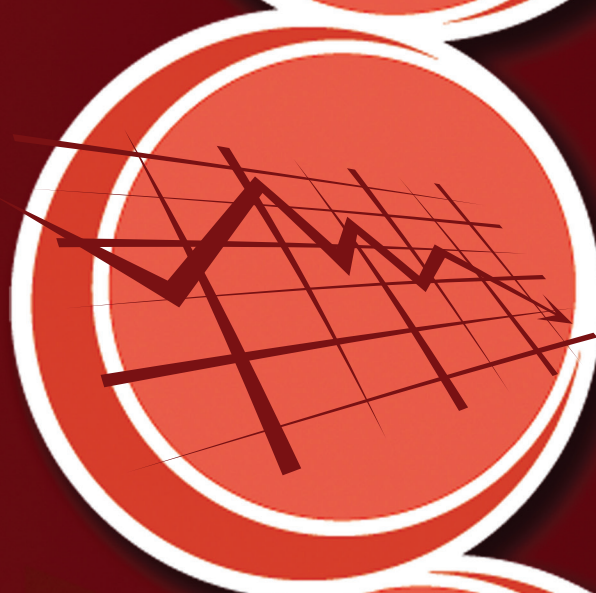


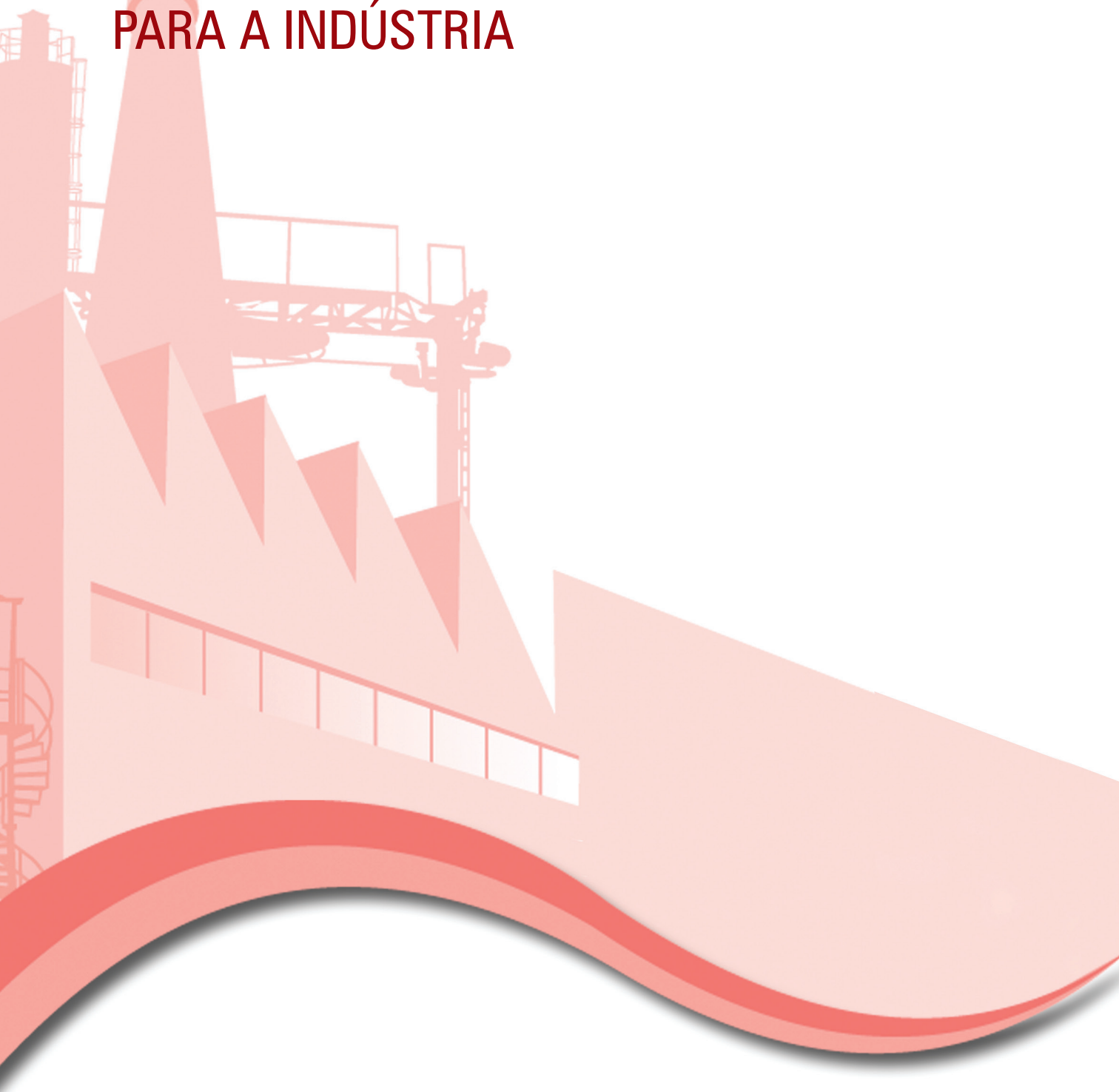
OPORTUNIDADES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA A INDÚSTRIA

RELATÓRIO SETORIAL
METAIS NÃO FERROSOS

BRASÍLIA – 2010



OPORTUNIDADES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA A INDÚSTRIA



CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI

Robson Braga de Andrade
Presidente em Exercício

Diretoria Executiva – DIREX

José Augusto Coelho Fernandes
Diretor

Rafael Esmeraldo Lucchesi Ramacciotti
Diretor de Operações

Heloísa Regina Guimarães de Menezes
Diretora de Relações Institucionais

INSTITUTO EUVALDO LODI – IEL

IEL – Núcleo Central

Paulo Afonso Ferreira
Diretor-Geral

Carlos Roberto Rocha Cavalcante
Superintendente

ELETROBRAS

José Antônio Muniz Lopes
Presidente

Ubirajara Rocha Meira
Diretor de Tecnologia

Fernando Pinto Dias Perrone
Chefe do Departamento de Projetos de Eficiência Energética

Marco Aurélio Ribeiro Gonçalves Moreira
Chefe da Divisão de Eficiência Energética na Indústria e Comércio

OPORTUNIDADES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA A INDÚSTRIA

RELATÓRIO SETORIAL
METAIS NÃO-FERROSOS

ANDRÉ FELIPE SIMÕES
SÉRGIO VALDIR BAJAY

BRASÍLIA – 2010

© 2010. CNI – Confederação Nacional da Indústria.

CNI

Unidade de Competitividade Industrial – COMPI

Qualquer parte desta obra poderá ser reproduzida, desde que citada a fonte.

Trabalho elaborado pela CNI em parceria com a Eletrobras, no âmbito do PROCEL INDÚSTRIA.

FICHA CATALOGRÁFICA

S593o

Simões, André Felipe

Oportunidades de eficiência energética para a Indústria: relatório setorial: metais não-ferrosos / André Felipe Simões, Sérgio Valdir Bajay. – Brasília: CNI, 2010.

85 p.

ISBN 978-85-7957-012-4

1. Eficiência Energética 3. Metais Não-Ferrosos I. Bajay, Sérgio Valdir II. II. Título III. Título: Setor de metais não-ferrosos

CDU: 336.226.46

CNI

Confederação Nacional da Indústria

Tels.: (61) 3317-9989 / 3317-9992

Setor Bancário Norte, Quadra 1, Bloco C, Edifício Roberto Simonsen, 70040-903, Brasília-DF

Tel.: (61) 3317- 9001, Fax: (61) 3317- 9994

<http://www.cni.org.br>

Serviço de Atendimento ao Cliente – SAC

Tels.: (61) 3317-9989 / 3317-9992

sac@cni.org.br

ELETROBRAS

Av. Presidente Vargas, 409, 13º andar, Centro, 20071-003, Rio de Janeiro RJ, Caixa Postal 1639

Tel 21 2514-5151

www.eletrobras.com

eletrobr@eletrobras.com

PROCEL

Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

Av. Rio Branco, 53, 14º, 15º, 19º e 20º andares, Centro, 20090-004 Rio de Janeiro RJ

www.eletrobras.com/procel

procel@eletrobras.com

Ligação Gratuita 0800 560 506

PROCEL INDÚSTRIA

Eficiência Energética Industrial

Av. Rio Branco, 53, 15º andar, Centro, 20090-004, Rio de Janeiro RJ

Fax: 21 2514-5767

www.eletrobras.com/procel

procel@eletrobras.com

Ligação Gratuita 0800 560 506

LISTA DE FIGURAS

Figura 1

Desenho esquemático de uma cuba eletrolítica de anodo pré-cozido – processo Hall-Héroult **20**

Figura 2

Fluxograma do processo produtivo do alumínio **21**

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1

Consumo de alumina na produção de alumínio primário no Brasil, em toneladas, de 1998 a 2006 **17**

Gráfico 2

Produção de alumínio primário no Brasil, em toneladas, de 2002 a 2006 **18**

Gráfico 3

Produção primária e secundária de cobre no Brasil, em toneladas, de 2002 a 2006 **23**

Gráfico 4

Produção de zinco primário no Brasil, em t, de 2002 a 2006 **25**

Gráfico 5

Valor adicionado da indústria de metais não-ferrosos no Brasil, em 10⁶ R\$ de 2005, de 1995 a 2005 **32**

Gráfico 6

Participação percentual da indústria de metais não-ferrosos na formação do PIB no Brasil, de 1995 a 2005 **33**

Gráfico 7

Relação entre investimentos e valor adicionado na indústria brasileira de metais não-ferrosos, de 1998 a 2005 **34**

Gráfico 8

Indústria do alumínio no Brasil: empregos diretos gerados, durante o período de 1998 a 2006 **35**

Gráfico 9

Indústria do alumínio no Brasil: faturamentos e investimentos, em 10⁶ R\$ de 2005, durante o período de 1998 a 2006 **36**

Gráfico 10

Demanda aparente de cobre no Brasil, em toneladas, durante o período de 2001 a 2006 **37**

Gráfico 11

Demanda aparente de zinco no Brasil, em toneladas, durante o período de 1998 a 2006 **39**

Gráfico 12

Demanda aparente de silício metálico no Brasil, em toneladas, durante o período de 1998 a 2004 **40**

Gráfico 13

Demanda aparente de níquel no Brasil, em toneladas, durante o período de 1998 a 2006 **42**

Gráfico 14

Demanda aparente de estanho no Brasil, em toneladas, durante o período de 1998 a 2006 **44**

Gráfico 15

Consumo aparente de chumbo no Brasil, em toneladas, durante o período de 2001 a 2006 **45**

Gráfico 16

Evolução do consumo dos energéticos empregados na indústria de metais não-ferrosos, em mil tep, no período de 1970 a 2006 **56**

Gráfico 17

Evolução das parcelas de mercado dos energéticos empregados na indústria de metais não-ferrosos, em %, no período de 1970 a 2006 **57**

Gráfico 18

Distribuição percentual, por usos finais, do consumo final de energia da indústria de metais não-ferrosos no Brasil em 2006 **59**

Gráfico 19

Distribuição percentual, por usos finais, do consumo total de energia útil da indústria de metais não-ferrosos no Brasil em 2006 **60**

Gráfico 20

Consumo e potencial técnico de conservação de energia térmica dos principais produtos da indústria de metais não-ferrosos em 2006 **75**

Gráfico 21

Consumo e potencial técnico de conservação de energia elétrica dos principais produtos da indústria de metais não-ferrosos em 2006 **75**

Gráfico 22

Comparação entre os potenciais técnicos de conservação de energia na indústria de metais não-ferrosos brasileira estimados com os dados do BEU e neste trabalho **75**

LISTA DE TABELAS

Tabela 1

Produção brasileira de metais não-ferrosos primários em 2006 **16**

Tabela 2

Ranking dos principais países produtores de alumínio, de acordo com as várias fases de produção **17**

Tabela 3

Produção de silício metálico no Brasil, em toneladas, de 2002 a 2006 **26**

Tabela 4

Produção de níquel primário no Brasil, em toneladas, de 2002 a 2006 **27**

Tabela 5

Produção de estanho primário no Brasil, em toneladas, de 2002 a 2006 **29**

Tabela 6

Produção secundária de chumbo no Brasil, em toneladas, de 2002 a 2006 **30**

Tabela 7

Importações e exportações de magnésio no Brasil, em toneladas, durante o período 1998 a 2005 **30**

Tabela 8

Investimentos da indústria de metais não-ferrosos no Brasil, em 10⁶ R\$ de 2005, de 1996 a 2005 **33**

Tabela 9

Demanda aparente de alumínio no Brasil, em 10³ toneladas, durante o período 1998 a 2006 **34**

Tabela 10

Indústria de cobre no Brasil: empregos diretos gerados, receitas líquidas e investimentos, durante o período 1998 a 2006 **38**

Tabela 11

Produção de zinco no Brasil: empregos diretos gerados, receitas líquidas e investimentos, durante o período 1998 a 2006 **39**

Tabela 12

Produção de silício metálico no Brasil pelas companhias CCM, CBCC e Minasligas: empregos diretos gerados, faturamento e investimentos, durante o período 2000 a 2004 **41**

Tabela 13

Produção de níquel no Brasil: empregos diretos gerados, receitas líquidas e investimentos, durante o período 1998 a 2006 **43**

Tabela 14

Produção de estanho no Brasil: empregos diretos gerados, faturamento e investimentos, durante o período 1998 a 2006 **44**

Tabela 15

Importações e exportações de magnésio no Brasil, em toneladas, durante o período 1998 a 2006 **46**

Tabela 16

Valor adicionado (VA), consumo de eletricidade (CEL), intensidade elétrica (IEL), consumo de energia térmica (CET) e intensidade de energia térmica (IET) da indústria de metais não-ferrosos no Brasil, de 1996 a 2005 **57**

Tabela 17

Distribuição percentual, por usos finais, do consumo dos energéticos utilizados na indústria de metais não-ferrosos no Brasil em 2004 **58**

Tabela 18

Rendimentos médios de conversão, em %, estimados para 2004, dos energéticos consumidos na indústria de metais não-ferrosos no Brasil **59**

Tabela 19

Consumos específicos (por tonelada de alumina) dos principais insumos envolvidos na produção de alumina no Brasil, durante o período de 2000 a 2006 **61**

Tabela 20

Consumos específicos (por tonelada de alumínio primário) dos principais insumos envolvidos na produção de alumínio primário no Brasil, durante o período de 2000 a 2006 **61**

Tabela 21

Capacidade instalada de usinas hidroelétricas alocadas a produtores de alumínio primário no Brasil, em 2005 **63**

Tabela 22

Consumos específicos (por tonelada de cobre primário) dos principais insumos empregados na produção de cobre primário no Brasil, durante o período de 2000 a 2006 **64**

Tabela 23

Consumos específicos (por tonelada de zinco) dos principais insumos empregados na produção de zinco no Brasil, durante o período de 1998 a 2006 **65**

Tabela 24

Consumos específicos (por tonelada de níquel) dos principais insumos empregados na produção de níquel no Brasil, durante o período de 2000 a 2006 **67**

Tabela 25

Consumos específicos (por tonelada de estanho) dos principais insumos empregados na produção de estanho no Brasil de 2001 a 2006 **67**

Tabela 26

Produção e consumos energéticos dos principais produtos da indústria de metais não-ferrosos, em 2006 **72**

Tabela 27

Coefficientes de distribuição do consumo de energia dos principais produtos da indústria de metais não-ferrosos em 2006 **73**

Tabela 28

Potencial técnico estimado de conservação de energia na indústria de metais não-ferrosos em 2006 **74**

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

ABAL: Associação Nacional dos Fabricantes Cerâmicos.

ABESCO: Associação Brasileira das Empresas de Conservação de Energia.

ABRAFE: Associação Brasileira de Ferroligas e de Silício Metálico.

ALBRAS: Alumínio Brasileiro S.A.

ALUMAR: Consórcio Alumínio do Maranhão.

ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica.

ASTM: *American Society for Testing and Materials.*

BEN: Balanço Energético Nacional.

BEU: Balanço de Energia Útil.

CBCC: Cia. Brasileira Carbureto de Cálcio.

CCM: Camargo Corrêa Metais S.A.

CEMPRE: Compromisso Empresarial para Reciclagem.

CETEM: Centro de Tecnologia Mineral.

CRVD: Companhia Vale do Rio Doce.

EPE: Empresa de Pesquisa Energética.

IAI: *International Aluminium Institute.*

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

IEA: International Energy Agency.

LISA: Ligas de Alumínio S.A.

MME: Ministério de Minas e Energia.

MINALIGAS: Cia. Ferroligas Minas Gerais.

MSF: Mineração Serra da Fortaleza.

NAAC: *Nippon Amazon Aluminum Co Ltd.*

SUMÁRIO

1 CARACTERIZAÇÃO TÉCNICA 15

- 1.1 Introdução 16
- 1.2 Alumínio 16
 - 1.2.1 *Produtos, matérias-primas e produção* 16
 - 1.2.2 *Etapas do processo produtivo* 19
- 1.3 Cobre 22
 - 1.3.1 *Produtos, matérias-primas e produção* 22
 - 1.3.2 *Etapas do processo produtivo* 23
- 1.4 Zinco 24
 - 1.4.1 *Produtos, matérias-primas e produção* 24
 - 1.4.2 *Etapas do processo produtivo* 25
- 1.5 Silício metálico 26
 - 1.5.1 *Produtos, matérias-primas e produção* 26
 - 1.5.2 *Produtos de produção* 26
- 1.6 Níquel 27
 - 1.6.1 *Produtos, matérias-primas e produção* 27
 - 1.6.2 *Etapas do processo produtivo* 28
- 1.7 Estanho 28
 - 1.7.1 *Produtos, matérias-primas e produção* 28
 - 1.7.2 *Processo produtivo* 29
- 1.8 Chumbo 29
 - 1.8.1 *Produtos, matérias-primas e produção* 29
 - 1.8.2 *Etapas do processo produtivo* 30
- 1.9 Magnésio 30

2 CARACTERIZAÇÃO ECONÔMICA 31

- 2.1 Introdução 32
- 2.2 Alumínio 34
 - 2.2.1 *Importações, exportações e demanda aparente* 34
 - 2.2.2 *Empregos gerados, faturamento e investimentos* 35
 - 2.2.3 *Principais empresas* 36
- 2.3 Cobre 37
 - 2.3.1 *Importações, exportações e demanda aparente* 37
 - 2.3.2 *Empregos gerados, faturamento e investimentos* 38
 - 2.3.3 *Principais empresas* 38
- 2.4 Zinco 38
 - 2.4.1 *Importações, exportações e demanda aparente* 38
 - 2.4.2 *Empregos gerados, faturamento e investimentos* 39
 - 2.4.3 *Principais empresas* 40
- 2.5 Silício metálico 40
 - 2.5.1 *Importações, exportações e demanda aparente* 40
 - 2.5.2 *Empregos gerados, faturamento e investimentos* 41
 - 2.5.3 *Principais empresas* 41
- 2.6 Níquel 42
 - 2.6.1 *Importações, exportações e demanda aparente* 42
 - 2.6.2 *Empregos gerados, faturamento e investimentos* 42

- 2.6.3 Principais empresas **43**
- 2.7 Estanho **43**
 - 2.7.1 Importações, exportações e demanda aparente **43**
 - 2.7.2 Empregos gerados, faturamento e investimentos **44**
 - 2.7.3 Principais empresas **45**
- 2.8 Chumbo **45**
- 2.9 Magnésio **46**

3 CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL 47

- 3.1 Alumínio **48**
 - 3.1.1 Principais resíduos **48**
 - 3.1.2 Estratégias corporativas para questões ambientais **49**
- 3.2 Cobre **50**
 - 3.2.1 Principais resíduos **50**
 - 3.2.2 Estratégias corporativas para questões ambientais **50**
- 3.3 Zinco **51**
 - 3.3.1 Principais resíduos **51**
 - 3.3.2 Estratégias corporativas para questões ambientais **51**
- 3.4 Silício metálico **51**
 - 3.4.1 Principais resíduos **51**
 - 3.4.2 Estratégias corporativas para questões ambientais **52**
- 3.5 Níquel **52**
- 3.6 Estanho **52**
- 3.7 Chumbo **52**

4 CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA 55

- 4.1 Consumo de energia, intensidades energéticas, distribuições por usos finais dos consumos de energia final e energia útil e autoprodução, na indústria de metais não-ferrosos **56**
- 4.2 Alumina e alumínio primário **60**
- 4.3 Cobre primário **64**
- 4.4 Zinco **65**
- 4.5 Silício metálico **66**
- 4.6 Níquel **66**
- 4.7 Estanho **67**
- 4.8 Chumbo **68**
- 4.9 Magnésio **68**

5 METODOLOGIA DE CÁLCULO DE POTENCIAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA 69

6 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DE POTENCIAL DE ECONOMIA CALCULADOS COM OS RESULTADOS DE BIBLIOGRAFIA 71

- 6.1 Consumos específicos de energia térmica e eletricidade **72**
- 6.2 Potenciais técnicos de conservação de energia **73**
- 6.3 Potencial de conservação de energia segundo o BEU **75**

7 BARREIRAS AO USO RACIONAL DE ENERGIA 76

8 CONCLUSÕES 79

REFERÊNCIAS 83

1 Caracterização Técnica



1 Caracterização Técnica

1.1 Introdução

O segmento industrial de metais não-ferrosos inclui a produção de alumínio, chumbo, cobre, estanho, magnésio, níquel, silício e zinco. A Tabela 1, a seguir, apresenta a produção primária destes metais no Brasil em 2006, tanto em termos absolutos, como relativos. A tabela não contempla dois metais, o magnésio, pois a única empresa produtora deste metal no País, a Rima Industrial S.A., não tem este dado divulgado, e o chumbo, cuja produção no Brasil é só secundária.

Tabela 1

Produção brasileira de metais não-ferrosos primários em 2006

Metal	Produção (toneladas)	%
Alumínio	1.603.600	69,7
Zinco	272.438	11,8
Cobre	193.119	8,4
Silício metálico	185.717	8,1
Níquel	36.294	1,6
Estanho	8.784	0,4
Total	2.299.952	100

Fonte: MME (2007).

Como se pode observar na Tabela 1, as produções de alumínio, zinco, cobre e silício metálico responderam pela quase totalidade (98%) da produção total de metais não-ferrosos no Brasil em 2007.

Na próxima seção, efetua-se a caracterização técnica da produção dos metais não-ferrosos relacionados na Tabela 1, com destaque para o alumínio, por sua maior importância tanto econômica quanto energética neste segmento industrial.

1.2 Alumínio

1.2.1 Produtos, matéria-prima e produção

O alumínio não se encontra livre na natureza. O emprego de técnicas metalúrgicas viabilizam sua obtenção a partir da bauxita, o minério de onde se extrai a alumina, que, por seu turno, é o óxido que contém o alumínio. Portanto, a bauxita – cujas maiores reservas brasileiras estão no Estado do Pará (e são exploradas principalmente pela empresa Mineração Rio do Norte) – é a principal matéria-prima empregada no processo de produção da alumina. Soda cáustica, óleo combustível e eletricidade são outros insumos necessários à produção da alumina. O metal alumínio, designado como alumínio primário, é obtido através de um processo de redução eletrolítica da alumina. Em 2006 o Brasil foi o 6º maior produtor mundial de alumínio, respondendo por 4,7% da produção do mundo (MME, 2007), e o 4º.

A Tabela 2 revela que o Brasil se destaca mais no cenário mundial no que tange às fases iniciais da cadeia de produção do alumínio. Isto se reflete no fato de que as exportações brasileiras de alumina são maiores do que as de alumínio primário (que requer alumina e eletricidade em grandes quantidades).

Em 2005, produziu-se 5,2 milhões de toneladas de alumina no Brasil, dos quais 2,3 milhões de toneladas foram exportados. A empresa mineradora Alunorte, situada no Estado do Pará, foi responsável por 50% da produção brasileira de alumina em 2005; o resto proveio dos Estados do Maranhão (26%), São Paulo (15%) e Minas Gerais (9%).

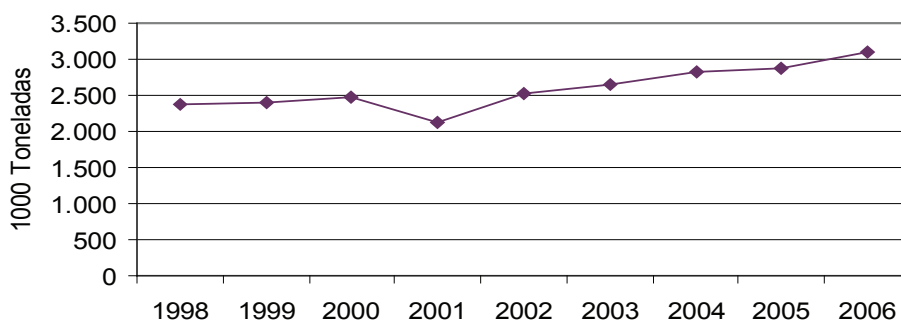
Tabela 2

Ranking dos principais países produtores de alumínio, de acordo com as várias fases de produção

Produção de		
Bauxita	Alumina	Alumínio primário
Austrália	Austrália	China
Guiné	China	Rússia
Brasil	Estados Unidos	Canadá
China	Brasil	Estados Unidos
	Jamaica	Austrália
		Brasil
		Noruega

Fonte: Instituto Observatório Social, 2006.

A evolução do consumo de alumina na produção de alumínio primário no País durante o período de 1998 a 2005 pode ser observada no gráfico a seguir.

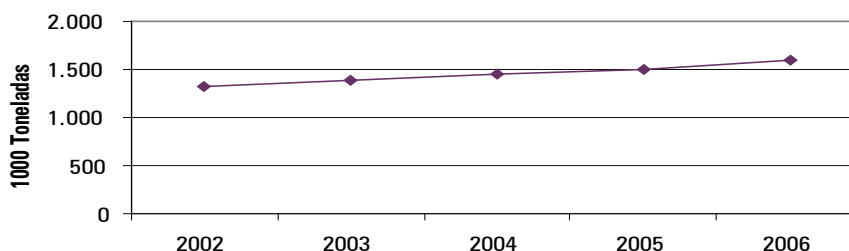


Fontes: MME, 2003; MME, 2004; MME, 2005b; MME, 2006a; MME, 2007.

Gráfico 1

Consumo de alumina na produção de alumínio primário no Brasil, em toneladas, de 1998 a 2006

A produção brasileira de alumínio primário nos últimos cinco anos está indicada no gráfico a seguir.



Fonte: MME, 2007.

Gráfico 2

Produção de alumínio primário no Brasil, em toneladas, de 2002 a 2006

O consumo per capita de alumínio no Brasil em 2005 foi de 4,4 kg. A média mundial nesse mesmo ano foi de 4,9 kg por habitante (MME, 2006a).

O fator de capacidade das plantas de alumínio primário no Brasil aumentou de 86,4% em 2001, para 97% em 2003, evidenciando a necessidade de ampliar a capacidade de produção das fábricas instaladas no País. A Associação Brasileira da Indústria do Alumínio (ABAL) não publica dados referentes a esse fator desde 2004.

Os produtos gerados pela indústria do alumínio no Brasil são, basicamente, de dois tipos (CBA, 2007):

a) Transformados

- Cabos
- Chapas
- Bobinas
- Folhas de alumínio
- Telhas

b) Fundidos

- Bobinas
- Lingotes
- Tarugos
- Vergalhões

Tanto o alumínio transformado quanto o alumínio fundido encontram ampla utilização na economia. Os principais setores que empregam o alumínio, assim como os respectivos produtos confeccionados a partir deste metal não-ferroso são listados a seguir:

- Transporte: como material estrutural em aviões, barcos, automóveis, tanques, blindagens e outros;
- Embalagens: papel de alumínio, latas, tetrabriks e outras;
- Construção civil: janelas, portas, divisórias, grades e outros;
- Setores residencial e de serviços: utensílios de cozinha, ferramentas e outros;

- Transmissão elétrica: ainda que a condutibilidade elétrica do alumínio seja 60% menor do que a do cobre, o seu uso em redes de transmissão elétrica é compensado pela sua grande maleabilidade, permitindo uma maior distância entre as torres de transmissão e reduzindo, desta maneira, os custos da infra-estrutura;
- Indústria: recipientes criogênicos até -200 °C e, no sentido oposto, material para a fabricação de caldeiras.

No que se refere à destinação do alumínio no mercado interno brasileiro, sobressai o consumo para embalagens e veículos de transporte, em um primeiro patamar de importância (destinação da produção acima de 20%) e, para a indústria de eletricidade e construção civil (destinação da produção entre 10 e 20%) (CBA, 2007).

No Brasil, há uma grande discrepância entre a produção de alumínio primário e a confecção de produtos transformados, tipicamente de maior valor agregado. Tal discrepância, em boa parte, relaciona-se com a baixa demanda interna por produtos transformados – devido tanto à estrutura sócio-econômica da sociedade brasileira, quanto às políticas impostas pelas empresas produtoras de alumínio no País, as quais optaram por baixos investimentos no enobrecimento dos produtos por elas confeccionados (GONÇALVES; COUTO, 2002).

1.2.2 Etapas do processo produtivo

1.2.2.1 A partir do minério

As grandes etapas da cadeia produtiva do alumínio, considerando a sua obtenção a partir da bauxita, são, sucintamente, descritas a seguir:

- Mineração da bauxita: A bauxita é um minério que contém a alumina (Al_2O_3), de onde se extrai o alumínio. O conteúdo de alumínio na alumina varia de 35 a 45%;
- Produção de alumina: O óxido de alumínio (Al_2O_3) é obtido refinando-se a bauxita através do chamado Processo Bayer, que é uma combinação de um processo de extração (digestão com soda cáustica) com um processo de calcinação. No Brasil, em 2005, a partir de uma tonelada de bauxita produziu-se, em média, 237 kg de alumínio (ABAL, 2007);
- Produção de alumínio primário: O metal é obtido por um processo de redução eletrolítica, através do Processo Hall-Héroult. Esta fase do processo produtivo é uma fase tipicamente intensiva em termos de consumo de eletricidade. No Brasil, em 2005, uma tonelada de alumina rendeu, em média, 520 kg de alumínio primário;
- Transformação industrial: Lingotes de alumínio primários são processados inicialmente em produtos semi-acabados, também chamados de produtos de primeira geração, como folhas, chapas, cilindros ou barras quadradas. Posteriormente, o alumínio é transformado em produtos acabados, ou bens de segunda geração, como embalagens para alimentos, arames, cabos, partes de veículos, componentes de máquinas e equipamentos, azulejos, utensílios para a cocção de alimentos, etc.

O setor primário da indústria do alumínio, que transforma bauxita em alumínio primário, compõe-se, basicamente, de três etapas produtivas:

- Mineração;
- Beneficiamento;
- Redução.

A redução da alumina é responsável pela maior parte da energia elétrica consumida neste setor.

O processo químico Bayer é o mais usado no beneficiamento da bauxita para formar a alumina pura.

Neste processo, a bauxita britada e moída é dissolvida em soda cáustica. Posteriormente, filtra-se para separar todos os sólidos. O filtrado gera um concentrado apto à cristalização da alumina. Os cristais gerados são desidratados e calcinados para que ocorra a eliminação de água. Por fim, o pó puro de alumina branca passa pela etapa de fundição.

A obtenção industrial do alumínio metálico tem sido feita, em geral, através do processo Hall-Héroult, pela redução eletrolítica da alumina (Al_2O_3), dissolvida em um banho de fluoretos fundidos. O processo se desenvolve em fornos especiais, revestidos de carbono, também chamados cubas eletrolíticas, a uma temperatura de aproximadamente 960°C .

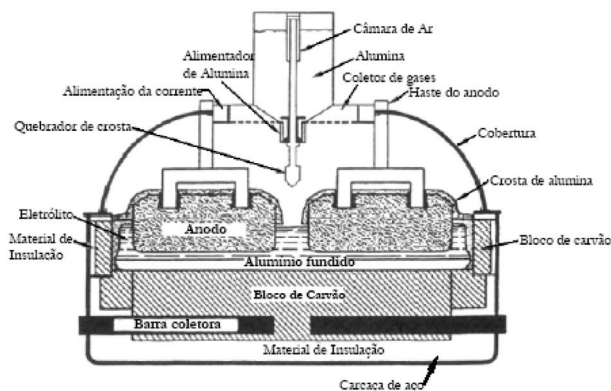
São duas tecnologias usadas no processo Hall - Héroult, que se diferenciam pelo tipo de anodo empregado. As cubas com anodo pré-cozido e as cubas com anodo Söderberg. Os anodos pré-cozidos são feitos em um processo separado, empregando coque de petróleo e piche como matéria-prima, estes anodos são consumidos durante o processo e têm que ser trocados intermitentemente. Enquanto os anodos Söderberg são cozidos pelo calor da própria cuba eletrolítica, eles não precisam ser trocados, são consumidos continuamente. O oxigênio produzido durante a eletrólise reage com o carvão do anodo para formar uma mistura de CO_2 (75%) e CO (25%).

A passagem da corrente elétrica do anodo para o catodo decompõe a alumina em alumínio e oxigênio. Este reage com o carbono do anodo - eletrodo positivo - e o metal se deposita no catodo - eletrodo negativo - sob a forma líquida. O alumínio líquido, retirado periodicamente das cubas, é transferido em cadinhos até os chamados fornos de espera, na fundição. O metal segue, então, para máquinas de fundição, onde é conformado e resfriado para a produção de lingotes ou tarugos.

A forte ligação química entre o alumínio e o oxigênio na alumina só pode ser rompida, através de um consumo muito elevado de energia elétrica, para a formação do alumínio primário. Logo, a produção de alumínio primário só é economicamente viável em regiões que disponham de um suprimento abundante e barato deste energético, em geral produzido em usinas hidrelétricas, como ocorre majoritariamente no Brasil.

Na produção de alumínio via célula de Soderberg, em geral são gastos 2 kg de alumina e de 16 a 18 kWh de energia para cada quilo de alumínio produzido com 99,5% de pureza. Através do processo Hall-Héroult, para uma mesma quantidade de matéria-prima (no caso, 2 kg de alumina) e produto gerado, obtém-se um alumínio (que é escumado dos catodos) com 99,995% de pureza, ou seja, um produto de maior valor agregado, com um consumo de energia elétrica cerca de 20 a 30% inferior.

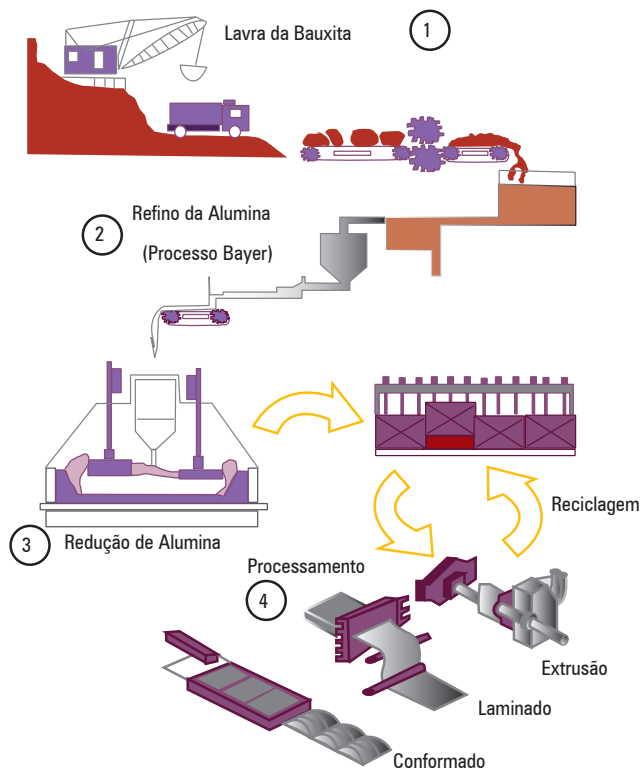
A figura a seguir ilustra um esquema de uma cuba eletrolítica do processo Hall-Héroult para a produção de alumínio primário.



Fonte: IAI, 2008.

Figura 1
Desenho esquemático de uma Cuba eletrolítica de anodo pré-cozido – processo Hall-Héroult

Sinteticamente, pode-se dizer que o processo produtivo do alumínio envolve quatro etapas fundamentais, tal como é esquematicamente descrito a seguir.



Fonte: IAI, 2008.

Figura 2
Fluxograma do processo produtivo do alumínio

1.2.2.2 A partir da reciclagem

Outra rota produtiva, muito importante do ponto de vista ambiental, é a reciclagem do alumínio, com destaque para a reciclagem de latas de alumínio. Esta última, considerando um ciclo completo, envolve dez etapas:

- Compra da lata pelo consumidor;
- Consumo;
- Coleta;
- Prensagem;
- Fundição;
- Lingotamento;
- Laminação;

- Fabricação de novas latas;
- Enchimento;
- Consumo.

Conforme discutido na subseção anterior do presente trabalho, a produção de alumínio a partir da bauxita demanda grandes quantidades de matérias-primas, combustíveis e eletricidade; além disso, gera quantidades significativas de gases que causam o efeito estufa, motivo de grande preocupação no mundo todo.

Cabe ressaltar, ainda, que, em um mercado altamente competitivo, como é o caso do alumínio, atingir baixos custos comparativos é um aspecto crucial. Nesse contexto, reciclar alumínio é uma atividade importante para a indústria e para a sociedade como um todo.

O nível de reciclagem¹ do alumínio no País em 2006 foi de 38% (MME, 2007).¹

Em 2005, o Brasil reciclou mais de 9,4 bilhões de latas de alumínio, ou seja, 127.600 toneladas. As latas são coletadas e armazenadas através de uma rede que conta com cerca de 130.000 catadores de lixo, que são responsáveis por 50% da oferta de alumínio reciclado para a indústria. A outra metade provém de supermercados, escolas, companhias e instituições de caridade (ABAL, 2007).

As latas de alumínio podem ser recicladas incontáveis vezes sem perda de quaisquer de suas características. Atualmente, é possível uma lata ser vendida, consumida, coletada, transformada em uma lata nova, engarrafada e estar à venda novamente dentro de um período de 33 dias (CEMPRE, 2007).

Além de reduzir o desperdício de materiais e a pressão sobre os lixões e aterros sanitários, a reciclagem gera um ganho de energia significativo. Reciclar uma tonelada de latas requer apenas 5% da energia que seria necessária para produzir a mesma quantidade de alumínio a partir da bauxita. Nesse contexto, pode-se dizer que a reciclagem do alumínio é intrinsecamente um processo indutor de redução no consumo de energia elétrica pela indústria deste metal.

A reciclagem de latas de alumínio no Brasil atinge um patamar único no mundo: 96% (ABAL, 2007).

1.3 Cobre

1.3.1 Produtos, matérias-primas e produção

O cobre é um dos raros metais que ocorrem na natureza em estado puro. A simplicidade de seu tratamento metalúrgico possibilitou uma produção elevada já antes do quarto milênio anterior à era cristã². Desde então, sofreu progressivas desvalorizações, até que, em meados do século XX, a eletricidade e a telefonia restabeleceram um consumo elevado.

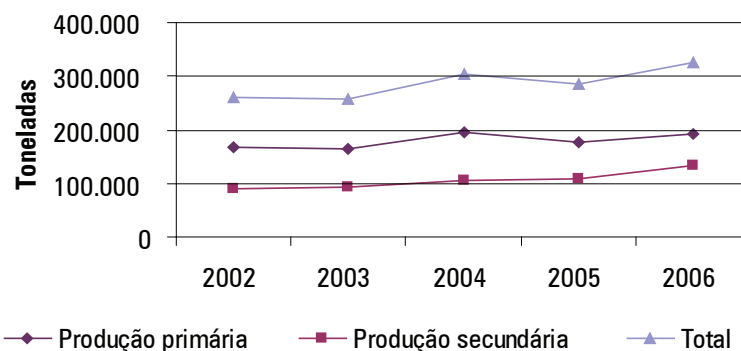
Embora seja existente em numerosos minérios oxidados ou sulfurados, é principalmente a partir da calcopirita (CuFeS_2) que o cobre é extraído.

As elevadas condutividades elétrica e térmica do cobre tornam este metal muito adequado para a fabricação de cabos elétricos. De fato, esta finalidade é responsável por aproximadamente 50% da demanda de cobre. As propriedades elétricas do cobre são mais bem aproveitadas quando ele é empregado em estado puro, mas as propriedades mecânicas e a sua inalterabilidade são melhores nas ligas com chumbo, níquel, zinco e estanho. O bronze, uma das principais ligas conhecidas, compõe-se de cobre e estanho.

¹ Sucata recuperada/consumo aparente.

² O primeiro metal descoberto pelo homem foi o cobre, ainda na pré-história, no Oriente Médio. Com a descoberta deste material e, posteriormente, de outros metais foi possível desenvolver ferramentas bem mais eficientes do que as de pedra.

A produção total de cobre no Brasil é desagregada em produção primária e produção secundária, conforme indicado na figura a seguir. A produção brasileira de cobre metálico primário, que se concentra no Estado da Bahia, foi de 193.119 toneladas em 2006. A produção secundária de cobre, nesse mesmo ano, foi de 133.200 toneladas. Ainda em 2006, as exportações totalizaram 150.141 toneladas, as importações somaram 232.142 toneladas e o consumo aparente foi de 408.320 toneladas (MME, 2007).



Fonte: MME, 2007.

Gráfico 3

Produção primária e secundária de cobre no Brasil, em t, de 2002 a 2006

A Caraíba Metais, único produtor de cobre primário no Brasil, adquire uma parte de sua demanda de concentrado de cobre da Mineração Caraíba, da Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), importando o restante, embora aquelas minerações exportem parcelas significativas da produção de concentrados³.

Um maior aporte de investimentos na prospecção de novas reservas e a expansão do projeto da Mina de Sossego da CVRD, no Estado do Pará, criam a expectativa de se atingir a auto-suficiência até 2010.

No processo secundário de obtenção do cobre, é feita a fusão do metal já usado com um consumo de energia menor.

O consumo per capita de cobre no Brasil foi de 1,7 kg em 2005, abaixo da média mundial de 2,6 kg por habitante nesse mesmo ano (MME, 2006a).

1.3.2 Etapas do processo produtivo

Os minérios de cobre aparecem misturados com a ganga (constituída de diversos tipos de materiais rochosos sem valor comercial), da qual devem ser separados. Para tanto, são submetidos, inicialmente, a um processo de moagem e pulverização. Em seguida, de acordo com o tipo de minério, aplicam-se diferentes processos de concentração do material.

Quando a matéria-prima é um minério a base de sulfetos, o método inicial empregado na produção do cobre é a flotação, que consiste em verter o mineral moído sobre água com resina de creosoto e um agente químico orgânico. Uma vez concentrado o metal, elimina-se o enxofre, por ustulação⁴ em um forno, de onde esse elemento desaparece parcialmente na forma de gás. Acrescenta-se, em seguida, minério de ferro para formar escória com as impurezas.

³ Em 2006, a exportação alcançou 120 kt de cobre contido.

⁴ Ustulação consiste em aquecer um sulfeto na presença de gás de oxigênio, conhecido também como “queima de sulfeto”. Processo geralmente usado para obtenção de metais como: chumbo, cobre, prata, zinco e mercúrio.

Também é possível adicionar quantidades adequadas de cal durante a fusão do cobre. Com isso, forma-se a chamada nata de cobre, que, em estado líquido, transita para um conversor; neste, o ferro e o enxofre que acompanham o cobre se oxidam, dando lugar ao cobre blister, que, quando depositado e solidificado, apresenta superfície empolada, cor preta e um teor de impurezas da ordem de 2%. O blister é refinado, em seguida, para eliminar essas impurezas. Por fim, procede-se à decomposição por passagem de corrente elétrica, ou eletrólise de grandes blocos de cobre blister e recolhe-se o elemento quimicamente puro no cátodo (pólo negativo). No leito eletrolítico aparecem ouro e prata como subprodutos.

1.4 Zinco

1.4.1 Produtos, matérias-primas e produção

Os principais usos do zinco metálico são a produção de ligas e a galvanização⁵ de estruturas de aço. Cerca de 50% do consumo mundial deste metal não-ferroso refere-se a tais empregos. O zinco também pode ser um aditivo de certas borrachas e tintas. O zinco ainda pode ser empregado em protetores solares, na forma de um óxido, pois tem a capacidade de reduzir a intensidade da radiação solar que atinge a derme.

Os principais compostos de zinco são o óxido (ZnO) e o sulfato de zinco (ZnSO₄). O óxido é utilizado na indústria cerâmica, na produção de borrachas e, ainda, na fabricação de tintas. Já o sulfato tem aplicação na indústria têxtil e no enriquecimento de solos pobres em zinco. O cloreto de zinco é usado como desodorizante em diversos fluidos e, também, para preservar madeiras. O zinco também é empregado na indústria química.

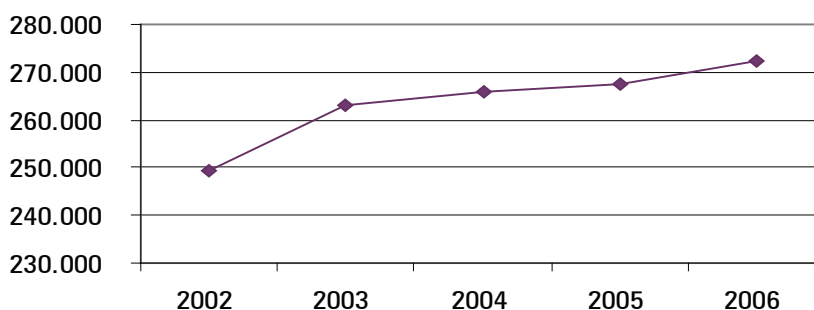
Há um amplo e sólido comércio de concentrado de zinco no mundo, o que permite aos produtores operarem de forma não integrada, ou seja, a atividade de metalurgia não precisa, necessariamente, estar agregada à de mineração (PAULA; XAVIER, 2006).

As reservas de zinco no Brasil eram de 6,2 milhões de toneladas em 2005, aproximadamente 1,3% das reservas mundiais. Deste montante, 91% localizam-se no Estado de Minas Gerais e 7% no Rio Grande do Sul (PAULA; XAVIER, 2006).

A produção de concentrado de zinco, em termos de conteúdo de metal, aumentou de 100.000 toneladas em 2000, para 171.000 toneladas em 2005, quando a produção brasileira respondeu por 2,4% da produção mundial total (PAULA; XAVIER, 2006).

A produção brasileira de zinco primário nos últimos cinco anos está indicada no gráfico a seguir.

⁵ Este processo consiste na eletrodeposição de uma fina película de zinco sobre as peças a proteger (ou seja, o zinco é utilizado como ânodo de sacrifício). Utiliza-se a galvanização para proteger estruturas de edifícios, ou componentes de automóveis e barcos.



Fonte: MME, 2007.

Gráfico 4

Produção de zinco primário no Brasil, em t, de 2002 a 2006

O Brasil ainda depende, parcialmente, da importação de concentrados de zinco; em 2006 foram 108 mil toneladas de zinco concentrado. As exportações deste metal naquele ano somaram 75 mil toneladas e o consumo aparente no País foi de 227 mil toneladas (MME, 2007).

O único produtor de zinco no País (minério e metal) é a Votorantim Metais. Em Juiz de Fora (MG), a empresa está ampliando a capacidade de produção de zinco a partir de sucatas metálicas (como pó de aciaria), no âmbito de um projeto de polimetálicos (MME, 2007).

Em 2005, o consumo per capita de zinco no Brasil foi de 0,21 kg/habitante, abaixo da média mundial de 1,6 kg per capita (MME, 2006a).

1.4.2 Etapas do processo produtivo

A produção do zinco começa com a extração do mineral, que pode ser realizada tanto a céu aberto como em jazidas subterrâneas. Os minerais extraídos são triturados e, posteriormente, submetidos a um processo denominado flotação, para a obtenção do mineral concentrado.

Os minerais com altos teores de ferro são tratados por via seca. Em um processo de ustulação, elementos presentes no sulfato de zinco e que não são úteis durante a recuperação do zinco são queimados, a uma temperatura de 950°C. Neste processo, o sulfato é transformado em óxido e em alguns subprodutos, como o ácido sulfúrico. O óxido em questão recebe a denominação de calcina. O óxido obtido é reduzido com carbono, produzindo o metal (o agente redutor, na prática, é o monóxido de carbono formado) (VOTORANTIM METAIS, 2008).

Por via úmida, o minério é calcinado (queimado) para a obtenção do óxido, sendo, posteriormente, lixiviado com ácido sulfúrico diluído. A lixívia obtida é purificada para a separação dos diferentes componentes, principalmente o sulfato de zinco. O sulfato é submetido a um processo de eletrólise com ânodo de chumbo e catodo de alumínio, sobre o qual se deposita o zinco, formando placas de alguns milímetros.

O produto resultante é transformado em lingotes em fornos de fundição. Com a adição de outros metais, como o alumínio, podem ser obtidas ligas durante este processo. A Votorantim Metais também emprega os lingotes de zinco para produzir óxidos de zinco, depois de fundir os lingotes a uma temperatura de aproximadamente 1.100 °C (VOTORANTIM METAIS, 2008).

Vários metais são obtidos como subprodutos, tais como mercúrio, cádmio, ouro, prata, cobre e chumbo,

em função da composição dos minerais. O dióxido de enxofre obtido na calcinação é usado para produzir o ácido sulfúrico utilizado na lixiviação. O excedente é comercializado.

O zinco é classificado, segundo a norma ASTM, em função da sua pureza, como:

- SHG, Special High Grade (99, 99%);
- HG, High Grade (99, 90%);
- PWG Prime Western Grade (98%).

Um processo que vem recebendo maior atenção por parte dos produtores de zinco é o aproveitamento do pó de aciaria elétrica, um rejeito da indústria siderúrgica. Tal processo, que requer equipamentos como ciclones e filtros de mangas (típicos de processos metalúrgicos) para captação do pó em questão, objetiva, principalmente, a redução do consumo de energia elétrica na produção do zinco. Portanto, o aproveitamento do pó de aciaria elétrica é, basicamente, um processo de reciclagem – e, em última instância, um processo de conservação de energia.

1.5 Silício metálico

1.5.1 Produtos, matérias-primas e produção

O silício metálico é usado na produção de ligas de alumínio voltadas à manufatura, via fundição, de importantes componentes utilizados pelas indústrias automobilística e aeronáutica. Na indústria química, o silício metálico é um insumo fundamental para a produção de diversos tipos de resinas de silicone e lubrificantes.

É, ainda, utilizado na produção de silício de altíssima pureza para componentes eletrônicos usados em campos de tecnologia avançada como computação, comunicação espacial, sistemas de defesa, geradores fotovoltaicos, etc.

No processo de produção do silício metálico faz-se uso dos seguintes insumos básicos: quartzo, carbono na forma de carvão vegetal ou carvão mineral, lenha e energia elétrica.

A produção brasileira de silício metálico nos últimos cinco anos está indicada na Tabela 3.

O País é o quarto no ranking, com 20% da produção mundial. Em 2006, as exportações foram de 196 mil toneladas e as importações somaram apenas 10.000 toneladas (MME, 2007).

1.5.2 Processo de produção

Tabela 3

Produção de silício metálico no Brasil, em t, de 2002 a 2006

2002	2003	2004	2005	2006
133.390	180.937	219.813	187.950*	185.717*

* Valor de produção mínima estimado como a diferença entre exportação e importação de silício metálico primário. As empresas CCM, CBCC, Minasligas e Italmagnésio Nordeste totalizaram 127.649 t. As empresas Liasa e Rima Industrial não informaram a produção.

Fonte: MME, 2007.

O silício metálico é fabricado em fornos elétricos de arco submerso, utilizando, como matérias-primas básicas para a sua produção, quartzo de alta pureza, carvão vegetal⁶ e eletrodos especiais de carbono pré-cozido.

1.6 Níquel

1.6.1 Produtos, matérias-primas e produção

A indústria de níquel é altamente dependente na produção de aço de alta qualidade, um dos produtos da indústria metalúrgica de maior valor agregado.

Plantas que integram mineração e atividades metalúrgicas são dominantes nessa indústria.

A produção brasileira de minério de níquel, em termos de metal contido, aumentou marginalmente de 45.300 toneladas em 2001, para 46.000 toneladas em 2006 (PAULA; XAVIER, 2006).

A Tabela 4 apresenta a evolução recente da produção de níquel primário no Brasil. Nesta tabela, a produção deste metal não-ferroso encontra-se desagregada na produção de Ni contido em ligas de Fe-Ni, níquel eletrolítico e Ni contido no mate. Em 2006, o níquel eletrolítico respondeu por 58,8% da produção total. Já as ligas Fe-Ni, no mesmo ano, responderam por 27% desta produção.

Tabela 4

Produção de níquel primário no Brasil, em t, de 2002 a 2006

	2002	2003	2004	2005	2006
Ni contido em ligas de Fe-Ni	6.010	6.409	6.492	9.595	9.813
Ni eletrolítico	17.676	18.155	19.741	20.716	21.338
Ni contido no mate	6.264	5.950	5.765	6.252	5.143
Total	29.950	30.514	31.998	36.563	36.294

Fonte: MME, 2007

Em 2005, a produção de níquel proveniente do Estado de Goiás representou 83,5% da produção nacional (PAULA; XAVIER, 2006).

Em 2006, as exportações foram de 24 000 toneladas, enquanto as importações somaram 6. 000 toneladas (MME, 2007).

Em 2005, o consumo per capita de níquel no Brasil foi de 0,107 kg, abaixo da média mundial de 0,2 kg (MME, 2006a).

Até o final de 2010, espera-se que ocorra um grande crescimento na produção e exportação brasileira de níquel. Tal expectativa é alicerçada no início da fase de implementação de três projetos: Onça-puma (em 2008), Vermelho (em 2008) e Barro Alto (em 2009). No médio prazo, o Brasil deverá se tornar o quarto maior produtor mundial de níquel, atrás apenas da Rússia, Austrália e Canadá. No momento, o Brasil é o 10º produtor mundial deste metal (PAULA; XAVIER, 2006).

⁶ No caso da RIMA Industrial S.A., o carvão vegetal é produzido em unidades florestais próprias.

Os projetos Onça-puma e Vermelho serão implementados pela Companhia Vale do Rio Doce (CVRD) no Pará, com capacidades anuais de produção de 58.000 toneladas de níquel (Onça-Puma), 46.000 toneladas de níquel e 2.800 toneladas de cobalto (Vermelho).

O projeto Barro Alto será instalado pela Anglo-American no Estado de Goiás. Terá uma capacidade de produção anual de 35.000 toneladas de níquel e irá requerer – a partir de 2007 – um investimento da ordem de R\$ 1,84 bilhão, em R\$ de 2002.

Há, também, o projeto Santa Rita, que deve ser implementado pela Mirabela Níquel (na qual a CVRD é o segundo maior acionista), no Estado da Bahia, em 2008, com uma capacidade anual de produção de 15.000 toneladas (PAULA; XAVIER, 2006).

Com estes novos projetos, o Estado do Pará capitaneará a produção de níquel no Brasil, seguido pelo Estado de Goiás. A depleção da mina da MSF (Mineração Serra da Fortaleza) tende a parar a produção de minério de níquel no Estado de Minas Gerais, mas não as atividades metalúrgicas da MSF no referido estado brasileiro.

1.6.2 Etapas do processo produtivo

Minerais contendo sulfetos ou sulfitos, como pentlandita ou pirrotita, em geral contêm de 1 a 3% de níquel e quantidades variáveis de cobre. Eles são quebrados, moídos e concentrados por flotação ou meios magnéticos.

O sulfeto concentrado é oxidado por aquecimento e fundido para separar a parte rica em ferro da parte com cobre, níquel e ferro (cerca de 75-80% Cu-Ni). Essa parte pode ser usada diretamente para fabricar a liga Monel⁷, ou refinada para obter o níquel.

O refino pode ser eletrolítico, ou o cobre pode ser removido por dissolução em ácido sulfúrico, deixando um resíduo de níquel impuro. Monóxido de carbono passa pelo resíduo, formando a carbonila de níquel Ni (CO), que se decompõe por aquecimento, depositando o níquel metálico.

Um processo com certo potencial para imprimir redução no consumo de energia elétrica por parte da indústria do níquel no Brasil é a reciclagem eletroquímica de níquel a partir de baterias de telefones celulares. No entanto, tal processo ainda encontra-se em fase de maturação tecnológica⁸.

1.7 Estanho

1.7.1 Produtos, matérias-primas e produção

O estanho (metal puro) é usado na construção de tubos e válvulas, na confecção de recipientes para água destilada, cerveja e bebidas carbonatadas. Pode, ainda, ser usado em tanques de armazenamento de soluções químicas farmacêuticas, fusíveis, munições, papel metalizado para envolver alimentos, doces, etc. O pó de estanho é usado na fabricação de tintas e *sprays*. A galvanoplastia⁹ é outra importante aplicação do estanho, podendo ser feita a eletrodeposição em torno de peças de aço, cobre, alumínio, etc.

⁷ Nome comercial da liga Ni-Cu.

⁸ No âmbito, por exemplo, do Departamento de Química da Universidade Federal do Espírito Santo.

⁹ O processo da galvanoplastia consiste em um metal que, submersível em um substrato, transfere íons para outra superfície (metálica ou não), através da eletrólise. O objeto cuja superfície será revestida sofre a redução e deve estar ligado ao pólo negativo, o cátodo, de uma fonte de energia, enquanto o metal que sofre a oxidação deve ser ligado a um pólo positivo, o ânodo. No processo, as reações não são espontâneas. É necessário fornecer energia elétrica para que ocorra a deposição dos elétrons (eletrolise). Trata-se, então, de uma eletrodeposição na qual o objeto que recebe o revestimento metálico é ligado ao pólo negativo de uma fonte de corrente contínua, enquanto o metal que dá o revestimento é ligado ao pólo positivo.

O estanho é obtido principalmente do mineral cassiterita, no qual apresenta-se como um óxido (SnO_2).

A produção brasileira de estanho primário nos últimos cinco anos está indicada na Tabela 5.

No mercado interno, parte da demanda em 2006 foi suprida com importações, que foram de 2.000 toneladas. As exportações, naquele ano, foram de 4,7 mil toneladas e o consumo aparente do metal no País foi de 6,2 mil toneladas.

Tabela 5

Produção de estanho primário no Brasil, em t, de 2002 a 2006

2002	2003	2004	2005	2006
12.031	10.761	11.512	8.986	8.784

Fonte: MME, 2007.

Em 2005, o consumo per capita de estanho no Brasil foi de 0,031 kg, contra uma média mundial de 0,054 kg (MME, 2006a).

1.7.2 Processo produtivo

O estanho metálico é resultante do processo de fundição e refino da cassiterita (Best Metais, 2007).

1.8 Chumbo

1.8.1 Produtos, matérias-primas e produção

A produção brasileira de minério de chumbo em 2006 foi de 16 mil toneladas (Pb contido), proveniente da mina de Morro Agudo, no município de Paracatu (MG). Ela foi toda exportada por ausência de usina metalúrgica para produção do metal (MME, 2007).

A produção de chumbo no País corresponde à produção secundária, obtida por meio da reciclagem de sucata, especialmente de baterias automotivas. As usinas refinadoras se localizam nos Estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Pernambuco.

A Tabela 6 mostra a produção brasileira secundária de chumbo nos últimos cinco anos.

Tabela 6

Produção secundária de chumbo no Brasil, em t, de 2002 a 2006

2002	2003	2004	2005	2006
104.620	128.610	137.121	104.904	142.653

Fonte: MME, 2007.

As importações de chumbo em 2006 foram de 79.000 toneladas, enquanto que o consumo aparente no País foi de 222.000 toneladas (MME, 2007).

Está em curso um investimento da Votorantim Metais, em Juiz de Fora (MG), o projeto denominado Polimetálicos, que contempla uma unidade que produzirá chumbo metálico secundário, em torno de 75.000 toneladas, a partir de 2009.

1.8.2 Etapas do processo produtivo

A partir da ustulação do minério de chumbo, a galena, obtém-se como produto o óxido de chumbo.

Em um alto-forno, este óxido é reduzido com a utilização de coque, fundente e óxido de ferro. O chumbo bruto obtido é separado da escória por flotação.

A seguir, é refinado para a retirada das impurezas metálicas, que pode ser por destilação. Desta forma, obtém-se chumbo com uma pureza elevada (99,99%).

1.9 Magnésio

Os compostos de magnésio, principalmente seu óxido, são empregados como materiais refratários em fornos para a produção de ferro e aço, metais não-ferrosos, cimento e cristais. O uso principal deste metal é como elemento de liga com o alumínio. Tal liga é amplamente utilizada na produção de recipientes de bebidas e em componentes de automóveis (como aros de roda).

Há apenas uma empresa produtora de magnésio no Brasil, a Rima Industrial S.A., que, desde 2001, não fornece informações sobre produção e principais insumos consumidos. A última informação disponível dá conta de que, em 2000, produziu-se 5.723 toneladas de magnésio no País.

A evolução das importações e exportações de magnésio no Brasil, de 2002 a 2006, está apresentada na Tabela 7. Observe-se o volume crescente e bem maior das importações.

Tabela 7

Importações e exportações de magnésio no Brasil, em t, durante o período 1998 a 2005

	2002	2003	2004	2005	2006
Importações	7.608	6.788	9.924	11.783	30.542
Exportações	1.598	778	802	859	1.280

Fonte: MME, 2007.

2 Caracterização Econômica

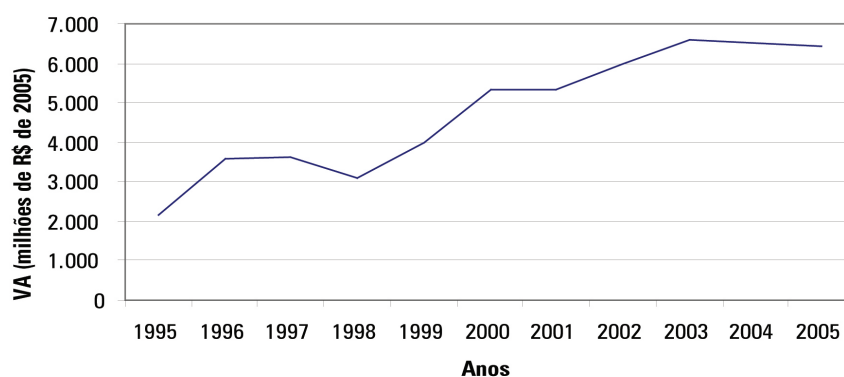


2 Caracterização Econômica

2.1 Introdução

Nesta seção é apresentado o comportamento recente do valor adicionado e dos investimentos deste segmento como um todo.

A figura a seguir mostra a evolução, de 1995 a 2005, do Valor Adicionado¹ (VA) da indústria brasileira de metais não-ferrosos, em R\$ constantes de 2005. O crescimento médio anual do VA desta indústria, neste período, ultrapassou a 10% a.a., muito superior ao crescimento médio do PIB no mesmo período, que foi de 2,4% a.a..



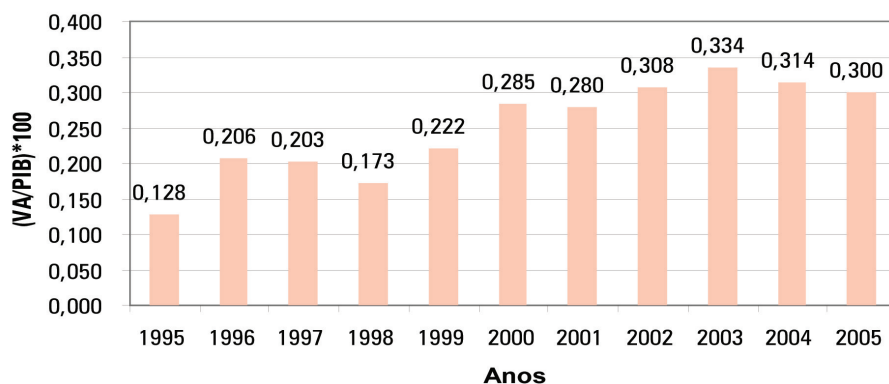
Fonte: IBGE, 2008.

Gráfico 5

Valor adicionado da indústria de metais não-ferrosos no Brasil, em 10⁶ R\$ de 2005, de 1995 a 2005

O gráfico 6 ilustra como evoluiu, no período 1995 a 2005, a participação da indústria de metais não-ferrosos na formação do PIB nacional. Pode-se observar, nesta figura, que houve um aumento nesta participação, de 0,128% em 1995 para 0,3% em 2005. Este segmento industrial se caracteriza por um comportamento cíclico do seu VA, por conta do comportamento cíclico de seus principais produtos no mercado internacional.

¹⁰ Valor econômico adicionado ou simplesmente valor adicionado ou, ainda, valor agregado é uma noção que permite medir o valor criado por um agente econômico. Em termos macroeconômicos, é o valor dos bens produzidos por uma economia, depois de deduzidos os custos dos insumos adquiridos a terceiros (matérias-primas, serviços, bens intermediários), utilizados na produção.



Fonte: Elaboração própria, a partir de dados do IBGE (2008).

Gráfico 6

Participação percentual da indústria de metais não-ferrosos na formação do PIB no Brasil, de 1995 a 2005

A Tabela 8 mostra os investimentos realizados pela indústria brasileira de metais não-ferrosos de 1998 a 2005. A Tabela 27 está organizada segundo os principais metais não-ferrosos deste segmento; os investimentos na fabricação de alumínio corresponderam a mais de 78% dos investimentos totais em todos os anos analisados. Pode-se constatar, na tabela, uma fase crescente que começa em 1999 e culmina com um forte pico de investimentos em 2002, seguida de quedas substanciais em 2002 e 2003 e uma recuperação em 2005. Esta recuperação só decresceu um pouco em 2006, quando este segmento industrial investiu R\$ 3,43 bilhões, em R\$ de 2006 (MME, 2007).

Tabela 8

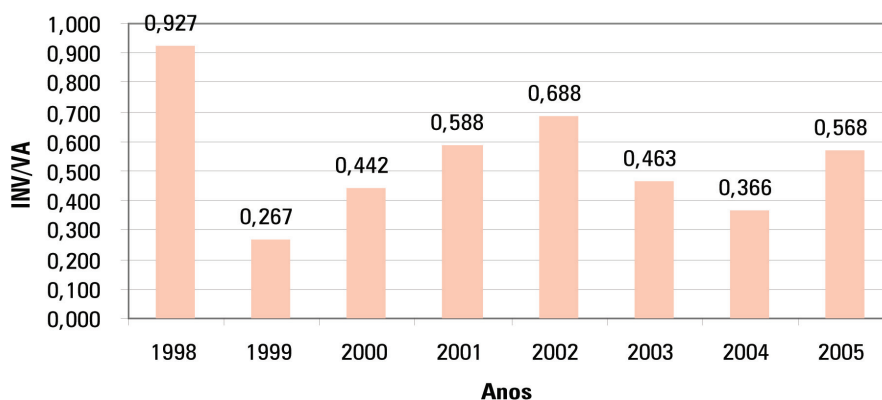
Investimentos da indústria de metais não-ferrosos no Brasil, em 10⁶ R\$ de 2005, de 1996 a 2005

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Alumínio	2.544	917	2.033	2.738	3.846	2.495	1.881	3.165
Cobre	21	20	83	43	24	101	19	115
Zinco	182	82	174	243	140	233	139	93
Silício metálico	83	9	5	6	8	46	53	14
Níquel	41	37	52	76	104	162	291	271
Estanho	n.d.	n.d.	11	19	6	7	9	4
Total	2.871	1.065	2.358	3.125	4.128	3.044	2.392	3.662

n.d.: dado indisponível

Fonte: Elaboração própria, a partir de dados, em US\$ correntes, do MME (2007).

O ciclo anterior de investimentos da indústria nacional de metais não-ferrosos, que se iniciou em 1999, teve o seu pico em 2002 e provavelmente se encerrou em 2005, está bem delineado no Gráfico 7 (elaborada com base nos dados da Tabela 8 e do Gráfico 5), que representa a evolução do elevado quociente entre investimentos e valor adicionado, nesta indústria, no período de 1998 a 2005.



Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 7

Relação entre investimentos e valor adicionado na indústria brasileira de metais não-ferrosos, de 1998 a 2005

2.2 Alumínio

2.2.1 Importações, exportações e demanda aparente

A trajetória seguida pela demanda aparente de alumínio no Brasil de 1999 a 2006 está indicada na Tabela 9. Tal consumo refere-se à soma da produção primária, sucata recuperada e importações, menos exportações e ajustes, que também estão indicados na Tabela 9. O termo de ajuste inclui variações do estoque na produção e em plantas de beneficiamento, perdas e superávits/déficits do período anterior.

Tabela 9

Demanda aparente de alumínio no Brasil, em 10³ t, durante o período 1998 a 2006

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Produção primária	1.250	1.271,	1.132	1.318	1.381	1.457	1.498,	1.603,6
Sucata reciclada	186,4	229,2	257,2	253,5	248,0	281,5	294,3	316,5
Importação								
Metal primário e ligas	2,1	2,3	8,7	8,9	6,8	12,0	18,6	11,6
Produtos semi-acabados e manufaturados	129,0	98,4	109,5	83,9	68,3	62,6	61,7	65,9
Oferta Total	1.567	1.601	1.507	1.670	1.712	1.818	1.879	2.006,3
Exportação								
Metal primário e ligas	788,6	760,0	587,9	749,4	798,8	818,4	753,1	842,1
Sucata	13,4	3,0	0,4	1,0	0,1	0,7	1,7	1,0
Semi e manufaturados	107,6	147,7	141,0	131,4	191,7	219,5	205,0	187,8
Ajustes	(0,6)	24,3	42,0	73,3	55,0	40,5	116,5	98,0
Demanda aparente	658,1	666,3	736,1	715,5	666,0	738,5	802,3	837,6

Fontes: MME, 2003; MME, 2004; MME, 2005; MME, 2006a; MME, 2007.

Os dados da tabela anterior revelam que o Brasil é um grande exportador de alumínio, em grande parte na forma de metal primário e ligas. Em 2006, 54,5% da produção total (produção primária mais sucata reciclada) foi exportada – sendo que os principais países importadores do alumínio brasileiro são Japão, Estados Unidos e Holanda (no caso de alumínio primário) (MME, 2007). Logo, a evolução do mercado internacional de alumínio é um dos principais determinantes do comportamento de toda a cadeia produtiva do alumínio no País.

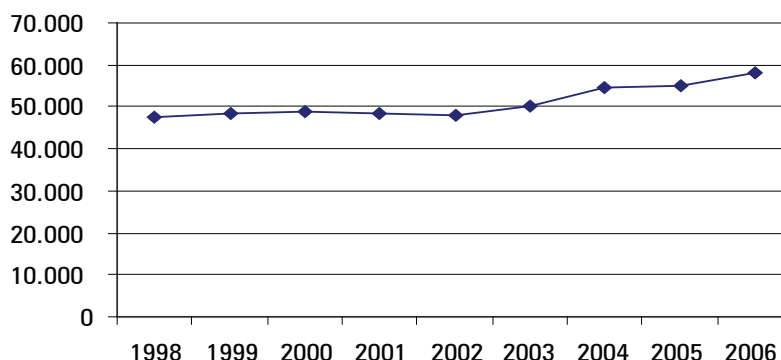
A balança comercial do alumínio produzido no Brasil foi muito positiva em 2006. As exportações alcançaram 1.045.686 de toneladas, gerando para o País o expressivo montante de R\$ 4,78 bilhões de R\$ (MME, 2007).

2.2.2 Empregos gerados, faturamento e investimentos

O número de empregos gerados pela indústria brasileira de alumínio aumentou entre 2002 e 2006 (ver Gráfico 8). Os maiores investimentos nesta indústria aconteceram em 1998, 2001, 2002, 2005 e 2006, conforme indicado no Gráfico 9.

A capacidade de produção de alumínio primário no País vem se expandindo ano após ano. De acordo com de Paula e Xavier (2006), algumas das grandes companhias brasileiras de alumínio pretendem investir maciçamente nos próximos anos, para ampliar, de modo expressivo, a produção deste metal.

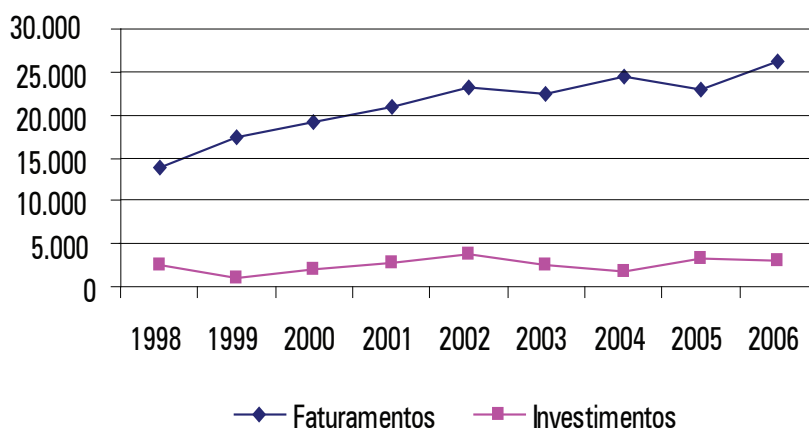
Um exemplo desta expansão de investimentos no sentido de ampliar a produção de alumínio no Brasil refere-se à modernização de uma unidade da Alcoa Alumínio S. A.. A empresa está investindo R\$ 365 milhões na sua unidade de Poços de Caldas (MG), gerando 150 empregos diretos e, ao menos, 300 indiretos. Do total investido, R\$ 248 milhões estão sendo direcionados à modernização da produção de alumínio primário. Denominado New Soderberg, o projeto de modernização que está sendo implementado torna a fábrica de Poços de Caldas uma das mais modernas e sustentáveis entre as unidades da Alcoa no mundo que utilizam o processo Soderberg, preparando-a para operar por, pelo menos, mais 40 anos.



Fontes: MME, 2003; MME, 2004; MME, 2005; MME, 2006a; MME, 2007.

Gráfico 8

**Indústria do alumínio no Brasil: empregos diretos gerados,
durante o período de 1998 a 2006**



Fontes: MME, 2003; MME, 2004; MME, 2005; MME, 2006a; MME, 2007.

Nota: Os valores para 2006, encontram-se em R\$ 2006.

Gráfico 9

Indústria do alumínio no Brasil: faturamentos e investimentos, em 10⁶ R\$ de 2005, durante o período 1998 - 2006

2.2.3 Principais empresas

A produção brasileira de alumínio primário está concentrada nas mãos de seis grandes companhias:

- Albras Alumínio Brasileiro,
- Novelis do Brasil Ltda. (Alcan),
- Alcoa Alumínio S.A.,
- Valesul/CVRD,
- BHP Billiton Metais S.A. e
- Companhia Brasileira de Alumínio (CBA), que pertence ao Grupo Votorantim.

A Votorantim possui participação acionária em diversas empresas da indústria brasileira de alumínio e é o principal produtor de alumínio no País.

As grandes plantas da Albras e da Alumar foram construídas na década de 1980 e já incorporam tecnologias mais eficientes para produzir alumina e alumínio primário. Já as plantas menores, pertencentes à Novelis e CBA, que foram instaladas antes ou durante a década de 1990, não incorporaram tecnologias mais eficientes, e são menos eficientes. A escala e a eficiência da Valesul estão entre esses dois grupos (BAJAY et al., 1995).

A planta da Albras (CVRD/NAAC) caracteriza-se por ser a de maior produção de alumínio primário no País, com uma capacidade instalada de cerca de 440.000 toneladas por ano. Quase toda a produção da Albras é exportada na forma de lingotes. A alumina e a eletricidade são providas, respectivamente, pela Alunorte e pela Eletronorte (através da Usina Hidroelétrica de Tucuruí). A demanda de energia elétrica da planta da Albras é de cerca de 750MW.

A Companhia Vale do Rio Doce inaugurou em agosto de 2008, em Barcarena, no Pará, a terceira fase de expansão da Alunorte, que consumiu um aporte total de R\$ 2,2 bilhões. Esta terceira parte de expansão da Alunorte, controlada pela Vale, contempla duas linhas de produção para aumentar a capacidade atual de 4,45 milhões para 6,3 milhões de toneladas de alumina por ano.

A planta da Alumar (Novelis/BHP Billiton) situa-se no distrito industrial de São Luís(MA). Esta planta opera uma refinaria para produzir tanto alumina quanto alumínio primário, através de unidades de fundição. Está entre as maiores plantas de produção de alumina e alumínio primário do mundo, com uma capacidade instalada de cerca de 375.000 toneladas de alumínio primário por ano e uma demanda elétrica de cerca de 600 MW (EPE, 2006).

Desde 2001, a CBA, cujas plantas produzem alumina e alumínio primário e situam-se na cidade paulista de Alumínio (75 km da cidade de São Paulo), tem se expandido. A capacidade de produzir alumínio primário subiu de 240.000 toneladas em 2001, para 314.000 toneladas em 2003, e para 400.000 toneladas em 2005 (PAULA; XAVIER, 2006).

2.3 Cobre

2.3.1 Importações, exportações e demanda aparente

O Gráfico 10, a seguir, mostra a evolução da demanda aparente de cobre no Brasil de 2001 a 2006. Esta demanda refere-se à soma da produção (primária e secundária) com as importações, menos as exportações, que também estão indicadas na Gráfico 10.

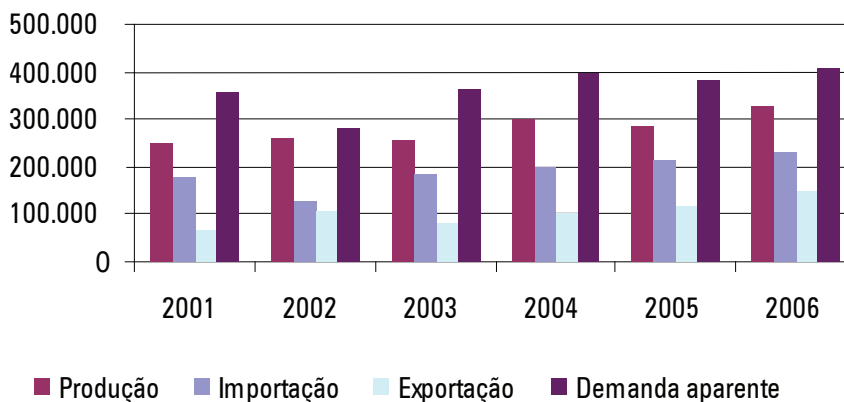


Gráfico 10

Demanda aparente de cobre no Brasil, em toneladas, durante o período de 2001 a 2006

As taxas médias anuais de crescimento da produção, importações, exportação e demanda aparente no período de 2001 a 2006 foram 5,6%, 5,5%, 17,2% e 2,7%, respectivamente, ou seja, a produção tem aumentado, sobretudo para atender exportações crescentes.

A nova mina de Sossego exportou toda a sua produção de concentrado de cobre em 2005, i.e., 106.000 toneladas.

As exportações totais de cobre, em 2006, atingiram 150.141 toneladas e geraram um faturamento de R\$ 2,11 bilhões. Porém, a balança comercial foi negativa naquele ano. As importações líquidas de cobre foram de 216.257 toneladas, onerando o País em R\$ 3,48 bilhões (MME, 2007).

2.3.2 Empregos gerados, faturamento e investimentos

O faturamento da indústria brasileira de cobre aumentou substancialmente entre 2003 e 2006, depois do ano recessivo de 2002. Os investimentos nesta indústria não têm sido muito expressivos e não têm se refletido em uma geração substancial de empregos, conforme se pode observar na Tabela 10.

Tabela 10

Indústria de cobre no Brasil: empregos diretos gerados, receitas líquidas e investimentos, durante o período de 1998 a 2006

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Empregos	857	859	859	859	915	899	962
Faturamento (10 ⁶ R\$ de 2005)	1.454	1.629	1.412	1.714	2.308	2.317	3.735*
Investimentos (10 ⁶ R\$ de 2005)	83	43	24	101	19	115	72*

Fontes: MME, 2003; MME, 2004; MME, 2005; MME, 2006a; MME, 2007.

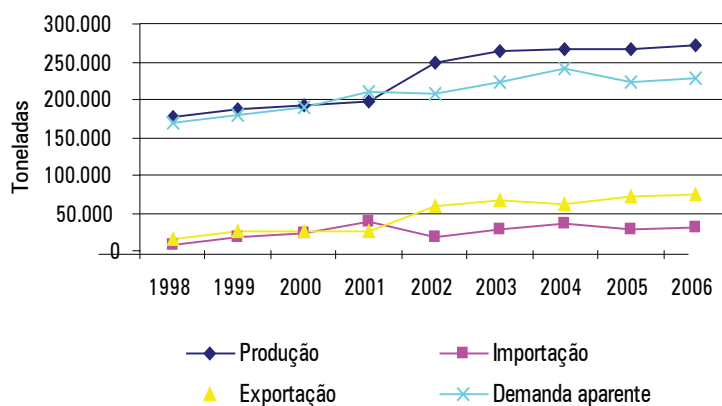
2.3.3 Principais empresas

O Brasil só tem uma companhia voltada à produção de cobre eletrolítico, a Caraíba Metais, situada no Estado da Bahia. Ela planeja aumentar sua capacidade de produção de 220.000 toneladas por ano em 2005 para 250.000 toneladas por ano em 2009 (PAULA; XAVIER, 2006; MME, 2006a).

2.4 Zinco

2.4.1 Importações, exportações e demanda aparente

A evolução da demanda aparente de zinco no Brasil de 1998 a 2006 está indicada no Gráfico 11. Este consumo refere-se à soma da produção com as importações, menos as exportações, que também estão indicadas na figura em questão.



Fontes: MME, 2003; MME, 2004; MME, 2005; MME, 2006a; MME, 2007.

Gráfico 11

Demanda aparente de zinco no Brasil, em toneladas, durante o período de 1998 a 2006

A figura anterior mostra que a produção de zinco cresceu continuamente durante o período avaliado. Mostra, também, que as exportações deste metal aumentaram substancialmente desde 2002. Já a demanda aparente tem experimentado um lento crescimento na maioria dos anos representados nesta tabela.

A balança comercial do zinco foi positiva em 2006. Nesse ano, as exportações foram de 75.112 toneladas, gerando um faturamento da ordem de R\$ 468 milhões (MME, 2007).

2.4.2 Empregos gerados, faturamento e investimentos

Os investimentos mais expressivos nesta indústria aconteceram em 1999, 2000, 2001, 2003 e 2006, conforme explicitam os dados da Tabela 11. Esta tabela também mostra que a oferta de empregos reduziu-se em 2001 e, particularmente, em 2002, com uma recuperação parcial em 2005.

Tabela 11

Produção de zinco no Brasil: empregos diretos gerados, receitas líquidas e investimentos, durante o período de 1998 a 2006

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Empregos	1.716	1.706	1.665	1.028	1.076	1.063	1.245	1544
Faturamento (10 ⁶ R\$ de 2005)	850	894	896	1.108	952	988	1.061	2.034*
Investimentos (10 ⁶ R\$ de 2005)	82	174	243	140	233	139	93	148*

* Reais de 2006.

Fontes: MME, 2003; MME, 2004; MME, 2005; MME, 2006a; MME, 2007.

Em agosto de 2006, a Votorantim Metais anunciou um projeto de expansão de sua unidade de Juiz de Fora. Tal expansão irá requerer R\$ 328 milhões e ampliará a capacidade nominal da planta para 108 mil toneladas por ano. O projeto também contempla a produção de 18 toneladas de Índio por ano a partir de dezembro de 2007 (VOTORANTIM METAIS, 2008). Cabe ressaltar que o Índio é obtido a partir de resíduos da produção de zinco (PAULA; XAVIER, 2006).

2.4.3 Principais empresas

A Votorantim Metais é o único produtor integrado de zinco atuante no Brasil. No segmento de zinco, este grupo opera através de duas subsidiárias: Companhia Mineira de Metais (CMM) e Companhia Paraibuna de Metais (MME, 2006a).

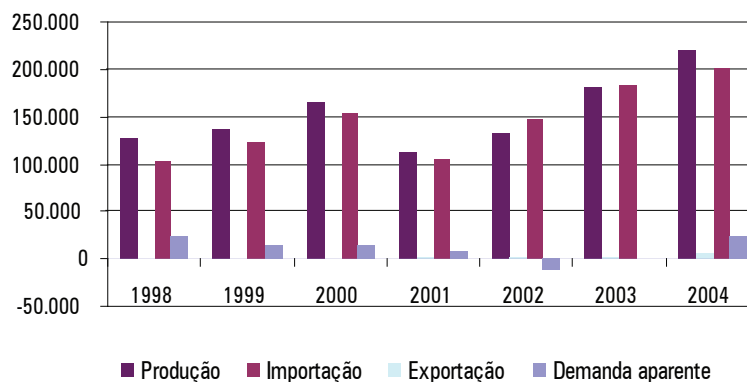
A atuação da Votorantim Metais no mercado de zinco iniciou-se em 1956, com a formação da Companhia Mineira de Metais (CMM), na cidade de Três Marias, em Minas Gerais, pioneira na implantação do processo eletrolítico para a metalurgia do zinco no Brasil.

Em abril de 2002, a Votorantim Metais adquiriu a Companhia Paraibuna de Metais (CPM). Em 2005, a empresa anunciou investimentos de R\$ 285 milhões na construção da primeira fábrica de polimetálicos do Brasil, em Juiz de Fora (MG).

2.5 Silício metálico

2.5.1 Importações, exportações e demanda aparente

O gráfico a seguir mostra a evolução da demanda aparente de silício metálico no Brasil de 1998 a 2004. Ela é a soma de produção e importações, menos exportações, que também estão indicadas na referida tabela. Não foram encontrados dados relativos à demanda aparente de silício metálico para os anos de 2005 e 2006.



Fontes: MME, 2003; MME, 2004; MME, 2005; MME, 2006a.

Gráfico 12

Demanda aparente de silício metálico no Brasil, em toneladas, durante o Período de 1998 a 2004

Os dados da figura anterior indicam que a produção e a exportação de silício metálico cresceram durante todo o período avaliado (1998-2004), exceto no recessivo ano de 2001. As importações também aumentaram substancialmente durante este período, permanecendo, porém, bem abaixo das exportações. O consumo aparente diminuiu consideravelmente, só se recuperando em 2004.

Analisando-se os dados da Figura 14, fica patente que a principal força-motriz da indústria brasileira de silício metálico é o mercado externo.

A balança comercial do silício metálico foi positiva em 2006. Nesse ano, as exportações líquidas foram de 196.033 toneladas, o que propiciou um faturamento de R\$ 603 milhões (MME, 2007).

2.5.2 Empregos gerados, faturamento e investimentos

A Tabela 12 mostra o número de empregos diretos gerados, faturamento e investimentos associados à produção de silício metálico pelas companhias CCM, CBCC e Minasligas, as principais produtoras deste metal no País. Os dados da Tabela 12 revelam um discreto aumento no número de empregos gerados ao longo do período analisado, o bom desempenho do faturamento em 2003 e 2004, sobretudo em 2003, e o crescimento dos investimentos aportados neste segmento do setor de metais não-ferrosos em 2003 e 2004.

Tabela 12

Produção de silício metálico no Brasil pelas companhias CCM, CBCC e Minasligas: empregos diretos gerados, faturamento e investimentos, durante o período de 2000 a 2004

	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Empregos	731	713	820	868	893	1.131
Faturamento (10 ⁶ R\$ de 2005)	319	216	350	595	436	375
Investimentos (10 ⁶ R\$ de 2005)	5	6	8	46	53	14

n.d.: dado indisponível.

Fontes: MME, 2005; MME, 2006a; MME, 2007.

2.5.3 Principais empresas

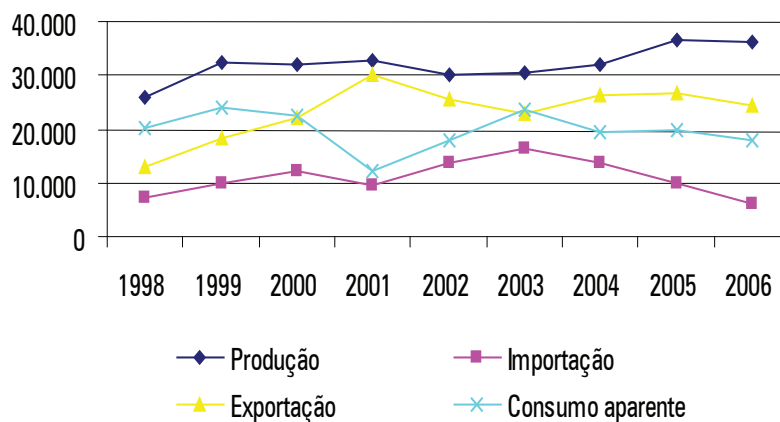
Seis companhias produzem silício metálico no Brasil:

- Camargo Corrêa Metais S.A. (CCM);
- Companhia Brasileira Carbureto de Cálcio (CBCC);
- Cia. Ferroligas Minas Gerais (Minasligas);
- Ligas de Alumínio S.A. (Liasa);
- Rima Industrial S.A.;
- Italmagnésio Nordeste.

2.6 Níquel

2.6.1 Importações, exportações e demanda aparente

A evolução, de 1998 a 2006, da demanda aparente de níquel no Brasil está indicada no Gráfico 13. Esta demanda é a soma de produção e importações, menos exportações, que também estão presentes no gráfico a seguir apresentada.



Fontes: MME, 2003; MME, 2004; MME, 2005; MME, 2006; MMEa, 2007.

Gráfico 13

Demanda aparente de níquel no Brasil, em toneladas, durante o período de 1998 a 2006

O Gráfico 13 mostra que produção, importações, exportações e demanda aparente de níquel oscilaram durante o período considerado. Observa-se, porém, que 2005 e 2006 foram anos particularmente positivos, com produção local substituindo importações. A tabela em questão mostra, também, que, de fato, as exportações constituem a principal força-motriz da demanda.

2.6.2 Empregos gerados, faturamento e investimentos

Os investimentos na indústria brasileira de zinco aumentaram substancialmente a partir de 2000, conforme indicado na Tabela 13. Com exceção do recessivo ano de 2001, isto causou expansão tanto na geração de empregos quanto no faturamento (exceto em 2005). O desempenho desta indústria foi particularmente bom em 2004 e 2006.

Tabela 13

Produção de níquel no Brasil: empregos diretos gerados, receitas líquidas e investimentos, durante o período de 1998 a 2006

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Empregos	2.025	1.939	1.951	2.079	2.163	2.291	2.334
Faturamento (10 ⁶ R\$ de 2005)	894	777	885	1.066	1.571	1.239	1.929*
Investimentos (10 ⁶ R\$ de 2005)	52	76	104	162	291	271	167*

* Reais de 2006.

Fontes: MME, 2003; MME, 2004; MME, 2005; MME, 2006a; MME, 2007.

2.6.3 Principais empresas

Três companhias produzem níquel no Brasil:

- Codemin S.A.;
- Companhia Níquel Tocantins (CNT);
- Mineração Serra da Fortaleza Ltda. (MSF).

O principal grupo empresarial envolvido na fabricação deste metal no Brasil é o Grupo Votorantim, através da Votorantim Metais.

A Votorantim Metais assinou contrato de US\$ 1 bilhão para compra de concentrado de níquel da empresa Mirabela Mineração do Brasil. O acordo prevê a aquisição de 50% da produção da mineradora no País até 2014 e permitirá que a Votorantim amplie a produção de níquel contido por meio de minério sulfetado das atuais seis mil toneladas para 18 mil toneladas anuais, na unidade de Fortaleza de Minas, em Minas Gerais.

O concentrado de níquel comprado pela companhia será produzido a partir da mina Santa Rita, localizada na cidade de Itagibá (BA). A Votorantim possui minas e unidades de beneficiamento em Niquelândia, Goiás, e Fortaleza de Minas, além de metalurgia em São Miguel Paulista, bairro da capital paulista.

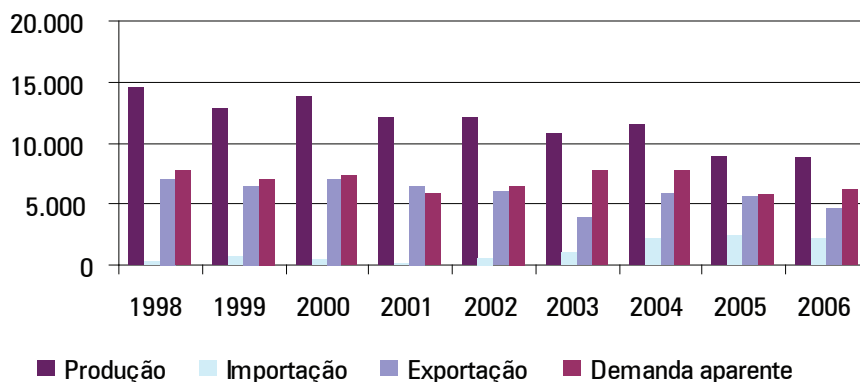
Com os projetos de ampliação em andamento, somados ao contrato firmado com a Mirabela, a capacidade de produção de níquel da Votorantim Metais saltará de 30 mil para 53 mil toneladas por ano, um aumento de 75%.

2.7 Estanho

2.7.1 Importações, exportações e demanda aparente

O gráfico a seguir apresenta a evolução da demanda aparente de estanho no Brasil de 1998 a 2006. Esta demanda é a soma de produção e importações, menos exportações, que também são apresentadas pelo próximo gráfico. O gráfico a seguir denota também que a declinante performance da indústria

brasileira de estanho reflete-se tanto na produção como na exportação deste metal. Observe-se que as importações aumentaram nos últimos anos para compensar a insuficiente produção interna. As exportações permanecem como a principal força-motriz da demanda.



Fontes: MME, 2003; MME, 2004; MME, 2005; MME, 2006a; MME, 2007.

Gráfico 14

Demanda aparente de estanho no Brasil, em toneladas, durante o período de 1998 a 2006

A balança comercial do estanho foi positiva em 2006. As exportações foram de 4.676 toneladas, gerando um faturamento de R\$ 91 milhões (MME, 2007).

2.7.2 Empregos gerados, faturamento e investimentos

A Tabela 14 apresenta o número de empregos diretos gerados, faturamento e investimentos da indústria de estanho no Brasil de 1998 a 2006. Observe-se que o declinante desempenho desta indústria (no que tange a investimentos, em especial) acabou por afetar a geração de empregos.

Tabela 14

Produção de estanho no Brasil: empregos diretos gerados, faturamento e investimentos, durante o período de 1998 a 2006

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Empregos	2.500	1.400	1.512	1.100	1.063	1.148	1.122	1.371	1.404
Faturamento (10 ⁶ R\$ de 2005)	165	281	218	171	177	217	298	180	170*
Investimentos (10 ⁶ R\$ de 2005)	n.d.	n.d.	11	19	6	7	9	4	1*

* Reais de 2006.

Fontes: MME, 2003; MME, 2004; MME, 2005; MME, 2006a; MME, 2007.

2.7.3 Principais empresas

As companhias que operam na indústria de estanho no Brasil são:

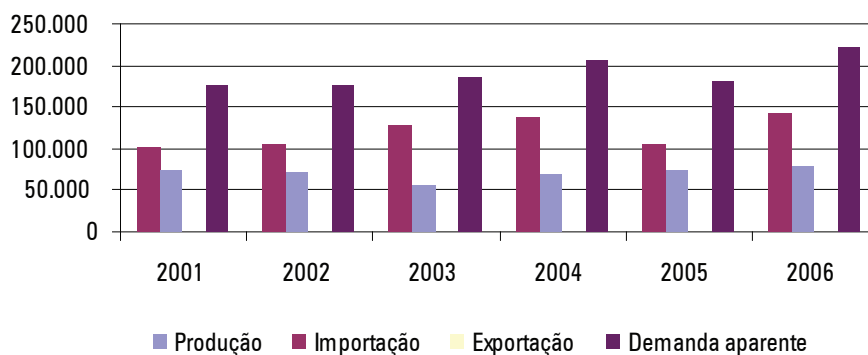
- Best Metais e Soldas S.A., do grupo Best;
- Cesbra S.A., do grupo Brscan;
- Mineração Taboca S.A., do grupo Paranapanema;
- Mamoré Mineração e Metalurgia do grupo Paranapanema;
- Cooperativa de Garimpeiros Santa Cruz Ltda. (Coopersanta).

2.8 Chumbo

A evolução, de 1998 a 2006, da demanda aparente de chumbo no Brasil está indicada no Gráfico 15. Tal demanda refere-se à soma de produção e importações, menos exportações, que também estão presentes no Gráfico 15.

De acordo com os dados da Tabela 17, a produção aumentou continuamente de 2001 a 2004, caindo substancialmente no ano seguinte, e recuperando-se em 2006. Observa-se, também, que as importações não mudaram muito durante este período e que as exportações são praticamente desprezíveis.

Em 2006, ao custo de R\$ 215 milhões, foram importadas 79.618 toneladas de chumbo para complementar a produção interna. Nesse mesmo ano, a demanda aparente deste metal foi de 222.064 toneladas (MME, 2007).



Fonte: MME, 2007.

Gráfico 15

**Consumo aparente de chumbo no Brasil, em toneladas,
durante o período de 2001 a 2006**

A produção de chumbo no País corresponde à produção secundária, obtida por meio da reciclagem de sucata, especialmente de baterias automotivas. As usinas refinadoras se localizam nos Estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Pernambuco.

2.9 Magnésio

A última informação disponível dá conta de que, em 2000, foram produzidas 5.723 toneladas de magnésio no País.

As evoluções da demanda aparente e das importações e exportações de magnésio no Brasil, de 1998 a 2006, estão apresentadas na Tabela 15. Observa-se, nesta tabela, que, desde 2001, as crescentes importações sobressaem-se frente às declinantes exportações. A balança comercial do magnésio foi negativa em 2006, representando um déficit de 29.262 toneladas, onerando o País em R\$ 48 milhões. Em 2005, 49,3% do magnésio importado foi na forma de metal primário, 31,1% como sucata, 12,9% como produtos semi-acabados e o restante em outras formas (MME, 2006a).

Tabela 15
Importações e exportações de magnésio no Brasil,
em toneladas, durante o período de 1998 a 2006

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Produção	n.d.	7.968	5.723	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Importação	1.937	1.847	2.104	7.201	7.608	6.788	9.924	11.783	30.542
Exportação	1.016	2.132	2.226	1.245	1.598	778	802	859	1.280
Demanda aparente	n.d.	n.d.	5.561	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

n.d.: dado não disponível.

Fontes: MME, 2003; MME, 2004; MME, 2005; MME, 2006a; MME, 2007.

3 Caracterização Ambiental



3 Caracterização Ambiental

3.1 Alumínio

3.1.1 Principais resíduos

As principais emissões da indústria do alumínio são os fluoretos gerados durante a eletrólise, pós, compostos metálicos, SO_2 , compostos orgânicos voláteis (VOC's), dioxinas, cloreto e ácido clorídrico (HCl). Há, também, a emissão de GEEs (Gases do Efeito Estufa), como o CO_2 .

Além disso, há outros resíduos, como aqueles formados durante a produção da alumina a partir da bauxita, resíduos oriundos dos tijolos refratários das células eletrolíticas, pós-recolhidos nos filtros e escórias, contendo sais e água residual.

Há tecnologias que são capazes de confinar tais resíduos e reutilizá-los. Um bom sistema de selagem para os reatores é muito importante. Normalmente, os gases são direcionados para filtros, que reduzem de forma substancial as emissões de pó e compostos metálicos.

A limpeza de gases por meio de limpeza úmida e precipitadores eletrostáticos úmidos é particularmente eficiente para gases que passam por unidades que possibilitam a recuperação de enxofre e produção de ácido sulfúrico.

A eletrólise do óxido de alumínio produz alumínio fundido e emite CO_2 quando o oxigênio reage com o carbono contido no anodo, de acordo com a seguinte reação:



Durante a eletrólise, ocorre um indesejado “efeito eletrodo”, que libera emissões de tetrafluormetano (CF_4) e hexafluoroetano (C_2F_6), conhecidos como perfluorcarbonos (PFC's), que são GEE's com elevado potencial de aquecimento global. As reações químicas correspondentes estão sintetizadas a seguir:



Apesar das concentrações atmosféricas de PFC's serem relativamente baixas, quando comparadas às concentrações de CO_2 e CH_4 , os PFC's são removidos muito lentamente da atmosfera. O C_2F_6 , por exemplo, pode permanecer 10.000 anos na atmosfera, e o CF_4 até 50.000 anos. O potencial de aquecimento global (GWP é a sigla em inglês) é relativamente alto: uma tonelada de CF_4 , por exemplo, possui um GWP 6.500 vezes superior ao CO_2 (IPCC, 2007).

Dependendo da fonte de geração, a eletricidade que é usada durante o processo de produção também pode ser responsável por emissões de GEE's. Considerando que hidroeleticidade é a principal fonte de energia usada durante o processo de fundição, admite-se que, neste processo, não há emissões de CO_2 (MCT, 2006). Em outras fases da produção de alumínio, como refino e produção de anodos, há emissões de CO_2 , porém, elas não são significativas.

Destaca-se, ainda, a presença do elemento químico gálio nos rejeitos sólidos gerados pela indústria do alumínio. Este tipo de efluente requer o desenvolvimento de um processo de separação e recuperação do referido elemento químico. A partir desse processo é obtido o gálio metálico, uma matéria-prima utilizada pela indústria eletrônica.

É importante ressaltar que, na indústria do alumínio, boa parte dos resíduos gerados é reutilizada no processo de produção.

3.1.2 Estratégias corporativas para questões ambientais

Nos dias atuais, as crescentes restrições impostas pelas legislações ambientais induzem as indústrias de transformação a buscarem continuamente o equacionamento dos problemas relacionados a impactos ambientais. Por outro lado, encontrar um processo ideal para extração, produção e reciclagem de metais não-ferrosos não é uma tarefa trivial. Ela exige criteriosas análises técnico-econômicas, energéticas e ambientais (LEMONS et al., 2002).

As empresas produtoras de alumínio procuram demonstrar compromisso com o desenvolvimento sustentável por meio de investimentos em programas de preservação ambiental. O volume de investimentos das cinco maiores companhias do setor em tais programas ultrapassou R\$ 92 milhões (valores constantes, ano base: 2002) nos dois últimos anos (ABAL, 2007).

Basicamente, todas as companhias que produzem alumínio no Brasil já anunciaram estratégias corporativas para questões ambientais. Na verdade, a crescente preocupação da sociedade com relação a problemas ambientais de abrangência local e global também induz a esse tipo de comportamento. De fato, uma grande empresa atuante na indústria do alumínio que não coteja iniciativas voltadas à sustentabilidade corre o risco de perda de visibilidade em um mercado de característica crescentemente global.

Como exemplo destas estratégias no setor do alumínio, cabe mencionar o exemplo da CBA (Companhia Brasileira de Alumínio). Tal companhia (afiliada ao Grupo Votorantim) destina 27% de sua área industrial exclusivamente à preservação natural e ao reflorestamento com espécies nativas e promove programas de educação ambiental, dirigidos às comunidades, funcionários e seus familiares. Além disso, recentemente, a CBA implementou um sistema de captação e tratamento de efluentes industriais na sua fábrica - em Alumínio (SP) - em lagoa impermeabilizada com capacidade de armazenamento de 70 mil m³, adequada às exigências da legislação ambiental (circuito fechado das águas industriais). Implementou, também, um sistema de captação e tratamento a seco e úmido de efluentes gasosos nas salas de fornos de eletrólise do alumínio, controlando a emissão de gases poluentes para a atmosfera.

Como resultado deste processo e após a adoção de uma série de requisitos definidos pela norma ISO 14001 (complementados pelas diretrizes e conceitos descritos pela norma ISO 14004), a CBA foi certificada (ISO 14001).

3.1.2.1 O caso da Alcoa

A eliminação de emissões, rejeito, acidentes e doenças causadas pelo trabalho são aspectos-chaves da estrutura da estratégia da Alcoa para o desenvolvimento sustentável. No Brasil, melhorias no equipamento e processos na fundição de Poços de Caldas levaram a Alcoa um passo à frente para atingir esses objetivos de longo prazo.

A tecnologia para fundição de alumínio de Soderberg gera partículas de carbono que precisam ser removidas periodicamente do cadinho de fundição para garantir condições adequadas para a produção de alumínio. Esta tarefa é conhecida como limpeza do cadinho, e o material removido, chamado escuma, tipicamente cria um dos maiores volumes de rejeito sólido produzido por uma fundição Soderberg. Além disso, os operadores que realizam a tarefa de limpeza trabalham em condições de alta temperatura e precisam usar proteção respiratória para se proteger de emissões de gases.

Na década de 1990, Poços de Caldas produziu cerca de 700 toneladas métricas (770 t) de escumas por mês. Cerca da metade dessa quantia, ou 350 toneladas métricas (385 t), era mandada para o aterro de lixo em forma de resíduo de carbono. Hoje, a produção mensal de espuma é de aproximadamente 82 toneladas métricas (90 t), uma diminuição de cerca de 88%, que permitiu à fundição fechar uma fábrica usada para extrair o resíduo de carbono das escumas. Esse fechamento diminuiu a contaminação de gases de fluoreto e evitou investimentos de capital para resolver problemas potenciais.

Para alcançar esses resultados, Poços de Caldas revisou o leiaute da área de produção da pasta de anodo, e otimizou a formulação e a operação da pasta de anodo. Antes dessas mudanças, os operadores realizavam 2.160 tarefas de limpeza do cadinho por mês. Hoje, esse número é 60% menos, reduzindo o tempo que os operadores passam em contato com gases e condições de alta temperatura.

O meio ambiente também foi afetado positivamente pelas mudanças operacionais. Menos fluoreto e emissões de partículas deixam os cadinhos, porque eles são operados uma vez a cada 16 a 20 dias para limpeza ao invés de a cada seis a oito dias. A melhoria na qualidade do anodo resultou em uma redução de 1.800 toneladas métricas (1985 t) de resíduo de carbono e 6.600 toneladas métricas (7.275 t) de dióxido de carbono por ano. Além disso, as melhorias mais adiante reduziram as emissões de gás das estufas devido à redução de emissões de PFC.

Em 2002, a fundição de Poços de Caldas recebeu um Prêmio de Realização do SSMA da Alcoa por seus esforços em reduzir emissões, rejeito e o potencial em acidentes e doenças causadas pelo trabalho.

3.2 Cobre

3.2.1 Principais resíduos

A escória de cobre (ou “Fayalita”) é o principal resíduo gerado na indústria metalúrgica de beneficiamento do cobre. A escória de cobre tem uma cor preta, de aparência cinza, e aspecto vítreo, possuindo em sua composição química, em torno de 0,8 % de cobre; ela é constituída, em sua maior parte, por ferro, sílica, óxido de alumínio e óxidos de cálcio. É utilizada como agregado, devido às suas excelentes propriedades mecânicas, como solidez e firmeza, boa resistência à abrasão e boa estabilidade.

3.2.2 Estratégias corporativas para questões ambientais

Entrou em operação no Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, localizado na cidade do Rio de Janeiro, a primeira unidade semipiloto de biolixiviação, uma usina em pequena escala que utiliza bactérias nativas de ambientes ácidos para reduzir a emissão de gases poluentes no processo de extração do concentrado de cobre.

A tecnologia foi desenvolvida pela equipe do CETEM, unidade de pesquisa vinculada ao Ministério da Ciência e Tecnologia, em parceria com a empresa norte-americana Geobiotics e a Mineração Caraíba, produtora de cobre no interior da Bahia, que investiu em 2005 no projeto, R\$ 92.000,00 (AGÊNCIA CT, 2007).

Atualmente, a extração do concentrado de cobre requer o emprego de um processo pirometalúrgico (no caso, a ustulação, baseada na queima de sulfetos), que emite gases que podem conter metais pesados como cádmio, arsênio, mercúrio, bismuto e chumbo. O processo bio-hidrometalúrgico (focado no emprego de lixiviação bacteriana) que a unidade semipiloto está testando reduz significativamente a emissão desses gases e o consumo de energia.

3.3 Zinco

3.3.1 Principais resíduos

Em termos de poluição gerada pela indústria do zinco no Brasil, é interessante mencionar o caso da Companhia Mercantil e Industrial Ingá S.A, cujos ex-diretores recentemente foram condenados por crime ambiental pelo Ministério Público Federal. A referida companhia, desativada em 1998, tinha como principal nicho de atuação a produção de zinco de alta pureza a partir da calamina.

Ocorre que, com o passar dos anos, os rejeitos químicos tóxicos decorrentes da atuação da Ingá foram sendo empilhados ao lado dos galpões e, em 1998, quando a empresa faliu, foram abandonados a céu aberto, em meio a uma bacia de contenção, sem ter um destino final traçado pela massa falida, ou mesmo pelo poder público.

A pilha é composta por três milhões de toneladas de rejeitos metalúrgicos classificados como Classe 1, altamente perigosos. Na referida pilha há minério de ferro, zinco, cádmio, magnésio, chumbo, arsênio e outras substâncias nocivas à natureza e à saúde humana. Cerca de 20% desses sais são solúveis em água e, sob chuva, escorrem para dentro da lagoa de contenção que, apesar de ter capacidade para 250 milhões de litros, transborda e tem pontos de vazamento. Ao ultrapassar a barragem construída sob o solo mole, a água contaminada atinge mangues, canais e encontra caminho para o Saco de Engenho – vizinho ao porto de Sepetiba – e para a baía.

A contaminação da Baía de Sepetiba é considerada, por muitos ambientalistas, o maior passivo ambiental do Estado do Rio de Janeiro e, provavelmente, um dos maiores do País.

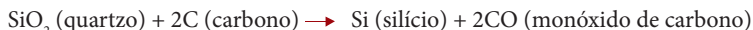
3.3.2 Estratégias corporativas para questões ambientais

No que tange a estratégias corporativas para questões ambientais, cabe mencionar que a futura fábrica de polimetálicos da Votorantim Metais, a ser instalada em Juiz de Fora, deve reduzir em 80% a geração de resíduos a partir da reciclagem de zinco.

3.4 Silício metálico

3.4.1 Principais resíduos

Embora exista um complexo sistema de equações químicas envolvidas no processo de produção do silício metálico, a principal equação inerente a este processo é:



Logo, a principal emissão neste caso é o CO, que se oxida em contato com o ar, transformando-se em CO₂ (dióxido de carbono), em uma proporção de cerca de 4,2 kg de CO₂ por quilo de silício produzido. Outras emissões secundárias de impacto ambiental relevante, como é o caso do dióxido de enxofre, podem ocorrer quando se utiliza o carvão mineral. (ABRAFE, 2008).

Em termos de geração de resíduos, destaca-se, ainda, a produção de uma grande quantidade de lascas de quartzo natural, resultantes da atividade de produção do silício metálico e ligas de silício; cerca de 15% do total do quartzo extraído é descartado na forma de rejeitos nos processos de extração, moagem, lavagem e seleção das lascas de quartzo. (ABRAFE, 2008).

3.4.2 Estratégias corporativas para questões ambientais

Caso a produção do silício metálico faça uso de carvão vegetal há, de fato, benefícios ambientais. Tais benefícios relacionam-se ao sequestro de CO_2 e liberação de oxigênio no ar no ciclo de fotossíntese da planta, somando-se ao fato da quase inexistência de emissão de enxofre. Por estas razões e devido ao crescente controle para minimização de emissões de CO_2 , de acordo com o protocolo de Quioto existe, na atualidade, uma forte tendência de substituição do carvão mineral por carvão vegetal nas atividades industriais de redução carbotérmica de minério.

No entanto, muito embora a maior parte do carvão vegetal consumido na produção do silício seja derivado de florestas plantadas, no computo geral de produção nacional existe, ainda hoje, uma significativa parcela de carvão derivado de florestas nativas. Nesse contexto, há necessidade de um estudo mais profundo das implicações ambientais de monoculturas em grande escala, assim como a possibilidade de exploração controlada e sustentável de florestas nativas.

3.5 Níquel

Durante o processo de produção do níquel há a geração de um gás muito tóxico ao ser humano e aos animais: o $\text{Ni}(\text{CO})_4$. As pessoas sensíveis podem manifestar alergias ao níquel.

A quantidade de níquel admissível em produtos que podem entrar em contato com a pele está regulamentada na União Européia. Nesse contexto, incluem-se moedas (no caso, o euro) fabricadas a partir do níquel.

3.6 Estanho

No que tange à caracterização ambiental da indústria brasileira de estanho, um interessante aspecto deve ser ressaltado: o interesse econômico no aproveitamento da escória de estanho produzida durante o processamento pirometalúrgico da cassiterita. Tal interesse é justificado pela possibilidade de recuperação de alguns metais como o nióbio, o tântalo, o zircônio e o próprio estanho ali contidos. Nesse contexto, a rota hidrometalúrgica – na qual a escória de estanho é lixiviada em meio ácido – tem sido apontada como a opção técnica mais adequada para o aproveitamento da referida escória. Portanto, por conta de forças naturais de mercado, há a tendência de que a indústria de estanho torne-se menos impactante ao meio ambiente.

3.7 Chumbo

Como todo metal pesado, o chumbo degrada-se muito lentamente no meio ambiente, persistindo durante décadas no solo e no fundo de rios, lagos e represas. Não é metabolizado pelos animais e sofre o processo de bioacumulação, afetando mais os animais do topo da cadeia alimentar, entre os quais, encontra-se o homem.

O chumbo é comprovadamente carcinogênico (causa câncer), teratogênico (causa malformações estruturais no feto, baixo peso e/ou disfunções metabólicas e biológicas) e tóxico para o sistema reprodutivo (causa disfunções sexuais, aborto e infertilidade). A presença de quantidades elevadas de chumbo no sangue está relacionada a problemas neurológicos, como a falta de concentração e dificuldades na fala (RADIOBRÁS, 2007).

De fato, a produção industrial de chumbo, em geral, é um processo caracteristicamente agressivo ao ser humano. Para exemplificar este aspecto, cita-se o caso da população de Santo Amaro da Purificação (BA), cidade com 61 mil habitantes. Nesta cidade, por 27 anos, operou a Cobrac (subsidiária da francesa Peñarroya), empresa voltada à produção de chumbo. Nesta cidade baiana, há indícios de que entre 40 e 50 mil pessoas, ao longo dos anos, tenham sido expostas ao chumbo (no caso, escória de chumbo) e ao cádmio da Cobrac. Por conta dessa contaminação, os moradores de Santo Amaro da Purificação são portadores de doenças graves no sangue, nos ossos e no sistema hepático (CARVALHO et al., 2003).

4 Caracterização Energética

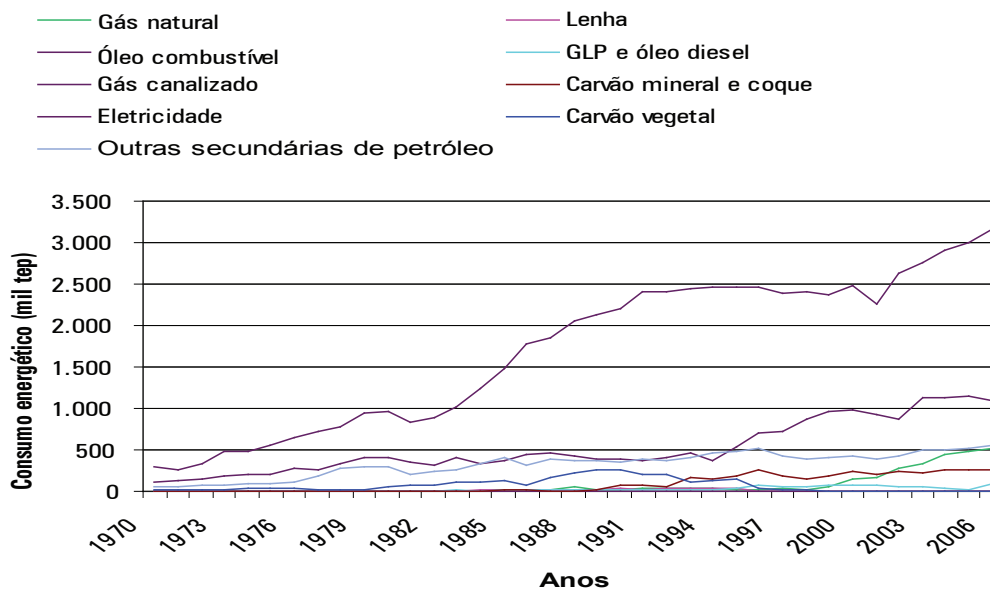


4 Caracterização Energética

4.1 Consumo de energia, intensidades energéticas, distribuições por usos finais dos consumos de energia final e energia útil e autoprodução, na indústria de metais não-ferrosos

Em 2006, a indústria de metais não-ferrosos foi responsável por 7,4% do consumo energético industrial no País e por 19,9% do seu consumo de energia elétrica (MME, 2007a), revelando a marcante característica eletro-intensiva desta indústria.

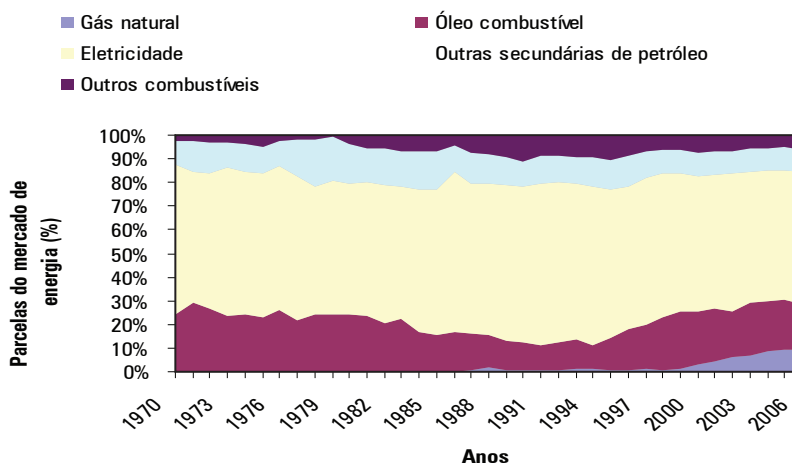
O Gráfico 16 ilustra a evolução, de 1970 a 2006, do consumo dos energéticos utilizados na indústria de metais não-ferrosos, enquanto que o Gráfico 17 mostra como se comportaram as parcelas de mercado destes energéticos ao longo deste período. Nestas figuras se pode observar: (i) o papel dominante da energia elétrica durante todo o período analisado; (ii) o elevado consumo de óleo combustível, que é o principal combustível utilizado nesta indústria; e (iii) a penetração significativa do gás natural a partir da atual década, mas, cujo consumo em 2006 foi ainda inferior aos de outras fontes secundárias de petróleo.



Fonte: Elaboração própria com dados de EPE (2008).

Gráfico 16

Evolução do consumo dos energéticos empregados na indústria de metais não-ferrosos, em mil tep, no período de 1970 a 2006



Fonte: Elaboração própria com dados de (EPE, 2008).

Gráfico 17

Evolução das parcelas de mercado dos energéticos empregados na indústria de metais não-ferrosos, em %, no período de 1970 a 2006

A Tabela 16 mostra a evolução do valor adicionado, dos consumos de energia elétrica e energia térmica e das intensidades elétrica e de energia térmica da indústria de metais não-ferrosos nacional durante o período de 1997 a 2005. Os valores, tanto da intensidade elétrica (IEL) como da intensidade de energia térmica (IET), oscilam bastante nesta tabela, por conta, sobretudo, das oscilações do valor adicionado, mas, ambas as grandezas apresentam uma tendência de decréscimo até 2002 (IET) e 2003 (IEL), crescendo um pouco em seguida; este decréscimo é mais acentuado para o principal energético consumido por esta indústria: a energia elétrica. Se esta tendência de decréscimos representa, ou não, uma melhor utilização da eletricidade e da energia térmica pode ser verificado através da análise dos consumos energéticos específicos dos principais produtos desta indústria, nas próximas seções deste capítulo.

Tabela 16

Valor adicionado (VA), consumo de eletricidade (CEL), intensidade elétrica (IEL), consumo de energia térmica (CET) e intensidade de energia térmica (IET) da indústria de metais não-ferrosos no Brasil, de 1996 a 2005

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
VA (10 ⁶ R\$ de 2005)	3.633	3.098	3.984	5.330	5.313	5.996	6.578	6.529	6.446
CEL (10 ³ tep)	2.391	2.412	2.368	2.490	2.255	2.629	2.763	2.916	2.999
IEL (tep/(10 ⁶ R\$ de 2005))	658	779	594	467	424	438	420	447	465
CET (10 ³ tep)	1.450	1.521	1.685	1.874	1.746	1.887	2.251	2.382	2.431
IET (tep/(10 ⁶ R\$ de 2005))	399	491	423	352	329	315	342	364	377

Fonte: Elaboração própria, a partir de EPE (2008) e IBGE (2008).

A Tabela 17 mostra as estimativas do Balanço de Energia Útil (BEU) para as distribuições percentuais por usos finais, em 2004, dos consumos dos energéticos utilizados na indústria de metais não-ferrosos no País.

Tabela 17

Distribuição percentual, por usos finais, do consumo dos energéticos utilizados na indústria de metais não-ferrosos no Brasil, em 2004

Energético	Força motriz	Calor de processo	Aquecimento direto	Iluminação	Proc. eletro-químicos	Outros	Soma
Gás natural	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Carvão metalúrgico	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Óleo combustível	0,0	51,3	48,7	0,0	0,0	0,0	100,0
GLP	26,0	37,0	37,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Coque de carvão mineral	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Eletricidade	30,3	0,0	30,5	0,2	38,9	0,1	100,0
Carvão vegetal	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Outras fontes secundárias do petróleo	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0

Fonte: Elaboração própria, com base em (MME, 2005).

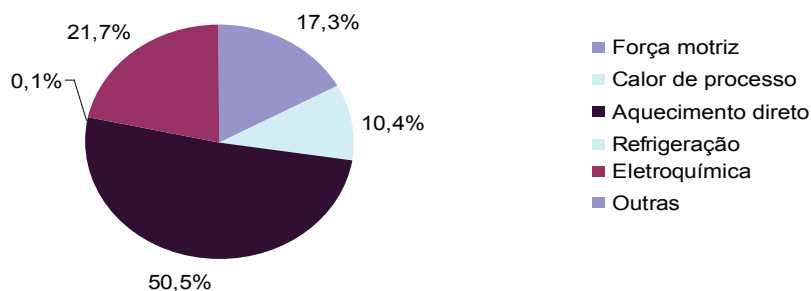
Os usos finais da energia considerados neste trabalho foram os mesmos do BEU:

- Aquecimento direto: energia usada em fornos, fornalhas, radiação, aquecimento por indução, condução e micro-ondas;
- Calor de processo, na forma de vapor gerado: energia usada em caldeiras e aquecedores de água ou circulação de fluidos térmicos;
- Força motriz: energia usada em motores estacionários ou de veículos de transporte individual ou coletivo, de carga, tratores, etc;
- Processos eletroquímicos: energia usada em células eletrolíticas, processos de galvanoplastia, eletroforese e eletrodeposição;
- Iluminação: energia utilizada em iluminação de interiores e externa;
- Outros usos finais: energia utilizada em computadores, telecomunicações, máquinas de escritório, xerografia e equipamentos eletrônicos de controle.

Aplicando-se as distribuições da Tabela 17 aos consumos finais destes energéticos em 2006 (EPE, 2008), obtêm-se os resultados expressos no Gráfico 18. Esta figura mostra que os principais usos finais da energia na indústria de metais não-ferrosos em 2006 foram o aquecimento direto (50,5%), os processos eletroquímicos (21,7%), a força motriz (17,3%) e o calor de processo (10,4%).

Os rendimentos médios de conversão estimados no BEU para o consumo dos energéticos utilizados na indústria de metais não-ferrosos, em 2004, estão indicados na Tabela 18.

A aplicação dos rendimentos da Tabela 18 aos consumos finais dos energéticos da indústria nacional de metais não-ferrosos, em 2006, permite estimar a distribuição, por usos finais, do consumo total de energia útil desta indústria naquele ano, conforme representado no Gráfico 19.



Fonte: Elaboração própria, com base em (MME, 2005a).

Gráfico 18

Distribuição percentual, por usos finais, do consumo final de energia da indústria de metais não-ferrosos no Brasil em 2006

Tabela 18

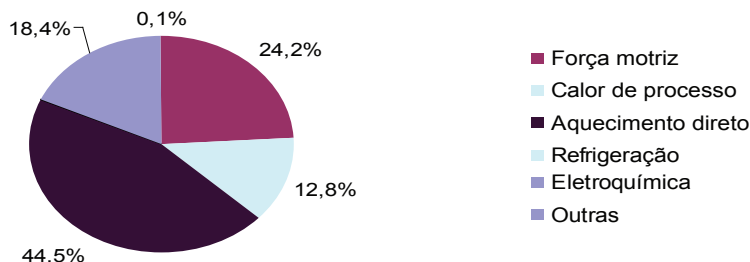
Rendimentos médios de conversão, em %, estimados para 2004, dos energéticos consumidos na indústria de metais não-ferrosos no Brasil

Energético	Força motriz	Calor de processo	Aquecimento direto	Iluminação	Proc. Eletro-químicos	Outros
Gás natural	48,0	78,0	60,0	-	-	-
Carvão metalúrgico	-	-	32,0	-	-	-
Óleo combustível	48,0	78,0	60,0	-	-	-
GLP	28,0	78,0	60,0	-	-	-
Coque de carvão mineral	-	-	32,0	-	-	-
Eletricidade	90,0	95,0	55,0	24,5	53,5	100,0
Carvão vegetal	0,0	68,0	32,0	-	-	-
Outras fontes secundárias do petróleo	0,0	78,0	60,0	-	-	-

Fonte: Elaboração própria, com base em (MME, 2005).

Gráfico 19

Distribuição percentual, por usos finais, do consumo total de energia útil da indústria de metais não-ferrosos no Brasil em 2006



Fonte: Elaboração própria, com base em (MME, 2005).

Comparando os dados dos Gráficos 18 e 19, observam-se incrementos significativos nas participações da força motriz e do calor de processo entre os usos finais da energia útil consumida por esta indústria, em detrimento do aquecimento direto e dos processos eletroquímicos.

Os coeficientes de distribuição por usos finais, da Tabela 17, foram estimados, no Balanço de Energia Útil – BEU (MME, 2005), com base em literatura técnica encontrada para as indústrias de alumínio e de cobre no País. Não houve nenhum respondente dos questionários enviados para levantar estas informações, no campo. O grau de confiabilidade, por conseguinte, destes coeficientes não deve ser elevado.

A capacidade instalada total de autoprodução de energia elétrica na indústria de metais não-ferrosos em 31/12/2006 era de 751,6 MW (675,5 MW em usinas hidrelétricas e 76,1 MW em centrais termelétricas) (EPE, 2008). A capacidade mencionada das usinas hidrelétricas não inclui usinas em consórcio com concessionárias de serviço público.

Nas próximas seções é feita uma caracterização energética, com base nas informações encontradas dos processos de fabricação dos principais metais não-ferrosos, com destaque para a produção de alumínio, o mais importante destes produtos nesta indústria, no Brasil.

4.2 Alumina e alumínio primário

A Tabela 19 apresenta a evolução, de 2000 a 2006, dos consumos específicos de bauxita, soda cáustica, óleo combustível e eletricidade, que são os principais insumos utilizados na produção de alumina. Observa-se, nesta tabela, nos últimos quatro anos, consumos específicos elevados de bauxita e soda cáustica; já os consumos específicos de óleo combustível e eletricidade não variaram significativamente de 2004 a 2006.

Tabela 19

Consumos específicos (por tonelada de alumina) dos principais insumos envolvidos na produção de alumina no Brasil, durante o período de 2000 a 2006

	Unidade	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Bauxita	t/t	3,24	3,67	3,61	4,17	4,21	4,23	5,12
Soda cáustica	kg/t	123,7	147,0	135,6	156,7	171,5	170,3	206,8
Óleo combustível (1)*	kg/t	248,3	272,6	239,3	253,5	230,9	227,5	238,3
	GJ/t	9,97	10,94	9,61	10,8	9,27	9,13	9,57
Eletricidade (2)	kWh/t	274,0	307,3	329,0	728,0	708,6	569,3	648,9
	GJ/t	0,99	1,11	1,18	2,62	2,55	2,05	2,33
Energia (1) + (2)	GJ/t	10,96	12,05	10,79	12,80	11,82	11,18	11,91

* 1t = 40, 15 GJ

Fontes: MME, 2003; MME, 2004; MME, 2005ab; MME, 2006b; MME, 2007.

O consumo específico de eletricidade, usualmente apresentado em kWh/t, foi convertido para GJ/t na Tabela 19, empregando-se o fator de conversão teórico de 1 kWh = 860 kcal = 3,6 MJ.

O consumo específico de energia apresentado na Tabela 19 para os últimos três anos é um pouco maior do que o valor correspondente encontrado na Austrália – 11 GJ/tonelada de alumina e próximo à média mundial em 2004 – 11,4 GJ/tonelada de alumina (IEA, 2007).

A Tabela 20 mostra como evoluíram, entre 2000 e 2006, os consumos específicos de alumina, fluoreto, criolita, coque, piche, óleo combustível e eletricidade, os principais insumos envolvidos na produção de alumínio primário.

Tabela 20

Consumos específicos (por tonelada de alumínio primário) dos principais insumos envolvidos na produção de alumínio primário no Brasil, durante o período de 2000 a 2006

	Unidade	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Alumina	t/t	1,94	1,87	1,91	1,92	1,93	1,92	1,93
Fluoreto	kg/t	20,76	19,52	20,78	19,70	17,63	18,40	20,01
Criolita	kg/t	8,18	6,80	7,05	8,04	6,86	6,27	5,92
Óleo Combustível (1)	kg/t	39,96	41,61	44,22	44,18	42,82	39,41	33,78
	GJ/t	1,60	1,67	1,78	1,77	1,72	1,58	1,36
Eletricidade (2)	MWh/t	14,90	14,82	14,77	15,04	15,14	15,30	14,94
	GJ/t	53,63	53,34	53,18	54,13	54,53	55,07	53,79
Coque de petróleo	kg/t	371,8	372,3	376,9	384,2	374,0	370,9	375,0
(3)*	GJ/t	13,05	13,06	13,23	13,48	13,12	13,02	13,16

	Unidade	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Piche	kg/t	111,2	115,5	115,6	117,4	114,4	115,0	114,5
(4)**	GJ/t	4,55	4,73	4,73	4,81	4,68	4,71	4,69
Coque mais piche (5)=(3)+(4)	GJ/t	17,60	17,79	17,96	18,29	17,80	17,73	17,85
Energia (1)+(2)	GJ/t	55,23	55,01	54,96	55,90	56,25	56,65	55,15

* 1 t = 35, 09 GJ

** 1 t = 40, 95 GJ

Fontes: MME, 2003; MME, 2004; MME, 2005ab; MME, 2006b; MME, 2007.

As estatísticas apresentadas na Tabela 20 revelam o elevado consumo específico de eletricidade, o baixo consumo específico de óleo combustível e o elevado consumo específico de coque de petróleo e piche, empregados na confecção dos anodos de cozimento (que são necessários ao processo posterior, ou seja, a eletrólise). Os consumos específicos de eletricidade e coque/piche nas plantas brasileiras estão abaixo das médias mundiais: 15.268 kWh/t e 18 GJ/t, respectivamente. As plantas mais recentes e mais eficientes, instaladas na África, têm apresentado um consumo específico médio de eletricidade de 14.337 kWh/t (IEA, 2007).

A demanda por eletricidade na produção brasileira de alumínio primário atingiu, em 2005, o patamar de 2.500 MW, o que representava 5,7% da capacidade instalada total do sistema interligado nacional (EPE, 2006).

O elevado consumo específico de eletricidade e a importância deste aspecto no custo total do alumínio primário são fatores determinantes para que as plantas de alumínio localizem-se em países e regiões onde a eletricidade obtida a partir de usinas hidroelétricas é barata (Bajay et alii, 1995). Este é o caso do Brasil. De acordo com o Balanço Energético Nacional (MME, 2007a), em 31 de dezembro de 2006 havia uma capacidade total instalada de 621,7 MW em usinas hidroelétricas pertencentes a produtores de alumínio. Tais usinas, de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), podem ser classificadas como de autoprodução, ou voltadas para a produção independente de energia. Na atual década, todos os produtores de alumínio no País têm participado como sócios em consórcios de geração, com o objetivo de garantir uma fatia de eletricidade de baixo custo a partir de novos empreendimentos de usinas hidroelétricas. A Tabela 21 apresenta a capacidade das usinas hidroelétricas que está alocada a produtores de alumínio primário. Conforme indicado nesta tabela, a capacidade total alocada à indústria de alumínio em tais usinas é de 2.056 MW (EPE, 2006).

As produções de alumina e de alumínio primário no Brasil consumiram 25.984 GWh (2010 GWh para alumina e 23.974 GWh para alumínio primário), ou 93,54 PJ, de eletricidade em 2006 (MME, 2007).

O Balanço Energético Nacional de 2007 informa que, em 2006, 6.987 GWh foram gerados em usinas pertencentes a fabricantes de metais não-ferrosos e ferros-ligas (MME, 2007a). Assumindo que toda esta energia seja alocada à produção de alumínio (isto corresponde a um fator médio de capacidade de 0,39 para as usinas hidroelétricas relacionadas na Tabela 21) e adotando uma eficiência, usual, de 0,85 para usinas hidroelétricas, os 6.987 GWh de eletricidade autoproduzida são transformados em 8.220 GWh de energia primária.

Tabela 21

Capacidade instalada de usinas hidroelétricas alocadas a produtores de alumínio primário no Brasil, em 2005

Produtor	Usina Hidroelétrica	Parte da energia gerada que é consumida pelos produtores de alumínio em MW
Alcoa, 616 MW	Machadinho	258
	Estreito	207
	Serra do facão	106
	Pai Querê	45
Novelis, 287 MW	Barra dos Coqueiros	90
	Candongá	70
	Caçu	65
	Outras usinas com menos de 30 MW	62
CBA, 831 MW	Machadinho	275
	Alecrim	72
	Piraju	70
	Itaupararanga	55
	Ourinhos	44
	Canoas I	41
	Barra	40
	Salto do Iporanga	37
	Fumaça	36
	Serra do Facão	36
	Canoas II	35
	Outras usinas com menos de 30 MW	89
BHP Billiton, 179 MW	Estreito	179
Valesul, 143 MW	Machadinho	83
	Nova Maurício	32
	Outras usinas com menos de 30 MW	28
Capacidade instalada total destinada aos produtores de alumínio		2.056

Fonte: EPE, 2006.

Em 2006, 88,9% da eletricidade gerada no Brasil adveio de usinas hidroelétricas. O Balanço Energético Nacional mostra que a eficiência média das usinas termelétricas instaladas no País, em 2006, foi de 35,1% (MME, 2007a). Usando estes dois valores e assumindo que a eficiência típica de usinas hidroelétricas no País é da ordem de 0,85, os 18.997 GWh (25.984 GWh – 6.987 GWh) de eletricidade que fluíram do sistema interligado nacional para as empresas produtoras de alumínio, em 2006, são transformados em 25.876 GWh de energia primária.

Desta forma, a energia primária associada ao consumo total de eletricidade na indústria brasileira de alumínio primário, em 2006, é estimada em 34.096 GWh (25.876 GWh + 8.220 GWh), ou 123 PJ. Acrescentando a este valor o consumo de óleo combustível na produção de alumina (29,6 PJ) e alumínio primário (2,2 PJ), e dividindo pela produção de alumínio primário, obtém-se uma estimativa do consumo específico de energia primária associado à produção primária deste metal no Brasil, em 2005: 96,5 GJ/t. Dada a participação amplamente majoritária da eficiente geração hidrelétrica no consumo total de energia elétrica desta indústria no País, este valor é bem inferior à média mundial: 175 GJ/t.

Segundo o BEU (MME, 2005), 31% do consumo de óleo combustível na indústria de alumínio brasileira são destinados a calor de processo e 69% a aquecimento direto. De acordo com esta mesma fonte, os usos finais da eletricidade naquele ano, nesta indústria, foram: força motriz – 7,9%; calor de processo – 0,1%; aquecimento direto – 21%; iluminação – 0,1% e processos eletroquímicos – 70,9%. Estes dados foram estimados com base em levantamentos antigos e em estudos teóricos, não tendo sido respaldados por levantamentos recentes.

4.3 Cobre primário

A Tabela 22 indica como os consumos específicos de concentrado de cobre, sílica, eletricidade, gás natural, coque de petróleo e óleo combustível, os principais insumos envolvidos na produção de cobre primário, evoluíram de 2000 a 2006.

Tabela 22

Consumos específicos (por tonelada de cobre primário) dos principais insumos empregados na produção de cobre primário no Brasil, durante o período de 2000 a 2006

	Unidade	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Concentrado de cobre	t/t	3,14	2,98	3,18	3,16	2,08	3,03	3,24
Sílica	m³/t	0,23	0,20	0,23	0,19	0,17	0,23	0,23
Eletricidade (1)*	kWh/t	1.774	1.576	1.958	1.883	1.767	1.852	1.876
	GJ/t	6,39	5,67	7,05	6,78	6,36	6,67	6,75
Gás natural (2)**	10³m³/t	0,10	0,13	0,22	0,19	0,18	0,19	0,18
	GJ/t	3,84	4,79	8,10	7,00	6,63	7,00	6,63
Coque de petróleo	kg/t	23,81	18,82	26,10	24,86	17,78	28,59	29,77
(3)***	GJ/t	0,83	0,66	0,92	0,87	0,62	1,00	1,04
Óleo Combustível	kg/t	100,95	64,65	39,91	42,72	1,43	0,32	0,28
(4)****	GJ/t	4,05	2,60	1,60	1,71	0,06	0,01	0,01
Energia (1)+(2)+(3)+(4)	GJ/t	15,11	13,72	17,67	16,36	13,67	14,68	14,43

* 1 kWh = 3, 6 MJ

** 10³ m³ = 36, 84 GJ

*** 1 kg = 35, 09 10³ GJ

**** 1 kg = 40, 15 10³ GJ

Fontes: MME, 2003; MME, 2004; MME, 2005ab; MME, 2006b, MME, 2007a.

Os dados da Tabela 22 correspondem aos consumos específicos dos principais insumos do único produtor de cobre primário atuante no Brasil, a planta da Caraíba Metais, localizada no Estado da Bahia.

As estatísticas de consumo de energia apresentadas na Tabela 22 não contemplam a energia empregada (eletricidade e combustíveis) para produzir concentrado de cobre. Em 2006, 89,6% do concentrado de cobre consumido foi importado; o resto foi produzido pela Caraíba Metais. Nenhum dado foi encontrado no que se refere aos consumos específicos de energia do concentrado produzido pela referida empresa.

A Tabela 22 revela grandes oscilações no consumo específico, tanto no caso do concentrado de cobre quanto no que se refere ao uso de energia ao longo do período considerado, sem uma clara tendência de redução. Um acentuado processo de substituição de óleo combustível por gás natural pode ser observado no Gráfico 17.

A guisa de comparação, os consumos específicos de combustíveis e de eletricidade na produção de cobre primário no Chile, maior produtor mundial, em 2002 foram 9,56 GJ/t e 672 kWh/t, respectivamente (IEA, 2007), correspondendo a um consumo específico total de energia de 11,98 GJ/t. Deve-se ter em mente, no entanto, que o consumo específico de energia na produção de cobre varia muito com o grau de concentração do cobre no concentrado utilizado e não se obteve esta informação para o concentrado empregado pela Caraíba Metais.

No Brasil, não há autoprodução de eletricidade associada à produção de cobre primário.

4.4 Zinco

A Tabela 23 indica como os consumos específicos de concentrado de sulfeto, ácido sulfúrico, pó de zinco, eletricidade e óleo combustível, que representam os principais insumos envolvidos na produção de zinco, evoluíram de 2000 a 2006.

Tabela 23

Consumos específicos (por tonelada de zinco) dos principais insumos empregados na produção de zinco no Brasil, 1998 a 2006

	Unidade	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Concentrado de silicato	t/t	n.d.	n.d.	0,99	1,06	1,11	1,11	1,23
Concentrado de sulfeto	t/t	1,30	1,22	1,08	1,08	1,04	0,56	0,97
Ácido sulfúrico	t/t	0,53	0,54	0,55	0,94	0,89	0,52	0,54
Pó de zinco	kg/t	37,86	36,02	34,70	18,40	37,70	37,82	35,70
Eletricidade	kWh/t	1.804	1.769	4.218	4.523	3.268	4.634	4.617
Óleo combustível	kg/t	1.002*	819*	59*	41	5	35	36

n.d.: não disponível

* inclui óleo Diesel

Fontes: MME, 2003; MME, 2004; MME, 2005b; MME, 2006b, MME, 2007a.

As estatísticas de consumo de energia apresentadas na Tabela 23 não contemplam a energia requerida para a produção dos concentrados de silicato e de sulfeto. 68% do concentrado de sulfeto consumido em 2006 foi importado; o restante foi produzido no País. Nenhum dado a respeito dos consumos energéticos específicos associados à produção local do concentrado foi encontrado.

A Tabela 23 revela importantes reduções no consumo específico do concentrado de sulfeto. Aparentemente uma mudança no processo de produção aconteceu em 2002, já que o consumo específico de eletricidade mais que dobrou neste ano. As amplas variações do consumo específico de óleo combustível não parecem ser realistas. Particularmente, os picos de consumo de óleo em 2000 e 2001 (ver Tabela 23) muito provavelmente referem-se a erros cometidos durante a coleta, ou o processamento dos dados.

O grupo Votorantim possui várias hidroelétricas de tamanho pequeno e médio no Brasil. Tais usinas são classificadas, pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), como empreendimentos de autoprodução de energia. Além disso, o referido grupo participa, como sócio, em várias hidroelétricas de tamanho médio e grande, que são classificadas, pela ANEEL, como produtoras independentes de energia. Como a produção de zinco é uma atividade eletro-intensiva, não há dúvida de que as subsidiárias da Votorantim Metais que produzem este metal são, em grande parte, providas com eletricidade barata gerada em tais usinas.

4.5 Silício metálico

O Ministério de Minas e Energia estima o consumo específico de eletricidade na produção de silício metálico como sendo de 12.000 kWh/t (MME, 2006a).

Ressalte-se que a produção de silício metálico é um importante demand driver do consumo de carvão vegetal no Brasil. Em 2003, este energético teve um crescimento de 17,7%, em relação a 2002, em função da produção do referido metal não-ferroso e da demanda de “guseiros independentes” (SBS, 2007).

4.6 Níquel

A Tabela 24 indica como os consumos específicos de ácido sulfúrico, amônia anídrica, soda cáustica, eletricidade, óleo combustível e carvão vegetal, os principais insumos envolvidos na produção de níquel no Brasil, evoluíram de 2000 a 2006. Os elevados consumos específicos de eletricidade e de óleo combustível ficam patentes observando-se os dados da referida tabela. Os altíssimos consumos específicos de eletricidade de 2003 a 2005 possivelmente são explicados pela maior participação de Ni eletrolítico e Ni contido na liga Fe-Ni na produção total de níquel nos anos em questão. Destacam-se, na Tabela 24, as grandes reduções no consumo específico de energia em 2003, 2005 e 2006.

Tabela 24
Consumos específicos (por tonelada de níquel) dos principais insumos empregados na produção de níquel no Brasil, de 2000 a 2006

	Unidade	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Ácido sulfúrico	kg/t	192,1	223,5	265,2	210,6	284,0	273,6	255,6
Amônia anidra	kg/t	159,5	159,1	204,0	216,9	255,8	213,2	287,8
Soda cáustica	kg/t	95,58	108,0	121,6	117,9	133,6	128,4	131,6
Eletricidade	kWh/t	19.966	18.772	27.337	40.363	42.275	37.132	32.103
	GJ/t	71,88	67,58	98,41	145,31	152,19	133,67	115,57
Óleo combustível	t/t	8,84	9,35	9,16	7,37	7,45	6,93	6,85
	GJ/t	354,93	375,40	367,77	295,91	299,12	278,24	275,17
Carvão vegetal	t/t	2,72	2,67	2,18	0	0,07	0,15	0,02
	GJ/t	73,58	72,22	58,97	0	1,89	4,06	0,58
Energia (1)+(2)+(3)	GJ/t	500,39	515,20	525,15	441,22	453,20	415,99	391,32

* 1 kWh = 3,6 MJ

** 1 t = 40,15 GJ

*** 1 t = 27,05 GJ

Fontes: MME, 2003; MME, 2004; MME, 2005b; MME, 2006b, MME, 2007.

Assim como na produção de zinco, não há dúvida de que as subsidiárias da Votorantim Metais que produzem níquel são, em grande parte, providas com eletricidade barata gerada em tais usinas.

4.7 Estanho

A Tabela 25 indica como os consumos específicos de cassiterita, fundentes, eletricidade e carvão vegetal, os principais insumos envolvidos na produção de estanho no Brasil, evoluíram entre 2001 e 2006. Com consumos específicos muito altos, a eletricidade é dominante no consumo total de energia por esta indústria.

Tabela 25
Consumos específicos (por tonelada de estanho) dos principais insumos empregados na produção de estanho no Brasil, de 2001 a 2006

	Unidade	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Cassiterita	t/t	2,11	1,91	0,98	1,36	0,99	0,88
Fundentes	kg/t	80,44	63,92	63,66	29,97	39,95	22,09
Eletricidade (1)*	kWh/t	5.475	5.001	5.034	4.749	5.630	5.349
	GJ/t	19,71	18,00	18,12	17,10	20,27	19,26
Carvão vegetal (2)***	m³/t	0,4687	0,4750	0,5325	0,4342	0,3884	0,3854
	GJ/t	3,17	3,21	3,60	2,93	2,63	2,60
Energia (1)+(2)	GJ/t	22,88	21,21	21,72	20,03	22,90	21,86

n.d.: não disponível

* 1 kWh = 3,6 MJ

*** 1 m³ = 6,76 GJ

Fontes: MME, 2003; MME, 2004; MME, 2005b; MME, 2006b, MME, 2007.

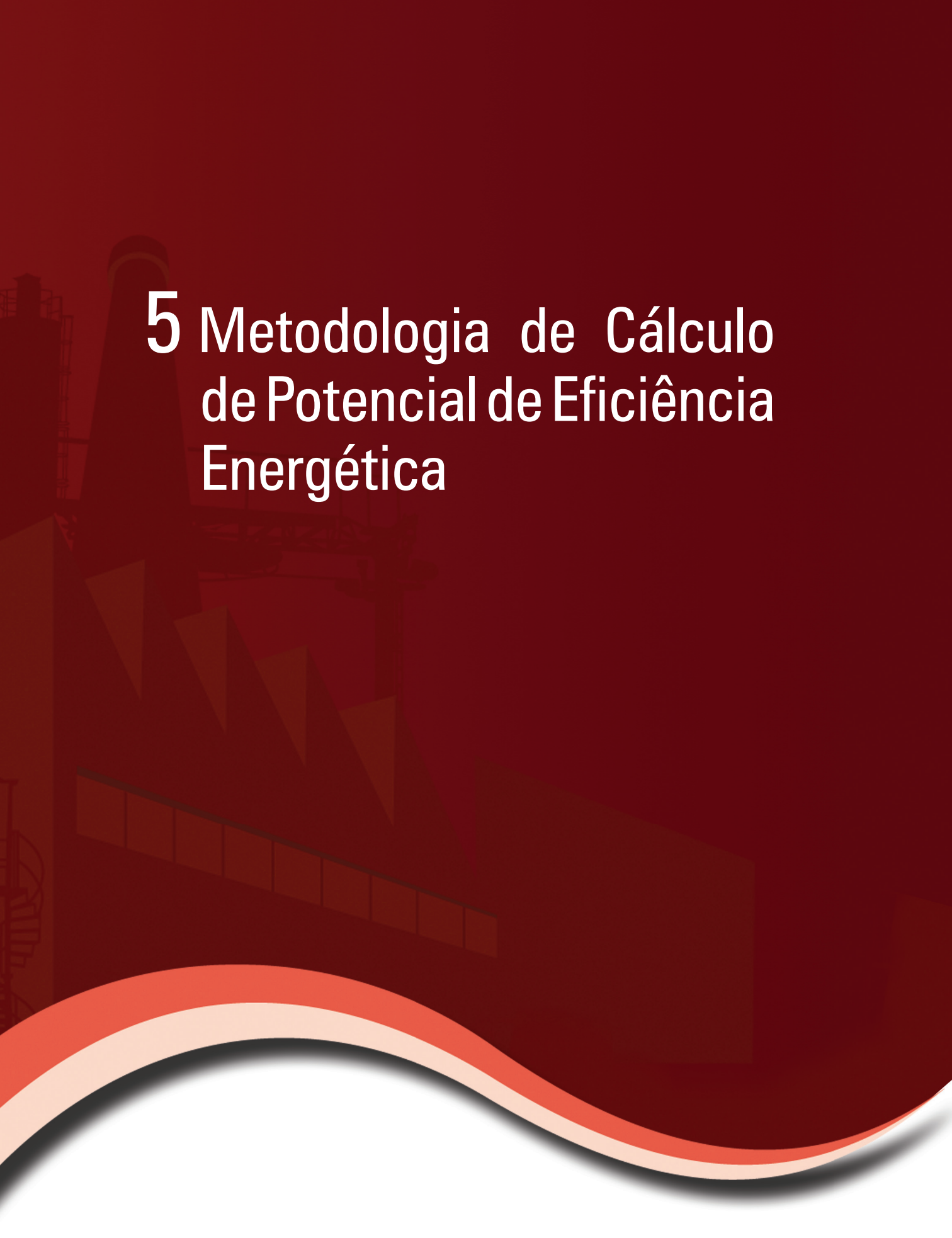
4.8 Chumbo

No Brasil, atualmente, há apenas produção secundária de chumbo, baseada na reciclagem de baterias de automóvel. Desta forma, em 2006, foram produzidas 142.653 toneladas de chumbo (MME, 2007). Nenhuma informação foi obtida sobre o consumo de energia neste processo.

Há apenas uma mina de minério de chumbo instalada no País. Ela localiza-se no município de Paracatu (MG). Em 2005, as 16.000 toneladas de concentrado de chumbo produzidas em Paracatu foram exportadas, em vista da ausência de usinas metalúrgicas instaladas no Brasil e que sejam voltadas ao beneficiamento deste metal não-ferroso.

4.9 Magnésio

Há apenas uma companhia produtora de magnésio no Brasil, a Rima Industrial S.A., que, desde 2001, não disponibiliza informações sobre produção, principais insumos consumidos e energia demandada. A última informação disponível dá conta de que, em 2000, produziu-se 5.723 toneladas de magnésio no País.



5 Metodologia de Cálculo de Potencial de Eficiência Energética

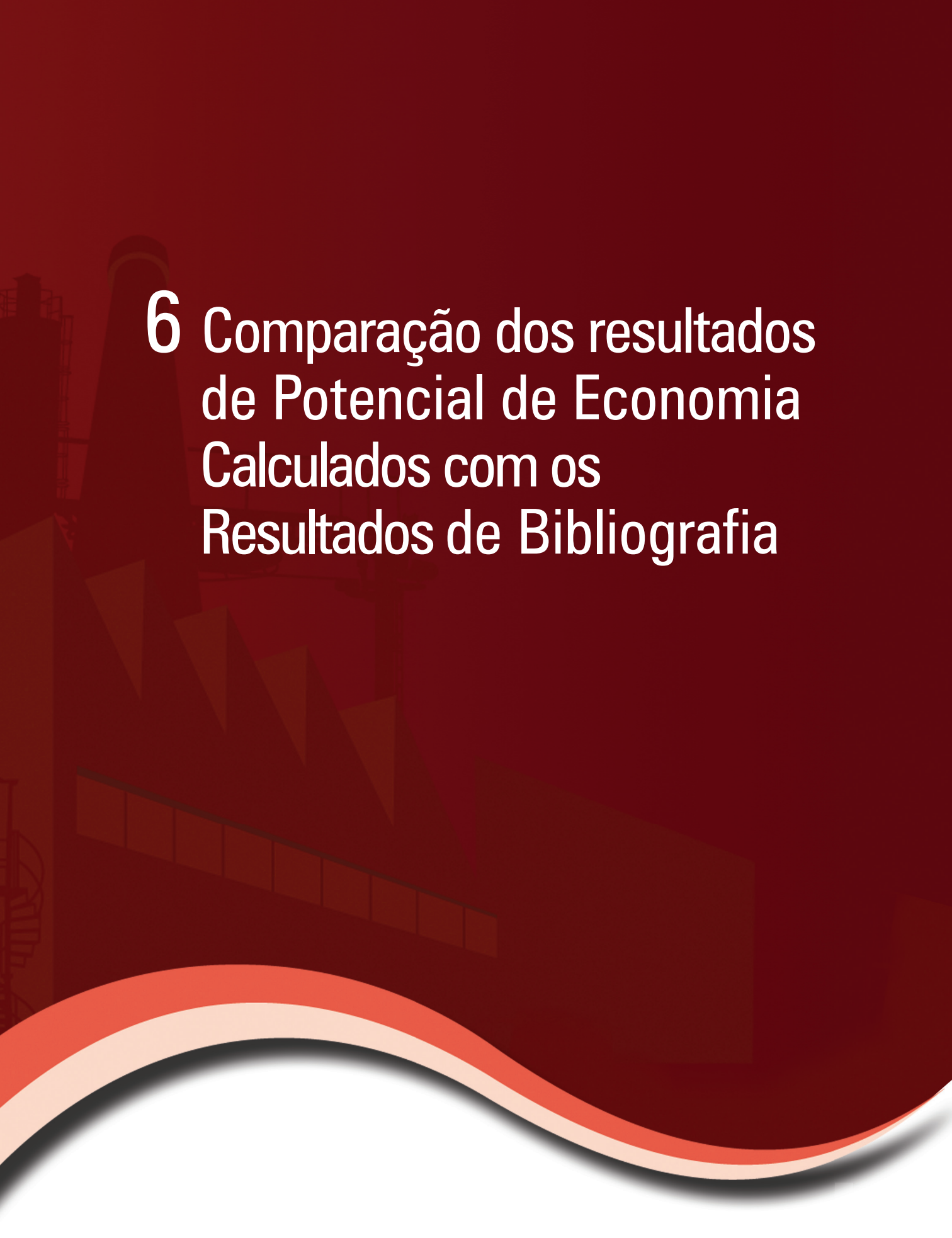
5 Metodologia de Cálculo de Potencial de Eficiência Energética

Os segmentos industriais analisados no âmbito do Projeto Análise e Desenvolvimento de Metodologia Visando a Implementação de Projetos de Eficiência Energética na Indústria, podem ser classificados em três categorias. Em segmentos heterogêneos, como as indústrias química e de alimentos e bebidas, se trabalhou com dados de consumos energéticos para os principais produtos agregados em cadeias produtivas. Já em segmentos homogêneos, como cimento e ferros-liga, os consumos energéticos foram agregados por etapas do processo produtivo. Finalmente, no caso dos segmentos com carência de informações, como as fundições, os dados disponíveis foram tratados de uma forma agregada. Para todas estas categorias, a metodologia de cálculo dos potenciais técnicos de conservação de energia foi a mesma, conforme descrito a seguir.

Os consumos, médio e mínimo, de energia térmica e energia elétrica de cada produto principal, ou de cada etapa produtiva, foram calculados multiplicando-se a produção física anual nacional pelos consumos energéticos específicos, médio e mínimo, de energia térmica e eletricidade.

O consumo específico médio representa a média nacional da energia consumida por unidade física de produto dentro de um processo industrial. Por outro lado, o consumo específico mínimo representa a quantidade de energia que seria consumida pelas empresas industriais se todas elas adotassem tecnologias que correspondem ao estado da arte, em termos de eficiência energética.

As diferenças entre os consumos, médio e mínimo, das energias térmica e elétrica fornecem os correspondentes potenciais técnicos de conservação de energia. Tanto os consumos específicos, como os dados de produção física para cada produto ou etapa produtiva foram obtidos da literatura técnica, de anuários estatísticos e de visitas técnicas a algumas plantas industriais.



6 Comparação dos resultados de Potencial de Economia Calculados com os Resultados de Bibliografia

6 Comparação dos Resultados de Potencial de Economia Calculados com os Resultados de Bibliografia

6.1 Consumos específicos de energia térmica e eletricidade

A despeito do setor de metais não-ferrosos, englobar diversos produtos e processos industriais, aqui são tratados apenas os segmentos de alumínio, cobre e zinco, para os quais foram obtidos dados suficientes para os cálculos de seus potenciais de conservação de energia. Na Tabela 26 estão listados a produção e os consumos específicos, médio e mínimo, de energia térmica e eletricidade destes produtos. Já na Tabela 27, consta a distribuição, por usos finais, da energia consumida na fabricação destes produtos.

Tabela 26

Produção e consumos energéticos dos principais produtos da indústria de metais não-ferrosos, em 2006

Segmento	Produtos/Processos	Produção (t)	Consumos específicos de energia (tep/t)			
			Energia térmica		Energia elétrica	
			Médio	Mínimo	Médio	Mínimo
Alumínio	Alumina	6.735.000	0,2874	0,2269	0,0496	0,0175
	Alumínio Primário - Processo Soderberg	1.042.925	0,0454	0,0406	1,3847	1,2898
	Alumínio Primário - Anodos Pré-Cozidos	561.575	0,0430	0,0382	1,2127	1,1178
	Produtos Transformados de Alumínio	672.900	0,0000	0,0000	0,0430	0,0344
	Produtos Transformados de Alumínio - Recuperação de Sucata	321.000	0,0000	0,0000	0,0602	0,0430
Cobre	Produção de cobre primário a partir de concentrados	193.119	0,1820	0,1820	0,1506	0,0578
Zinco	Folhas de zinco	70.076	0,0000	0,0000	0,2749	0,2501

Tabela 27

Coefficientes de distribuição do consumo de energia dos principais produtos da indústria de metais não-ferrosos, em 2006

Coeficientes de distribuição de energia					
Energia térmica		Energia elétrica			
Aquecimento direto	Vapor de Processo	Força motriz	Fornos elétricos	Eletrólise	Iluminação
Fornos					
0,8170	0,1830	0,3030	0,3050	0,3890	0,0020

Os consumos energéticos específicos para o alumínio foram obtidos a partir de uma publicação da Associação Brasileira da Indústria do Alumínio – ABAL (2004), do Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico, publicado pelo MME (2008), de TOLMASQUIM e SZKLO (2000) e da Agência Internacional de Energia. Tais dados foram corroborados através de dados coletados durante a etapa de Visitas Técnicas a empresas selecionadas do ramo. Foi assumido que, atualmente, 65% da produção de alumínio primário estão sendo realizadas através do processo Soderberg e 35% através do processo de anodos pré-cozidos. Os dados de produção são oriundos do anuário estatístico publicado pelo MME e do endereço eletrônico da ABAL na Internet (2008).

Os dados da Tabela 26, referentes ao cobre e ao zinco, provêm do Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico, de ALVARADO et al. (2002) e de informações fornecidas por algumas das mais relevantes empresas produtoras de tais metais atuantes no Brasil (durante a etapa de Visitas Técnicas).

6.2 Potencial de conservação de energia

A Tabela 28 mostra o potencial técnico de conservação de energia estimado para a indústria de metais não-ferrosos, compreendendo, conforme mencionado, os segmentos de alumínio, cobre e zinco.

O segmento de alumínio possui tanto o maior consumo energético, como o maior potencial de conservação de energia dentre os três. Os processos de obtenção da alumina e de alumínio primário pelo processo Soderberg possuem juntos, 91,5% do potencial total de conservação de energia do segmento da fabricação de alumínio.

Tabela 28

Potencial técnico estimado de conservação de energia na indústria de metais não-ferrosos em 2006

Produto/ processo	Potencial técnico de conservação de energia (tEP)						
	Energia térmica		Energia elétrica				Total por produto
	Aquecimento direto	Vapor de processo	Força motriz	Fornos elétricos	Eletrólise	Iluminação	
	Fornos						
Alumina	332.901	74.567	65.507	65.939	84.099	432	623.445
Alumínio Primário - Processo Soderberg	4.070	912	29.980	30.178	38.490	198	103.828
Alumínio Primário - Anodos Pré-Cozidos	2.192	491	16.142	16.248	20.723	107	55.902
Produtos Transformados de Alumínio	0	0	1.754	1.765	2.251	12	5.781
Produtos Transformados de Alumínio - Recuperação de Sucata	0	0	1.673	1.684	2.148	11	5.516
Produção de cobre primário, a partir de concentrados	0	0	5.430	5.466	6.971	36	17.904
Zinco	0	0	0	0	1.734	3	1.738

Os modestos potenciais de conservação encontrados para os segmentos de cobre e de zinco envolvem só a energia elétrica.

Para o alumínio, 52,2% do seu potencial técnico total de conservação encontra-se na forma de energia térmica, com destaque para o aquecimento direto em fornos na produção de alumina (41,9% do total).

A Tabela 28 revela que o potencial técnico total de conservação de energia dos produtos aqui analisados, como percentagem de seu consumo energético, é de 17,7%.

As duas figuras a seguir ilustram tanto o consumo quanto o potencial técnico de conservação de energia térmica e elétrica, respectivamente, destes três produtos da indústria de metais não-ferrosos.

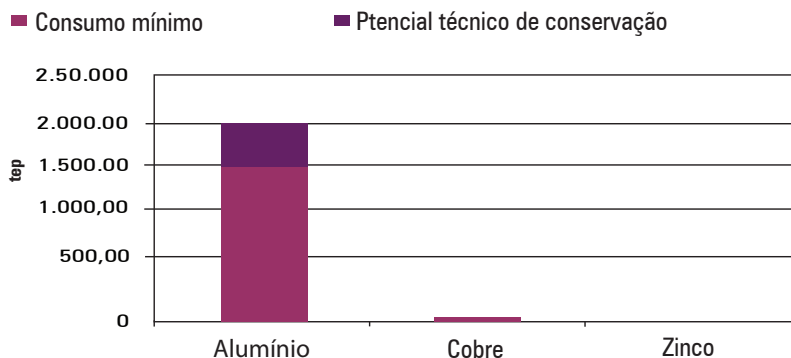


Gráfico 20

Consumo e potencial técnico de conservação de energia térmica dos principais produtos da indústria de metais não-ferrosos em 2006

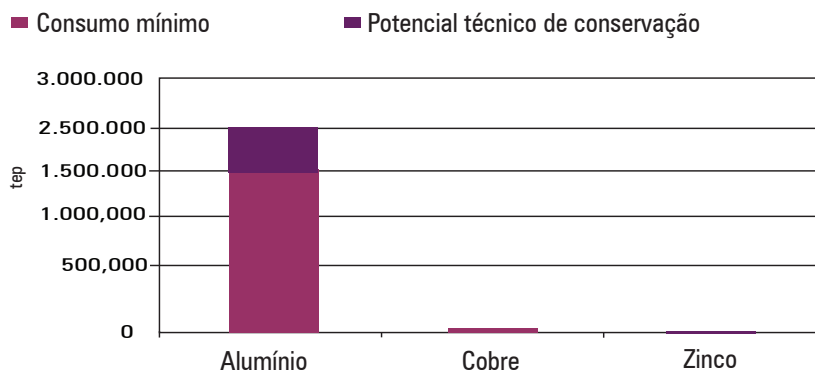


Gráfico 21

Consumo e potencial técnico de conservação de energia elétrica dos principais produtos da indústria de metais não-ferrosos em 2006

6.3 Potencial de conservação segundo o BEU

O Gráfico 22 compara o potencial técnico total de conservação de energia estimado neste trabalho para os principais produtos da indústria de metais não-ferrosos em 2006, com o potencial estimado para esta indústria, para aquele ano, com a base de dados associada ao último levantamento (2004) do Balanço de Energia Útil – BEU (MME, 2005). Trata-se, de fato, da comparação dos resultados de potencial de economia calculados com os resultados de bibliografia, afinal, o BEU representa a publicação oficial de referência para tais resultados.

De acordo com o BEU (MME, 2005), só a substituição por equipamentos mais eficientes possibilitaria uma economia de energia de 10,7% nesta indústria, no Brasil, em 2006. A distribuição, por usos finais, desta economia seria da seguinte forma: 58,6% no aquecimento direto, 32% em processos eletroquímicos, 6,8% como força motriz e 2,5% como calor de processo e 0,1% na iluminação (MME, 2005). Já a ABESCO, estimou, em 2006, um potencial de economia de energia de 3% na indústria de metais não-ferrosos no Brasil. (ABESCO, 2008).

Urge denotar que as economias potenciais de energia de cunho sistêmico, levadas em conta neste trabalho e não na metodologia do BEU, explicam o maior valor obtido nas simulações inerentes ao presente estudo.

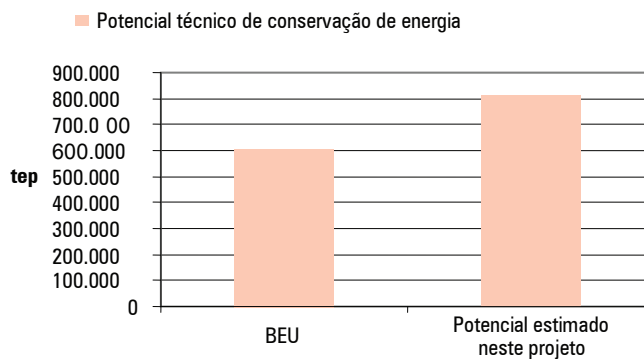
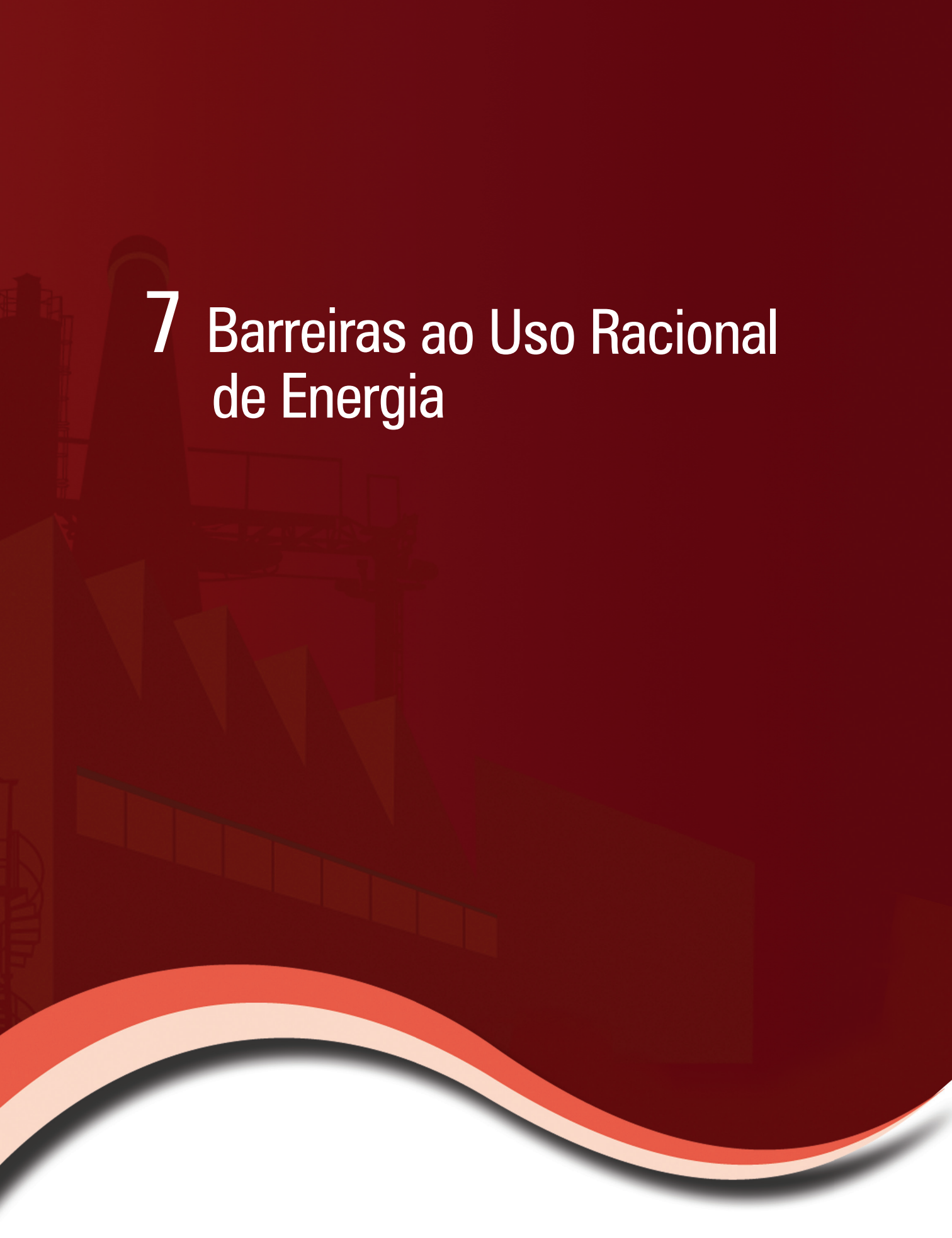


Gráfico 22

Comparação entre os potenciais técnicos de conservação de energia na indústria de metais não-ferrosos brasileira estimados com os dados do BEU e neste trabalho



7 Barreiras ao Uso Racional de Energia

7 Barreiras ao Uso Racional de Energia

Para o segmento industrial de produção de ferros-ligas, as barreiras ao uso racional de energia foram inicialmente identificadas no Caderno Técnico do Plano Nacional de Energia, recentemente elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2008). Essas barreiras foram depois confrontadas com os comentários dos técnicos e dirigentes das indústrias visitadas. Os aspectos mencionados na publicação são apresentados a seguir; comentários do autor deste relatório foram introduzidos, quando pertinente:

- Estrutura legal pouco atrativa para cogeração ou produção de energia independente;
- Necessidade de treinamento de pessoal para identificar oportunidades de eficiência energética e para fazer a gestão dos projetos que se mostrarem viáveis;
- Indisponibilidade de determinadas tecnologias;
- Racionalização do uso de energia compete com outras prioridades de investimento;
- Elevados investimentos iniciais;
- Incertezas quanto aos preços de energia e altos custos iniciais dos investimentos devido aos impostos de importação;
- Restrições ao financiamento (específico para o setor de ferros-ligas).

8 Conclusões



8 Conclusões

Há, no Brasil, uma grande discrepância entre a produção dos principais metais não-ferrosos em sua forma primária e a confecção de produtos transformados, tipicamente de maior valor agregado. Isto fica patente no caso do alumínio, do cobre e do zinco. Tal discrepância, em boa parte, relaciona-se com a baixa demanda interna por produtos transformados – devido tanto à estrutura sócio-econômica da sociedade brasileira, quanto às políticas impostas pelas empresas produtoras de alumínio no País, as quais optaram por baixos investimentos no enobrecimento dos produtos por elas confeccionados. Esta opção, porém, não deixa de estar conectada (mesmo que de forma sutil) à dificuldade que o País tem de sair de sua condição de nação em desenvolvimento, a despeito de ser detentor de amplas reservas de recursos minerais (as matérias-primas essenciais para a confecção dos metais não-ferrosos).

No que tange à caracterização energética do setor analisado no presente estudo, pode-se mencionar como dois fatores fundamentais: (1) o elevado consumo específico de eletricidade inerente a produção do alumínio e (2) a importância deste aspecto no custo total do alumínio primário. Tais aspectos constituem-se em fatores determinantes para que as plantas de alumínio localizem-se em países e regiões onde a eletricidade obtida a partir de usinas hidroelétricas é barata. Este é tipicamente o caso do Brasil. Nesse contexto, é possível concluir que a natural expansão da indústria nacional do alumínio induz à construção de novas usinas hidroelétricas – nesse sentido, tal indústria, em certa medida, guarda relação com impactos sócio-ambientais (em geral, tipicamente relevantes) associados à construção de grandes barragens.

A respeito da caracterização econômica apresentada no presente trabalho, talvez o aspecto mais evidente seja o fato de que, para o caso dos principais metais não-ferrosos (nas perspectivas de consumo energético e de formação do PIB setorial), a evolução do mercado internacional é um dos principais determinantes do comportamento de toda a cadeia produtiva de tais metais. Afinal, a indústria de metais não-ferrosos do Brasil é caracteristicamente superavitária. E, de fato, o País é um dos mais importantes exportadores mundiais de tais produtos.

Dentre as barreiras específicas para penetração de práticas e/ou programas voltados à eficiência energética (Seção 7 do presente trabalho), foi possível constatar (em especial, durante a realização de visitas técnicas a empresas selecionadas do ramo) que a falta de conscientização e a não priorização das ações de racionalização do uso da energia são traços comuns mesmo em grandes empresas que alardeiam busca de uma atuação mais “sustentável” (num sentido amplo deste eventualmente controverso e pouco compreendido termo). A superação de tais obstáculos é de grande importância não somente para o setor de produção de metais não-ferrosos, mas também para o desenvolvimento do País como um todo.

No que tange ao potencial de conservação de energia para o caso do metal não-ferroso mais eletro-intensivo (em termos relativos e absolutos), ou seja, o alumínio, urge mencionar que a Agência Internacional de Energia estimou que, de 6 a 8% do consumo da energia primária envolvida na fabricação deste metal podiam ser economizadas com o uso das tecnologias mais eficientes atualmente disponíveis no mercado (IEA, 2007); a Agência encontrou um potencial técnico de conservação de energia de 15% na produção de alumina e um potencial técnico de conservação de eletricidade também de 15% na fabricação de alumínio primário em 2004 (IEA, 2007).

Nesse contexto, cabe mencionar também que empresas afiliadas ao Instituto Internacional do Alumínio (IAI), responsáveis por mais do que 70% da produção mundial de alumínio primário, assumiram o compromisso de reduzirem em 10% o seu consumo energético específico até 2010, em comparação com 1990 (IAI, 2008).

Por outro lado, a utilização, no futuro, de anodos inertes poderá propiciar uma economia de energia na fabricação de alumínio primário de até 30% em relação à média atual, ou cerca de 20% em relação à tecnologia que constitui hoje o estado da arte (IEA, 2007). Estes anodos devem ser utilizados em plantas de demonstração até 2030 e provavelmente estarão disponíveis comercialmente em 2050.

Considerando que o setor de alumínio é um dos principais demandantes de energia da indústria brasileira, pode-se dizer que é mais efetivo começar um programa de eficiência energética no setor de metais não-ferrosos justamente através de implementação de práticas menos energo-intensivas aplicáveis a este setor. Nesse contexto, é possível mencionar: (i) o retrofit de células eletrolíticas tem grandes chances de propiciar elevadas economias de energia no futuro; (ii) o emprego futuro de anodos inerte tem razoáveis perspectivas de também trazer economias substanciais de energia; e (iii) métodos avançados de conformação do alumínio devem se difundir bastante no futuro, possuindo um médio potencial de conservação de energia.

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2008), apenas com tecnologias já disponíveis no mercado, o volume de eficiência energética (expresso no Plano Nacional de Energia – PNE 2030) pode atingir o patamar de 5% no que se refere ao potencial técnico, 4% no que diz respeito ao potencial econômico e 3% do que tange ao potencial de mercado. Urge denotar que tais estimativas consideraram tão somente a etapa de redução da alumina, durante a fabricação de alumínio primário.

Macro Análise

A eficiência energética é, hoje, uma questão crucial para a Humanidade. Até com certa veemência, a ciência (como por exemplo, a ciência expressa nos substanciosos relatórios de avaliação publicados pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*) tem apontado que o consumo cada vez maior de combustíveis fósseis causará enorme dano ao meio ambiente, riscos sem precedentes à mudança do clima, e esgotará rapidamente as reservas de petróleo. Nesse contexto, de fato, uma “revolução energética” é possível, desejável e oportuna de modo a contrapor esse quadro que se anuncia.

Sem dúvida, o uso eficiente da energia no setor industrial mostra-se atrativo nos aspectos ambientais, econômicos, sociais, estratégicos e comerciais. Observa-se, no entanto, que, no Brasil, os resultados dos programas e ações de conservação de energia aplicáveis ao setor em questão (e a todos os demais segmentos da economia nacional), de uma forma geral, têm sido tímidos. E, o curioso é que o racionamento de 2001 mostrou duramente que a energia (em especial, a que vem sob a forma de eletricidade) não é abundante e nem tem custo de oportunidade nulo, como têm mostrado os aumentos de tarifa.

Fato é que os Programas de Eficiência Energética no Brasil não têm sido priorizados continuamente ao longo do tempo, haja vista a crise energética que se instalou no País em 2001. Pode-se dizer, em última instância, que isso ocorre por motivos políticos, institucionais, entre outros. A descontinuidade dos programas e metas denota que as prioridades não são institucionais ou nacionais e sim derivadas de projetos políticos conjunturais.

Porém, há evidentes sinais de que tal contexto está em processo de mutação. De fato, a indústria nacional já começa a ser dar conta dos benefícios inerentes à implementação de programas voltados à eficiência energética. E isto, efetivamente tem se traduzido em ações práticas indutoras de crescente conservação energética. Há de se ressaltar, porém, que pequenas (e mesmo boa parte das médias) empresas do segmento industrial, de modo geral, ainda estão à margem deste processo.

No sentido de disseminar tais programas ou as práticas mais efetivas e menos onerosas de eficiência energética adequadas para cada segmento industrial, o Governo (em especial, nas esferas federal e estadual) tende a desempenhar papel absolutamente relevante.

A própria crise internacional em curso, em certa medida, evidencia que o descaso com a implementação de práticas e/ou programas voltados à eficiência energética pode comprometer a própria sobrevivência de determinada empresa no competitivo mercado de produtos industriais. Por lado, a sociedade tem demonstrado crescente lucidez no que tange a preocupação com a redução de impactos ambientais gerados pelo setor produtivo – nesse contexto, como se sabe, a eficiência energética pode contribuir de forma decisiva (como, por exemplo, no que se refere a uma eventual maior penetração de combustíveis menos intensos em carbono).

Referências



REFERÊNCIAS

AGÊNCIA DE NOTÍCIAS DO MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Site:** Disponível em: <<http://agenciact.mct.gov.br>>. Acesso em: set. 2007.

ALVARADO, S.; MALDONADO, P.; BARRIOS, A.; JAQUES, I., Long term energy-related environmental issues of copper production. **Energy**, 27, p. 183-196. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO ALUMÍNIO (ABAL). **Fundamentos do alumínio e suas aplicações**. Rio de Janeiro, 2004.

ABAL – Associação Brasileira da Indústria do Alumínio 2007. Acesso ao endereço eletrônico <http://www.abal.org.br> (em 08 de junho de 2007).

_____. **Site:** Disponível em: <<http://www.abesco.com.br>>. Acesso em: set. 2008.

BAJAY, S. V. et al. **Relatório da atividade I:** caracterização técnica, econômica e energética dos onze segmentos industriais energo. Campinas, SP: Unicamp, 1995.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). **Anuário estatístico: indústria metalúrgica brasileira**. Brasília, DF, 2006.

_____. **Anuário estatístico:** indústria metalúrgica brasileira. Brasília, DF, 2007.

_____. **Anuário estatístico:** indústria metalúrgica brasileira. Brasília, DF, 2008.

_____. **Balanco energético nacional 2003**. Brasília, DF, 2003.

_____. **Balanco energético nacional 2004**. Brasília, DF, 2004.

_____. **Balanco energético nacional 2005**. Brasília, DF, 2005.

_____. **Balanco energético nacional 2006**. Brasília, DF, 2006.

_____. **Balanco energético nacional 2007**. Brasília, DF, 2007.

_____. **Balanco de Energia Útil – BEU:** dados referentes ao ano de 2004. Brasília, DF, 2005b.

CARVALHO et al. Chumbo no sangue de crianças e passivo ambiental de uma fundição de chumbo no Brasil. **Pan Am J. Public Health**, 13(1), 2003.

COMPANHIA BRASILEIRA DE ALUMÍNIO (CBA), 2007. **Site:** Disponível em: <<http://www.aluminiocba.com.br>>. Acesso em: dez. 2007.

COMPANHIA VALE DO RIO DOCE (CVRD), 2008. **Site:** Disponível em: <<http://www.crvd.com.br>>. Acesso em: maio 2008.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM (CEMPRE **Site:** Disponível em: <<http://www.cempre.org.br>>. Acesso em: set. 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE COMUNICAÇÃO (RADIOBRÁS). **Site.** Disponível em: <<http://www.radiobras.gov.br>>. Acesso em: 2 jul. 2007.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Caderno técnico do plano nacional de energia**. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>.

_____. Consumo industrial. Rio de Janeiro, 2006.

EYRE, N. Barriers to energy efficiency: more than just market failure. **Energy & Environment**, v. 8, issue 1. 1997.

GOLOVE, W. H., ETO, J.H. **Market barriers to energy efficiency**: a critical reappraisal of the rationale for public policies to promote energy efficiency. [s.l]: Lawrence Berkley National Laboratory, 1996.

GONÇALVES, M.; COUTO, K. B. S. Um panorama da indústria de extrusão de alumínio do Brasil: o status quo tecnológico. In: SEMINÁRIO DE METAIS NÃO-FERROSOS, 10, 19 e 21 mar. 2002, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2002. p. 435-443.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Site**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: jun. 2008.

INSTITUTO OBSERVATÓRIO SOCIAL. **Panorama setorial do alumínio e das empresas integradas**. São Paulo, 2006.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **4th Assessment Report**: Climate Change 2007: The Physical Science Basis: Summary for Policymakers. [s.l], 2007.

INTERNATIONAL ALUMINIUM INSTITUTE (IAI). **Site**. Disponível em: <<http://www.world-aluminium.org/>>. Acesso em: dez. 2008.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Indicators for industrial energy efficiency and co₂ emissions**: a technology perspective. Draft Version, 2007.

LEMONS, F. de A.; PAIVA, P. R. P.; SILVA, F. T.; DUTRA, A. J. B. Reciclagem de metais não-ferrosos em poeiras de fornos elétricos (FEA) por processos pirometalúrgicos. In: SEMINÁRIO DE METAIS NÃO FERROSOS, 10. **Anais**. São Paulo, 2002. p. 373-82.

PAULA, G. M.; XAVIER, C. L. **Estudo da dimensão territorial do PPA**. Brasília. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2006.

_____. **Nota técnica sobre a indústria extrativa mineral e minerais não-metálicos**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2006.

_____. **Estudos prospectivos setoriais e temáticos**: módulo 4. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2006.

SCHREIBER, H. CDM and Energy Efficiency in Industry. In: WORKSHOP ON ASSESSING CARBON FINANCE. [s.l]: The World Bank – Energy and Infrastructure Unit. February, 2007.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA (SBS). **Site**. Disponível em: <<http://www.sbs.org.br>>. Acesso em: 4 jul. 2007.

SORRELL, S., SCHLEICH, J., SCOTT, S. O'MALLEY, E., TRACE, F. BOEDE, U. Barriers to Energy Efficiency in Public and Private Organisations. **Report to EC**. 2000. Disponível em: <www.sussex.ac.uk/Units/spru/publications/reports/barriers/final.html>. Acesso em: dez. 2007.

TOLMASQUIM, M. T.; SZKLO, A. S. **A matriz energética brasileira na virada do milênio**. Rio de Janeiro: ENERGIA, 2000.

VOTORANTIM METAIS. **Comunicação pessoal**. São Paulo, 2008.

UNITED NATIONAL DEVELOPMENT PROGRAMME. **World energy assessment**: energy and the challenge of sustainability. New York, 2000.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI

Unidade de Competitividade Industrial – COMPI

Wagner Cardoso
Gerente de Infraestrutura

Equipe Técnica
Francine Costa Vaurof
Rafaella Sales Dias
Rodrigo Sarmento Garcia

Produção Editorial
Núcleo de Editoração Eletrônica - CNI

SUPERINTENDÊNCIA DE SERVIÇOS COMPARTILHADOS – SSC

Área Compartilhada de Informação e Documentação – ACIND

Renata Lima
Normalização

Consultores
Carlos Roberto Rocha
Sérgio Bajay
Filipe Debonzi Gorla

Equipe Técnica
ELETROBRAS / PROCEL

PROCEL INDÚSTRIA
Alvaro Braga Alves Pinto
Bráulio Romano Motta
Carlos Aparecido Ferreira
Carlos Henrique Moya
Marcos Vinícius Pimentel Teixeira
Roberto Ricardo de Araujo Goes
Rodolfo do Lago Sobral

Colaboradores
George Alves Soares
Humberto Luiz de Oliveira
Marília Ribeiro Spera
Roberto Piffer
Vanda Alves dos Santos

Cristine Bombarda Guedes
Revisão Gramatical

Kelli Mondaini
Revisão Gráfica

CT Comunicação
Projeto Gráfico/Editoração



Ministério de
Minas e Energia

