁾ Somatório das áreas pintadas das partes do ônibus (cf. pág. B610-13 da fonte):

Corpo: 220 – 280 m² por veículo ? área média pintada do corpo = 250 m² por veículo.

Chassis: 18 – 25 m² por veículo ? área média pintada do chassis = 21,5 m² por veículo.

A partir da Tabela 63 e da Tabela 64, elaborou-se a Tabela 65, que indica a evolução das emissões de NMVOC no período 1990/1996 para a subatividade considerada.

Tabela 65 – Emissões de NMVOC - produção de autoveículos

Categoria	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
AUTOMÓVEIS							
Passageiros (1)	3.530	3.865	4.464	5.167	4.840	3.571	3.235
Uso Misto (2)	12.821	13.365	15.479	22.968	28.585	33.278	39.325
COMERCIAIS LEVES (3)	2.661	2.631	2.903	3.231	3.614	3.447	4.026
COMERCIAIS PESADOS							
Caminhões	1.062	1.015	659	986	1.319	1.451	1.002
Ônibus	2.036	3.122	3.299	2.566	2.362	2.932	2.348
Total do subsetor	22.110	23.998	26.803	34.918	40.720	44.679	49.937

Unidade: t

(1) Considerou-se o fator de emissão e área pintada para carros pequenos;

(2) Considerou-se o fator de emissão e área pintada para carros grandes;

(3) Considerou-se o fator de emissão e área pintada para vans.

b. Construção e edifícios: Refere-se ao uso de tintas em aplicações arquitetônicas por empresas de construção e pintores profissionais (pessoas jurídicas). Para a estimativa da quantificação das emissões de NMVOC nesta subatividade, será utilizado o fator de emissão médio *per capita* de 1,2 kg/capita/ano (média dos fatores de emissão observados na França, Holanda e Reino Unido), associado à evolução da população economicamente ativa (P.E.A.) no Brasil no período 1990/1996. Desta forma, a Tabela 66 apresenta a estimativa das emissões de NMVOC no Brasil no período 1990/1996 neste subsetor.

Tabela 66 – Emissões de NMVOC - construção e edifícios

Ano	P.E.A. (10 ⁶ hab.)	Emissões (t)
1990	56,8	68.160
1991	60,1*	72.120
1992	63,3*	75.960
1993	66,6	79.920
1994	68,1*	81.720
1995	69,6	83.520
1996	71,1*	85.320

* Estimado

c. Uso doméstico: Esta subatividade considera o uso de tintas em aplicações arquitetônicas por consumidores isolados (pessoas físicas). De modo análogo ao item b, este também será objeto de avaliação a partir do fator de emissão médio *per capita*, que é de 0,73 kg/capita/ano (média dos fatores de emissão observados na França, Holanda e Reino Unido), em associação com a evolução da população economicamente ativa (P.E.A.) no Brasil no período 1990/1996.

Tabela 67 – Emissões de NMVOC - uso doméstico

Ano	P.E.A. (10 ⁶ hab.)	Emissões (t)
1990	56,8	41.464
1991	60,1*	43.873
1992	63,3*	46.209
1993	66,6	48.618
1994	68,1*	49.713
1995	69,6	50.808
1996	71,1*	51.903

* Estimado

d. Outras aplicações industriais: De acordo com CORINAIR (1996), esta subatividade compreende a utilização de tintas na construção de navios, na manufatura de artigos metálicos, em produtos de madeira, na produção de artigos de plástico e no acabamento de veículos. A inexistência de dados estatísticos referentes ao consumo de tintas para as atividades que compreendem tal item e a ausência de um fator de emissão *per capita* nos fez adotar um procedimento alternativo de estimativa, ainda que preliminar, para a avaliação das emissões de NMVOC: determinação de um fator a partir da relação que leva em consideração a contribuição deste item nas emissões totais de NMVOC *vis-à-vis* a participação relativa da subatividade **a**, produção de autoveículos, nas emissões totais de NMVOC, ambas em 28 países. Essa relação, apresentada na Tabela 68, indica que a participação relativa deste item **d** nas emissões totais de NMVOC é 5,5 vezes mais do que aquela representada pela subatividade **a**.

Tabela 68 – Relação entre as emissões de NMVOC de “Outras Aplicações Industriais” com as da “Indústria Automobilística”, em 28 países

Subatividade	Contribuição nas Emissões Totais de NMVOC
a - Produção de autoveículos	0,6 %
d - Outras aplicações industriais	3,3 %
Fator da Relação (emis. d / emis. a)	5,5

Tabela 69 – Emissões de NMVOC – outras aplicações industriais

Ano	Emissões da Subatividade a (t)	Fator da Relação	Emissões da Subatividade d (t)
1990	22.114	5,5	121.605
1991	23.998	5,5	131.989
1992	26.803	5,5	147.415
1993	34.915	5,5	192.050
1994	40.726	5,5	223.962
1995	44.687	5,5	245.732
1996	49.944	5,5	274.656

A Tabela 70, consolida os dados contidos desde a Tabela 65 até a Tabela 69, representando as emissões totais de NMVOC na utilização de solventes em tintas.

Tabela 70 – Emissões de NMVOC - aplicação em tintas

Ano	Emissões
1990	253.339
1991	271.980
1992	296.387
1993	355.507
1994	396.115
1995	424.739
1996	461.816

Unidade: t

3.2 Desengraxe de metais

Essa atividade consiste no processo de remoção de sujeira provocada por agentes como graxa, gorduras, óleos, ceras, depósitos de carbono, etc., em metais, plásticos, fibra de vidro, circuitos impressos e outras superfícies, empregando-se, principalmente, solventes clorados.

Tetracloroetileno (também chamado de percloroetileno, abreviadamente PER); cloreto de metileno; tricloroetileno; 1,1,1-tricloroetano e triclorotrifluoretano, são indicados como sendo os solventes clorados mais usualmente utilizados nesta atividade. Não foram identificadas nas fontes consultadas, exceto no primeiro caso, importações desses produtos no período 1990/96.

A partir da base de informações estatísticas para produtos químicos utilizada neste estudo, o Anuário da Indústria Química Brasileira/1995 e 1997, identificaram-se dois dos produtos acima como tendo produção local:

- ☞ 1,1,1-tricloroetano, produzido até 1991, tendo sido sua produção descontinuada em função do Protocolo de Montreal. Não foi possível obter-se a destinação do produto no mercado interno.
- ☞ percloroetileno, regularmente produzido no país, tendo na aplicação Desengraxe de Metais expressivos 93% das vendas.

Face ao exposto, a estimativa das emissões de NMVOC para esta atividade será baseada no consumo brasileiro de percloroetileno, conforme mostra a Tabela 71.

Tabela 71 – Emissões de NMVOC – desengraxe de metais

Ano	Vendas Internas	Importações	Consumo Total	Consumo em Desengraxe ⁽¹⁾	Emissões ⁽²⁾
1990	13.659	0	13.659	12.703	12.703
1991	15.348	1.020	16.368	15.222	15.222
1992	14.295	490	14.785	13.750	13.750
1993	11.261	1.221	12.482	11.608	11.608
1994	11.632	5.319	16.951	15.764	15.764
1995	9.293	6.012	15.305	14.234	14.234
1996	10.987	3.357	14.344	13.340	13.340

Unidade: t

ABIQUIM (1995 e 1997)

(1): Considerado que Desengraxe de Metais representa 93% das vendas de PER (ABIQUIM, 1997);

(2): Fator de emissão: 1,0 kg de NMVOC/1,0 kg de solvente usado (CORINAIR, 1996).

3.3 Limpeza a seco

Esta atividade se refere ao processo para a limpeza de diversos materiais como peles, couros, produtos têxteis e fibras, a partir da utilização, principalmente, de solventes clorados. O principal solvente empregado na limpeza a seco é o tetracloroetano (também chamado de tetracloroetileno ou percloroetileno, nome mais utilizado e, como visto anteriormente, denominado pela sigla PER). Na Europa, o PER conta com uma participação no mercado de cerca de 90% dos solventes utilizados na limpeza a seco.

Com o objetivo de quantificar a utilização deste solvente no Brasil para esta atividade específica, será considerado o mesmo percentual de *market share* verificado na Europa (90%), em função de haver produção local deste insumo. Assim, a Tabela 72 apresenta a evolução do consumo total de PER no Brasil e da proporção do produto destinado às lavanderias (limpeza a seco).

Tabela 72 – Consumo brasileiro de percloroetileno em lavanderias

Ano	Vendas Internas (A)	Importações (B)	Consumo Total (A+B)	Consumo em Lavanderias*
1990	13.659	0	13.659	546
1991	15.348	1.020	16.368	655
1992	14.295	490	14.785	591
1993	11.261	1.221	12.482	499
1994	11.632	5.319	16.951	678
1995	9.293	6.012	15.305	612
1996	10.987	3.357	14.344	574

Unidade: t

ABIQUIM (1995 e 1997)

* Considerado que 4% do consumo de PER destinam-se às lavandeiras (ABIQUIM, 1997)

A partir da estimativa do consumo de PER em lavanderias, avaliou-se o consumo de solventes totais nesta atividade e, em seguida, as emissões de NMVOC, conforme discriminado na Tabela 73.

Tabela 73 – Emissões de NMVOC – limpeza a seco

Ano	Uso de Solventes em Lavanderias ⁽¹⁾	Emissões de NMVOC ⁽²⁾
1990	607	607
1991	728	727
1992	657	657
1993	554	555
1994	753	753
1995	680	680
1996	638	638

Unidade: t

⁽¹⁾ Considerado que o percloroetileno representa 90% do consumo total de solventes para esta atividade (CORINAIR, 1996).⁽²⁾ Considerado fator de emissão de 100% do solvente usado (CORINAIR, 1996).

3.4 Processamento de espumas de poliestireno

Espumas de poliestireno são utilizadas, principalmente, nos setores de isolamento e embalagens. A produção de espumas se dá pela ação de um agente de expansão, pentano no caso da espuma de poliestireno (nas espumas flexíveis, utiliza-se água como agente de expansão).

De acordo com CORINAIR (1996), as emissões derivam-se da produção de espumas de poliestireno expansível (EPS), que incorporam o agente de expansão na proporção de 6%, antes da expansão.

Assim, para a quantificação das emissões de NMVOC nessas atividades, é necessária a série referente à produção de espumas EPS, diretamente disponível nas fontes consultadas. A Tabela 74 apresenta as emissões do agente de expansão para a produção de EPS (usualmente pentano ou, genericamente, NMVOC).

Tabela 74 – Evolução da produção de EPS e emissões de NMVOC correspondentes

Ano	Produção ⁽¹⁾	Emissões
1990	9.393	564
1991	10.006	600
1992	11.428	686
1993	10.858	651
1994	14.588	875
1995	17.536	1.052
1996	10.101	606

Unidade: t

⁽¹⁾ABIQUIM.

3.5 Indústria de impressão

A metodologia simples proposta para a quantificação das emissões de NMVOC nesta atividade requer o conhecimento das séries históricas do consumo de tintas verificados nos setores de imprensa, publicação/edição, embalagens, decoração e outros. Assim sendo, dada a ausência de estatísticas consolidadas naqueles setores e com o objetivo de prover uma estimativa, ainda que preliminar, far-se-á uso nesta fase – a exemplo do que foi feito em outros setores – da média dos fatores de emissão *per capita* observados em outros países, associando-o com a população economicamente ativa.

Foi utilizado um fator de emissão médio para esta atividade de 0,7 kg/capita/ano, que representa a média das emissões *per capita* para um conjunto selecionado de países, principalmente da Europa.

Tabela 75 – Evolução das emissões de NMVOC – indústria de impressão

Ano	P.E.A. (10 ⁶ hab.)	Emissões (t)
1990	56,8	39.760
1991	60,1*	42.070
1992	63,3*	44.310
1993	66,6	46.620
1994	68,1*	47.670
1995	69,6	48.720
1996	71,1*	49.770

* Estimado

3.6 Extração de óleos vegetais comestíveis

Esta atividade envolve a extração, através de solventes, de óleos comestíveis oriundos de sementes/grãos oleaginosos. Embora em outros países os solventes possam, eventualmente, ser utilizados na secagem dos resíduos provenientes do esmagamento dos grãos/sementes, este procedimento não é utilizado no Brasil.

O agronegócio oleaginosas é composto, em âmbito mundial, por 10 oleaginosas e farelos e 13 óleos vegetais. Movimenta mais de US\$ 80 bilhões por ano, sendo mais de metade com a soja e seus subprodutos. A produção mundial de oleaginosas alcançou, em 1997, 274 milhões de toneladas, com a soja contribuindo com 153 milhões de toneladas.

Os grãos de soja predominam com folga no universo das oleaginosas no Brasil. Eles representaram, em 1997, 90% da área total plantada destes produtos agrícolas, 97% da quantidade total colhida, 96% do total de sementes/grãos processados (esmagados) e quase 100% do total de grãos/sementes exportados *in natura* (fonte: ABIOVE - Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais).

De acordo com a metodologia (CORINAIR, 1996), o fator de emissão que indica a liberação de VOC para a atmosfera situa-se numa ampla faixa, que vai de 0,85 a 19 kg VOC/t de semente/grão esmagado. Embora não exista nesta fonte bibliográfica uma memória de cálculo que aponte critérios e/ou condições associados aos vários fatores de emissão, é razoável

supor que eles dependem de variáveis como idade das plantas, eficiência no controle das emissões e tipo de semente/grão processado. Como o Brasil tem uma indústria moderna de processamento de soja, com relevante braço exportador e tecnologia atualizada, optou-se pelo extremo inferior da faixa, ou seja, 0,85 kg VOC/t de semente/grão esmagado.

A Tabela 76 mostra, para o período 1990/1996, a emissão de VOC provenientes da extração por solventes de óleos comestíveis contidos em sementes/grãos oleaginosos.

Tabela 76 – Evolução das emissões de VOC – extração de óleos vegetais comestíveis

Discriminação	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Produção de soja (1.000 t)	20.444	15.757	19.456	22.780	24.813	26.068	23.872
Soja esmagada (1.000 t)	15.435	13.057	14.756	16.771	18.736	21.599	20.083
Total de grãos/sementes esmagados ¹ (1.000 t)	16.078	13.601	15.371	17.470	19.517	22.499	20.920
VOC (em t)	13.666	11.561	13.065	14.850	16.589	19.124	17.782

¹ Considerando a soja como uma fração equivalente a 96% do total de sementes/grãos esmagados;

Fonte: ABIOVE - Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais.

3.7 Uso doméstico

Esta atividade abrange as seguintes categorias de produtos: cosméticos e de toalete (aerossóis de todos os tipos, perfumes, loção para após a barba, desodorantes, removedor de esmalte, etc.), produtos para o lar (aerossóis de todos os tipos, limpadores, desinfetantes, ceras e polidores, etc.), construção (adesivos para carpetes e ladrilhos, solventes, removedores de tinta, adesivos para construção, etc.) e automóveis (aerossóis de todos os tipos, fluidos para freios, ceras e polidores etc.).

A metodologia simplificada para a quantificação das emissões neste setor recomenda a adoção de um fator médio de emissão de 2566 g VOC/pessoa/ano. Tal fator resulta da média dos fatores de emissão da Grã-Bretanha, Canadá e Estados Unidos. Convém frisar que, sem dúvida, a simples transposição desse fator médio para o Brasil poderia, eventualmente, ocasionar uma sobrevalorização das emissões, ainda que seja correlacionado com a população economicamente ativa. Análise de especialistas, levando em conta o PIB *per capita*, conduziu à utilização de um valor proporcionalmente reduzido de 640 g VOC/pessoa/ano.

Tabela 77 – Evolução das emissões VOC – uso doméstico

Ano	P.E.A. (10 ⁶ hab.)	Emissões (1) (t)
1990	56,8	36.352
1991	60,1 (2)	38.464
1992	63,3 (2)	40.512
1993	66,6	42.624
1994	68,1 (2)	43.584
1995	69,6	44.544
1996	71,1 (2)	45.504

(1) Fator de emissão utilizado: 640 g VOC/pessoa/ano.

(2) Estimado.

3.8 Consolidação das emissões e comentários finais

A Tabela 78 consolida as emissões de NMVOC e VOC no segmento Uso de Solventes.

Tabela 78 – Evolução das emissões de NMVOC e VOC – uso de solventes

Ano	NMVOC (t)	VOC (t)	Total (t)
1990	306.972	50.018	356.991
1991	330.600	50.025	380.625
1992	355.790	53.577	409.367
1993	414.941	57.473	472.414
1994	461.178	60.173	521.351
1995	489.425	63.668	553.093
1996	526.170	63.286	589.456

Como subsídio inicial para o aperfeiçoamento da quantificação das emissões originadas pelo uso de solventes, apresenta-se, em seguida, o nível de rigor do resultado de cada item estudado, indicando-se possíveis alternativas para os métodos de cálculo utilizados.

A. Aplicação em tintas

A.1 Produção de autoveículos - Sendo um setor de grande porte no Brasil, a indústria de veículos automotivos tem uma representação institucional bem estruturada (ANFAVEA), que gera dados estatísticos confiáveis. Assim sendo, foi possível chegar a resultados de boa qualidade.

A.2 Construção e edifícios - Um cálculo mais apurado exigiria o levantamento da evolução da construção civil no país (número de unidades habitacionais construídas e área pintada por unidade). Seria necessária uma investigação junto a entidades que congregam construtores.

A.3 Uso doméstico - Dada a enorme dispersão deste tipo de aplicação, a quantificação das emissões fica bastante difícil. Uma possibilidade, que demandaria confirmação através de pesquisa de campo, seria uma consulta direta aos fabricantes de tintas. É possível que os de maior porte tenham estudos de mercado que contemplem, por exemplo, média de consumo *per capita* de tintas para uso doméstico.

A.4 Outras aplicações industriais - Os autores consideram este o item mais sujeito a imprecisões. Na ausência de estatísticas imediatamente disponíveis para as atividades que compreendem o item e de fatores de emissão *per capita*, transportou-se diretamente para o Brasil uma correlação das emissões totais de NMVOC válida para 28 países. É evidente que esse procedimento pode ter introduzido alguns desvios.

Como alternativa, pode-se investigar a existência de estatísticas para os setores de construção de navios e acabamento de veículos, provavelmente os mais organizados e com demanda mais significativa dentro do presente item. Confirmada esta hipótese, estará dado um primeiro passo para um detalhamento mais apurado destas aplicações industriais.

B. Desengraxe de metais - A abordagem dada a este item foi a focalização exclusiva no percloroetileno, considerando-se a ausência de importações de outros solventes halogenados. A possibilidade de importações futuras deve fazer parte da agenda de preocupações dos que vierem a acompanhar essa atividade.

C. Limpeza a seco - Dada a enorme dispersão dos consumidores finais (lavanderias), pode-se considerar razoavelmente apurado o método utilizado no estudo.

D. Indústria de impressão - Um cálculo minucioso para este item exigirá séries históricas de consumo de tintas de, ao menos, três setores: imprensa, publicação/edição e embalagens (os demais devem ter, provavelmente, peso menor nas emissões de NMVOC). Para tanto, será necessário um contato direto com os parques gráficos e as indústrias de produção de embalagens.

E. Extração de óleos vegetais comestíveis - Com as informações fornecidas pela ABIOVE (Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Comestíveis), é possível considerar

a quantificação dos VOC provenientes dessa fonte como base confiável para futuros acompanhamentos.

F. Uso doméstico - Aqui se repete o comentário feito em A.4. A solução para se encaminhar um cálculo mais rigoroso seria uma pesquisa de campo junto aos produtores de cosméticos/toalete, produtos para o lar e construção.

4 Referências Bibliográficas

- ABIA, 1999. *O Mercado Brasileiro de Alimentos Industrializados – Produção e demanda: Situação Atual e Perspectivas* – Associação Brasileira das Indústrias da Alimentação
- ABIQUIM, 1995. *Anuário da Indústria Química Brasileira* - ABIQUIM (Associação Brasileira da Indústria Química e de Produtos Derivados).
- _____, 1995. *Relatório Anual do Sistema Dinâmico de Informações Estatísticas da ABIQUIM*.
- _____, 1997. *Anuário da Indústria Química Brasileira* - ABIQUIM (Associação Brasileira da Indústria Química e de Produtos Derivados).
- _____, 1997. *Relatório Anual do Sistema Dinâmico de Informações Estatísticas da ABIQUIM*.
- ABRABE. *Documento do Programa Brasileiro de Desenvolvimento da Cachaça*.
- CORINAIR., 1996. *Atmospheric Emission Inventory Guidebook - Solvent and Other Product Use*, Primeira Edição., 1996, EMEP - Co-operative Program for Monitoring and Evaluation of the Long Range Transmission of Air Pollutants in Europe/CORINAIR - The Atmospheric Emission Inventory for Europe.
- DNPM, 1995. *Sumário Mineral*. Departamento Nacional de Produção Mineral, Ministério das Minas e Energia.
- _____, 1997. *Sumário Mineral*. Departamento Nacional de Produção Mineral, Ministério das Minas e Energia.
- PROZON, 1999. *Programa Brasileiro de Eliminação da Produção e do Consumo das Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio* - PBCO, Revisão Geral, Ministério do Meio Ambiente.
- SRI INTERNATIONAL - *Chemical Conversion Factors and Yields – Commercial and Theoretical*, Third Edition, Chemical Industries Division, SRI International
- U.S. Environmental Protection Agency, 1994. *Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-1993*, p.38, U.S. EPA, Washington DC, USA. EPA 230-R-94-014.
- VILLAR, W. D., *Química e Tecnologia dos Poliuretanos*

capa
Chivas Produções

projeto gráfico
Jorge Humberto Ribeiro Jr.