

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

**RELATÓRIOS DE REFERÊNCIA**

**EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NOS PROCESSOS  
INDUSTRIAIS - Produção de Metais**

**Alumínio**

**PRESIDENTE DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL**  
*LUÍS INACIO LULA DA SILVA*

**VICE-PRESIDENTE DA REPÚBLICA**  
*JOSÉ DE ALENCAR GOMES DA SILVA*

**MINISTRO DE ESTADO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA**  
*SERGIO MACHADO REZENDE*

**SECRETÁRIO EXECUTIVO**  
*LUIZ ANTONIO RODRIGUES ELIAS*

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

#### **EXECUÇÃO**

**COORDENADOR GERAL DE MUDANÇAS GLOBAIS DE CLIMA**  
*JOSÉ DOMINGOS GONZALEZ MIGUEZ*

**COORDENADOR TÉCNICO DO INVENTÁRIO**  
*NEWTON PACIORNIK*

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

**RELATÓRIOS DE REFERÊNCIA**

**EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NOS PROCESSOS  
INDUSTRIAIS - Produção de Metais**

**Alumínio**

**Elaborado por:**

Ingrid Person Rocha e Pinho

**Colaboração:**

Associação Brasileira de Alumínio - ABAL

*Ministério da Ciência e Tecnologia*  
**2010**

**Publicação do Ministério da Ciência e Tecnologia**

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

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

**Revisão:**

Mauro Meirelles de Oliveira Santos  
Newton Paciornik

**Revisão de Editoração:**

Márcia dos Santos Pimenta

***Fundo Global para o Meio Ambiente - GEF***

***Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD***

*Projeto BRA/95/G31*

*EQSW 103/104 lote 1 bloco D Setor Sudoeste.*

*70670-350 - Brasília - DF*

*Telefone: 61 3038-9065*

*Fax: 613038-9009*

*e-mail: [registry@undp.org.br](mailto:registry@undp.org.br)*

*<http://www.undp.org.br>*

**Agradecimentos:**

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

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

# Índice

	Página
Apresentação _____	9
Sumário Executivo _____	10
1. Introdução _____	13
1.1 <i>Processo produtivo do alumínio</i> _____	13
1.2 <i>Panorama internacional</i> _____	17
1.3 <i>Panorama nacional</i> _____	18
2. Metodologia _____	21
2.1 <i>Metodologia para CO<sub>2</sub></i> _____	21
2.1.1 <i>Tier 1</i> _____	21
2.1.2 <i>Tier 2</i> _____	22
2.1.3 <i>Tier 3</i> _____	26
2.2 <i>Metodologia para PFCs</i> _____	26
2.2.1 <i>Tier 1</i> _____	26
2.2.2 <i>Tier 2</i> _____	27
2.2.3 <i>Tier 3</i> _____	28
3. Dados _____	28
3.1 <i>Coleta dos dados</i> _____	29
3.2 <i>Tratamento dos dados</i> _____	30
4. Resultados _____	31
4.1 <i>Emissões</i> _____	31
5. Diferenças em relação ao Inventário Inicial _____	36
6. Referências bibliográficas _____	37
Anexo - Produção brasileira de alumínio _____	38

## Lista de Tabelas

	Página
<i>Tabela 1 - Reservas e produções internacionais de bauxita</i>	18
<i>Tabela 2 - Balança Comercial – Indústria do Alumínio, em 2007</i>	21
<i>Tabela 3 - Valores default para parâmetros da tecnologia Prebaked Anode – Tier 2</i>	24
<i>Tabela 4 - Valores default para parâmetros da tecnologia Soderberg – Tier 2</i>	25
<i>Tabela 5 – Fatores de emissão default para <math>CF_4</math> e <math>C_2F_6</math> na produção de alumínio primário – Tier 1</i>	27
<i>Tabela 6 – Coeficiente de inclinação para cálculo das emissões de <math>CF_4</math> e relação <math>C_2F_6/CF_4</math> – Tier 2</i>	28
<i>Tabela 7 - Abordagens aplicadas nas estimativas de emissões de <math>CO_2</math> e PFCs por planta para o período 1990-2005</i>	29
<i>Tabela 8 – Evolução da produção nacional de alumínio primário, por tipo de tecnologia</i>	30
<i>Tabela 9 - Emissões de <math>CO_2</math> por tipo de tecnologia</i>	31
<i>Tabela 10 - FE implícito <math>CO_2</math> por tipo de tecnologia</i>	32
<i>Tabela 11 - Emissões de <math>CF_4</math> por tipo de tecnologia</i>	33
<i>Tabela 12 - FE implícito <math>CF_4</math> por tipo de tecnologia</i>	34
<i>Tabela 13 - Emissões de <math>C_2F_6</math> por tipo de tecnologia</i>	35
<i>Tabela 14 - FE implícito <math>C_2F_6</math> por tipo de tecnologia</i>	36

## Lista de Figuras

	Página
<i>Figura 1 – Operações de alumina</i>	14
<i>Figura 2 – Sala de cubas</i>	15
<i>Figura 3 – Diagrama de uma célula de redução</i>	15
<i>Figura 4 - Processo de produção do alumínio</i>	16
<i>Figura 5 – Produção pela tecnologia Soderberg, por planta</i>	19
<i>Figura 6 – Produção pela tecnologia Prebaked Anode, por planta</i>	20

## Lista de Equações

<i>Equação 1</i>	14
<i>Equação 2</i>	22
<i>Equação 3</i>	22
<i>Equação 4</i>	23
<i>Equação 5</i>	23
<i>Equação 6</i>	24
<i>Equação 7</i>	26

<i>Equação 8</i>	26
<i>Equação 9</i>	27
<i>Equação 10</i>	27



## Apresentação

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

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

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

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

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

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

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

## Sumário Executivo

Este relatório apresenta a caracterização do processo produtivo do alumínio primário com as estimativas de emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) provenientes do consumo dos anodos e das emissões de perfluorcarbono (PFCs) da redução eletrolítica. Os gases PFCs abordados neste relatório compreendem o perfluormetano (CF<sub>4</sub>) e o perfluoretano (C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>), cujas emissões ocorrem durante o efeito anódico.

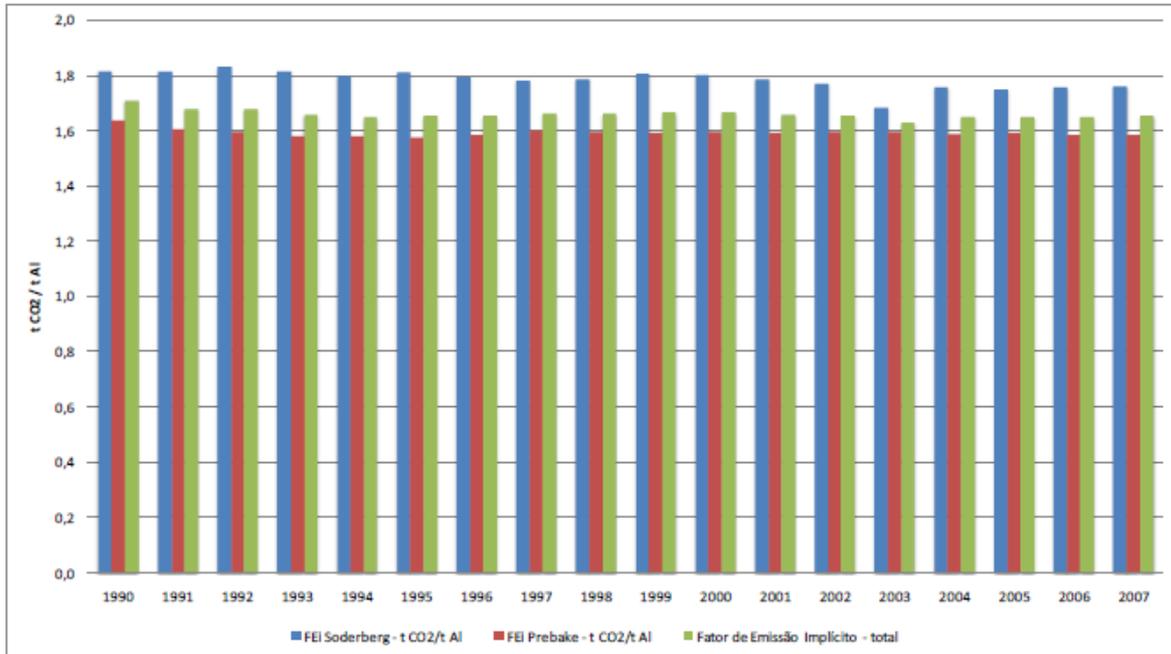
O Brasil possui a terceira maior reserva de bauxita do mundo e estava, em 2008, em sexto lugar na produção de alumínio primário, em função do grande potencial hidráulico para a produção de eletricidade, das condições geográficas favoráveis e da tradição industrial brasileira na área de metalurgia. A indústria brasileira de alumínio está comprometida com os mais elevados índices de produtividade para fazer frente à concorrência internacional.

Tanto as emissões de CO<sub>2</sub> quanto as de PFCs do setor foram estimadas para o período de 1990 a 2005 utilizando as Diretrizes para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa de 2006 do IPCC, *Guidelines 2006*. Os resultados refletem a consolidação das medições realizadas pelas empresas em determinados períodos, e quando não foi possível usar a medição, foram aplicados valores *default* da metodologia do IPCC-2006.

O resumo das estimativas das emissões de CO<sub>2</sub> é apresentado na Tabela I abaixo, separado por tipo de rota tecnológica existente para a produção de alumínio primário - *Soderberg* ou *Prebaked Anoded AnodePrebaked Anode*, com a Figura I mostrando o fator de emissão médio correspondente à série histórica até 2007.

**Tabela I - Emissões de CO<sub>2</sub> do consumo dos anodos por tipo de tecnologia**

Tecnologia	1990	1994	2000	2005	Var. 1990/2005
	t CO <sub>2</sub>				%
<i>Soderberg</i>	671.818	691.562	790.563	1.001.662	49,1
<i>Prebaked Anode</i>	902.277	1.263.800	1.325.299	1.470.726	63,0
<b>Total</b>	<b>1.574.095</b>	<b>1.955.362</b>	<b>2.115.862</b>	<b>2.472.388</b>	<b>57,1</b>

Figura I - Fator de emissão implícito para CO<sub>2</sub> por tipo de tecnologia no Brasil

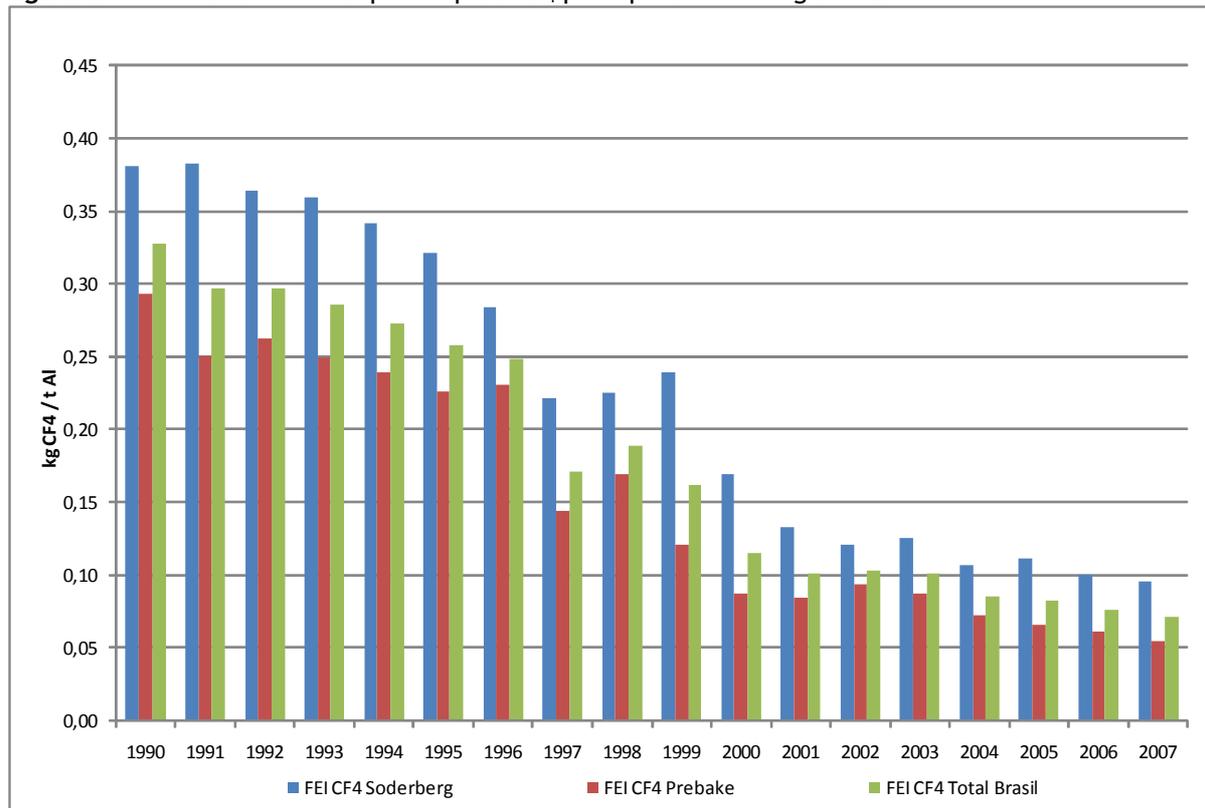
O resumo das estimativas das emissões de CF<sub>4</sub> é apresentado na Tabela II, separado por tipo de rota tecnológica, com a Figura II mostrando o fator de emissão médio para esse gás no período 1990-2007. Já as estimativas das emissões de C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> são apresentadas na Tabela III.

Tabela II - Emissões de CF<sub>4</sub> a partir do processo de redução eletrolítica por tipo de tecnologia

Tecnologia	1990	1994	2000	2005	Var. 1990/2005
	kg CF <sub>4</sub>				%
<i>Soderberg</i>	140.740	131.562	74.285	63.592	-54,8
<i>Prebaked Anode</i>	161.455	191.581	72.230	60.303	-62,7
<b>Total</b>	<b>302.195</b>	<b>323.143</b>	<b>146.514</b>	<b>123.895</b>	<b>-59,0</b>

Tabela III - Emissões de C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> a partir do processo de redução eletrolítica por tipo de tecnologia

Tecnologia	1990	1994	2000	2005	Var. 1990/2005
	kg C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>				%
<i>Soderberg</i>	9.217	8.415	5.050	4.242	-54,0
<i>Prebaked Anode</i>	17.127	19.501	6.645	6.109	-64,3
<b>Total</b>	<b>26.344</b>	<b>27.916</b>	<b>11.743</b>	<b>10.350</b>	<b>-60,7</b>

Figura II - Fator de emissão implícito para CF<sub>4</sub> por tipo de tecnologia no Brasil

A produção de alumínio primário no Brasil evoluiu no período analisado conforme a Tabela IV abaixo, sendo esse fato a justificativa para o aumento das emissões de CO<sub>2</sub>. Já as emissões dos PFCs foram reduzidas significativamente mesmo com o aumento produtivo, devido principalmente às ações do setor para diminuição da frequência e duração do efeito anódico, fonte de geração dos gases CF<sub>4</sub> e C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>.

Tabela IV - Produção de alumínio primário por tipo de tecnologia

Tecnologia	1990	1994	2000	2005	Var. 1990/2005
	t Al				%
<i>Soderberg</i>	369.803	384.675	438.744	573.261	55,0%
<i>Prebaked Anode</i>	551.070	800.745	830.840	924.494	67,8%
<b>Total</b>	<b>920.873</b>	<b>1.185.420</b>	<b>1.269.584</b>	<b>1.497.755</b>	<b>62,6%</b>

# 1. Introdução

## 1.1 Processo produtivo do alumínio

O processo de obtenção de alumínio primário divide-se em três etapas: Mineração, Refinaria e Redução.

**Mineração:** O alumínio não é encontrado diretamente em estado metálico na crosta terrestre. Sua obtenção depende de etapas de processamento até chegar ao estado em que o vemos normalmente. O processo da mineração da bauxita, que origina o alumínio, pode ser exemplificado da seguinte maneira:

- 1) Remoção planejada da vegetação e do solo orgânico;
- 2) Retirada das camadas superficiais do solo (argilas e lateritas);
- 3) Beneficiamento:
  - 3.1) Inicia-se na britagem, para redução de tamanho;
  - 3.2) Lavagem do minério com água para reduzir (quando necessário) o teor de sílica contida na parcela mais fina;
  - 3.3) Secagem

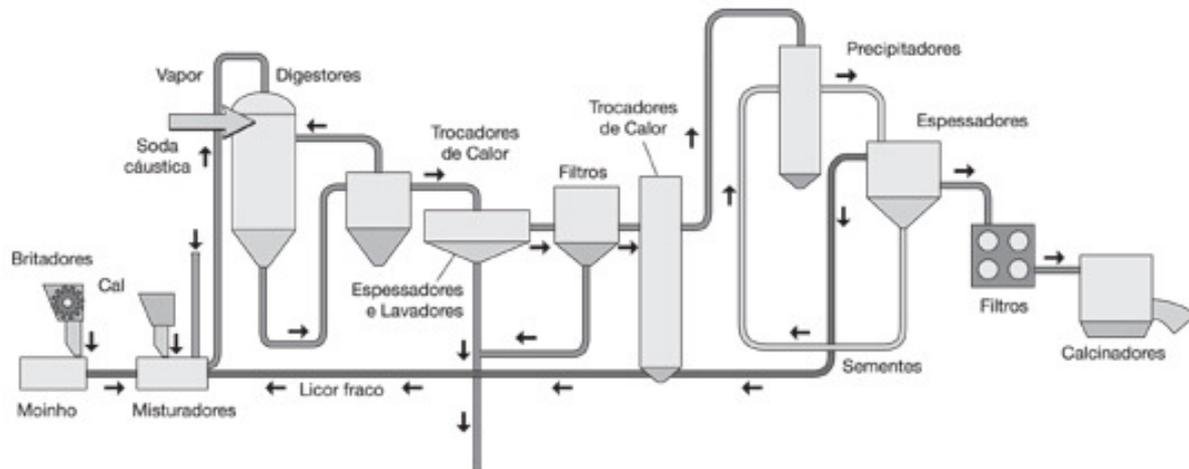
**Refino:** A refinaria, através do Processo Bayer, transforma a bauxita em alumina calcinada.

- 1) Dissolução da alumina em soda cáustica;
- 2) Filtração da alumina para separar o material sólido;
- 3) O filtrado é concentrado para a cristalização da alumina;
- 4) Os cristais são secados e calcinados para eliminar a água;

As principais fases da produção de alumina, desde a entrada do minério até a saída do produto final são: moagem, digestão, filtração/evaporação, precipitação e calcinação.

As operações de alumina têm um fluxograma de certa complexidade, que pode ser resumido em um circuito básico simples, conforme a Figura 1 abaixo.

Figura 1 - Operações de alumina

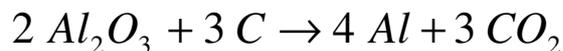


Fonte: ABAL

Além da bauxita e de combustíveis energéticos, a produção de uma tonelada de alumina requer outros insumos, cujo consumo depende da qualidade do minério.

O pó branco de alumina pura é enviado à redução. Na redução, ocorre o processo conhecido como Hall-Héroult, por meio da eletrólise, para obtenção do alumínio.

A redução do alumínio é o processo de transformação da alumina em alumínio metálico conforme a Equação 1 a seguir, que mostra também a origem do CO<sub>2</sub> emitido pelo processo.



Equação 1

As etapas que ocorrem nesta parte do processo são:

- 1) A alumina é dissolvida em um banho de criolita fundida e fluoreto de alumínio em baixa tensão, decompondo-se em oxigênio;
- 2) O oxigênio se combina com o ânodo de carbono, desprendendo-se na forma de dióxido de carbono, e em alumínio líquido, que se precipita no fundo da cuba eletrolítica;
- 3) O metal líquido (já alumínio primário) é transferido para a refusão através de cadinhos; e
- 4) São produzidos os lingotes, as placas e os tarugos (alumínio primário).

A voltagem de cada uma das cubas, ligadas em série, varia de 4 V a 5 V, dos quais apenas 1,6 V são necessários para a eletrólise propriamente dita. A diferença de voltagem é necessária para vencer

resistências do circuito e gerar calor para manter o eletrólito em fusão. A Figura 2 mostra uma sala de cubas eletrolíticas.

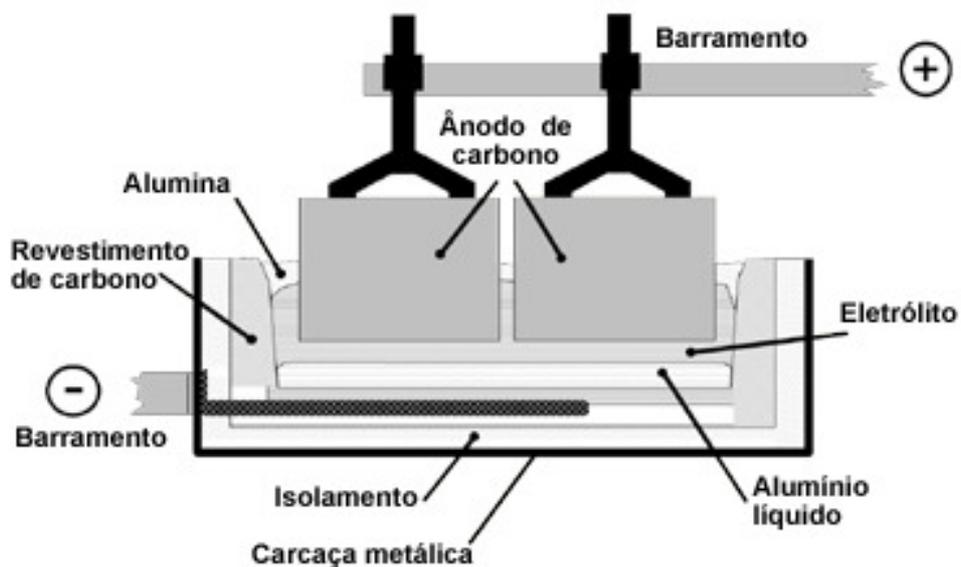
**Figura 2 - Sala de cubas**



Fonte: ABAL

Basicamente, são necessárias cerca de 5 t de bauxita para produzir 2 t de alumina e 2 t de alumina para produzir 1 t de alumínio pelo processo de Redução. Na Figura 3 é ilustrado o diagrama de uma célula de redução.

**Figura 3 - Diagrama de uma célula de redução**



Fonte: ABAL

Os principais insumos para a produção de alumínio primário durante o Processo de Redução são alumina, energia elétrica, criolita, fluoreto de alumínio, coque de petróleo, piche e óleo combustível.

A Figura 4 abaixo ilustra, em resumo, o processo produtivo do alumínio.

**Figura 4 - Processo de produção do alumínio**



Fonte: ABAL

Outros gases emitidos na fabricação do alumínio primário são os perfluorcarbonos ou PFCs, gases de efeito estufa que têm uma vida atmosférica muito longa. Os PFCs emitidos pela indústria de alumínio ocorrem ocasionalmente durante o processo de redução eletrolítica, em eventos chamados de efeitos anódicos. Os efeitos anódicos são causados quando uma quantidade insuficiente de alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) está dissolvida no banho eletrolítico contido nos fornos de uma linha de redução de alumínio, implicando em maior resistência elétrica e, já que o circuito tende a manter a corrente de processo constante, ocasionando também um aumento de voltagem, acima de determinada faixa de operação normal. Essa situação resulta na emissão de gases contendo o tetrafluoreto de metano ou perfluormetano ( $\text{CF}_4$ ) e o hexafluoreto de etano ou perfluoretano ( $\text{C}_2\text{F}_6$ ).

Esses efeitos são indesejados por também implicarem em perda de eficiência no processo e aumento de consumo de energia. Tradicionalmente a indústria mede a sua ocorrência em termos de

frequência e duração. A quantidade de PFCs emitidos por uma planta de redução de alumínio é razão direta da frequência e da duração dos efeitos anódicos.

No processo de redução de alumínio, existem algumas tecnologias e controles operacionais que contribuem positivamente para a redução de emissões atmosféricas, tais como:

- ⇒ Controle do nível de banho eletrolítico
- ⇒ Tecnologia e procedimentos para controle dos efeitos anódicos
- ⇒ Tecnologia e procedimentos para predição e supressão dos efeitos anódicos
- ⇒ Tecnologia e procedimentos de adição de alumina nas cubas eletrolíticas
- ⇒ Formulação dos insumos componentes do anodo
- ⇒ Tecnologia e procedimentos para colocação e remoção de pinos no anodo
- ⇒ Eficiência do sistema de exaustão das cubas eletrolíticas

Ao longo dos anos a indústria brasileira vem investindo na modernização tecnológica dos aspectos acima, com a introdução ou aprimoramento de sistemas eletrônicos para medir, antecipar e suprimir a ocorrência dos efeitos anódicos.

Também foi fundamental a introdução e reforço no cumprimento de práticas operacionais mais robustas, no intuito de manter a estabilidade do processo e possibilitar aos operadores agirem com maior rapidez para a supressão dos efeitos anódicos.

A introdução de melhorias no desenho e formulação dos anodos também aumentou a estabilidade do processo, reduzindo a ocorrência destes eventos e das emissões de PFCs.

Essas ações resultaram numa redução de cerca de 60% das emissões de PFCs no período entre 1990 e 2005. Neste mesmo período a produção de alumínio primário aumentou 63%.

## 1.2 Panorama internacional

As reservas mundiais de bauxita em 2007 somaram aproximadamente 34 bilhões de toneladas, conforme a Tabela 1 a seguir. O Brasil detém 10,6% desse total, sendo 95% de bauxita tipo metalúrgico e 5% do tipo refratário. As reservas brasileiras mais expressivas (95%) estão localizadas

na região Norte (Estado do Pará), as quais têm como principais concessionárias as empresas MRN, CBA e ALCOA.

A produção mundial de bauxita em 2007 foi 8,4% superior à de 2006, passando de 178 Mt em 2006 para 194 Mt em 2007, num cenário em que o Brasil ocupou o 3º lugar entre os principais produtores, respondendo por 12,7% do total, tendo perdido o 2º lugar em 2006 para a China, que teve sua produção elevada em 52,4% no período (Tabela 1).

A produção mundial de alumina em 2007 alcançou 63,3 Mt, 8,4% superior à de 2006. A produção mundial de alumínio atingiu 38 Mt contra 33,7 Mt no ano anterior, o que significa acréscimo de 13%, resultado de aumento nas produções dos *smelters*, principalmente na China (28%), Índia (27%), além de Brasil e Rússia (13%).

Com relação à produção de alumínio primário, o Brasil é o sexto maior produtor mundial, com 1.604 mil toneladas em 2006 e 1.655 mil toneladas em 2007, o que representa um avanço de 3,2% de um ano para o outro.

Tabela 1 - Reservas e produções internacionais de bauxita

Países	Reservas		Produção			
	2007	Participação	2006	2007	Participação em 2007	Variação 2006-2007
	10 <sup>6</sup> t	%	10 <sup>3</sup> t	10 <sup>3</sup> t	%	%
Austrália	7.900	23,3	62.300	64.000	33,0	2,7
China	2.300	6,8	21.000	32.000	16,5	52,4
Brasil	3.600	10,6	22.836	24.754	12,7	8,4
Jamaica	2.500	7,4	14.900	14.000	7,2	-6,0
Guiné	8.600	25,4	14.400	14.000	7,2	-2,8
Índia	1.400	4,1	12.700	13.000	6,7	2,4
Rússia	600	1,8	6.600	6.000	3,1	-9,1
Venezuela	350	1,0	5.500	5.500	2,7	0,0
Suriname	600	1,8	4.920	5.000	2,6	1,6
Guiana	900	2,7	1.400	2.000	1,0	42,9
Outros países	5.100	15,1	12.710	14.100	7,3	10,9
<b>Total</b>	<b>33.850</b>	<b>100,0</b>	<b>179.266</b>	<b>194.354</b>	<b>100,0</b>	<b>8,4</b>

Fonte: Sumário Mineral 2008 DNPM-MME

### 1.3 Panorama nacional

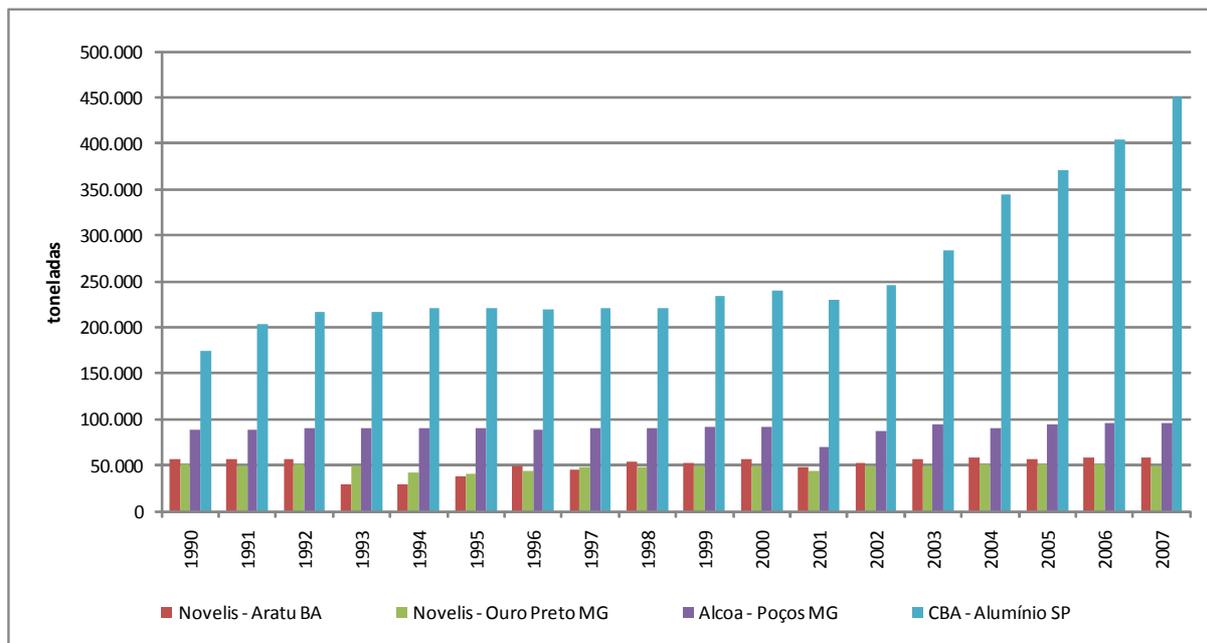
O parque industrial de alumínio brasileiro conta com sete plantas, que são apresentadas abaixo de acordo com a rota tecnológica empregada. São elas:

⇒ Rota *Soderberg* com anodo em pasta:

- Novelis em Aratu (BA), que conta com dois tipos da tecnologia *Soderberg* em suas linhas de produção - a vertical (VSS) e a horizontal (HSS);
- Novelis em Ouro Preto (MG), com *HSS Soderberg*;
- Alcoa em Poços de Caldas (MG), com *VSS Soderberg*; e
- CBA em Alumínio (SP), com *VSS Soderberg*.

A produção das plantas de tecnologia *Soderberg* está apresentada na Figura 5 abaixo.

**Figura 5** - Produção pela tecnologia *Soderberg*, por planta

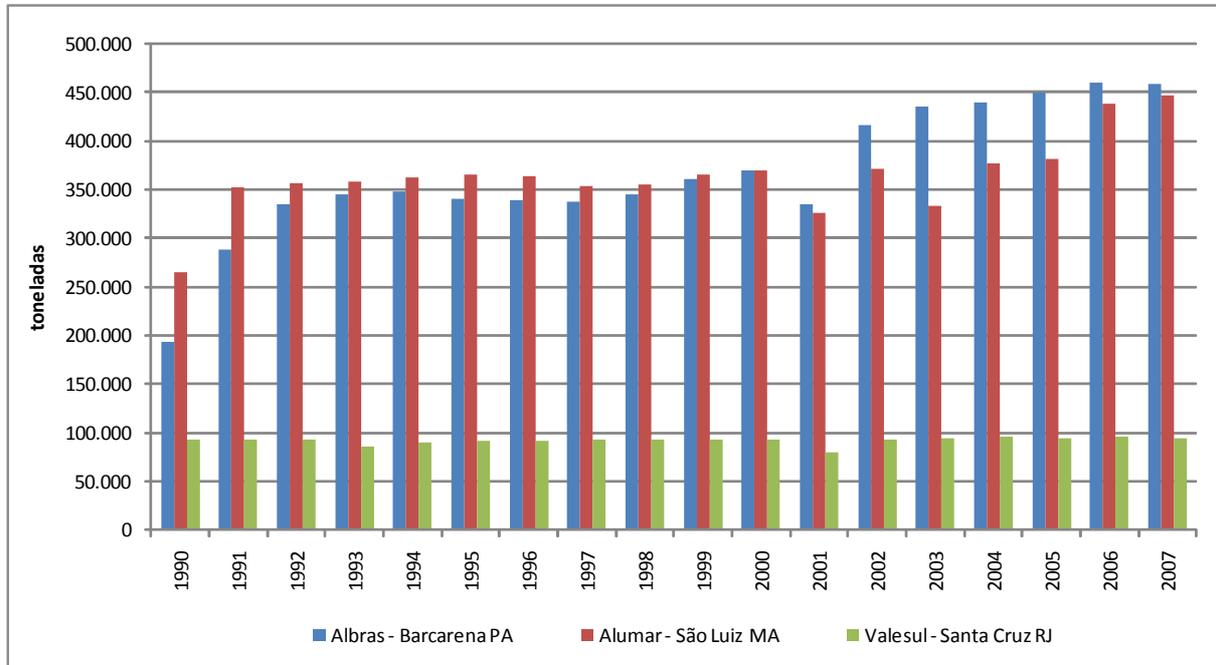


⇒ Rota *Prebaked Anode* com anodo pré-cozido, todas com a tecnologia *Centre Worked Prebaked Anode - CWPB*:

- Albras em Barcarena (PA);
- Alumar em São Luís (MA); e
- Valesul em Santa Cruz (RJ), que suspendeu a produção em abril de 2009.

A produção das plantas de tecnologia *Prebaked Anode* está apresentada na Figura 6 a seguir.

**Figura 6 - Produção pela tecnologia *Prebaked Anode*, por planta**



A indústria brasileira do alumínio participou com 1,1% do PIB nacional e 4,5% do PIB industrial, com faturamento de R\$ 27,8 bilhões em 2007 (receita operacional bruta), valor 18,2% superior a 2006, e pagou R\$ 4,1 bilhões de impostos em 2007, com variação de 16,7% em relação ao ano anterior.

Conforme a Tabela 2 a seguir, a balança comercial brasileira da indústria do alumínio confirmou a sua importância para a economia brasileira no biênio 2006/2007. As exportações geraram divisas de US\$ 4,8 bilhões FOB em 2007, com aumento de 10,5% em relação a 2006 (US\$ 4,3 bilhões FOB), e responderam por 3% do total das exportações brasileiras, enquanto representavam 3,1% em 2006.

Em volume, as exportações tiveram ligeira queda de 0,4% no ano de 2007, em relação a 2006, atingindo 1.066,5 mil toneladas embarcadas, sendo 823,3 mil toneladas de alumínio primário e ligas e 243,2 mil toneladas de semimanufaturados e acabados.

Tabela 2 - Balança Comercial - Indústria do Alumínio, em 2007

	Exportação 2007	Var. 2006-2007	Importação 2007	Var. 2006-2007	Saldo	Var. 2006-2007
	milhões US\$ FOB	%	milhões US\$ FOB	%	milhões US\$ FOB	%
Balança comercial brasileira	160.649	16,6	120.635	32,1	40.014	-13,9
Indústria do alumínio	4.759	10,5	934	45,0	3.825	4,4
<b>Participação do alumínio (%)</b>	<b>3,0</b>	<b>-</b>	<b>0,8</b>	<b>-</b>	<b>9,6</b>	<b>-</b>

Fonte: Secretaria de Comércio Exterior - SECEX

A indústria do alumínio no Brasil escolheu a autogeração de energia e a opção pela hidroeletricidade, fonte limpa, abundante e renovável. O setor investe atualmente US\$ 2,4 bilhões na participação de 14 usinas hidroelétricas para alcançar 50% de auto-suficiência energética e, assim, garantir suprimento competitivo de energia elétrica. Em toda a cadeia de valor, da extração à reciclagem, a indústria brasileira do alumínio apresenta desempenho que é referência mundial nas dimensões econômica, social e ambiental, como atestam os inúmeros reconhecimentos externos obtidos por nossas empresas.

## 2. Metodologia

As emissões de CO<sub>2</sub> e de PFCs foram estimadas utilizando-se as Diretrizes para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa de 2006 do IPCC, *Guidelines 2006*. A abordagem metodológica, chamada *Tier*, pode ser de três níveis - 1, 2 ou 3 - na ordem de complexidade, conforme o detalhamento possível para os dados necessários aos cálculos.

### 2.1 Metodologia para CO<sub>2</sub>

#### 2.1.1 Tier 1

O método *Tier 1* para calcular as emissões de CO<sub>2</sub> usa apenas a classificação ampla da tecnologia *Prebaked Anode* ou *Soderberg*, com utilização de fatores de emissão *default* aplicados à produção, conforme a Equação 2:

$$E_{CO_2} = FE_P \cdot Q_P + FE_S \cdot Q_S$$

## Equação 2

onde,

$E_{CO_2}$  = emissões de CO<sub>2</sub> do consumo do anodo e/ou consumo de pasta (t CO<sub>2</sub>)

$FE_P$  = fator de emissão específico para a tecnologia Prebaked Anode<sup>1\*</sup> (t CO<sub>2</sub>/t Al)

$Q_P$  = quantidade de alumínio produzida a partir do processo Prebaked Anode (t Al)

$FE_S$  = fator de emissão específico para a tecnologia *Soderberg* (t CO<sub>2</sub>/t Al)

$Q_S$  = quantidade de alumínio produzida a partir do processo *Soderberg* (t Al)

Os *Guidelines 2006* apresentam os valores *default* de 1,6 t CO<sub>2</sub>/t Al para Prebaked Anode e 1,7 t CO<sub>2</sub>/t Al para *Soderberg*.

### 2.1.2 Tier 2

No método Tier 2, considera-se que o conteúdo de carbono no consumo do anodo (tecnologia Prebaked Anode) ou da pasta (tecnologia *Soderberg*) é totalmente convertido em CO<sub>2</sub>. Valores típicos da indústria para impurezas são aplicados nos dois casos.

⇒ tecnologia Prebaked Anode

$$E_{CO_2} = CLA \cdot Q_p \cdot \frac{100 - S_a - Ash_a}{100} \cdot \frac{44}{12}$$

## Equação 3

onde,

$E_{CO_2}$  = emissões de CO<sub>2</sub> a partir do consumo do anodo pré-cozido (t CO<sub>2</sub>)

$Q_P$  = quantidade de alumínio produzida pelo processo *Prebaked Anode* (t Al)

<sup>1</sup>O  $FE_P$  inclui as emissões de CO<sub>2</sub> a partir da combustão de voláteis no piche e CO<sub>2</sub> proveniente do material de empacotamento do forno de cozimento.

CLA = consumo líquido de anodo pré-cozido por tonelada de alumínio (t C / t Al)

$S_a$  = conteúdo de enxofre nos anodos cozidos (%)

$Ash_a$  = conteúdo de cinzas nos anodos cozidos (%)

44/12 = relação das massas moleculares  $CO_2/C$  (adimensional).

As emissões da queima de combustíveis fósseis usados na produção dos anodos cozidos estão cobertas no Setor Energia. Entretanto, duas outras fontes de emissões de  $CO_2$  estão associadas com os fornos de cozimento de anodos - a combustão de voláteis no piche (Equação 4) e do material de empacotamento do forno de cozimento (Equação 5).

$$E_{CO_2} = (GA - H_w - BA - WT) \cdot \frac{44}{12}$$

**Equação 4**

onde,

$E_{CO_2}$  = emissões de  $CO_2$  a partir da combustão de voláteis no piche (t  $CO_2$ )

GA = peso original dos anodos antes do cozimento (t)

$H_w$  = conteúdo de hidrogênio dos anodos antes do cozimento (t)

BA = produção de anodo cozido (t)

WT = resíduo de alcatrão coletado (t)

44/12 = relação das massas moleculares  $CO_2/C$  (adimensional).

$$E_{CO_2} = PCC \cdot BA \cdot \frac{100 - S_{pc} - Ash_{pc}}{100} \cdot \frac{44}{12}$$

**Equação 5**

onde,

$E_{CO_2}$  = emissões de  $CO_2$  a partir da combustão do material de empacotamento no forno de cozimento (t  $CO_2$ )

PCC = consumo de material de empacotamento (t/t BA)

BA = produção de anodo cozido (t)

$S_{pc}$  = conteúdo de enxofre no material de empacotamento (%)

$Ash_{pc}$  = conteúdo de cinzas no material de empacotamento (%)

44/12 = relação das massas moleculares  $CO_2/C$  (adimensional).

Os *Guidelines 2006* apresentam valores *default* para a tecnologia Prebaked Anode, conforme a tabela a seguir.

Tabela 3 - Valores *default* para parâmetros da tecnologia Prebaked Anode - Tier 2

Tecnologia Prebaked Anode	
Fator (Tier 2)	CWPB/SWPB
$S_a$ = conteúdo de enxofre nos anodos cozidos (%)	2
$Ash_a$ = conteúdo de cinzas nos anodos cozidos (%)	0,4
$H_w$ = conteúdo de hidrogênio dos anodos antes do cozimento (t)	$0,005 \cdot GA^1$
WT = resíduo de alcatrão coletado (t)	$0,005 \cdot GA$ para fornos Riedhammer; 0 para outros
PCC = consumo de material de empacotamento (t/t BA)	0,015
$S_{pc}$ = conteúdo de enxofre no material de empacotamento (%)	2
$Ash_{pc}$ = conteúdo de cinzas no material de empacotamento (%)	2,5

<sup>1</sup> GA = peso original dos anodos antes do cozimento (t)  
Fonte: *Guidelines 2006*

⇒ tecnologia *Soderberg*

$$E_{CO_2} = \left( CP \cdot Q_s - \frac{CSM \cdot Q_s}{1000} - \frac{BC}{100} \cdot PC \cdot Q_s \cdot \frac{S_p + Ash_p + H_p}{100} - \frac{100 - BC}{100} \cdot PC \cdot Q_s \cdot \frac{S_c + Ash_c}{100} - Q_s \cdot C_{cp} \right) \cdot \frac{44}{12}$$

Equação 6

onde,

$E_{CO_2}$  = emissões de  $CO_2$  do consumo de pasta (t  $CO_2$ )

$Q_s$  = quantidade de alumínio produzida no processo *Soderberg* (t Al)

CP = consumo de pasta por tonelada de alumínio (t C / t Al)

CSM = emissões de matéria de ciclohexano solúvel por tonelada de alumínio (kg / tAl)

BC = conteúdo do ligante na pasta (%)

S<sub>p</sub> = conteúdo de enxofre no piche (%)

Ash<sub>p</sub> = conteúdo de cinza no piche (%)

H<sub>p</sub> = conteúdo de hidrogênio no piche (%)

S<sub>c</sub> = conteúdo de enxofre no coque calcinado da pasta (%)

Ash<sub>c</sub> = conteúdo de cinza no coque calcinado da pasta (%)

C<sub>CP</sub> = carbono na poeira sobrenadante das cubas *Soderberg* (%)

44/12 = relação das massas moleculares CO<sub>2</sub>/C (adimensional).

Os *Guidelines 2006* apresentam valores *default* para a tecnologia *Soderberg*, conforme a Tabela 4 a seguir.

Tabela 4 - Valores *default* para parâmetros da tecnologia *Soderberg* - Tier 2

Tecnologia <i>Soderberg</i>		
Fator (Tier 2)	VSS	HSS
CSM = emissões de matéria de ciclohexano solúvel (kg / t Al)	0,5	4,0
BC = conteúdo do ligante na pasta (%) pasta seca (úmida)	24,0 (27,0)	24,0 (27,0)
S <sub>p</sub> = conteúdo de enxofre no piche (%)	0,6	0,6
Ash <sub>p</sub> = conteúdo de cinza no piche (%)	0,2	0,2
H <sub>p</sub> = conteúdo de hidrogênio no piche (%)	3,3	3,3
S <sub>c</sub> = conteúdo de enxofre no coque calcinado da pasta (%)	1,9	1,9
Ash <sub>c</sub> = conteúdo de cinza no coque calcinado da pasta (%)	0,2	0,2
C <sub>CP</sub> = carbono na poeira sobrenadante das cubas <i>Soderberg</i> (t C / t Al)	0,01	0,01

Fonte: *Guidelines 2006*

### 2.1.3 Tier 3

No método *Tier 3*, usa-se o mesmo raciocínio do *Tier 2*, apenas substituindo-se os valores indicados na Tabela 3 e na Tabela 4 por parâmetros medidos, ou específicos, para cada planta.

## 2.2 Metodologia para PFCs

### 2.2.1 Tier 1

O método *Tier 1* para calcular as emissões de  $CF_4$  e  $C_2F_6$  usa as sub-divisões das tecnologias *Prebaked Anode* (CWPB ou SWPB) e *Soderberg* (VSS ou HSS), com fatores de emissão *default* da Tabela 5 aplicados à produção, em cada um dos casos, conforme a Equação 7 e Equação 8 a seguir.

$$E_{CF_4} = \sum_i (FE_{CF_4,i} \cdot Q_i)$$

Equação 7

onde,

$E_{CF_4}$  = emissões de  $CF_4$  pela produção de alumínio (kg  $CF_4$ )

$FE_{CF_4}$  = fator de emissão *default* por tipo de tecnologia  $i$  para  $CF_4$  (kg  $CF_4$ / t Al)

$Q_i$  = quantidade de alumínio produzida por tipo de tecnologia (t Al).

$$E_{C_2F_6} = \sum_i (FE_{C_2F_6,i} \cdot Q_i)$$

Equação 8

onde,

$E_{C_2F_6}$  = emissões de  $C_2F_6$  pela produção de alumínio (kg  $CF_4$ )

$FE_{C_2F_6}$  = fator de emissão *default* por tipo de tecnologia  $i$  para  $C_2F_6$  (kg  $C_2F_6$ / t Al)

$Q_i$  = quantidade de alumínio produzida por tipo de tecnologia (t Al)

A Tabela 5 apresenta os valores *default* para  $FE_{CF_4}$  e  $FE_{C_2F_6}$  na metodologia *Tier1*.

Tabela 5 - Fatores de emissão *default* para CF<sub>4</sub> e C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> na produção de alumínio primário - Tier 1

Tecnologia	FE <sub>CF<sub>4</sub></sub>	FE <sub>C<sub>2</sub>F<sub>6</sub></sub>
	kg CF <sub>4</sub> /t Al	kg C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> /t Al
Prebaked Anode - CWPB	0,4	0,04
Prebaked Anode - SWPB	1,6	0,4
Soderberg - VSS	0,8	0,04
Soderberg - HSS	0,4	0,03

Fonte: Guidelines 2006

### 2.2.2 Tier 2

Há dois métodos Tier 2 para calcular as emissões de CF<sub>4</sub>: o da **inclinação** (*slope method* - Equação 9) e o da **sobrevoltagem** (*overvoltage method*), cada um com uma fórmula associada. Já as estimativas de C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> são calculadas como uma fração das emissões de CF<sub>4</sub> (Equação 10). Abaixo são apresentadas as equações referentes ao método da **inclinação**, único aplicado para as estimativas de emissões dos PFCs da indústria brasileira de alumínio.

$$E_{CF_4} = I_{CF_4} \cdot MEA \cdot Q$$

Equação 9

onde,

$E_{CF_4}$  = emissões de CF<sub>4</sub> a partir da produção de alumínio, kg CF<sub>4</sub>

$I_{CF_4}$  = coeficiente de inclinação para CF<sub>4</sub>, (kg CF<sub>4</sub>/t Al)/(min-EA/célula-dia)

MEA = minutos de efeito anódico por célula-dia, min-EA/célula-dia

Q = quantidade de alumínio produzida, t Al.

$$E_{C_2F_6} = E_{CF_4} \cdot F_{C_2F_6/CF_4}$$

Equação 10

onde,

$E_{C_2F_6}$  = emissões de  $C_2F_6$  da produção de alumínio, kg  $C_2F_6$

$E_{CF_4}$  = emissões de  $CF_4$  a partir da produção de alumínio, kg  $CF_4$

$F_{C_2F_6/CF_4}$  = relação  $C_2F_6/CF_4$  (kg  $C_2F_6$ /kg  $CF_4$ ).

A tabela a seguir mostra os valores *default* para o coeficiente de inclinação e a relação  $C_2F_6/CF_4$ , por tecnologia, nesta abordagem *Tier 2*.

**Tabela 6 - Coeficiente de inclinação para cálculo das emissões de  $CF_4$  e relação  $C_2F_6/CF_4$  - *Tier 2***

Tecnologia	Coeficiente de inclinação	$F_{C_2F_6/CF_4}$ = relação $C_2F_6/CF_4$
	(kg $CF_4$ /t Al)/(min-EA/célula-dia)	kg $C_2F_6$ /kg $CF_4$
<i>Prebaked Anode - CWPB</i>	0,143	0,121
<i>Prebaked Anode - SWPB</i>	0,272	0,252
<i>Soderberg - VSS</i>	0,092	0,053
<i>Soderberg - HSS</i>	0,099	0,085

Fonte: *Guidelines 2006*

### 2.2.3 *Tier 3*

No método *Tier 3*, usa-se o mesmo raciocínio do *Tier 2*, apenas substituindo-se os valores indicados na Tabela 6 por parâmetros medidos, ou específicos, para cada planta.

## 3. Dados

As emissões de  $CO_2$  e de PFCs foram estimadas para o período de 1990 a 2005. Os resultados refletem a consolidação das medições realizadas pelas empresas em determinados períodos, e quando não foi possível usar a medição, foram aplicados valores *default* dos *Guidelines 2006*.

Cada planta utilizou a melhor abordagem (*Tier*) possível para o cálculo das emissões de seus processos.

**Tabela 7** - Abordagens aplicadas nas estimativas de emissões de CO<sub>2</sub> e PFCs por planta para o período 1990-2005

Rota tecnológica		Planta	CO <sub>2</sub>	PFCs
Tipo	Sub-divisão			
<i>Soderberg</i>	VSS e HSS	Novelis (BA)	Tier 2	Tier 2
	HSS	Novelis (MG)	Tier 2	Tier 2
	VSS	Alcoa (MG)	Tier 2	Tier 3
	VSS	CBA (SP)	Tier 3	Tier 3
<i>Prebaked Anode</i>	CWPB	Albras (PA)	Tier 1	Tier 1 (1990-1996) Tier 3 (1997-2007)
	CWPB	Alumar (MA)	Tier 3	Tier 2
	CWPB	Valesul (RJ)	Tier 2	Tier 1

Os dados coletados para as estimativas de emissões de PFCs compreenderam:

- As produções anuais de alumínio a partir dos registros das salas de cubas eletrolíticas das próprias empresas produtoras primárias.
- Os dados sobre duração e frequência dos efeitos anódicos das empresas Novelis, Alcoa, CBA, Albras e Alumar. Para a empresa Valesul as estimativas de emissões foram realizadas com o *Tier 1*.

Já os dados para as estimativas de emissões de CO<sub>2</sub> foram:

- As produções anuais de alumínio a partir dos registros das salas de cubas eletrolíticas das empresas.
- Os dados de consumo dos anodos de cada planta Novelis, Alcoa, CBA, Alumar e Valesul. As emissões relativas à empresa Albras foram estimadas com o *Tier 1*.

### 3.1 Coleta dos dados

A coleta dos dados foi realizada com a colaboração das empresas produtoras de alumínio, referente ao período de 1990 a 2007, para cada planta.

Na Tabela 8 são apresentados resumidamente os dados das produções nacionais de alumínio por tipo de tecnologia.

**Tabela 8 - Evolução da produção nacional de alumínio primário, por tipo de tecnologia**

Tecnologia	Tipo	Fábrica	Localidade	1990	1994	2000	2005	Varição 1990/2005
				toneladas				%
Soderberg	VSS+HSS	Novelis	Aratu - BA	56.382	29.890	56.631	57.033	1,2
	HSS	Novelis	Ouro Preto - MG	50.896	42.580	50.302	50.593	-0,6
	VSS	Alcoa	Poços de Caldas - MG	88.512	90.401	91.733	95.267	7,6
	VSS	CBA	Alumínio - SP	174.013	221.804	240.078	370.368	112,8
	<b>Total Soderberg</b>			<b>369.803</b>	<b>384.675</b>	<b>438.744</b>	<b>573.261</b>	<b>55,0</b>
Prebaked Anode	CWPB	Albras	Barcarena - PA	193.997	347.419	369.209	449.520	131,7
	CWPB	Alumar	São Luís - MA	264.324	362.630	369.059	380.967	44,1
	CWPB	Valesul	Santa Cruz - RJ	92.749	90.696	92.572	94.007	1,4
	<b>Total Prebaked Anode</b>			<b>551.070</b>	<b>800.745</b>	<b>830.840</b>	<b>924.494</b>	<b>67,8</b>
<b>Total</b>				<b>920.873</b>	<b>1.185.420</b>	<b>1.269.584</b>	<b>1.497.755</b>	<b>62,6</b>

### 3.2 Tratamento dos dados

Os dados de produção de alumínio primário utilizados para este Segundo Inventário Nacional refletem exatamente os registros de produção das salas de cubas eletrolíticas de cada empresa, que prevaleceram mesmo tendo sido verificadas pequenas incompatibilidades com os dados divulgados nas estatísticas oficiais do setor.

Cada planta procurou fazer sua pesquisa de dados e cálculo das emissões segundo a metodologia do IPCC, com a abordagem mais acurada possível. As emissões foram consolidadas para o país após uma fase de verificação dos dados individuais. Nessa fase foram confrontados os dados necessários para a utilização da abordagem *Tier 1*, *Tier 2* ou *Tier 3*, conforme o caso, para se verificar a correta utilização da metodologia em cada planta. Quando esses dados estavam incompletos ou inexistiam, optou-se por usar a abordagem mais simples, *Tier 1*. Por motivos de sigilo industrial, não são apresentados os dados operacionais e emissões de cada planta, mas apenas as emissões do setor de forma consolidada e por tipo de tecnologia.

## 4. Resultados

### 4.1 Emissões

A Tabela 9 a seguir apresenta as emissões de CO<sub>2</sub> do consumo e preparo dos anodos por tipo de tecnologia.

Tabela 9 - Emissões de CO<sub>2</sub> por tipo de tecnologia

Ano	Emissões de CO <sub>2</sub>		
	<i>Soderberg</i>	<i>Prebaked Anode</i>	Total
	t CO <sub>2</sub>		
1990	671.818	902.277	1.574.095
1991	726.115	1.175.177	1.901.292
1992	755.884	1.255.516	2.011.401
1993	698.404	1.248.029	1.946.433
1994	691.562	1.263.800	1.955.362
1995	707.116	1.258.195	1.965.311
1996	721.977	1.258.994	1.980.971
1997	719.924	1.254.645	1.974.570
1998	740.835	1.266.266	2.007.101
1999	772.779	1.305.934	2.078.713
2000	790.563	1.325.299	2.115.862
2001	700.594	1.178.296	1.878.890
2002	771.324	1.404.839	2.176.163
2003	818.175	1.379.827	2.198.002
2004	957.216	1.450.806	2.408.022
2005	1.001.662	1.470.726	2.472.388
2006	1.072.337	1.573.804	2.646.140
2007	1.154.082	1.585.338	2.739.420

A Tabela 10 abaixo exibe os fatores de emissão implícitos por tipo de tecnologia do gás CO<sub>2</sub>.

Tabela 10 - FE implícito CO<sub>2</sub> por tipo de tecnologia

Ano	FE implícito de CO <sub>2</sub>		
	<i>Soderberg</i>	<i>Prebaked Anode</i>	Total
	t CO <sub>2</sub> / t Al		
1990	1,817	1,637	1,709
1991	1,813	1,605	1,678
1992	1,829	1,598	1,678
1993	1,816	1,582	1,659
1994	1,798	1,578	1,650
1995	1,812	1,576	1,654
1996	1,795	1,584	1,655
1997	1,782	1,600	1,662
1998	1,787	1,597	1,662
1999	1,808	1,593	1,666
2000	1,802	1,595	1,667
2001	1,787	1,592	1,659
2002	1,771	1,597	1,655
2003	1,684	1,598	1,629
2004	1,757	1,589	1,652
2005	1,747	1,591	1,651
2006	1,755	1,584	1,649
2007	1,760	1,586	1,655

A Tabela 11 a seguir apresenta as emissões de CF<sub>4</sub> por tipo de tecnologia.

Tabela 11 - Emissões de CF<sub>4</sub> por tipo de tecnologia

Ano	Emissões de CF <sub>4</sub>		
	<i>Soderberg</i>	<i>Prebaked Anode</i>	Total
	kg CF <sub>4</sub>		
1990	140.740	161.455	302.195
1991	153.253	183.294	336.547
1992	150.595	205.881	356.477
1993	138.151	196.693	334.845
1994	131.562	191.581	323.143
1995	125.309	180.730	306.038
1996	114.322	183.259	297.581
1997	89.461	113.273	202.734
1998	93.170	134.455	227.626
1999	102.110	99.164	201.274
2000	74.285	72.230	146.514
2001	52.124	62.579	114.703
2002	52.366	82.716	135.082
2003	61.051	75.147	136.198
2004	58.306	65.833	124.140
2005	63.592	60.303	123.895
2006	61.308	60.543	121.850
2007	62.531	54.913	117.443

A Tabela 12 abaixo exibe os fatores de emissão implícitos por tipo de tecnologia do gás CF<sub>4</sub>.

Tabela 12 - FE implícito CF<sub>4</sub> por tipo de tecnologia

Ano	FE implícito de CF <sub>4</sub>		
	<i>Soderberg</i>	<i>Prebaked Anode</i>	Total
	kg CF <sub>4</sub> / t Al		
1990	0,381	0,293	0,328
1991	0,383	0,250	0,297
1992	0,364	0,262	0,297
1993	0,359	0,249	0,285
1994	0,342	0,239	0,273
1995	0,321	0,226	0,258
1996	0,284	0,231	0,249
1997	0,221	0,144	0,171
1998	0,225	0,170	0,189
1999	0,239	0,121	0,161
2000	0,169	0,087	0,115
2001	0,133	0,085	0,101
2002	0,120	0,094	0,103
2003	0,126	0,087	0,101
2004	0,107	0,072	0,085
2005	0,111	0,065	0,083
2006	0,100	0,061	0,076
2007	0,095	0,055	0,071

A Tabela 13 a seguir apresenta as emissões de C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> por tipo de tecnologia.

Tabela 13 - Emissões de C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> por tipo de tecnologia

Ano	Emissões de C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>		
	<i>Soderberg</i>	<i>Prebaked Anode</i>	Total
	kg C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>		
1990	9.217	17.127	26.344
1991	10.050	18.985	29.035
1992	9.807	21.315	31.122
1993	8.821	20.186	29.008
1994	8.415	19.501	27.916
1995	8.120	18.231	26.351
1996	7.508	18.552	26.060
1997	5.713	9.951	15.664
1998	5.916	11.264	17.179
1999	6.639	8.711	15.350
2000	5.050	6.645	11.696
2001	3.405	5.793	9.198
2002	3.320	8.423	11.743
2003	4.037	7.455	11.492
2004	3.895	6.077	9.971
2005	4.242	6.109	10.350
2006	4.230	6.217	10.446
2007	4.300	5.571	9.871

A Tabela 14 abaixo exibe os fatores de emissão implícitos do gás C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> por tipo de tecnologia.

Tabela 14 - FE implícito C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> por tipo de tecnologia

Ano	FE implícito de C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>		
	<i>Soderberg</i>	<i>Prebaked Anode</i>	Total
	kg C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> / t Al		
1990	0,0249	0,0311	0,0286
1991	0,0251	0,0259	0,0256
1992	0,0237	0,0271	0,0260
1993	0,0229	0,0256	0,0247
1994	0,0219	0,0244	0,0235
1995	0,0208	0,0228	0,0222
1996	0,0187	0,0233	0,0218
1997	0,0141	0,0127	0,0132
1998	0,0143	0,0142	0,0142
1999	0,0155	0,0106	0,0123
2000	0,0115	0,0080	0,0092
2001	0,0087	0,0078	0,0081
2002	0,0076	0,0096	0,0089
2003	0,0083	0,0086	0,0085
2004	0,0071	0,0067	0,0068
2005	0,0074	0,0066	0,0069
2006	0,0069	0,0063	0,0065
2007	0,0066	0,0056	0,0060

## 5. Diferenças em relação ao Inventário Inicial

No Primeiro Inventário todas as emissões de CO<sub>2</sub> foram estimadas com a metodologia *Tier 1* dos *Guidelines 1996*, que dá valores *default* diferentes em relação aos *Guidelines 2006*, para as duas tecnologias. As emissões de CF<sub>4</sub> e C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> utilizaram também os *Guidelines 1996*, usando dados de duração e frequência de efeitos anódicos das empresas, medidos apenas a partir de 1994.

## 6. Referências bibliográficas

ABAL - A contribuição da Indústria Brasileira do Alumínio para o Desenvolvimento Sustentável, 2008

ABAL - Anuário Estatístico 2007.

ABAL. Relatório de Sustentabilidade da Indústria do Alumínio 2006/2007- São Paulo - pág. 32

ALBRAS - PDD Albrás e suas respectivas planilhas de cálculo já registrado no MDL: PFC Emission Reductions at ALBRAS, Alumínio Brasileiro S.A.Version 03 - 08/09/2008;

ALCOA - PDD Alcoa em validação: PFC Emission Reductions at ALBRAS, Alumínio Brasileiro S.A.Version 03 - 08/09/2008;

Approved baseline methodology AM0030 “PFC emission reductions from anode effect mitigation at primary aluminium smelting facilities” Version 01 e Version 02

IAI/USEPA protocol

IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management 2000

MCT/PNUD - 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;

MDL: site MDL validation acessado em 09/06/09 para o escopo Metal production

PDD Albrás e suas respectivas planilhas de cálculo já registrado no MDL: PFC Emission Reductions at ALBRAS, Alumínio Brasileiro S.A. Version 03 - 08/09/2008;

PDD Alcoa em validação: PFC Emission Reductions at ALBRAS, Alumínio Brasileiro S.A.Version 03 - 08/09/2008;

Sumário Mineral 2008 - Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM; Ministério das Minas e Energia - MME, disponível em

<http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriaDocumento/SumarioMineral2008/aluminio.pdf>. Acessado em 12/03/2010.

## Anexo - Produção brasileira de alumínio

Detalhe	Produção brasileira de alumínio (toneladas)									
	Tecnologia Soderberg					Tecnologia Prebaked Anode				Total
Fábrica	Novelis	Novelis	Alcoa	CBA	Total Soderberg	Albras	Alumar	Valesul	Total Prebaked Anode	
Tipo tecn.	VSS+HSS	HSS	VSS	VSS		CWPB	CWPB	CWPB		
Localidade	Aratu - BA	Ouro Preto - MG	Poços de Caldas - MG	Alumínio - SP	Barcarena - MG	São Luís - MA	Santa Cruz - RJ			
1990	56.382	50.896	88.512	174.013	369.803	193.997	264.324	92.749	551.070	920.873
1991	56.826	49.900	89.438	204.328	400.492	287.995	352.173	92.181	732.349	1.132.841
1992	56.533	50.615	89.646	216.431	413.225	335.192	357.386	93.014	785.592	1.198.817
1993	28.910	48.938	89.821	216.883	384.552	345.017	358.669	85.169	788.855	1.173.407
1994	29.890	42.580	90.401	221.804	384.675	347.419	362.630	90.696	800.745	1.185.420
1995	38.427	41.516	89.766	220.462	390.171	341.129	365.269	91.891	798.289	1.188.460
1996	49.033	44.369	88.761	220.007	402.170	339.661	363.579	91.581	794.821	1.196.991
1997	45.604	47.666	89.690	220.972	403.932	337.983	353.921	92.333	784.237	1.188.170
1998	53.648	48.869	90.922	221.047	414.486	344.697	355.296	92.859	792.852	1.207.338
1999	52.660	49.707	91.261	233.883	427.511	361.242	365.623	93.074	819.939	1.247.449
2000	56.631	50.302	91.733	240.078	438.744	369.209	369.059	92.572	830.840	1.269.584
2001	47.607	44.438	69.637	230.375	392.056	334.782	325.674	79.845	740.301	1.132.357
2002	52.210	49.575	87.220	246.435	435.440	416.140	370.520	92.883	879.543	1.314.983
2003	56.265	50.173	95.014	284.273	485.725	435.922	333.066	94.613	863.601	1.349.326
2004	57.823	50.950	90.693	345.365	544.831	440.458	377.084	95.361	912.903	1.457.734
2005	57.033	50.593	95.267	370.368	573.261	449.520	380.967	94.007	924.494	1.497.755
2006	58.442	51.439	96.120	404.922	610.922	459.886	437.596	95.845	993.327	1.604.250
2007	58.503	49.790	96.482	450.872	655.647	458.896	447.155	93.768	999.819	1.655.466