



EBC

Núcleo de Estudos de
Economias de Baixo Carbono

Relatório
Estudos Setoriais:
Alumínio

Prof. Dr. Clésio Lourenço Xavier

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE DE
RIBEIRÃO PRETO
CONTRATO DE COLABORAÇÃO FINANCEIRA NÃO-REEMBOLSÁVEL
Nº 11.2.0488.1
FUNDACE – BNDES

ECONOMIA DE BAIXO CARBONO: AVALIAÇÃO DE IMPACTOS DE
RESTRIÇÕES E PERSPECTIVAS TECNOLÓGICAS

ALUMÍNIO

Clésio Lourenço Xavier

RIBEIRÃO PRETO-SP
ABRIL-2012

Equipe de Coordenação do Projeto Economia de Baixo Carbono

Coordenação Geral – Rudinei Toneto Junior

Coordenação Geral Adjunta – Marcelo Pinho

Coordenação do Modelo de Equilíbrio Geral: Angelo Costa Gurgel

Coordenação SASTEC – Banco de Dados de Tecnologias: Geciane Silveira Porto e Sérgio Kannebley

Coordenação de Estudos Setoriais

Uso do Solo, Pecuária e grãos - Geraldo Bueno Martha Junior e Elísio Contini

Biocombustíveis – André Luis Squarize Chagas

Siderurgia - Germano Mendes de Paula

Alumínio – Clésio Lourenço Xavier

Cimento – Marcelo Pinho

Petróleo e Petroquímico – Eduardo Luiz Machado

Automobilístico e Aeronáutica – Cláudio Ribeiro de Lucinda

Consultores Temáticos: Energia, Eficiência Energética e Tecnologias Verdes

Paulo Seleglim Junior

Oswaldo Baffa

Auxiliares de Coordenação

Beatriz Selan

Gabriela Eusébio

Este projeto foi realizado com recursos do Fundo de Estruturação de Projetos (FEP) do BNDES. O conteúdo é de exclusiva responsabilidade dos autores, não refletindo, necessariamente, a opinião do BNDES. Informações sobre o FEP encontram-se em [HTTP://www.bndes.gov.br](http://www.bndes.gov.br).

INTRODUÇÃO

Esta é a segunda Nota Técnica referente à análise da indústria de alumínio no âmbito do projeto “Economia de Baixo Carbono: Avaliação de Impactos de Restrições e Perspectivas Tecnológicas”, conduzido pela Fundação para Pesquisa e Desenvolvimento da Administração, Contabilidade e Economia (Fundace), com a colaboração financeira não reembolsável do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES).

Esta Nota Técnica é dividida em três partes: a primeira parte aborda o quadro internacional da indústria do alumínio, incluindo a caracterização setorial, os principais produtos, setores demandantes, cadeia de produção e rotas tecnológicas da indústria de alumínio mundial, com o objetivo de fornecer uma caracterização setorial no que se refere à estrutura produtiva, volume de produção, comércio exterior e estrutura de mercado e fatores críticos para a competitividade. A segunda parte examina as mesmas questões para a indústria de alumínio brasileira, abordando a estrutura de mercado e estratégias competitivas das empresas produtoras de alumínio no Brasil. Por fim, a terceira parte analisa em termos exploratórios os impactos ambientais setoriais na indústria de alumínio.

1. QUADRO INTERNACIONAL DA INDÚSTRIA DO ALUMÍNIO

1.1. Caracterização Setorial da Indústria do Alumínio

Em função de suas características físico-químicas, como baixa densidade, alta condutibilidade elétrica e resistência à corrosão, o alumínio concorre com outros metais em termos de preços, substituindo-os parcialmente como é o caso do cobre na indústria de equipamentos de transmissão elétrica, o aço na indústria automotiva e também na construção civil, o estanho na produção de *containers* e o chumbo na produção de tubos (Bunker & Ciccantell, 1994, pp. 50-51).

Em termos mundiais, a abrangência da cadeia produtiva do alumínio pode ser dividida nas seguintes etapas:

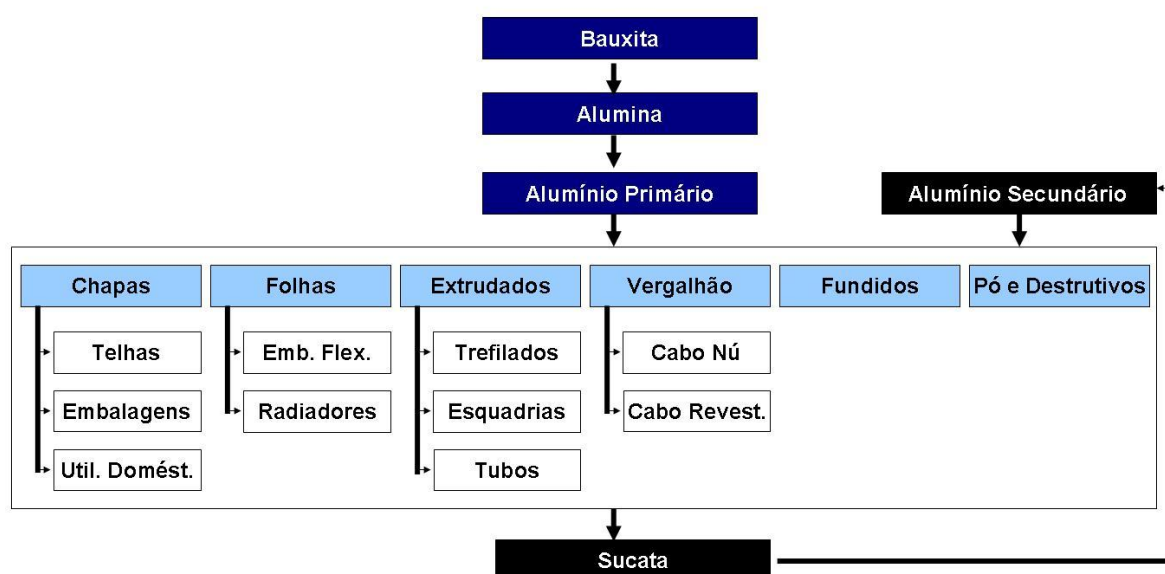
- Bauxita;
- Alumina;
- Alumínio primário;
- Manufatura de produtos intermediários ou semi-acabados;
- Fabricação de produtos finais;
- Reciclagem.

Por sua vez, como apresentado na Figura 1, a etapa da manufatura de produtos intermediários da cadeia produtiva do alumínio (que também podem ser denominados de produtos transformados) envolve os seguintes segmentos:

- Chapas;
- Folhas;
- Extrudados;
- Vergalhão;
- Fundidos;
- Pó e destrutivos.

Os produtos finais representam um passo adicional da cadeia produtiva, por meio do qual, por exemplo, as folhas são transformadas em embalagens e os produtos extrudados são transformados em esquadrias. Outros exemplos de produtos finais de alumínio são: a) reservatórios, tonéis, cubas e recipientes; b) recipientes para gases; c) artefatos de uso doméstico. Adicionalmente, ressalta-se a importância crescente do alumínio secundário na oferta total de alumínio, pois que se trata de um metal com alta possibilidade de reciclagem.

Figura 1: Cadeia Produtiva do Alumínio

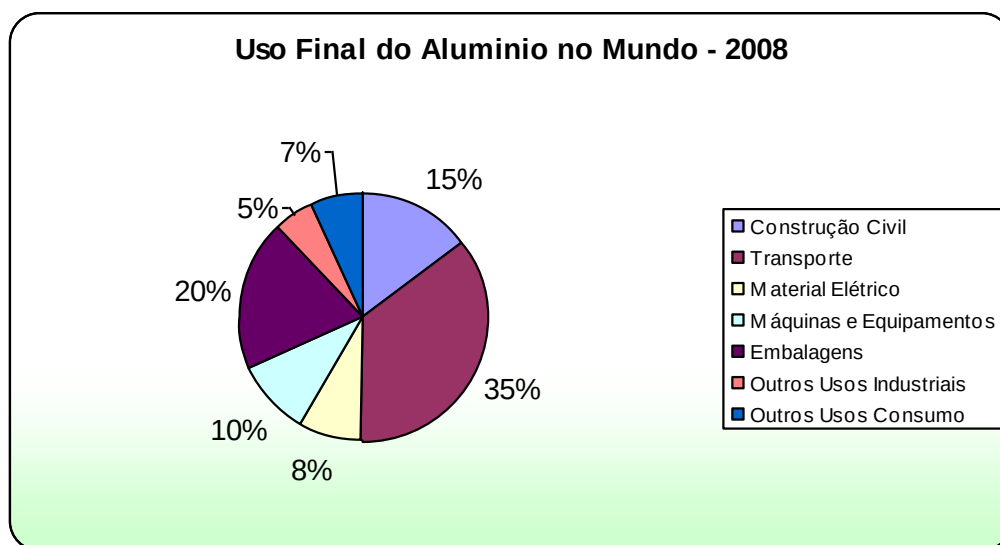


Fonte: ABAL, 2008b

O uso final do alumínio por setores de atividade econômica constitui elemento essencial à compreensão da dinâmica competitiva dos segmentos intermediários da cadeia produtiva do alumínio. O Gráfico 1 ilustra o consumo de alumínio pelos diferentes setores industriais. No ano de 2008, o setor de transporte representou o maior mercado para o alumínio, representando 35% do total consumido no mundo. O setor de embalagens foi o segundo maior mercado demandante com participação de 20% do total mundial, seguido do setor de construção civil com participação de 15%. Por último, os setores de máquinas e equipamentos e material elétrico responderam por 10% e 8% do consumo de alumínio no mundo, respectivamente. Dessa forma, em termos mundiais, os desempenhos dos setores de transporte,

embalagens e construção civil são os principais condicionantes da evolução do consumo de produtos originários da cadeia produtiva do alumínio.

Gráfico 1: Uso Final de Alumínio no Mundo - 2008



Fonte: UBS, 2008

Na mesma perspectiva, a verificação do padrão de consumo de alumínio por países selecionados no período recente revela a existência de algumas assimetrias em termos de segmentos, conferindo maior ou menor participação a determinados setores de acordo com a região analisada (Tabela 1).

Tabela 1: Consumo de Alumínio por Segmento - 2006 e 2009 (em %)

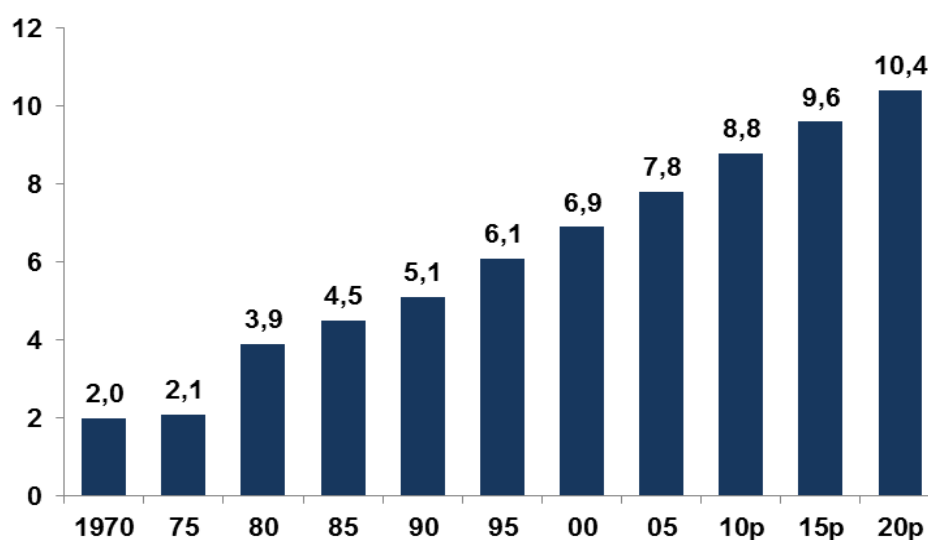
Países / Segmento	Construção Civil		Transportes		Ind. Elétrica		Bens de Consumo		Embalagens		Máq. e Equip.	
	2006	2009	2006	2009	2006	2009	2006	2009	2006	2009	2006	2009
Argentina	24,2	19,6	22,4	18,6	19,5	19,2	6,7	7,7	10,2	22,7	5,2	2,3
Brasil	11,4	14,8	25,4	21,3	12,3	10,3	8,4	10,1	28,7	30,3	4,0	4,6
USA/Canadá	15,7	14,2	37,4	28,1	7,3	8,7	7,1	6,7	22,1	31,5	7,2	7,0
Europa	21,1	29,0	26,6	30,0	3,5	nd	6,1	nd	18,2	20,0	11,2	nd
Japão	16,1	15,3	41,5	38,8	4,6	5,2	12,2	12,6	10,3	14,1	4,3	2,9
México	6,0	5,0	38,0	24,0	21,0	17,0	9,0	11,0	6,0	18,0	12,0	9,0

Fonte: ABAL, 2010b.

Nos Estados Unidos e Canadá prevalece um padrão de consumo de alumínio fundamentalmente concentrado nos segmentos de transportes (37,4% e 28,1% respectivamente em 2006 e 2009)¹ e embalagens (22,1% e 31,5%), enquanto na Europa predominam os setores de transportes (26% e 30%) e construção civil (21,1% e 29%). No Japão, por sua vez, apenas o setor de transporte se destaca no consumo de alumínio em torno de 40% nos últimos anos.

A predominância do setor de transporte no consumo de alumínio em todas as regiões desenvolvidas está associada ao uso crescente nos automóveis. No caso dos veículos leves fabricados nos Estados Unidos, a fatia do alumínio cresceu consideravelmente nas últimas décadas, de 2,0% em 1970 para 8,8% em 2010 (Gráfico 2) e deverá continuar crescendo no longo prazo, segundo expectativa da indústria de alumínio, conforme ABAL (2010b).

Gráfico 2: Participação do alumínio no peso de automóveis leves norte-americanos, 1970-2020 (%)



Fonte: Scheps (2010)

¹ Certamente a menor participação do segmento de transportes no consumo de alumínio em 2009 guarda relação com os fortes efeitos da crise financeira internacional sobre a indústria automobilística norte-americana.

Um ponto importante que se depreende da Tabela 1 acima é a menor importância do segmento de transportes na demanda de alumínio em países em desenvolvimento. Isso provavelmente é uma decorrência do fato de que o alumínio é mais usado em modelos de automóveis mais caros, para os quais a desvantagem do maior preço do alumínio acaba sendo menos importante.

Em termos geográficos, em nível mundial, são requisitos tecnológicos para a eficiência na fabricação de alumínio a proximidade física e a interação com os clientes e usuários a jusante, seja para atender às suas especificações, seja em função dos altos custos e riscos envolvidos no transporte de um material relativamente frágil (Bunker & Ciccantell, 1994, pp. 50-51). Como consequência, mesmo que uma companhia seja verticalizada, não necessariamente concentrará suas operações em um mesmo lugar. É provável que as plantas de alumina se localizem mais próximas da matéria-prima (bauxita), ao passo que as atividades de manufatura de produtos intermediários e a fabricação de produtos finais sejam instaladas mais próximas do mercado consumidor.

A bauxita é a principal matéria-prima utilizada na indústria do alumínio. De fato, aproximadamente 95% da produção mundial de bauxita são utilizadas na produção de alumina, sendo denominada de bauxita grau metalúrgico. Por sua vez, as bauxitas grau não-metalúrgico ou refratárias (alta alumina) são empregadas nas indústrias químicas, de abrasivos e de cimento.

O alumínio em forma mineral é um dos metais em maior disponibilidade no mundo. As reservas mundiais de bauxita totalizavam 27,4 bilhões de toneladas em 2010 e encontram-se distribuídas entre os seguintes países: Guiné (27%), Austrália (20%), Brasil (9,5%), Vietnã (7,6%) e Jamaica (7,3%), de acordo com DNPM (2011). Supondo a manutenção do ritmo de produção mundial atual, o horizonte de duração das reservas mundiais de bauxita é de 174 anos (*idem*).

Segundo a ABAL (2008, p. 10), de um modo geral, a relação insumo-produto na cadeia de produção da indústria do alumínio é a seguinte: 5 toneladas de bauxita são necessárias para produzir 2 toneladas de alumina, quantidade esta suficiente para produzir 1 tonelada de alumínio primário.

O alumínio primário é produzido por meio de um processo de *redução eletrolítica* da alumina, também conhecido como *smelter*, utilizando-se de um processo denominado *processo Hall-Hérault*, onde uma corrente elétrica passa através de uma solução de alumina dentro de uma cuba eletrolítica, demandando grande quantidade de energia para que haja a *redução*, o que torna o alumínio um metal eletro-intensivo. Em outros termos, a reação ocorre num recipiente de carbono que age como catodo e que contém a solução eletrolítica. O anodo de carbono é parcialmente submerso na solução e consumido ao longo do processo. A eletrólise do óxido de alumínio produz alumínio fundido, que se deposita no catodo, e oxigênio, que se deposita no anodo e reage com o carbono, produzindo emissões de CO₂. Alguma quantidade de CO₂ é também produzida quando o anodo reage com outras fontes de oxigênio (como o ar).

No Brasil, a média de emissões do processo de produção de alumínio primário é de 2,7 t de CO₂eq por tonelada de alumínio, enquanto a média mundial é de 7,1 t de CO₂eq por tonelada de alumínio, segundo o *International Aluminium Institute* (IAI, 2010). O total das emissões de CO₂eq na indústria brasileira do alumínio (em 2008) – desde a mineração até a reciclagem – foi de 4,2 t de CO₂eq por tonelada de alumínio, muito abaixo da média mundial de 9,7 t de CO₂eq por tonelada de alumínio, conforme o *International Aluminium Institute*. Ressalta-se que tais números incluem as emissões de carbono na geração de eletricidade consumida durante o processo, não se restringindo àquelas emissões que ocorrem diretamente no processo de produção.

O processo de produção de alumínio primário pode utilizar dois tipos principais de tecnologia:

1. Tecnologia *Prebaked* – cubas com anodos pré-cozidos; e
2. Tecnologia *Soderberg* – anodos cozidos na própria cuba.

Segundo o MCT (2006), o fator de emissão de CO₂ da tecnologia *Soderberg* é 1,8 e o da tecnologia *Prebaked* é de 1,5 tonelada de CO₂ por tonelada de alumínio. No Brasil, aproximadamente sessenta e dois por cento (62%) da produção de alumínio primário utiliza a tecnologia *Prebaked*, de menor emissão de CO₂, enquanto

a tecnologia *Soderberg* é utilizada em um terço da produção de alumínio, de maior emissão de CO₂.

1.2. Produção, Consumo e Fluxos de Comércio Exterior na Indústria de Alumínio

1.2.1. Produção e Consumo

Conforme se observa na Tabela 2, a produção mundial de bauxita cresceu de 137 milhões de toneladas em 2001 para 209 milhões de toneladas em 2010, perfazendo um crescimento médio anual de 4,8%. Na produção de alumina, os números foram respectivamente de 51,6 e 85,4 milhões de toneladas, o que resulta numa taxa anual média de crescimento de 5,76%. Tal diferença entre as taxas de crescimento de bauxita e de alumina é explicável porque se trata de minérios com teores contidos absolutamente diferentes. De fato, a obtenção recente de ganhos de eficiência na cadeia produtiva do alumínio tem permitido a redução da relação insumo-produto, diminuindo a quantidade de alumina necessária à produção de alumínio primário. De acordo com CHINA METALS (2008, p.1), utilizando a tecnologia corrente, já são necessárias apenas 1,93 toneladas de alumina para a produção de 1 tonelada de alumínio primário, menos do que o rendimento padrão indicado na seção anterior.

Tabela 2: Produção Mundial de Bauxita, Alumina e Alumínio Primário
2003-2010 (mt)

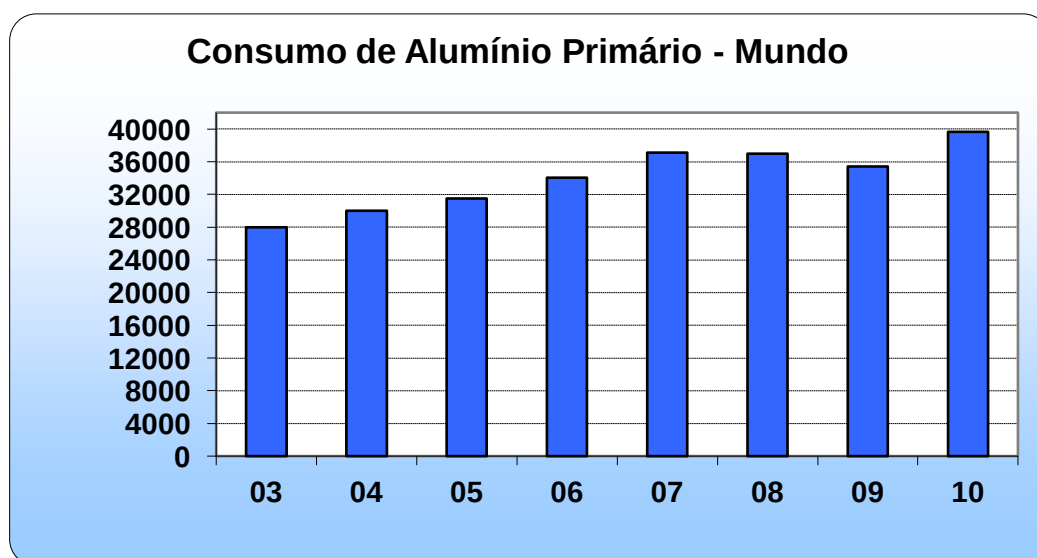
Ano	Bauxita	Alumina	Alumínio Primário
2001	137.000	51.600	24.300
2002	144.000	55.000	26.100
2003	153.000	57.900	28.000
2004	164.000	61.700	29.900
2005	178.000	65.000	31.900
2006	193.000	72.300	33.900
2007	204.000	77.900	38.000
2008	211.000	82.500	39.600
2009	196.000	77.400	36.900
2010	209.000	85.400	40.800

Fonte: US Geological Survey, 2011.

No que tange ao alumínio primário (Tabela 2), também se registra um incremento da produção de 24,3 para 40,8 milhões de toneladas entre 2001 e 2010, o que equivale a um crescimento de 5,93% a.a.. Deve-se ressaltar que o alumínio é um material com elevado índice de reciclagem. Em última análise, ganhos incrementais de eficiência e a importância crescente da reciclagem permitem explicar diferentes ritmos de crescimento ao longo da cadeia produtiva do alumínio no período recente.

De outra parte, o comportamento do consumo mundial de alumínio entre 2003 e 2010 pode ser visto no gráfico abaixo, onde se constata uma pequena diminuição (em torno de 4,3%) entre 2008 e 2009, reflexo da crise financeira internacional, recuperando-se no ano subsequente, quando ultrapassa o nível de consumo prévio à retração, atingindo 39,7 milhões de toneladas em 2010 contra 37,0 milhões de toneladas em 2008.

Gráfico 3: Consumo Mundial de Alumínio - 2003-2010 (mt)



Fonte: ABAL, vários números.

O crescimento da indústria mundial de alumínio nesta década está fortemente relacionado ao dinamismo do consumo chinês. De fato, estima-se que o consumo aparente chinês de alumínio tenha evoluído a um ritmo de 14,1% no período 2000-2004, acelerando-se ainda mais para um ritmo médio de 24,5% no triênio 2005-2007 (Merrill Lynch, 2008b). De acordo com Macquarie (2008, p.2), existem vários

caminhos pelos quais se pode aferir a importância da China no mercado mundial de alumínio, como a sua participação na produção mundial ou mesmo seu *market-share* no consumo mundial. Entretanto, o melhor indicador do desempenho da China no mercado mundial de alumínio é o saldo comercial nesta indústria ou, em outros termos, importa mais para o mercado mundial de alumínio se o ritmo de crescimento da produção de alumínio na China consegue acompanhar o ritmo de crescimento do consumo doméstico do que o ritmo de crescimento desta indústria *per se*.

Tabela 3: Produção de Bauxita, Alumina e Alumínio da China

2001-2010 (mt)

Ano	Bauxita	Alumina	Alumínio Primário
2001	9.800	4.650	3.570
2002	11.000	5.450	4.510
2003	13.000	6.110	5.970
2004	15.000	6.990	6.900
2005	18.000	8.610	7.800
2006	27.000	13.700	9.349
2007	30.000	19.500	12.588
2008	35.000	22.800	13.177
2009	40.000	23.800	12.846
2010	44.000	29.000	16.324

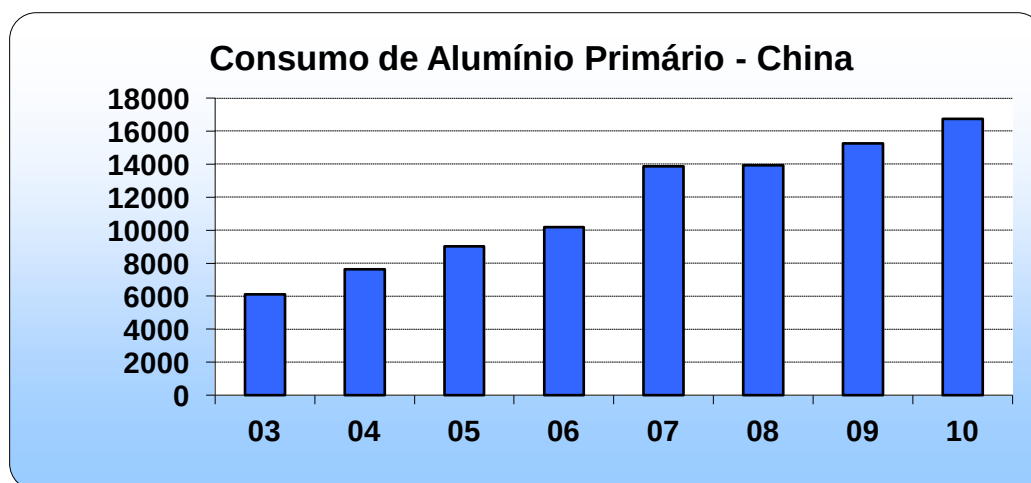
Fonte: US Geological Survey, 2011.

A despeito do impressionante *boom* da demanda doméstica por alumínio primário, a China tem administrado um saldo comercial positivo na indústria de alumínio e ligas, adotando para tanto um imposto sobre exportação, no valor de 5% em janeiro de 2006 e de 15% em janeiro de 2007, que incide sobre metais primários (índice de pureza de 99,7%).

Não obstante o contínuo crescimento da produção de alumínio na China ao longo da década anterior, com uma participação no total mundial que salta de 13% em 2001 para 40% em 2010, dado o crescimento também contínuo do consumo, a China permaneceu como um importador líquido de alumínio primário, ainda que esse desequilíbrio tenha diminuído no ano de 2010.

Em síntese, ressalta-se que a contribuição percentual da China para o aumento da produção mundial atingiu **73,2%** no período 2003-2010, ou seja, a China foi responsável por quase $\frac{3}{4}$ do crescimento da produção mundial no período. Na mesma perspectiva, mais forte ainda foi a contribuição da China para o aumento do consumo mundial, sendo responsável por **88,7%** do crescimento do consumo mundial no período 2003-2010.

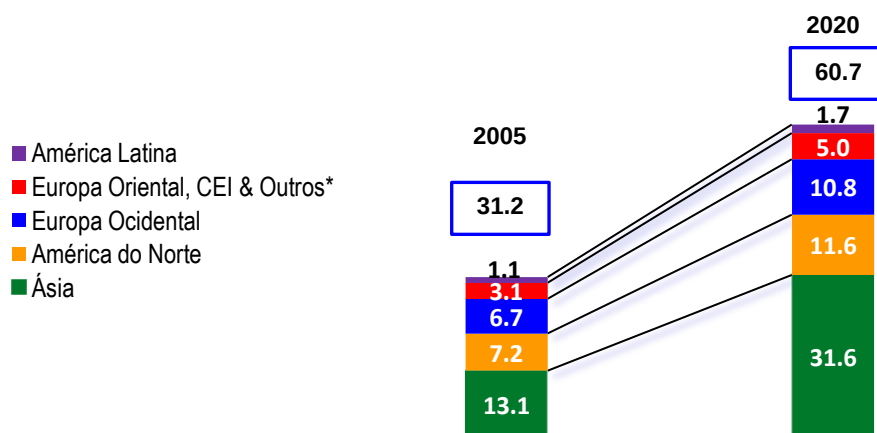
Gráfico 4: Consumo de Alumínio Primário na China – 2003-2010 (mt)



Fonte: ABAL, 2010b

Em termos prospectivos, a Alcoa, uma das maiores empresas do segmento de alumínio no mundo, divulgou em junho de 2006, uma estimativa elaborada pela consultoria *McKinsey*, segundo a qual, o consumo mundial de alumínio aumentaria de 31,2 milhões de toneladas (em 2005) para 60,7 milhões de toneladas (em 2020), conforme se observa no Gráfico 5.

Gráfico 5: Projeção do Consumo Mundial de Alumínio, Por Regiões, 2005-20 (Mt)



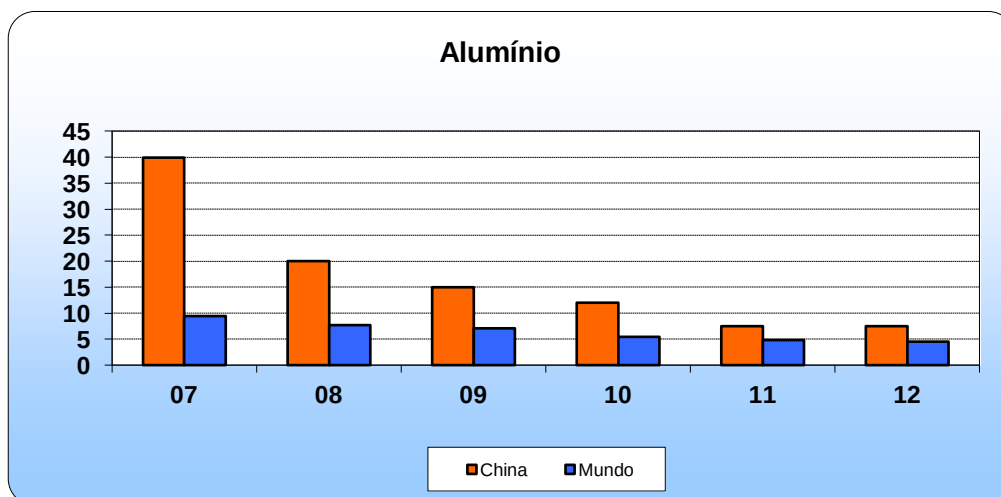
* Inclui África e Oriente Médio

Fonte: McKinsey citado por Alcoa (2006)

Como consequência, projeta-se um crescimento médio anual de 4,5% na produção de alumínio no período. Ainda de acordo com esta estimativa, a participação asiática no consumo global aumentaria dos atuais 42% para 52% (em 2020).

Na mesma perspectiva, Merrill Lynch (2008b) estima que as taxas de crescimento do consumo de alumínio na China, após um período de forte aceleração até 2007, atingindo o patamar de 40% a.a., sofreriam uma desaceleração até 2012, mantendo, todavia, uma taxa de crescimento do consumo superior à taxa de crescimento mundial, como pode ser observado no gráfico abaixo.

Gráfico 6: Previsão da Taxa de Crescimento do Consumo de Alumínio: China e Mundo – 2007-2012



Fonte: Merrill Lynch, 2008b

De qualquer forma, a tabela abaixo evidencia que o consumo de alumínio da Ásia em 2010 já atingiu o patamar de 60% do consumo mundial, antecipando e ultrapassando a estimativa supramencionada da Alcoa em 2006. Como pode ser notado, a Ásia é importadora líquida de alumínio primário, enquanto a Europa e a América apresentaram naquele ano um equilíbrio entre produção e consumo.

Tabela 4: Produção e Consumo Mundial de Alumínio Primário (mt) - 2010

	Produção	%	Consumo	%
África	1.742,7	4%	707,1	2%
América	6.997,2	17%	6.423,7	16%
Ásia	21.319,4	52%	23.975,1	60%
Europa	8.479,9	21%	8.183,0	21%
Oceania	2.272,0	6%	390,7	1%
TOTAL	40.811,2	100%	39.679,6	100%

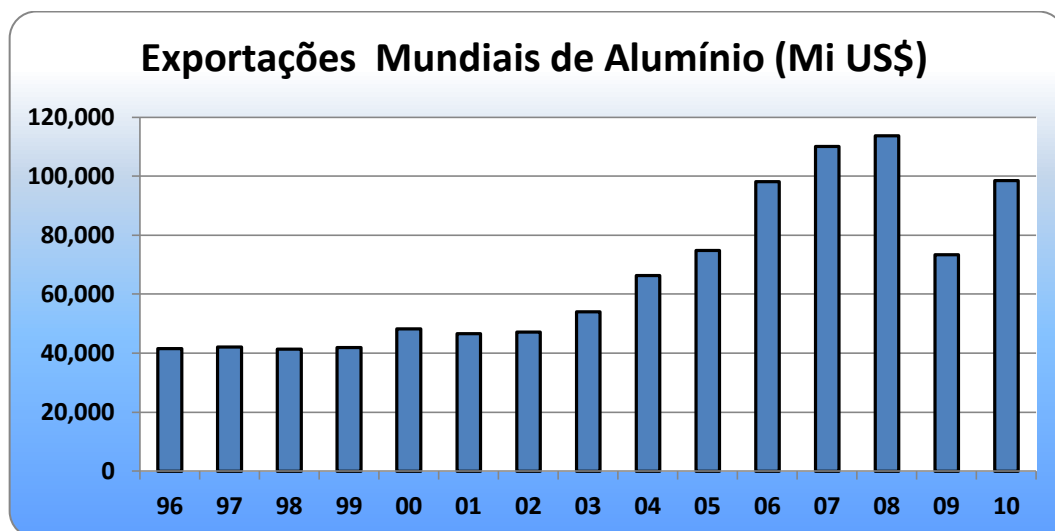
Fonte: ABAL, 2010

1.2.2. Comércio Internacional na Indústria de Alumínio

Após um contínuo crescimento do mercado mundial de alumínio primário, entre 2002 e 2008, quando o valor das exportações atingiu US\$ 113,7 bilhões a preços correntes, ocorreu uma forte e brusca desaceleração das exportações de

alumínio em razão da crise financeira internacional de 2008, reduzindo as exportações para US\$ 73,4 bilhões em 2009, o que significou um encolhimento de 35% do comércio internacional nesse setor (Gráfico 7). No ano de 2010, com a diminuição de estoques e a retomada do crescimento do consumo de alumínio na China, as exportações retomaram a trajetória de crescimento, sem, contudo, atingir o nível obtido em 2008.

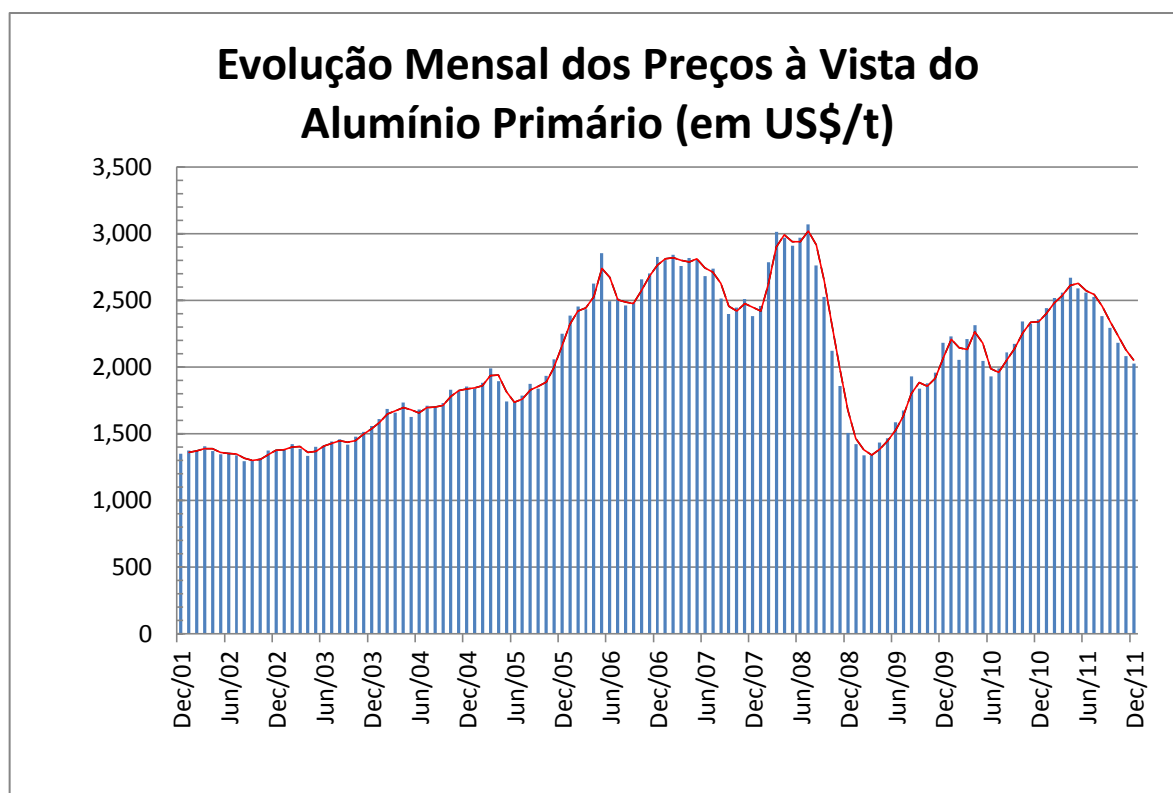
Gráfico 7: Exportações Mundiais de Alumínio (Milhões de US\$)



Fonte: UNCTAD, 2011

No mesmo sentido, até esse mesmo ano, em que pese o excesso de oferta existente em relação ao consumo, as cotações do alumínio vinham sendo pressionadas pela forte elevação dos custos com energia elétrica. O aumento dos preços do alumínio no período pós-2002 é quase ininterrupto, atingindo a cotação de US\$ 3.069 por tonelada em junho de 2008, antes da eclosão da crise de crédito internacional (Gráfico 8). A partir daí, inicia-se um processo abrupto de baixa de preços, atingindo rapidamente em dezembro de 2008 o valor de US\$ 1.496, uma queda de mais 50% em apenas seis meses, o que evidencia a existência de um ciclo de negócio com riscos elevados, alternando períodos de ganhos, mas também períodos de prejuízos financeiros na produção de alumínio. Desde março de 2009, a trajetória de preços do alumínio se tornou ascendente até o mês de abril de 2011, quando atingiu o patamar de US\$ 2.600 por tonelada. A partir daí uma nova inflexão descendente, que se mantém até o presente momento.

Gráfico 8: Evolução Mensal dos Preços do Alumínio Primário
Dezembro-2001-Dezembro-2011 (US\$/t)



Fonte: LME, 2012

A tabela abaixo apresenta um importante coeficiente de comércio internacional para a quase totalidade dos países exportadores de alumínio primário no período 2002-2010. O coeficiente de *market share* mostra a evolução da participação das exportações dos países mencionados no setor de alumínio primário no total das exportações mundiais desse mesmo setor (Tabela 5). Nota-se, em primeiro lugar, certa estabilidade na participação dos quatro maiores países líderes na exportação de alumínio primário até 2009 (Rússia, Canadá, Austrália e Noruega). Em 2010, todos estes quatro países sofrem perda de participação no mercado internacional. Em segundo lugar, China, Brasil e África do Sul perdem participação no mercado internacional de alumínio primário na comparação entre 2002 e 2010. No caso do Brasil, a perda de participação é mais pronunciada entre 2009 e 2010.

Tabela 5: Índice de *Market Share* de Alumínio Primário – Período 2002-2010 (%)

País/Ano	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
	17,7	18,4	19,1	18,2	17,7	17,9			
Rússia	%	%	%	%	%	%	17,8%	20,4%	14,5%
	13,5	13,1	11,1	12,0	12,2	13,7			
Canadá	%	%	%	%	%	%	14,1%	14,1%	11,1%
Austrália	9,7%	8,9%	8,5%	8,5%	8,4%	9,1%	8,7%	9,5%	7,4%
Noruega	7,1%	8,0%	8,2%	8,2%	8,0%	8,8%	8,2%	7,7%	6,6%
Islândia	1,8%	1,7%	1,5%	1,5%	1,6%	2,5%	3,9%	4,6%	3,6%
Holanda	3,6%	4,2%	3,5%	3,3%	3,7%	4,6%	3,6%	2,3%	3,3%
China	5,0%	7,3%	9,3%	7,1%	6,3%	3,0%	4,4%	1,8%	3,3%
Brasil	4,7%	4,7%	4,5%	4,0%	4,4%	4,5%	3,9%	4,3%	2,7%
África do Sul	3,4%	3,7%	3,4%	3,5%	3,2%	3,4%	3,1%	3,9%	2,6%
Moçambique	1,5%	2,2%	0,0%	3,0%	4,0%	3,4%	3,1%	-	2,8%
Alemanha	2,6%	2,3%	2,3%	2,4%	2,3%	2,3%	2,3%	2,0%	2,1%
USA	1,9%	1,4%	1,9%	2,0%	2,2%	2,2%	2,2%	2,0%	2,0%
Reino Unido	1,6%	1,6%	1,9%	2,0%	1,8%	1,6%	1,5%	1,8%	1,8%
Índia	0,9%	0,5%	0,4%	0,8%	0,6%	0,9%	1,0%	1,6%	2,0%
Nova Zelândia	1,9%	1,7%	1,8%	1,7%	1,6%	1,8%	1,6%	1,4%	1,4%
Itália	0,3%	0,2%	0,3%	0,4%	0,5%	0,7%	0,6%	0,9%	1,2%
Bélgica	1,8%	1,1%	1,7%	1,6%	1,2%	1,1%	1,0%	0,8%	1,2%
	79,0	80,9	79,7	80,1	79,6	81,6			
Total	%	%	%	%	%	%	81,0%	79,1%	69,4%

Fonte: UNCTAD, 2012

Nota: Alumínio Primário corresponde ao código SITC 6841 = códigos NCM/SH 7601.10.00 + 7601.20.00.

1.3. Estrutura de Mercado e Concorrência na Indústria de Alumínio

No tocante à estrutura de mercado, segundo Bunker & Ciccantell (1994), os custos de capital relativamente baixos nos países desenvolvidos têm estimulado a entrada de novos concorrentes na etapa final de fabricação de alumínio. De outra parte, e mais importante, os altos custos associados à pesquisa e desenvolvimento e, principalmente, os benefícios de uma integração entre *smelters* e fabricantes dentro da firma têm resultado em integração vertical, concentração da produção e reforço do oligopólio do alumínio em nível mundial, à exceção de poucos entrantes verticalmente integrados.

A estrutura de mercado global de alumínio – pelo menos nos três estágios iniciais da cadeia – caracteriza-se como um oligopólio homogêneo, o que é evidentemente associado aos elevados volumes de investimentos requeridos. De acordo com Ericsson (2003), a indústria historicamente foi dominada por poucas empresas em escala global. Antes da I Guerra Mundial, as líderes eram duas companhias francesas, uma suíça, uma britânica e uma norte-americana. Na década de 1930, as firmas francesas se fundiram e a norte-americana adquiriu a britânica. Como a Alcoa foi obrigada a se desfazer da subsidiária canadense, permaneceram quatro grandes *players*. Durante a II Guerra Mundial, o alumínio era considerado um metal estratégico para a aviação e duas novas companhias norte-americanas foram constituídas com apoio governamental e posteriormente privatizadas. Daí surgiram as chamadas *Big 6* – Alcoa, Alcan, Pechiney, Alusuisse, Reynolds e Kaiser – que dominaram a indústria do alumínio por quase meio século.

De acordo com Ciccantell (2000), a hegemonia das *Big 6* foi se erodindo ao longo do tempo. De fato, a participação conjunta destas seis grandes companhias, em termos da capacidade mundial de bauxita regrediu de 88% (em 1955) para 57% (1971) e ainda para 37% (1997); em termos de alumina, de 90% (1955) para 79% (1971) e 54% (1991); em termos de alumínio primário, de 86% (1955) para 56% (1971) e 41% (em 1996). Conclui-se também que a estratégia predominante entre as *Big 6* era a integração vertical.

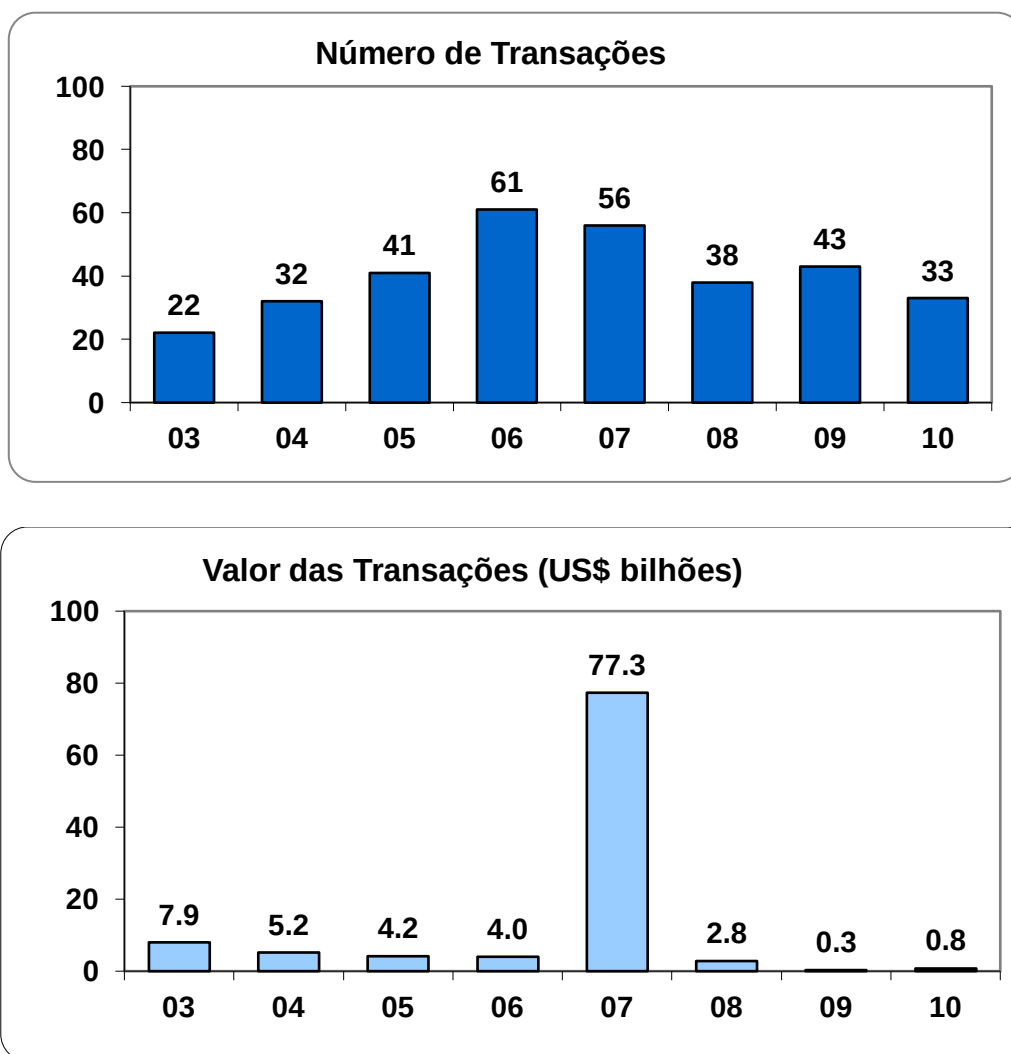
Um dos principais fatores que resultaram na queda da participação de mercado conjunta dessas empresas foi a constituição de *joint-ventures*, muitas vezes envolvendo parcerias entre empresas privadas (estrangeiras e domésticas) e companhias estatais. De fato, em particular na década de 1970, foram muito difundidas as ideias do “nacionalismo de recursos naturais”, que por sua vez eram decorrentes da preocupação com soberania nacional, pois o alumínio era tido com metal estratégico. Ciccantell (2000) aponta que a participação das *joint-ventures* na capacidade mundial de alumínio primário ampliou-se de 32% (em 1974) para 49% (em 1996). Outras motivações para a formação dessas *joint-ventures* foram a apropriação conjunta de economias de escala e o compartilhamento do risco.

A tendência de fragmentação, em boa medida, foi interrompida em 1998, quando a Alcoa adquiriu a também norte-americana Alumax, por US\$ 3,8 bilhões.

No ano seguinte, a Alcan comprou a Reynolds por US\$ 4,6 bilhões. Também em 1999, foi anunciada uma fusão envolvendo os ativos da Alcan, Alusuisse e Pechiney. Diante das restrições impostas pelas autoridades antitruste, a transação, concretizada em 2000 e com valor estimado de US\$ 4,4 bilhões, acabou envolvendo apenas as duas primeiras companhias (Ericsson, 2003).

Desde então, destacam-se quatro grandes transações. Em 2003, a Alcan adquiriu a Pechiney por US\$ 6,2 bilhões. Apenas um ano depois, ocorreu a revenda dos ativos de laminação que a Alcan tinha adquirido da Pechiney, dando origem à Novelis (PWC, 2005, p. 4). Em outubro de 2006, foi anunciada a fusão envolvendo os ativos de alumínio de três empresas: Rusal, Sual e Glencore International. A transação, com um valor estimado de US\$ 30 bilhões, foi concluída no ano seguinte. A companhia passou a se denominar United Company Rusal (ou simplesmente UC Rusal). Em julho de 2007, foi divulgado o acordo para a compra da Alcan pela Rio Tinto, a um custo de US\$ 38,1 bilhões, superando a proposta de US\$ 28,8 bilhões realizada pela Alcoa (PWC, 2008: p. 10). As últimas duas transações explicam porque o valor das fusões e aquisições na indústria mundial do alumínio incrementou de forma tão significativa em 2007, mesmo que o número de transações não tenha registrado tendência semelhante (Gráfico 9).

Gráfico 9: Fusões e Aquisições na Indústria Mundial do Alumínio (número de transações: 2003-2010 e Valor em US\$ bilhões: 2003-2007)



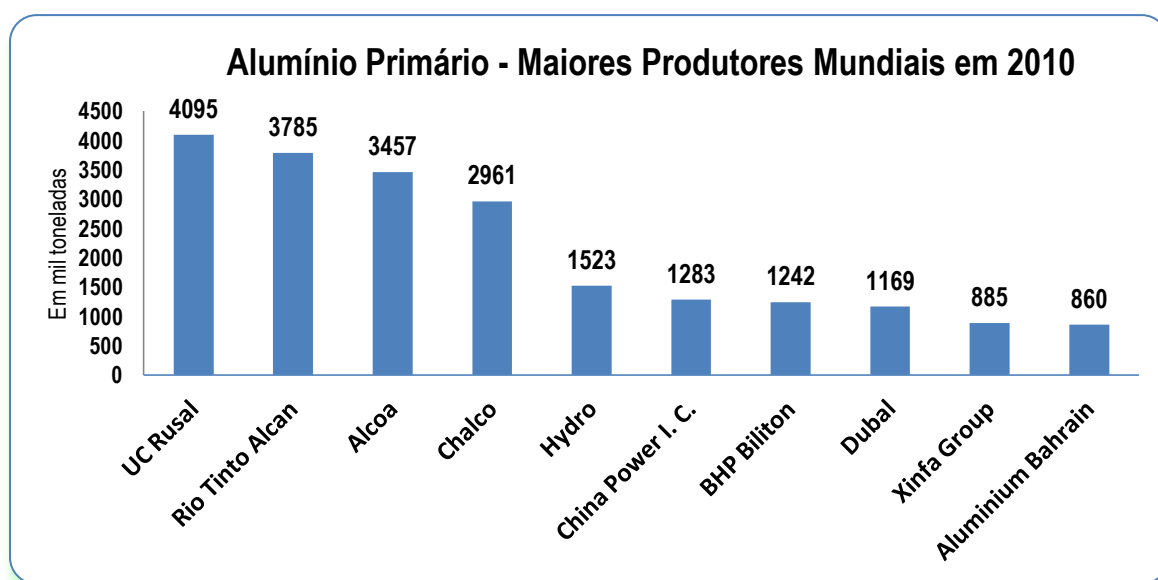
Fonte: PWC, vários.

Em maio de 2010, a Norsk Hydro anunciou a compra do controle dos negócios da Vale no setor de alumínio e suas matérias-primas. O negócio foi fechado por US\$ 4,9 bilhões, incluindo a absorção pela Hydro de uma dívida de US\$ 700 milhões e a aquisição, pela Vale, de uma participação de 22% no capital da empresa norueguesa, tornando-se a segunda maior acionista, depois do governo da Noruega. Além disso, a Vale receberá US\$ 1,1 bilhão em dinheiro. Com a operação, a Hydro, que tinha participações minoritárias, passa a deter 100% dos ativos da Vale na Albrás, na Alunorte (fabricante de alumina), na Companhia de Alumina do Pará (CAP) e na Bauxite JV, empresa que será criada para reunir a mina de Paragominas

e o restante dos negócios de bauxita da Vale no Brasil². A aquisição do controle dos negócios da Vale no Brasil conduzirá a Hydro a uma capacidade anual de 12,2 milhões de toneladas de bauxita e de 6,9 milhões de toneladas de alumina. O resultado disso é a transformação da Norsk Hydro em *player* global com uma cadeia de valor totalmente integrada.

O principal efeito desse processo de consolidação foi a intensificação da concentração da produção mundial de alumínio, a qual pode ser observada no Gráfico 10, que apresenta os dez maiores produtores mundiais de alumínio primário, com uma participação de 52% no total da produção mundial. Se tomarmos apenas as cinco maiores empresas mundiais de alumínio primário (UC Rusal, Rio Tinto Alcan, Alcoa, Chalco e Hydro), constata-se uma concentração de quase 40% na produção mundial em 2010.

Gráfico 10: Maiores Produtores Mundiais de Alumínio Primário - 2010



Fonte: Elaboração própria, a partir de fontes de mercado.

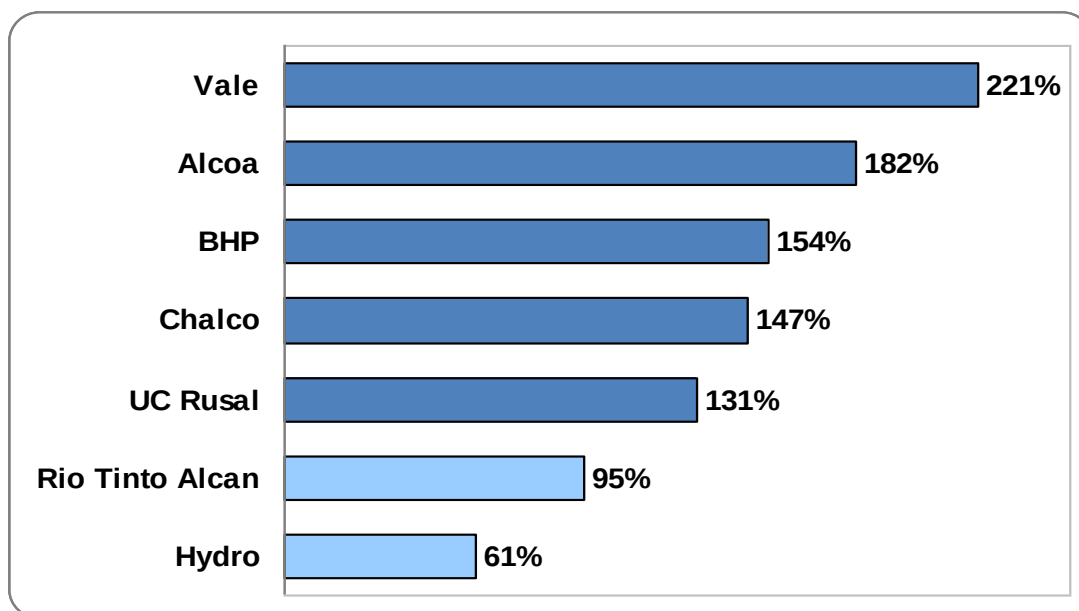
A participação conjunta das *Top 5* é relativamente alta nos três estágios iniciais da cadeia produtiva do alumínio. Mesmo assim, ela é significativamente

² A Vale reteve uma parcela de 40% na Bauxite JV, que será vendida à Hydro por US\$ 400 milhões até 2015.

inferior à fatia controlada, durante a década de 70, pelas *Big 6*. Tal situação decorre, em especial, de dois fatores relacionados. De um lado, constata-se uma desconcentração geográfica da produção, favorecendo os países em desenvolvimento em detrimento dos países desenvolvidos. De outro, verifica-se o surgimento de novos *players* como Chalco (China), Dubal (Emirados Árabes Unidos) e Alba (Bahrein) em mercados mais dinâmicos. Vale a pena destacar que algumas das companhias “novatas”, como a Chalco, são estatais.

No caso da integração vertical na cadeia produtiva do alumínio, o Gráfico 11 mostra, com base em dados de 2007, a situação dos principais produtores mundiais de alumina. Nota-se que Vale, Alcoa, BHP Billiton, Chalco e UC Rusal produziam internamente a alumina de que necessitavam, dispondo ainda de excedentes para serem comercializados no mercado. De outro lado, Rio Tinto Alcan e Hydro não produziam toda a alumina necessária para a fabricação de alumínio, sendo compradoras líquidas deste insumo. Naturalmente, a compra dos ativos da Vale pela Hydro modificou por completo sua condição de integração vertical.

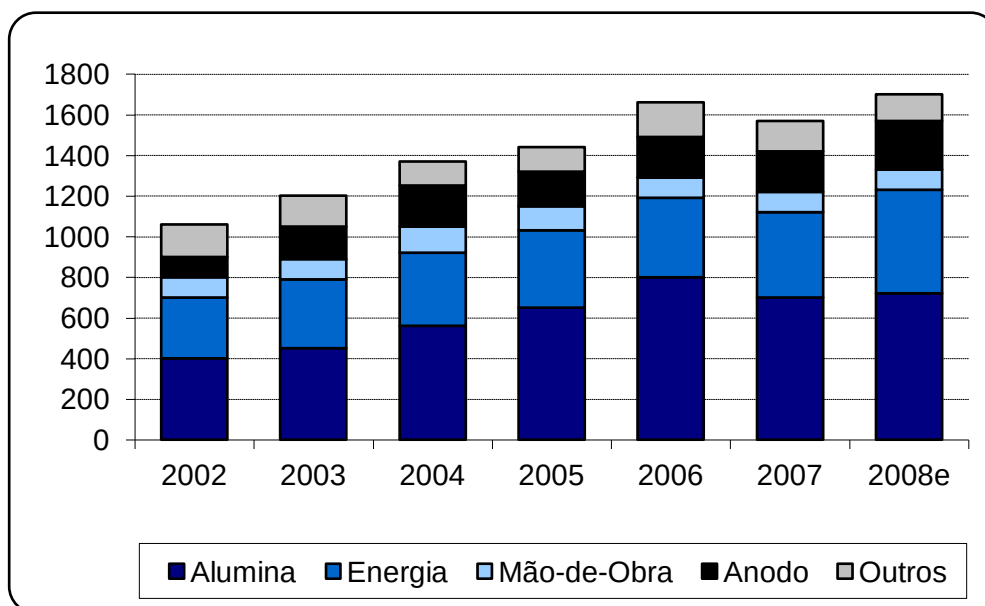
Gráfico 11: Produção de Alumina / Necessidade de Alumina, 2007 (%)



Fonte: Hydro (2008)

O item de maior peso na estrutura de custos na produção de alumínio no mundo é o custo da alumina, que representa entre 40% a 45% do total dos custos de produção de alumínio. Ressalta-se que, de acordo com UBS (2008), devido às distintas dotações de recursos naturais nos diferentes países, o custo da energia pode atingir até 40% dos custos totais na produção de uma tonelada de alumínio, como é o caso dos custos de produção na China. Portanto, os dois itens que mais oneram o custo de produção de alumínio primário são a alumina e a energia. Representam, em conjunto, de 70% a 75% dos custos de produção da tonelada de alumínio primário (UBS, 2008), cujo custo médio total situava-se, em 2008, em torno de US\$ 1.600 por tonelada (Gráfico 12).

Gráfico 12: Composição do Custo de Fabricação de Alumínio Primário, 2002-2008
(US\$/tonelada)

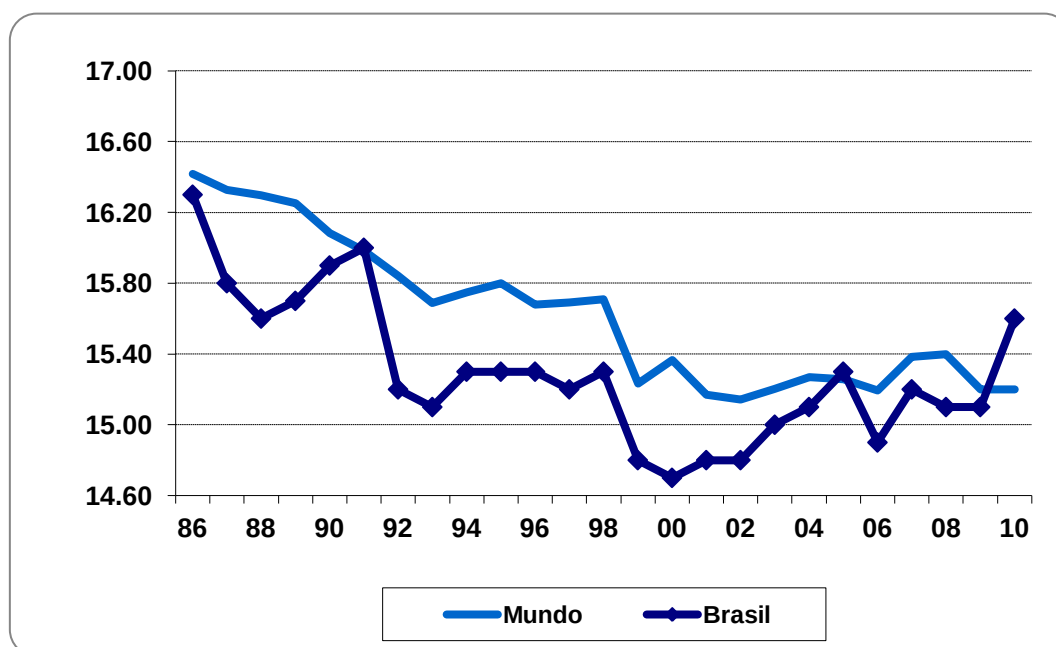


Fonte: UBS (2008, p. 26)

Tendo em vista a relevância da energia elétrica nos custos de produção de alumínio primário, o Gráfico 13 apresenta a evolução do consumo específico a partir de 1986. Como se observa, a média mundial diminuiu de 16,4 MWh/t (em 1986) para 15,2 MWh/t (em 2010), ao passo que, para a indústria brasileira, os valores foram de 16,3 MWh/t para 15,6 MWh/t, respectivamente. De um modo geral, o

desempenho brasileiro foi melhor do que a média global, mas no último biênio (2009-10), o consumo brasileiro de energia elétrica na produção de alumínio primário posicionou-se acima da média mundial.

Gráfico 13: Consumo Específico de Energia Elétrica na Produção de Alumínio Primário, Mundo e Brasil, 1986-2010 (MWh/tonelada)



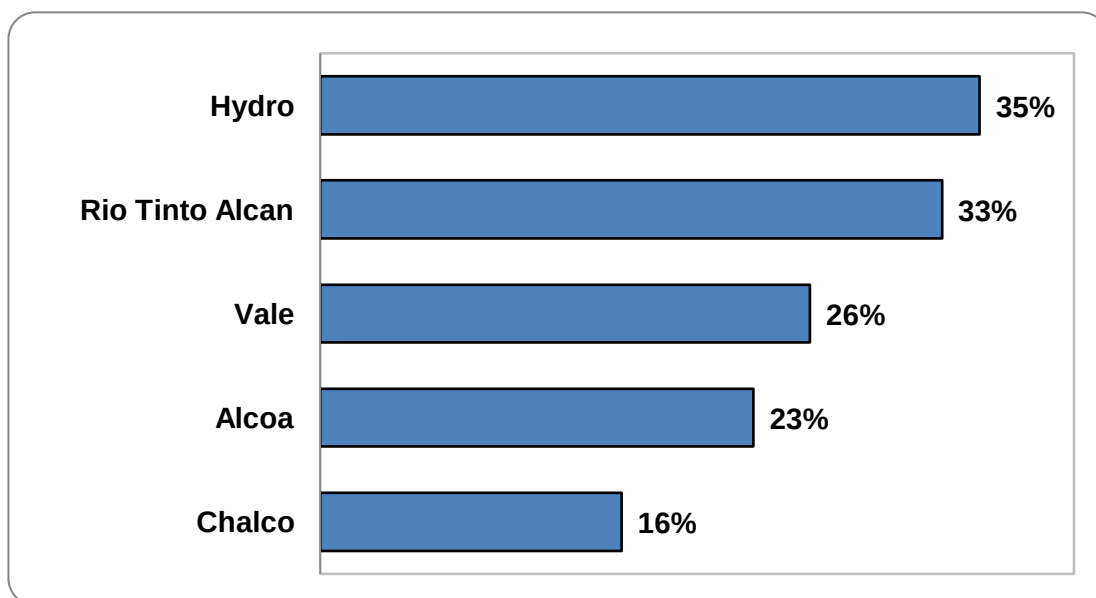
Fonte: ABAL, 2010b

Ainda em relação à questão da energia elétrica, o Gráfico 14 mostra a capacidade de geração própria por parte dos principais produtores mundiais de alumínio. Observa-se que Hydro (com 35%) e Rio Tinto Alcan (33%) lideram a auto-geração de energia, seguidas da Vale (26%), Alcoa (23%) e Chalco (16%). De acordo com informações disponíveis no *website* da Companhia Brasileira de Alumínio (CBA, subsidiária do Grupo Votorantim), a média mundial do auto-geração na indústria mundial de alumínio é de 28%. A CBA, por sua vez, gera no mínimo 60% da energia elétrica que consome.

O Gráfico 15 ilustra os custos de produção de alumínio primário em 2009 para as empresas líderes em nível mundial. Mostra uma considerável diferença entre os níveis de custo dessas empresas e, mais ainda, que a maior produtora chinesa,

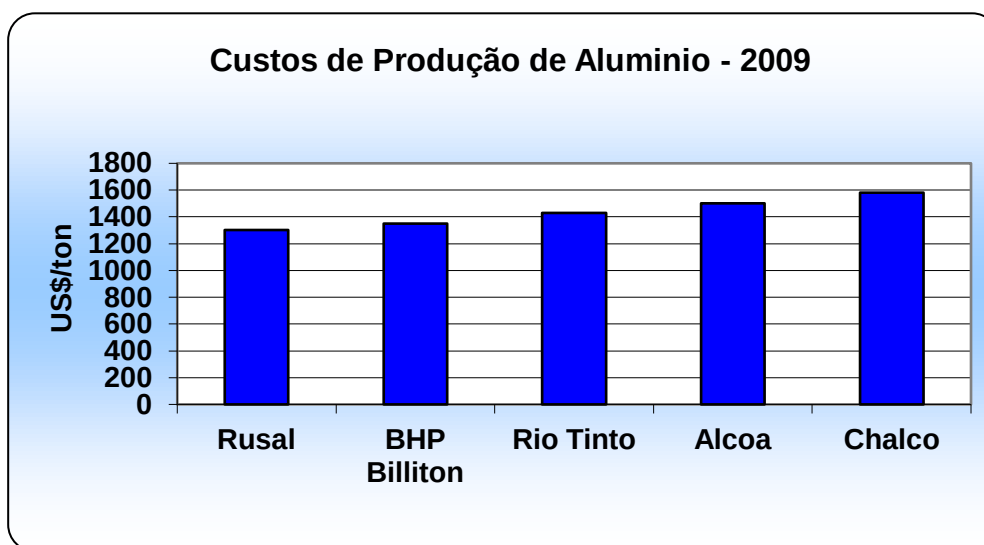
diferentemente do que ocorre em tantos setores, não desfruta de uma vantagem de custo. Esse quadro reflete as peculiaridades de uma indústria muito intensiva em recursos naturais, em particular de energia elétrica barata.

Gráfico 14: Auto-Geração de Energia em Empresas Seleccionadas de Alumínio, 2007 (%)



Fonte: Hydro (2008)

Gráfico 15: Estimativa de Custos de Produção das Empresas Líderes de Alumínio - 2009 (US\$/ton)



Fonte: UBS, 2009

Quanto à dinâmica competitiva, é importante destacar que o alumínio primário é uma *commodity* cujos preços são definidos por negociação na *London Metal Exchange* (LME). Em 2008, esta bolsa de mercadorias transacionou 113 milhões de contratos (gerando US\$ 10,24 trilhões em negócios), dos quais 48 milhões de contratos foram relativos ao alumínio. No entanto, mesmo em um mercado de tamanha dimensão, com mercado de opções e derivativos e intensa oscilação de preços, diante da persistência da concentração da oferta de alumínio em escala global, não é possível afirmar que as principais empresas produtoras de alumínio perderam por completo o *poder de mercado*, isto é, a capacidade de influenciar os preços isoladamente.

Deve-se também sublinhar a intensa competição com sucedâneos. O alumínio compete com outros materiais, tais como o cobre na indústria de equipamentos de transmissão elétrica, o estanho na produção de contêineres e o chumbo na produção de tubos (Bunker & Ciccantell, 1994, pp. 50-51). Provavelmente, a competição mais intensa seja com o aço, em termos da fabricação de automóveis, embalagens e materiais de construção.

1.4. Fatores Críticos para a Competitividade Internacional

Em linhas gerais, os fatores de competitividade presentes na cadeia produtiva do alumínio, podem ser decompostos de acordo com os estágios de processamento:

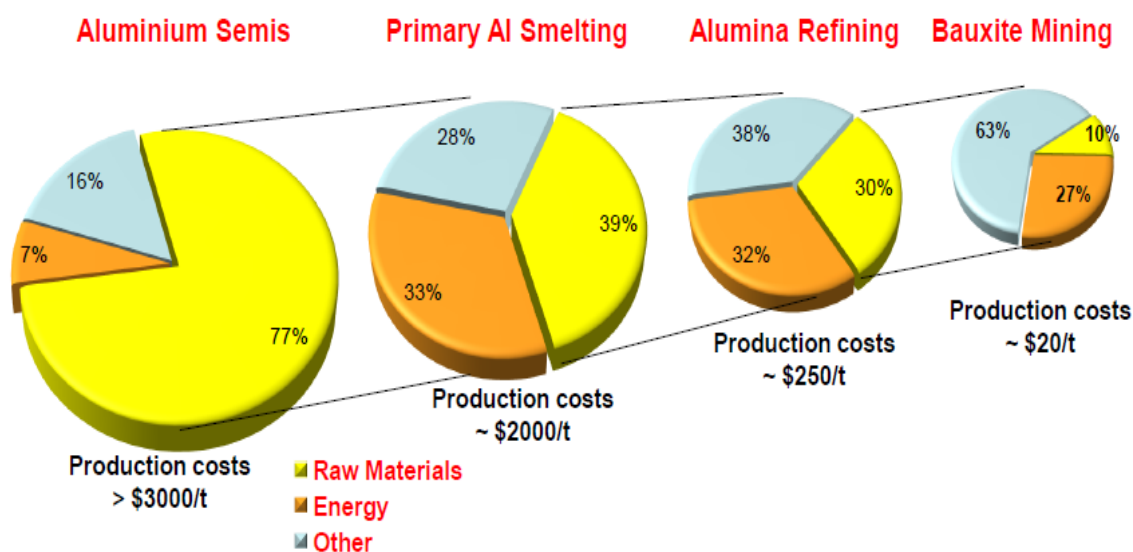
1. Estágio 1 (inicial): a qualidade da bauxita é fator determinante da competitividade, sendo que a bauxita metalúrgica é direcionada somente para a produção de alumina. Além disso, os níveis de tributação e de cobrança de *royalties* também são importantes fatores competitivos.
2. Estágio 2 (meio): na produção de alumina, a proximidade das minas de bauxita, as despesas com combustíveis e o custo de capital se constituem nos principais fatores de competitividade.
3. Estágio 3 (meio): na produção de alumínio primário, a disponibilidade e o preço de energia elétrica são os fatores essenciais de competitividade.

4. Estágio 4 (final): na produção de alumínio semimanufaturado, a proximidade do consumidor é o principal fator competitivo.

Portanto, a cadeia produtiva do alumínio primário tende a não ser integrada localmente, pois o início da cadeia envolve proximidade da matéria-prima e o final da cadeia, proximidade com o consumidor de semimanufaturados de alumínio.

Em nível internacional, o gráfico abaixo explicita a composição dos principais custos de produção por tonelada na produção de bauxita, alumina, alumínio e semitransformados de alumínio no ano de 2011. Note-se que, além dos custos com matéria-prima, em todas as etapas da cadeia produtiva, à exceção da produção de semitransformados, os custos com energia têm elevada participação nos custos totais: 27% em bauxita, 32% em alumina e 33% em alumínio primário. Em segundo lugar, conforme CRU (2011), o elevado percentual dos custos com energia no caso do *smelter* de alumínio indica uma mudança estrutural e persistente no patamar dos preços da tarifa de energia elétrica para os produtores de alumínio em todo o mundo. Em terceiro lugar, nos custos de produção de alumina, os custos com energia também se apresentam como bastante relevantes (mais de 30%) em função da inclusão não só dos custos com combustíveis mas também com energia elétrica.

Gráfico 16: Composição do Custo de Custo de Produção na Cadeia Produtiva do Alumínio, 2011

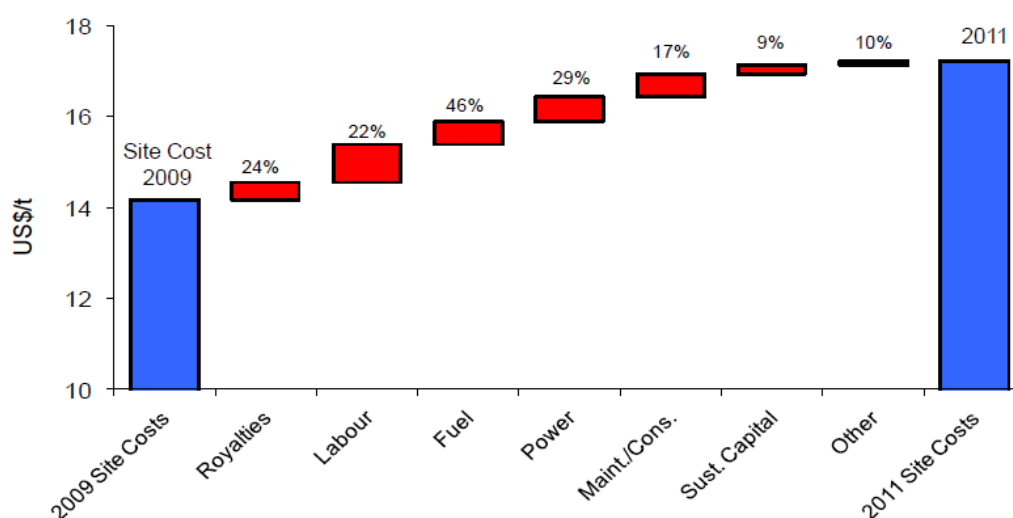


Fonte: CRU (2011).

1.4.1. Bauxita

No caso da produção de bauxita, o gráfico abaixo detalha a origem do aumento médio de 21% dos custos de produção de bauxita no período 2009-2011. Os principais componentes de tal elevação dos custos foram os combustíveis e os custos com o pagamento de eletricidade e pagamento de *royalties*.

Gráfico 17: Custo Médio de Produção da Bauxita no Mundo – 2009-2011

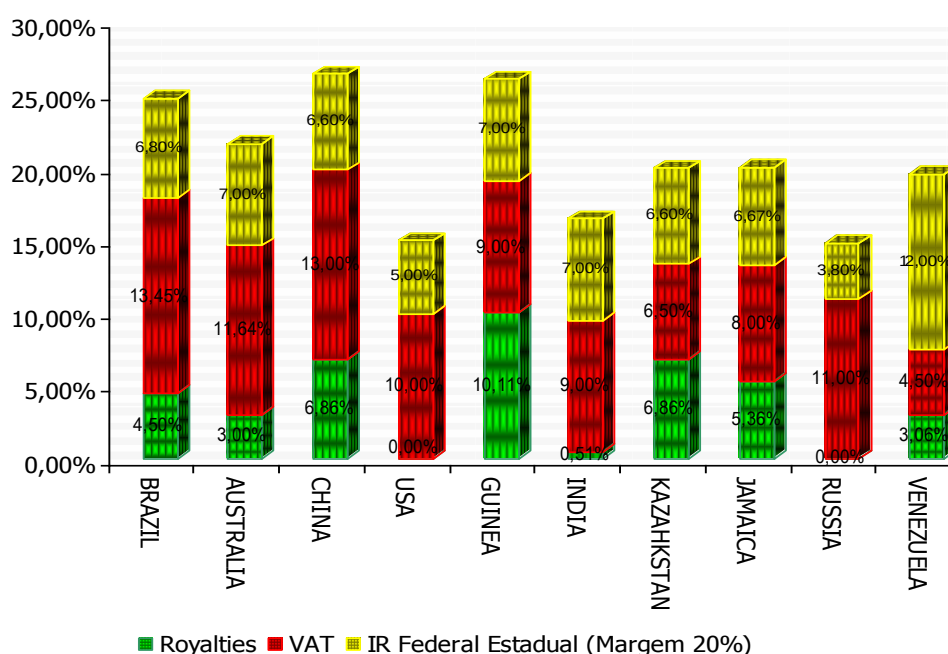


Fonte: CRU (2011).

No tocante à incidência de royalties sobre a mineração, Weiss (2001) afirma que: “os regimes tributários constituem importante componente a ser examinado cuidadosamente na decisão de investimentos em mineração, desde a fase de pesquisa exploratória até as fases de estudo de viabilidade, de implantação de mina e planta e de operação. De fundamental importância é a relevância dos tributos incidentes nos estágios iniciais da implantação de projetos, os quais refletem diretamente no cálculo do retorno do investimento. (...) Em escala mundial, os regimes tributários têm sido decisivos para a seleção de alguns países em detrimento de outros. Podem não afetar significativamente os depósitos excepcionais, de grandes reservas e altos teores, mas podem ser decisivos para que sejam abandonados os projetos de depósitos bons ou apenas regulares, os quais constituem a vasta maioria dos depósitos que são encontrados”.

Em relação aos custos envolvidos no pagamento de *royalties*, de acordo com a ERNST & YOUNG (2007), em levantamento encomendado pelo IBRAM (Instituto Brasileiro de Metalurgia), tomando como referência a cobrança de royalties, impostos sobre valor agregado (IVA) e o Imposto de Renda, China, Guiné e Brasil seriam os países com as maiores cargas tributárias incidentes sobre a produção de bauxita, conforme pode ser visualizado no gráfico abaixo.

Gráfico 18: Carga Tributária na Produção de Bauxita em Países Seleccionados (2007)



Fonte: ERNST & YOUNG (2007)

No entanto, o estudo acima foi bastante criticado pela existência de problemas metodológicos para todos os tributos e encargos analisados (royalties, IVA e IRPJ), e também nas alíquotas adotadas para o cálculo da carga tributária de outros países (Braz, 2009). Além disso, como o ICMS, o PIS, a COFINS e os *royalties* denominados CFEM (Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais) são dedutíveis na apuração do imposto de renda, sua maior ou menor incidência afeta o lucro tributável e, conseqüentemente, a carga tributária do imposto de renda, impossibilitando a manutenção da suposição de lucro tributável constante, como estabelecido no estudo da ERNST & YOUNG (2007). Vale dizer, na

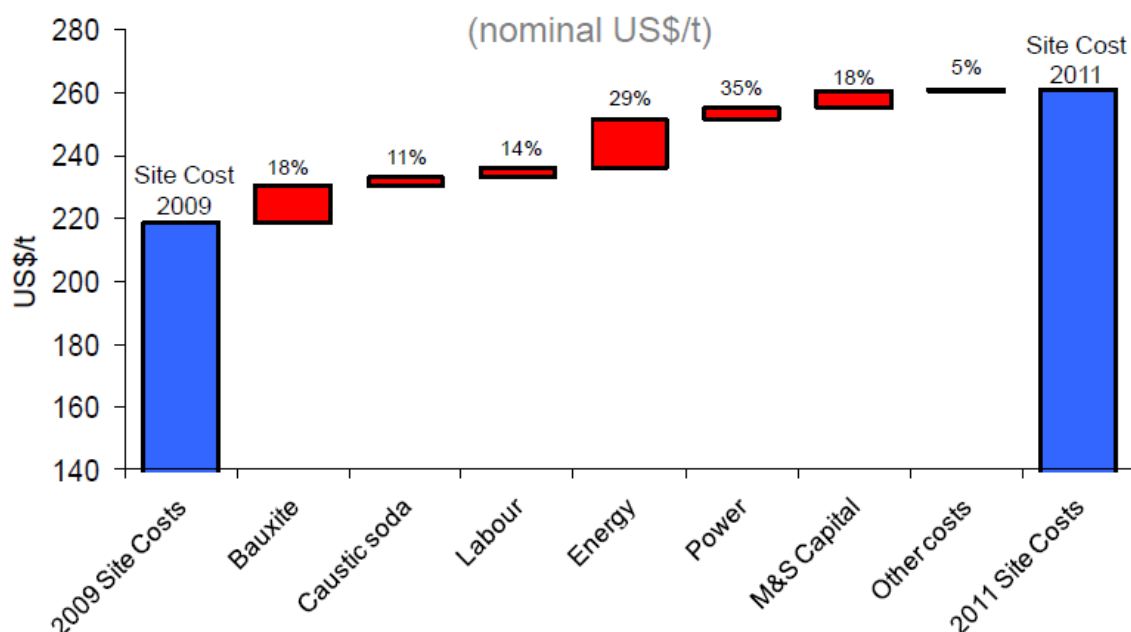
hipótese presente em ERNST & YOUNG (2007) um aumento (diminuição) nas deduções de ICMS, PIS, COFINS ou CFEM exigiria uma diminuição (aumento) equivalente nas demais deduções que são baseadas em custos (mão-de-obra, combustíveis, transportes, etc), o que não seria factível em função dos determinantes dos custos estarem relacionados a outros fatores como produção, escala, tecnologia, entre outros. Por fim, não foram consideradas as possibilidades de repasse dos impostos indiretos. Como eles são repassados em maior ou menor intensidade para os compradores, dependendo o repasse das elasticidades da demanda e da oferta, somente a parte que não foi repassada se constitui em ônus efetivo para a empresa vendedora. Como, no caso da mineração, geralmente é baixa a elasticidade da demanda no curto prazo, isso facilita o repasse de impostos e encargos como ICMS, PIS, COFINS e CFEM (Braz, 2009, p. 26).

1.4.2. Alumina

Na produção de alumina os custos com energia (combustíveis) são tão críticos como os custos com a bauxita. A influência do custo do combustível depende da localização em relação à refinaria de gás (ou às vezes carvão)³. Além disso, os custos de produção de uma *refinaria integrada* geralmente diminuem significativamente os custos com aquisição de matérias-primas em relação a uma *refinaria não integrada* localmente (CRU, 2011).

³ No Brasil, as refinarias de alumina utilizam energia hidrelétrica, o que constitui uma especificidade da produção brasileira, pois o peso do item combustível é menor em comparação com a experiência de outros países.

Gráfico 19: Custo Médio de Produção de Alumina no Mundo – 2009-2011

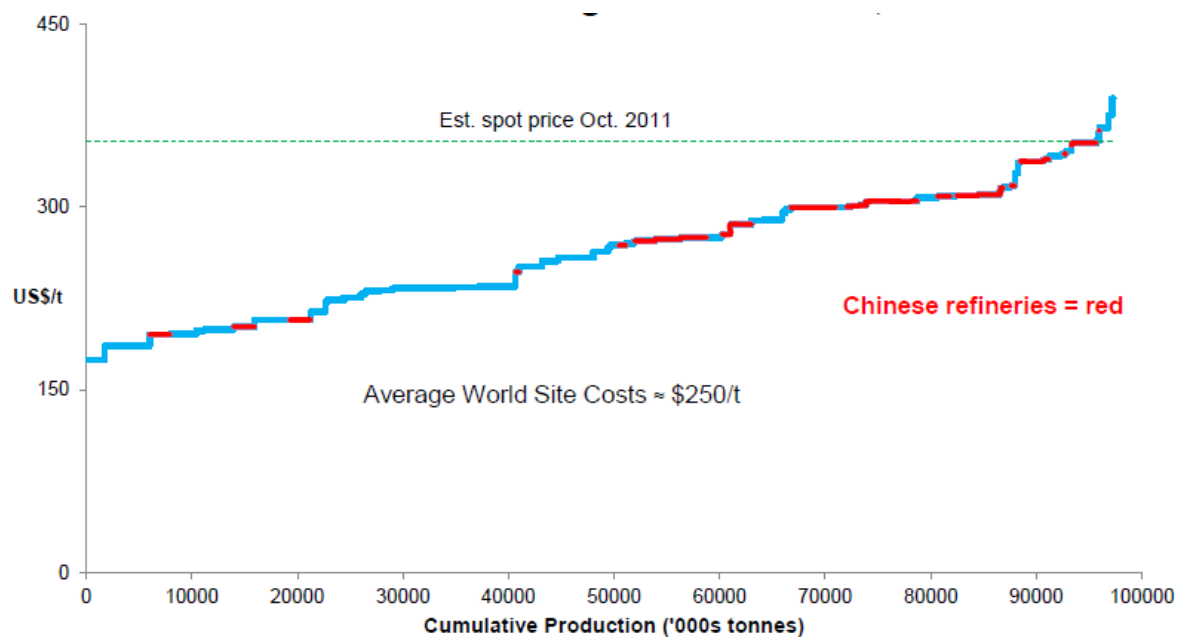


Fonte: CRU (2011).

No gráfico acima, registra-se um crescimento em torno de 20% nos custos de produção por tonelada de alumina no período 2009-2011, aumentando de US\$ 220/tonelada para US\$260/tonelada. Os itens de maior participação no crescimento de tais custos foram exatamente os custos com energia (combustíveis) e os custos com aquisição de bauxita.

Na mesma perspectiva, o custo de produção da alumina no ano de 2011 pode ser observado no gráfico abaixo, onde é apresentado uma curva de produção cumulativa em que a produção é ordenada das plantas de menor custo para as de maior custo, com um custo médio de produção em torno US\$ 250/tonelada, sendo que os segmentos de reta tendem a ser menores à direita do gráfico, onde estão representadas as plantas menores. Em segundo lugar, destaca-se a grande amplitude de variação dos custos médios de alumina, de algo como US\$180/t para mais de US\$ 350/t. Ademais, os produtores chineses de alumina se concentram no estrato superior desta curva de custos em função de suas maiores escalas de produção. Observe-se que os preços de alumina atingiram a cifra de US\$350/tonelada no mercado *spot* em outubro de 2011.

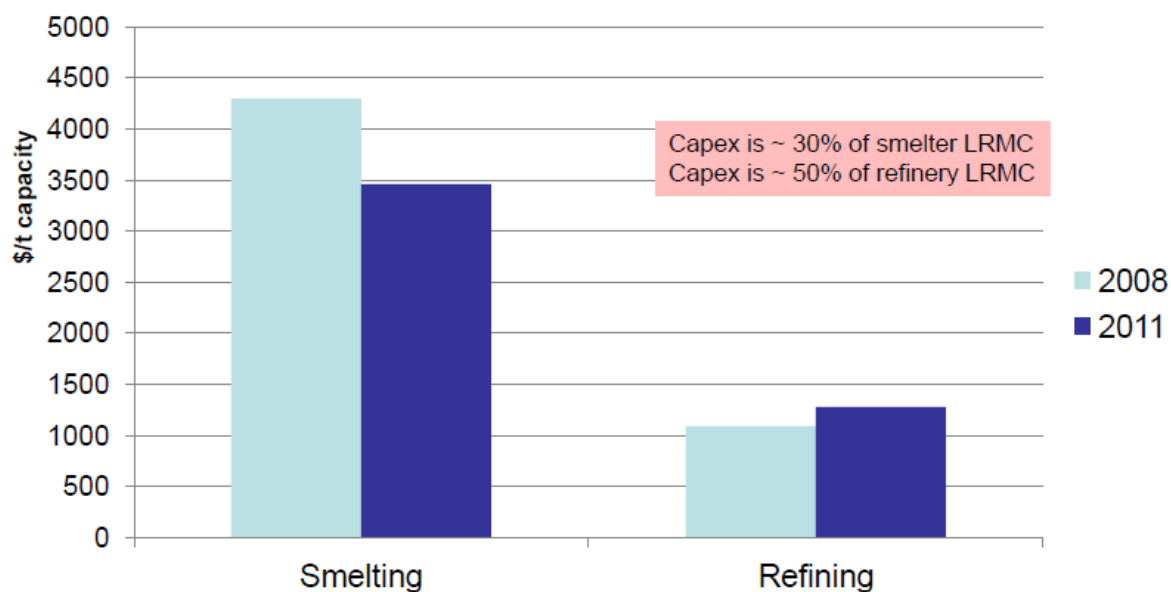
Gráfico 20: Custo Médio de Produção de Alumina X Produção Acumulada no Mundo
– 2011



Fonte: CRU (2011).

Finalmente, a competitividade e os custos de produção de alumina dependem também dos custos de capital, o que pode ser observado no gráfico abaixo. Nota-se um Capex (gastos com capital) da ordem de US\$ 1.100 por tonelada de capacidade instalada de alumina em 2008, crescendo ligeiramente para US\$ 1.250 por tonelada de capacidade em 2011. Mais ainda, essas cifras representam aproximadamente 50% dos custos marginais de longo prazo da produção de alumina.

Gráfico 21: Custo de Capital na Produção de Alumina e Alumínio Primário, 2008 e 2011

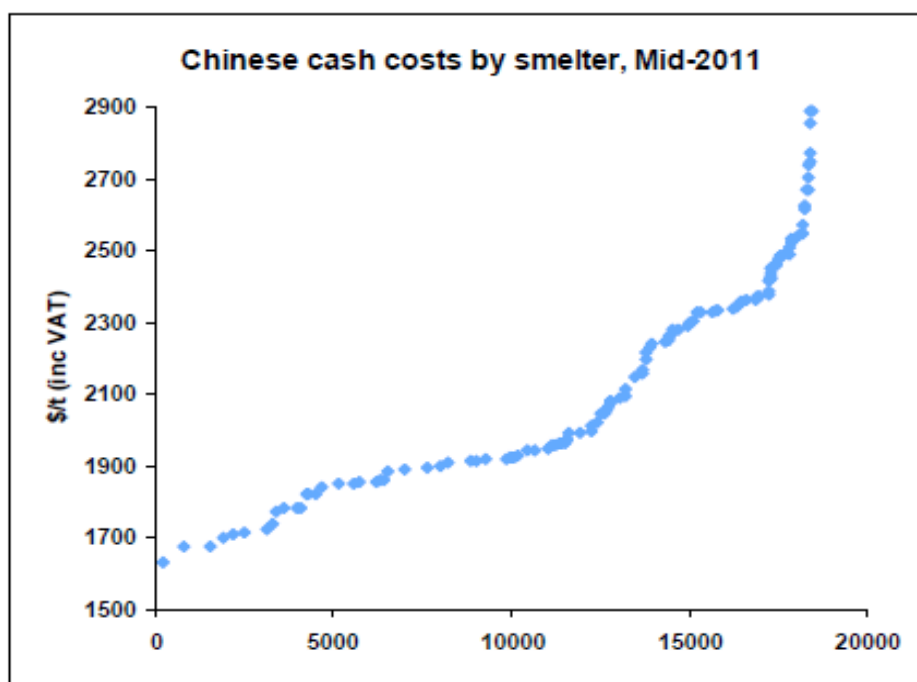


Fonte: CRU (2011).

1.4.3. Alumínio

Na produção de alumínio primário (*smelter*), a competitividade também envolve os custos de capital, à medida que se trata de um setor intensivo em capital. O gráfico acima também mostra um custo de capital da ordem US\$ 4.200 por tonelada de capacidade instalada de alumínio em 2008, decrescendo para aproximadamente US\$ 3.500 por tonelada em 2011. Adicionalmente, o capex do alumínio primário situa-se em torno de 30% dos custos marginais de longo prazo.

Gráfico 22: Cash Cost na Produção de Alumínio Primário na China – 2011



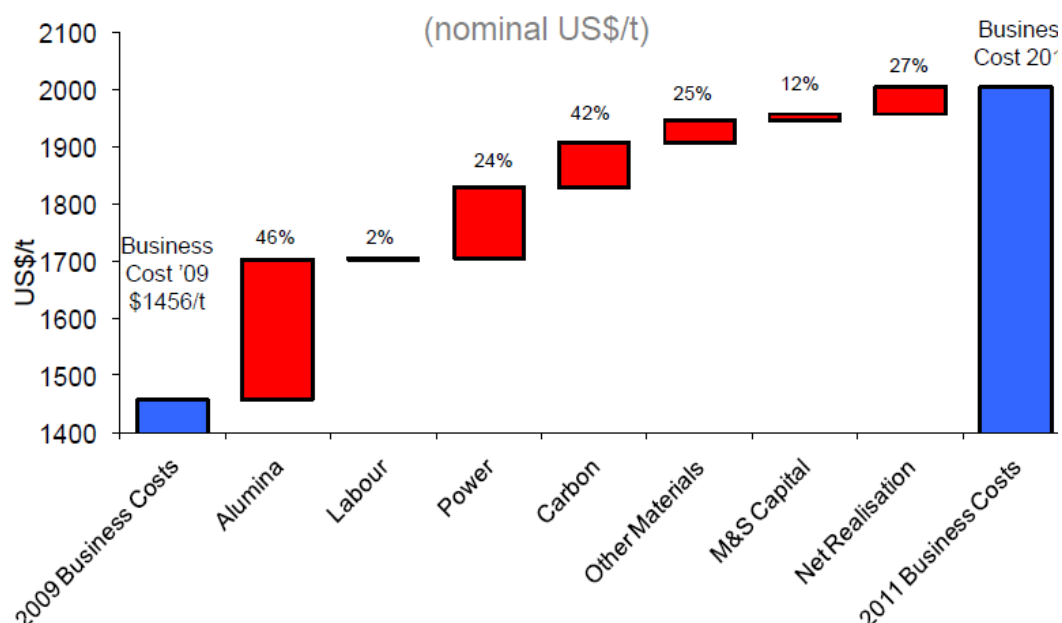
Fonte: Macquarie (2011).

Em termos de competitividade internacional, o custo de capital para as empresas produtoras de alumínio primário na China é duas a três vezes menor que o custo de capital (Capex) no resto do mundo, conforme Macquarie (2011). Ademais, os *smelters* chineses replicam o desenho de suas plantas produtivas, diminuindo os custos com mão de obra e reduzindo o tempo médio de construção, em torno de 12 a 18 meses contra 48 meses no resto do mundo.

Como se verifica abaixo, no período 2009-2011, os custos médios de produção de alumínio primário no mundo aumentaram em torno de quase 40%, saltando de US\$ 1.456 por tonelada em 2009 para US\$ 2.000 por tonelada em 2011. Os custos com alumina e energia elétrica foram os maiores responsáveis por tal incremento nos custos médios de produção no período recente, embora os custos com carbono⁴ também tenham se elevado significativamente, mas com uma participação menor nos custos totais de produção.

⁴ No processo Hall-Héroult, o alumínio é produzido pela redução eletrolítica da alumina (Al_2O_3) dissolvida em um banho de fluoretos fundidos. O processo se desenvolve em fornos especiais

Gráfico 23: Custo Médio de Produção de Alumínio Primário no Mundo
2009-2011



Fonte: CRU (2011).

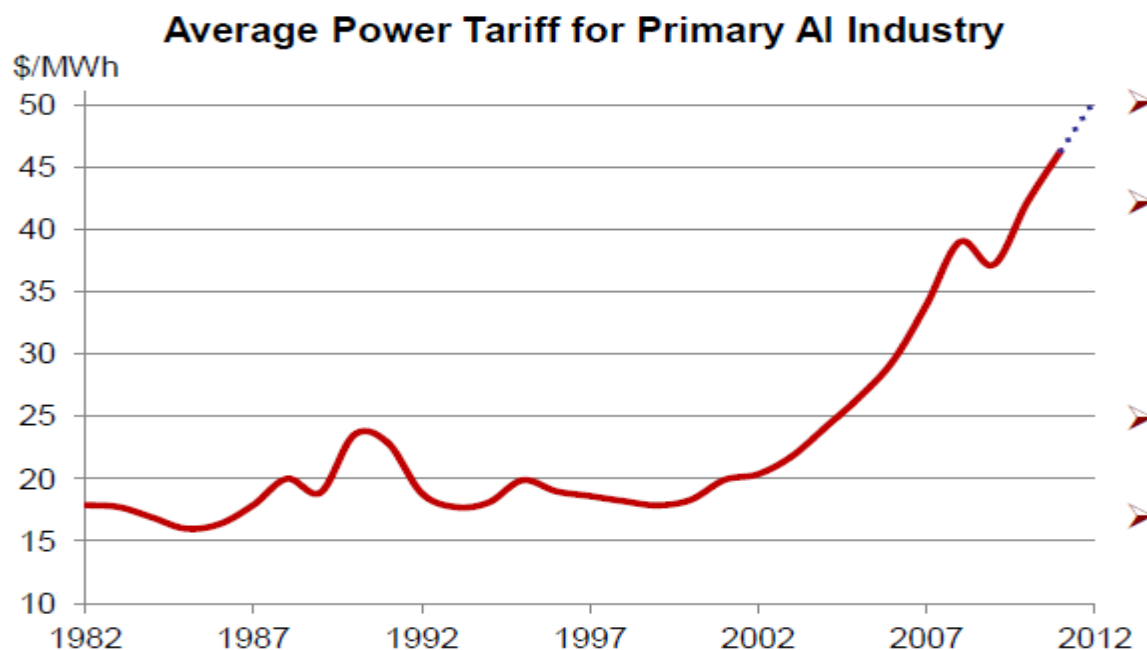
De todo modo, o fator mais crítico de competitividade na produção de alumínio primário é a disponibilidade de energia elétrica a preços competitivos. Nessa perspectiva, o gráfico abaixo mostra a evolução dos preços da energia elétrica para os *smelters*. Após um longo período de cerca 20 anos em que os preços internacionais da energia elétrica para os *smelters* ficaram, grosso modo, estáveis em torno de US\$ 20 MWh, iniciou-se uma trajetória fortemente ascendente, que levou as tarifas a ultrapassarem o patamar de US\$ 40 por MWh em 2011.

Em termos comparativos e médios, África, Austrália e Canadá apresentavam em 2009 as menores tarifas de energia elétrica para os *smelters* de alumínio (Gráfico 25). Enquanto os dois primeiros (África e Austrália) possuem carvão em abundância e a preços baixos, o Canadá baseia sua competitividade na oferta abundante de energia hidrelétrica. De outro lado, Europa, China e Estados Unidos localizavam-se no extremo oposto, com as tarifas de energia mais elevadas no gradiente de regiões/países abaixo apresentados. Em situação intermediária encontravam-se América Latina, Escandinávia e Rússia (CRU, 2010). Ressalte-se

revestidos por uma barra de carbono (como grafite) também chamados de cubas eletrolíticas, que operam a aproximadamente 960°C.

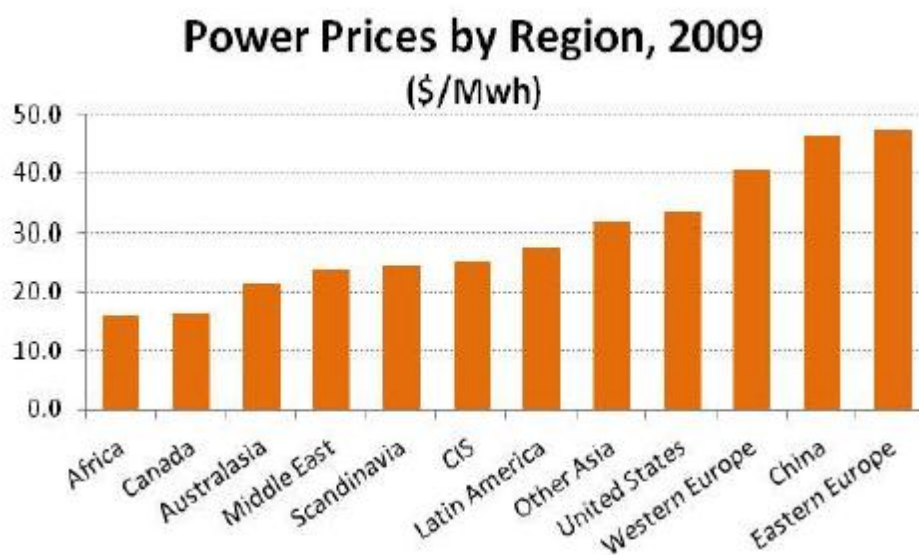
que nem mesmo os produtores de alumínio primário na China encontram-se em situação confortável em termos de custos com energia elétrica, pois os contratos de seus *smelters* variam de US\$ 30 a US\$ 85 MWh, segundo Macquarie (2011).

Gráfico 24: Tarifa Média de Energia Elétrica na Produção de Alumínio Primário no Mundo – 1982-2012



Fonte: CRU (2011).

Gráfico 25: Tarifa Média de Energia Elétrica na Produção de Alumínio Primário em Regiões Seleccionadas – 2009



Fonte: CRU (2010).

É exatamente na perspectiva de busca de menores custos de energia que se observa um processo recente de realocização dos investimentos da indústria de alumínio em direção ao Oriente Médio, devido ao baixo custo de energia naquela região. Em fevereiro de 2009, foi constituída a Gulf Aluminium Council, composta por seis companhias: Dubai Aluminium Company (Dubal), Aluminium Bahrain, Emirates Aluminium (Emal), Qatar Aluminium (Qatalum), Saudi Arabian Mining Company e Sohar Aluminium. A intenção da nova associação é quadruplicar a produção de alumínio primário até 2020, aumentando a produção atual de 1,8 para 7,2 milhões de toneladas e atingindo 12% da produção mundial (Reuters, 08/02/2009). Em fevereiro de 2009, a Sohar Aluminium (Omã) anunciou a entrada em operação de um *smelter* de 350 mil toneladas (Oman Observer, 22/02/2009). No mesmo mês, a Qatalum anunciou que 65% dos trabalhos de sua etapa I foram concluídos. A empresa planeja operar inicialmente com uma capacidade instalada de 585 mil toneladas e posteriormente ampliar a capacidade para 1,2 milhão de toneladas (The Peninsula, 17/02/2009). Adicionalmente, a Emal está construindo um *smelter* com capacidade inicial de 700 mil toneladas e, em uma segunda fase, planeja-se duplicar a escala de operação deste empreendimento (Arabianbusiness, 04/02/2009). Estas notícias, publicadas em fevereiro de 2009, atestam a relevância cada vez maior do Oriente Médio para a indústria mundial do alumínio, bem com a crescente escala inicial dos *smelters*.

É importante ressaltar que esta tendência recente de realocização dos investimentos da indústria de alumínio em direção ao Oriente Médio é coerente com a busca de custos privados mais competitivos numa atividade muito intensiva em energia, mas é inconsistente com as preocupações com a intensidade das emissões de carbono no setor, já que no Oriente Médio a energia primária fatalmente tem origem em combustíveis fósseis.

Tais empreendimentos são elucidativos da presença de novos *players* no mercado de alumínio, com a realização de elevados investimentos, os quais poderão resultar em uma realocização da produção mundial e deslocamento de ativos preexistentes e de empresas tradicionais do setor, inclusive com atuação no Brasil.

1.4.4. Economias de Escala na Produção de Alumínio Primário

De acordo com GAREN; JEPSEN; SCOTT (2009), toda a cadeia produtiva do alumínio, desde a extração mineral até a produção de alumínio primário e secundário, é sujeita a economias de escala, embora em diferentes níveis. As principais fontes das reduções no custo médio geradas pelo aumento da escala de produção são a indivisibilidade e magnitude dos investimentos, as indivisibilidades técnicas e o efeito de aprendizagem.

A escala mínima eficiente na produção de alumina é de pelo menos 500.000 toneladas/ano. Na produção de alumínio primário também existem economias de escala significativas e a escala mínima eficiente situa-se em torno de 300.000 toneladas por ano (*idem*) Tal fato associa-se aos elevados investimentos para implantação da fábrica (1,6 bilhão de US\$ para uma refinaria típica com capacidade de produção de alumínio primário de 375.000 t/ano) que envolve considerável consumo de energia elétrica e a necessidade de fornecimento constante de alumina (*Ibidem*). A tabela abaixo ilustra a capacidade de produção, máxima e mínima, por tipo de tecnologia. Cabe notar que as recentes expansões da indústria do alumínio na China, Índia e Oriente Médio apresentam plantas com tamanho médio muito superior a 300.000 toneladas, chegando a atingir capacidade de produção anual bastante superior a um milhão de toneladas.

Tabela 6: Capacidade de Produção de Alumínio Primário por Tipo de Tecnologia (mt)

	Prebaked	Soderberg
Máximo	719	945
Mínimo	24	16
Média	220	144

Fonte: Blomberg, 2007

Já a produção de alumínio secundário (à base de sucata) envolve escalas muito menores do que a de alumínio primário, principalmente porque depende criticamente de suprimento local de sucata. A disponibilidade muito mais limitada

desse insumo e o aumento do custo com a ampliação do raio de abastecimento impõem limites para o tamanho das unidades que operam a reciclagem.

1.4.5. Barreiras Tarifárias e Não-Tarifárias ao Comércio Exterior na Indústria de Alumínio Primário

As três tabelas abaixo representam as *Most-Favored Nation Tariffs* (MFN), tarifas que os países adotam para as importações de outros membros da OMC (Organização Mundial do Comércio), sendo válidas para todos os países signatários, a menos que eles façam parte de um acordo de comércio preferencial (tratado de livre comércio ou união aduaneira).

A Tabela 7 é referente às tarifas aplicadas para bauxita e concentrados de Alumínio, no período de 2000 a 2010, para países selecionados. Pode-se observar que China, União Europeia, EUA, Austrália, Canadá e Japão apresentaram tarifas nulas neste segmento. Argentina e Brasil tiveram taxas decrescentes, atingindo em 2010 o valor de 2%. Omã e Rússia apresentaram tarifa de 5% e a Índia reduziu seu valor nos últimos anos para 2%.

Tabela 7: Tarifa de Importação Aplicada para Bauxita e Concentrados de Alumínio (SITC Rev.1: cód 2833), Média Ad Valorem (MFN) - Países Selecionados

Ano	Argentina.	Brasil	China	UE	Índia	Omã	Rússia	EUA	Austr.	Canadá	Japão
2000	5	5	0	0	-	-	-	0	0	0	0
2001	4,5	4,5	0	0	5	-	5	0	0	0	0
2002	3,5	3,5	-	0	-	5	5	0	0	0	0
2003	2	3,5	0	0	-	-	-	0	0	0	0
2004	2	3,5	0	0	5	-	-	0	0	0	0
2005	2	2	0	0	5	5	5	0	0	0	0
2006	2	2	0	0	-	5	-	0	0	0	0
2007	2	2	0	0	5	5	5	0	0	0	0
2008	2	2	0	0	2	5	5	0	0	0	0
2009	2	2	0	0	2	5	5	0	0	0	0
2010	2	2	0	0	-	-	5	0	0	0	0

Fonte: Elaboração própria, Trains UNCTAD (2012). Nota: (-) representa dados não disponíveis na base de dados.

A Tabela 8 ilustra os dados para alumina. Os EUA, Austrália, Canadá e Japão aplicaram taxa zero. A China e a Índia reduziram drasticamente seus valores, passando, respectivamente, de 18% para zero e de 35% para 6,5%. Argentina e Brasil reduziram seus valores de 5% para 1%. A Rússia foi de 5% para zero. E União Europeia e Omã mantiveram suas tarifas, respectivamente, em 4% e 5%.

Tabela 8: Tarifa de Importação Aplicada para Alumina: Óxido de Alumínio (SITC Rev.3: cód. 2852), Média Ad Valorem (MFN) - Países Selecionados

Ano	Argent.	Brasil	China	UE	Índia	Omã	Rússia	EUA	Aust.	Canadá	Japão
2000	5	5	18	4	35	-	-	0	0	0	0
2001	4,5	4,5	18	4	-	-	5	0	0	0	0
2002	3,5	3,5	-	4	-	5	5	0	0	0	0
2003	2	3,5	10	4	-	-	-	0	0	0	0
2004	1	3,5	8	4	30	-	-	0	0	0	0
2005	1	2	8	4	15	5	5	0	0	0	0
2006	1	2	5,5	4	-	5	-	0	0	0	0
2007	2	1	8	4	12,5	5	0	0	0	0	0
2008	1	1	0	4	6,25	5	0	0	0	0	0
2009	1	1	0	4	6,5	5	0	0	0	0	0
2010	1	1	0	4	-	-	0	0	0	0	0

Fonte: Elaboração própria, Trains UNCTAD (2012).

A Tabela 9 refere-se ao alumínio primário. De forma geral, pode-se observar diminuição nos valores das tarifas de importação, mas, comparando-se com os segmentos anteriores, as tarifas de importação nesse segmento a jusante da cadeia produtiva apresentam-se mais elevadas. Neste caso, apenas a Austrália, o Canadá e o Japão apresentaram taxas nulas. Em 2010, a Rússia apresentou valor de 3,75%, a União Europeia 4,5%, a China, a Índia e o Omã 5%. No Brasil e na Argentina, a tarifa foi de 6%, enquanto os EUA mantiveram-na constante em 1,43%.

Tabela 9: Tarifa de Importação Aplicada para Alumínio Primário (SH 02: cód.7601),
Média Ad Valorem (MFN) - Países Selecionados

Ano	Argent.	Brasil	China	UE	Índia	Omã	Rússia	EUA	Aust.	Canadá	Japão
2000	9	9	9	6	-	-	-	1,43	0	0	0
2001	8,5	8,5	8	6	25	-	10	1,43	0	0	0
2002	7,5	7,5	-	6	-	5	10	1,43	0	0	0
2003	6	7,5	6	6	-	-	-	1,43	0	0	0
2004	7,5	7,5	6	6	15	5	-	1,43	0	0	0
2005	6	6	6	6	15	5	10	1,43	0	0	0
2006	6	6	6	6	-	5	-	1,43	0	0	0
2007	6	6	6	6	12,5	5	8,75	1,43	0	0	0
2008	6	6	4,75	4,5	5	5	3,75	1,43	0	0	0
2009	6	6	4,75	4,5	5	-	3,75	1,43	0	0	0
2010	6	6	4,75	4,5	-	-	3,75	1,43	0	0	0

Fonte: Elaboração própria, Trains UNCTAD (2012).

No caso da União Europeia, em 2009, também começaram a apresentar barreiras não-tarifárias, como: exigências de autorização por razões de TBT, inspeção e exigências de registros para os importadores.

Em 2009, a União Europeia também começou a adotar barreiras não-tarifárias, como exigências de autorização por razões de TBT (qualidade e desempenho do produto), inspeção e exigências de registros para os importadores de alumínio, especialmente para subprodutos de alumínio em forma bruta e ligas de alumínio. Nesse mesmo ano, a União Europeia (UE) passou a impor sobretaxa de 25,9% nas exportações brasileiras de folhas de alumínio para seus 27 países membros, em uma nova barreira ao comércio exterior, argumentando que a aplicação da medida *antidumping* é combater importações com preços abaixo de custo, em concorrência desleal que provoca prejuízos à indústria europeia. O quadro abaixo apresenta essas barreiras não tarifárias adotadas pela União Europeia, bem como seus códigos e descrição.

Quadro1: Principais Barreiras Não Tarifárias (BNTs) Adotadas pela União Europeia na Indústria do Alumínio*

Código	Barreiras Não-Tarifárias	Descrição
B110	Proibições relacionadas a Barreiras Técnicas	Proibições de importação por razões de segurança nacional, proteção do meio ambiente, etc.
B140	Exigências de Autorização relacionadas a Barreiras Técnicas	Exigências de que o importador deve receber licença, autorização ou aprovação de uma agência governamental competente do país de destino.
B150	Exigências de Registro para Importadores, relacionadas a Barreiras Técnicas	Exigências de que os importadores devem ser registrados. Para se inscrever, os importadores devem cumprir certos requisitos, documentação e taxas de inscrição.
B310	Requisitos de Rotulagem	Medidas que regulamentam o tipo, cor e tamanho de impressão de embalagens e rótulos e define as informações que devem ser fornecidas ao consumidor. Pode incluir requisitos sobre a língua oficial a ser utilizados, bem como informações técnicas sobre o produto.
B330	Requisitos de Embalagem	Medidas que regulamentam o modo em que os bens devem ou não ser embalados, e define os materiais de embalagem a serem utilizados.
B840	Exigências de Inspeção	Requisitos para a inspeção do produto no país importador: pode ser realizada por entidades públicas ou privadas.

* O código utilizado para encontrar as BNT foi o 7601 (alumínio em forma bruta).

Fonte: Elaboração própria, a partir da base de dados denominada TRAINS, da UNTAD.

1.5. Dinâmica Tecnológica

Em termos mundiais, as tecnologias das várias etapas do processo de produção do alumínio são amplamente difundidas e incorporadas aos equipamentos. As empresas líderes no mercado internacional são as responsáveis pelas inovações tecnológicas, desenvolvendo pesquisas e determinando o ritmo de sua difusão entre as empresas do setor.

Na perspectiva das inovações tecnológicas de médio e longo prazo que produzirão impactos nos processos de produção utilizados na indústria de alumínio, o quadro abaixo apresenta as futuras trajetórias tecnológicas presentes no momento para a referida indústria.

De acordo com o IEA (2010) os desenvolvimentos tecnológicos futuros poderiam também oferecer oportunidades para a redução de emissões diretas de CO₂ nos processo de fundição de alumínio, embora os dois mais promissores desenvolvimentos tecnológicos - anodos inertes e redução carbotérmica - que têm sido objeto de pesquisa por muitos anos, não atingiu ainda escala comercial.

Quadro2: Opções Tecnológicas no Médio e Longo Prazo para a Indústria Mundial de Alumínio

Technology	R&D needs	Demonstration needs	Deployment milestones
Wetted drained cathodes		Ready for demonstration	Deployment to start by 2015 with full commercialization by 2020
Inert anodes	Extensive testing at laboratory and batch scale	Ready to be demonstrated at plant level	Deployment to start in 2015 - 2020 with full commercialization by 2030
Carbothermic reduction	Extensive research under way	2020 - 2025	Deployment to start between 2030 and 2040 with full commercialization by 2050
Kaolinite reduction	Research under way	2025 - 2030	Deployment to start between 2035 and 2040

Fonte: IEA (2010).

A tabela 10 apresenta os gastos em P&D sobre a Receita Bruta de Vendas, no período de 2006 a 2010, das matrizes das seguintes empresas-líderes selecionadas: Rio Tinto, Alcoa, Chalco e Norsk Hydro.

Por um lado, a Alcoa e a Norsk Hydro apresentaram crescimento neste indicador no período entre 2006 a 2009 e diminuição apenas no último ano. De outra parte, Rio Tinto e Chalco tiveram oscilações durante o período e, na média, os menores valores dentre as quatro empresas. Na média dos últimos cinco anos, as quatro empresas indústria de alumínio primário gastaram 0,53% da receita bruta em P&D.

Tabela 10: Gastos em P&D/Receita Bruta de Vendas de Empresas-Líderes
Selecionadas da Indústria de Alumínio Primário: 2006-2010

Ano	Rio Tinto	Alcoa	Chalco	Hydro
2006	0.46%	0.69%	0.18%	0.49%
2007	0.48%	0.81%	0.27%	0.54%
2008	0.27%	0.91%	0.23%	0.69%
2009	0.30%	0.92%	0.25%	1.02%
2010	0.35%	0.83%	0.14%	0.72%
Média	0.37%	0.83%	0.21%	0.69%

Fonte: Relatório Anual das empresas.

Outro indicador de esforço e de busca de inovação tecnológica é o número de trabalhadores alocados em P&D em relação ao número total de trabalhadores da empresa. Os dados estão disponíveis apenas para a Rio Tinto e para UC Rusal nos anos de 2009 e 2010: para a Rio Tinto, tal indicador apresentou 0,26% em 2009 e 0,7% em 201, enquanto para UC Rusal tais valores foram 0,98% e 1,34% respectivamente, indicando algum crescimento e maior empenho no desenvolvimento de inovações no setor de alumínio, embora o período seja muito curto para afirmações mais conclusivas.

Diante da constatação retromencionada da existência de algum esforço tecnológico por parte das empresas líderes do setor de alumínio, buscou localizar e

especificar abaixo a direção de tais esforços tecnológicos, ainda que incrementais. Senão vejamos:

Alcoa

A Alcoa se dedica à pesquisa e desenvolvimento de programas, que incluem: processo para produzir alumínio a um custo menor, com menor necessidade de energia e menor emissão de poluentes, além do desenvolvimento de novos produtos. Seus gastos com P&D foram de US\$ 238 milhões em 2007, US\$ 246 milhões em 2008, US\$ 169 milhões em 2009 e US\$ 174 milhões em 2010. Como resultado do desenvolvimento de produtos de tecnologia avançada, no final de 2010 a empresa detinha um portfólio de 890 pedidos de patentes pendentes e 1.792 patentes concedidas (ALCOA, 2010).

O *targeting* de P&D da Alcoa tem sido as tecnologias ambientais, com projetos em andamento direcionados para melhorias da eficiência energética, diminuições nas emissões de CO₂ ou gases equivalentes e reciclagem avançada. Para tanto, a empresa mantém relações de cooperação com centros de pesquisa e Universidades na Rússia, China, Índia, Europa e Estados Unidos e as inovações têm como o escopo os mercados aeroespacial, automotivo, de embalagem, edificação e construção, transporte comercial, eletrônicos, mercados industriais, produtos laminados planos, extrusões de liga dura e forjada, sistemas de fixação, fundição de precisão, além de metais leves como o titânio e níquel baseados em superligas.

Quanto aos processos produtivos, os investimentos da Alcoa buscam inovações de melhorias da eficiência energética, bem diminuições nas emissões de CO₂ ou gases equivalentes. Registre-se o desenvolvimento de uma nova tecnologia de *purificador em duto* que remove pelo menos 90% do dióxido de enxofre emitido a partir de ânodos consumidos em células de fusão, em contraposição à atual tecnologia que detêm uma taxa 80%, e permitindo uma redução adicional no consumo de energia.

Em 2010, a Alcoa também registra uma evolução na tecnologia de *ânodo inerte*, tecnologia que traz como resultado a redução de custos operacionais, além de benefícios ambientais e redução das emissões de carbono. A empresa também

desenvolve o processo carbotérmico de alumínio, tecnologia com potencial para produzir alumínio a um custo menor, impulsionado pela redução dos custos de conversão, menor necessidade de energia e menor emissão de carbono a um custo de capital mais baixo do que aquele obtido na fundição tradicional.

UC Rusal

Uma grande vantagem competitiva da Rusal é a sua *in-house* de P&D que permite à empresa um processo de busca interna de novos processos e/ou novos produtos, além da cooperação externa principais Universidades da Rússia.

A empresa detém esforços para desenvolver e aperfeiçoar tecnologias de fundição. Ela é titular de uma série de tecnologias de fundição energeticamente eficientes (RA-300, AR-400 e RA-500) que reduz o consumo de energia e emissões e aumenta a eficiência da produção. Além disso, a UC Rusal está tomando medidas para melhorar o processo de redução Soderberg, através do desenvolvimento de uma nova geração de células eletrolíticas que utilizam pasta de anodo coloidal em vez de anodos de carvão. Essa nova tecnologia, "*Clean Soederberg*", reduz o impacto sobre o meio ambiente e aumenta a eficiência das células.

Um grande projeto de inovação da Rusal é o desenvolvimento da tecnologia inovadora do ânodo inerte, que eliminará completamente do processo de fundição a emissão de gases de efeito estufa. Uma única célula, utilizando a tecnologia do ânodo inerte, será capaz de produzir a mesma quantidade de oxigênio que 70 hectares de floresta. Além disso, essa tecnologia reduzirá em 10% os custos operacionais através da redução do consumo de energia e de ânodo, representando mais de 30% nas despesas de projetos *Greenfield*, devendo ser introduzida nos novos processo produtivos até meados de 2015.

O processo de redução clássica Soderberg requer meia tonelada de anodos de carvão por uma tonelada de alumínio. Os ânodos de carvão são responsáveis pela liberação de dióxido de carbono, juntamente com as emissões de alcatrão e poliaromáticos na atmosfera. Além disso, os ânodos de carvão queimam e precisam ser substituídos a cada três semanas, o que é dispendioso para a empresa. A pasta de ânodo inerte não contém carbono e o único subproduto da panela de fundição

com ânodo inerte será o oxigênio puro. Além disso, o ânodo inerte não queima e, por conseguinte, não necessita de ser substituída, o que significa uma redução considerável de custos operacionais.

Além disso, Rusal está melhorando a estrutura da célula de redução. Um projeto para criar uma célula única, com ânodos verticais está em andamento. A nova tecnologia irá assegurar uma utilização mais eficiente do espaço de produção e minimizar o consumo de energia. O Centro de Engenharia e Tecnologia também está implementando um projeto para aumentar a eficiência das células de energia através da remodelação da sua parte inferior.

A empresa também tem buscado desenvolver novos tipos de ligas de alumínio, sendo que os principais projetos nessa área incluem: liga de alumínio com metais (ligas de alumínio-zircônio e alumínio-silício-magnésio que aumentam a condutividade elétrica de hastes de arame de alumínio, sem perder sua força) para criar os fios leves e altamente condutores. As barras de arame de alumínio serão capazes de substituir os fios de cobre caros e pesados e assegurar um aumento de 20-40% no tempo de vida das linhas de transmissão de energia. Além disso, desenvolvem uma tecnologia para produzir ligas de alumínio, com excelentes propriedades físicas e mecânicas para a indústria automotiva.

Finalmente, outro esforço tecnológico da UC Rusal é a reciclagem da lama vermelha, resíduo do processo de refino Bayer. A lama vermelha contém uma série de elementos úteis, incluindo o óxido ferroso e outros metais e a tecnologia de reciclagem de lama vermelha busca resolver o problema do seu caro armazenamento e criar uma fonte adicional de lucro para as refinarias de alumina.

Hydro

A Hydro investiu em 2009 US\$ 121 milhões e em 2010 US\$ 96 milhões em P&D. Neste valor estão as inovações em produtos, processos e *marketing*. Também realizam pesquisa para o alumínio secundário, assim como: desenvolvimento de produtos a jusante e processamento da sucata com adoção de *tecnologias de forno* que ajudam a melhorar as taxas de reciclagem e de qualidade do metal produzido. De acordo com relatório da Hydro, no setor de alumínio, o desenvolvimento de

algumas tecnologias deve começar 10-20 anos antes de sua realização (HYDRO, 2010).

As principais tarefas de P&D da Hydro estão conectadas à tecnologia de fundição e desenvolvimento de produtos, tendo como focos principais do seu *centro de competência*: o desenvolvimento e otimização de equipamentos e processos para uma produção de qualidade, desenvolvimento de liga para melhorar as propriedades do produto final e uso otimizado do processo e sucata pós-consumo.

O desenvolvimento de tecnologia de redução é direcionado na busca de maior produtividade e menor emissão e consumo de energia e, dessa forma, parâmetros como o tamanho da célula, a eficiência atual, aspectos geométricos e a vida do cátodo são fatores importantes que podem ser continuamente melhorados. O grupo de tecnologia da empresa também desenvolveu modelos para o cálculo do campo magnético e do balanço de calor de células para permitir maior previsibilidade de parâmetros de desempenho.

Segundo a Hydro, o desenvolvimento contínuo para melhorar o impacto ambiental não só é feito para os modernos processos de pré-cozimento para alimentação de células, mas também para as células mais velhas do processo Soderberg. Além disso, busca desenvolver a próxima geração de tecnologia de fundição (denominada HAL4e), enfatizando produtividade celular, bem como o consumo de energia e emissões climáticas reduzidas.

Por fim, ressalta-se que a Hydro, assim como as suas principais concorrentes no mercado internacional, também busca o desenvolvimento tecnológico para novas gerações do anodo. No caso da Hydro, ânodos por vibração de vácuo foram desenvolvidos e licenciados pela empresa em todo o mundo.

Rio Tinto/Alcan

Os esforços tecnológicos da Rio Tinto Alcan direcionam-se na busca de eficiência do processo de produção de alumínio e na redução das emissões de gases e redução do consumo de energia. Basicamente, os investimentos e as

iniciativas tecnológicas têm se concentrado no desenvolvimento da geração de tecnologias denominadas APs:

- ✓ A AP3X, que consiste em uma tecnologia de fundição líder na indústria de alumínio em termos de eficiência energética e baixas emissões; e
- ✓ Os investimentos visam à melhoria do desempenho desta tecnologia e criar novas gerações de AP. O AP60 é a última geração de referência e que promove, no processo de fundição, o aumento da saída de metal, melhorando a produtividade e reduzindo o custo por tonelada.

2. QUADRO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO ALUMÍNIO

2.1. Produção, Consumo e Fluxos de Comércio de Alumínio no Brasil

No Brasil, as reservas mais expressivas de bauxita (95%) estão localizadas no Estado do Pará, as quais têm, como principal concessionária, a empresa Mineração Rio do Norte (MRN). A MRN é uma *joint-venture* capitaneada, até 2010, pela Vale (40%) e que tem ainda como sócios BHP Billiton (14,8%), Alcoa (13,6%), Alcan (12%), CBA (10%), Norsk Hydro (5%) e Abalco (4,6%). Também pertencente à Vale até 2010, ressalta-se aqui a recente ampliação da capacidade da mina de Paragominas de 9,9 para 14,85 Mtpa (incluindo Paragominas III) no primeiro semestre de 2011.

A CBA é uma controlada pelo grupo Votorantim e extrai bauxita em Minas Gerais. A produção brasileira de bauxita passou de 18,4 milhões de toneladas (em 2003) para 32 milhões de toneladas (em 2010), sendo 96,5% de bauxita metalúrgica. Os restantes 3,5% são de bauxita refratária, cujos principais produtores são a Mineração Curimbaba e a Rio Pomba Mineração, ambas instaladas em Minas Gerais.

Tabela 11: Produção de Bauxita, Alumina e Alumínio Primário no Brasil no Período 2003-2010 (mt)

Ano	Bauxita	Alumina	Alumínio Primário
2003	18.457	4.805	1.381
2004	20.949	5.135	1.458
2005	22.035	5.227	1.498
2006	22.835	6.793	1.605
2007	25.460	7.137	1.655
2008	28.097	7.822	1.661
2009	26.074	8.708	1.535
2010	32.028	9.431	1.536

Fonte: ABAL, 2008 e 2010b.

A produção brasileira de alumina cresceu ainda mais e duplicou entre 2003 e 2010, quando atingiu 9,4 milhões de toneladas (Tabela 10). Isto se deveu principalmente à expansão da Alumina do Norte do Brasil (Alunorte). Antes da venda dos ativos da Vale para a Hydro em 2010, a composição do capital da Alunorte era repartida entre Vale (57,3%), Norsk Hydro (34%), *Nippon Amazon Aluminium* (4%), CBA (3,6%) e *Japan Alunorte Investment* (1%). A Alunorte, que se localiza no Pará, foi responsável por 61% da produção brasileira em 2010, demonstrando uma significativa concentração geográfica. De outra parte, a Alumar localizada no Maranhão produziu 24%, os quais somados à produção da Alcan (3%), também no Maranhão, resultam em 27% do total da produção. O restante distribuiu-se entre São Paulo (9%) e Minas Gerais (3%).

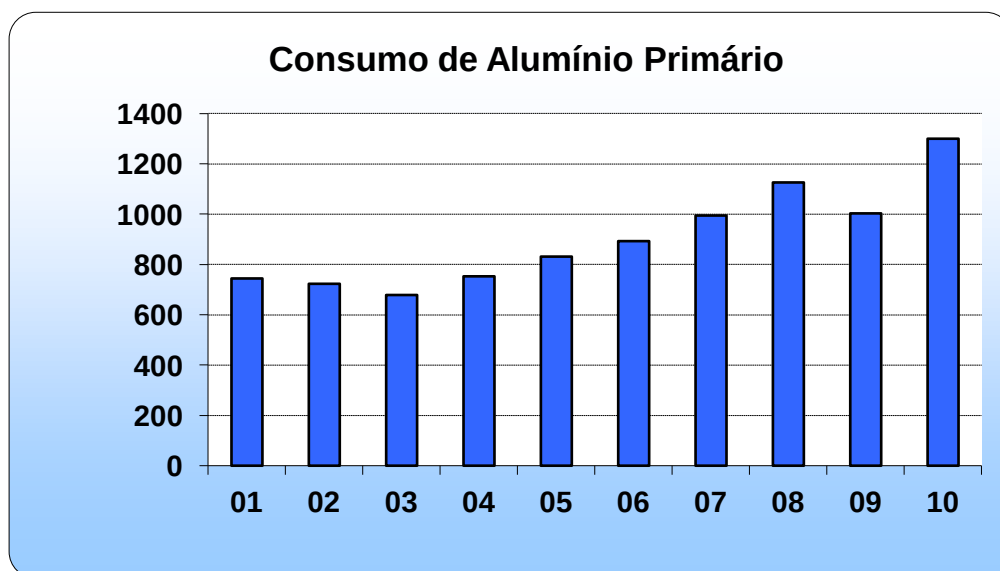
No período pós-crise financeira internacional, a produção de alumínio primário no Brasil declinou de 1,65 milhões de toneladas em 2007 para 1,53 milhões de toneladas em 2009, estabilizando-se exatamente no mesmo nível em 2010 (tabela 7). Não obstante, além da crise econômica *per se*, a capacidade instalada da produção de alumínio no Brasil foi afetada negativamente no último biênio pela desativação das operações produtivas da Valesul Alumínio em 2009, o que implicou redução de 95 mil toneladas, e também pelo anúncio da desativação da planta da Novelis, localizada no município de Aratu (BA), o que significará uma diminuição adicional da produção de 60 mil toneladas em 2011. O efeito final foi uma redução de capacidade instalada na indústria de alumínio brasileira da ordem de 155 mil toneladas, quase 10% do total. Os altos custos da energia elétrica no país foram a principal justificativa apresentada em ambos os casos.

O gráfico 26 mostra a evolução do consumo brasileiro de alumínio entre 2001 e 2010. Observa-se um incremento substancial, da ordem de 6,4% ao ano. Apesar da ligeira oscilação negativa no início da década passada e no auge da crise financeira em 2009, o consumo doméstico de alumínio no Brasil apresentou tendência persistente de crescimento. No entanto, a demanda do país ainda equivale a apenas 3% do total mundial.

No Brasil prevalece um padrão de consumo de alumínio no período recente fundamentalmente concentrado nos segmentos de embalagens (30%) e transporte (21%), seguido da construção civil (15%), diferenciando-se, sobretudo, do padrão de

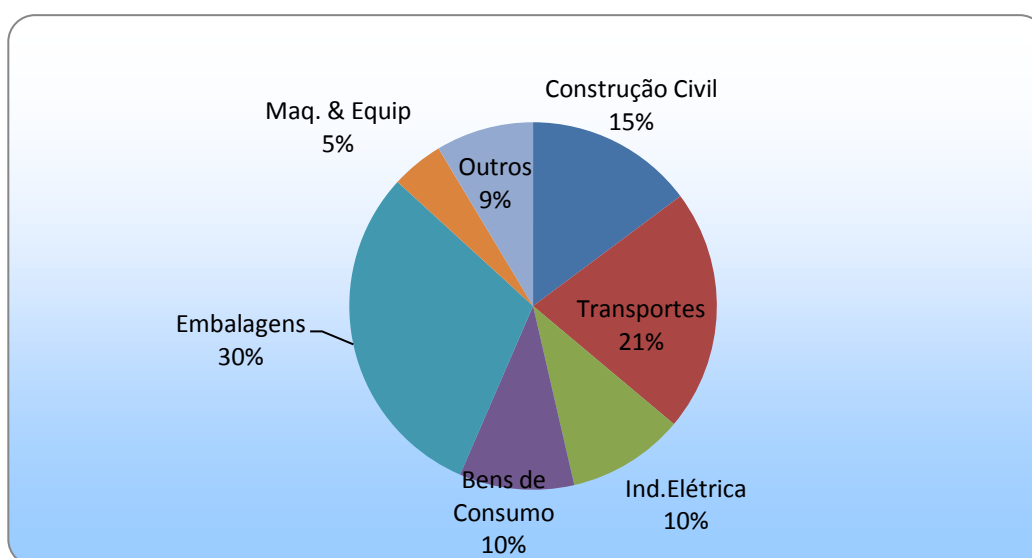
consumo europeu, onde o peso da construção civil é mais expressivo. No tocante ao padrão de demanda mundial de alumínio, a maior discrepância se refere à participação do segmento de transporte, que é muito maior em nível mundial (35%) do que no Brasil (21%) (Gráfico 27).

Gráfico 26: Consumo de Alumínio no Brasil: 2001-2010 (mt)



Fonte: ABAL, 2010b

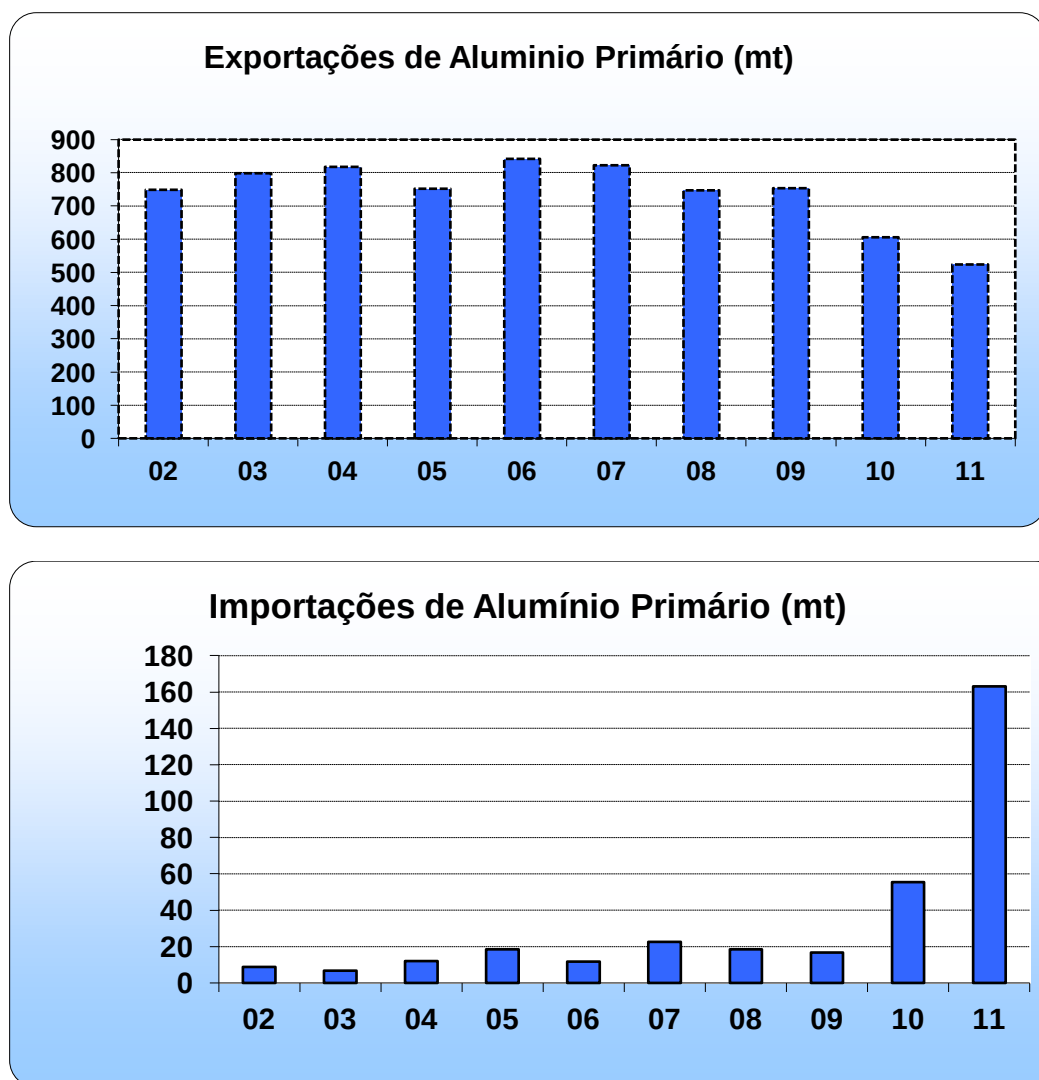
Gráfico 27: Consumo de Alumínio no Brasil por Segmento: 2009 (%)



Fonte: ABAL, 2010b.

Nota-se no Gráfico 28 que as exportações brasileiras de alumínio primário na década passada oscilaram em torno de uma média de 700 a 800 mil toneladas por ano, declinando em 2010 para 600 mil toneladas e em 2011 para 524 mil toneladas. Segundo a ABAL (2010b, p.7), em 2010, em torno de 80% das exportações brasileiras de alumínio estiveram concentradas em alumínio primário, tendo como principais destinos o Japão (29%), a Suíça (26%) e os Estados Unidos (12%).

Gráfico 28: Exportações e Importações de Alumínio Primário - Brasil: 2002-2011 (mt)



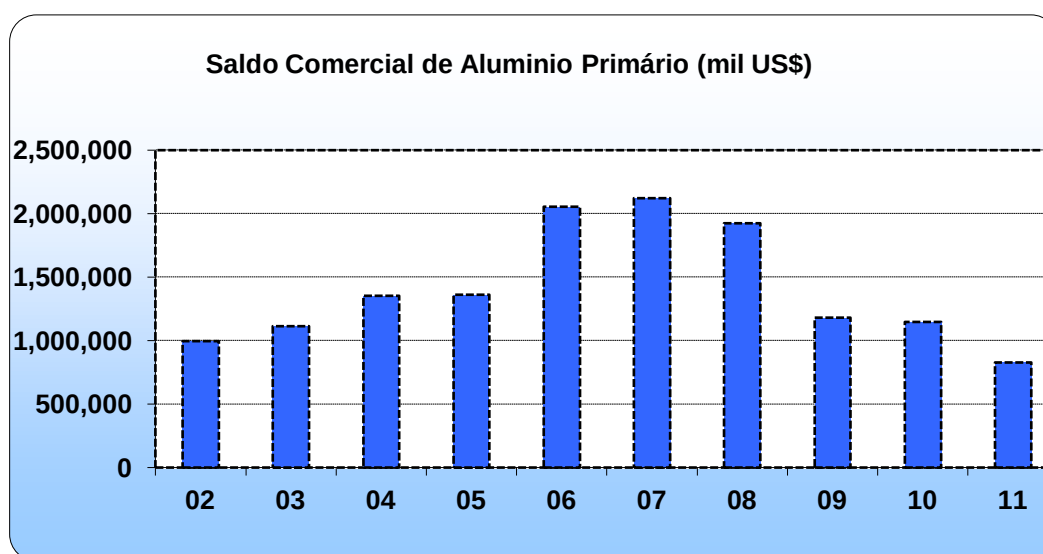
Fonte: Elaboração própria, a partir de Contrade (2012) e Abal (2010a).

Nota: Código SITC 6841=Códigos NCM/SH 7601.10.00 + 7601.20.00

O volume de importações de alumínio primário pelo Brasil oscilou em torno de 1% da produção física doméstica até 2009, atingindo 3,6% em 2010, com forte possibilidade de ultrapassar a casa dos 10% em 2011, de acordo com os dados preliminares de produção local. A principal origem das importações brasileiras de alumínio primário é a Argentina, com participação de 17,7% em relação ao total das importações no setor primário, sendo que o restante das importações está diluído em vários outros países (Gráfico 28).

A evolução do saldo comercial do segmento de alumínio primário no Brasil nos últimos anos, em dólares correntes, apresentou duas fases distintas: crescimento do saldo comercial até 2007, no período anterior à crise financeira internacional, atingindo o patamar positivo de US\$ 2 bilhões, decrescendo a partir daí ao patamar do início da década, com saldo em torno de US\$ 1 bilhão (biênio 2009-2010) e abaixo disso em 2011. Em síntese, no triênio 2009-2011, o saldo comercial é resultado da interação de três fatores: as importações físicas de alumínio primário cresceram fortemente (embora partindo de um patamar muito baixo), as exportações físicas decresceram e os preços se mantiveram em uma trajetória ascendente.

Gráfico 29: Saldo Comercial de Alumínio Primário - Brasil: 2002-2011 (mt)



Fonte: Elaboração própria, a partir de Contrade (2012) e Abal (2010a).

Nota: Código SITC 6841=Códigos NCM/SH 7601.10.00 + 7601.20.00

Finalmente, cabe ressaltar a importância significativa da reciclagem no provimento da oferta doméstica de alumínio (ABAL, 2010b, p. 33): no biênio 2009-10, a *sucata recuperada* representou uma média de 35,7% do total do consumo doméstico de alumínio no Brasil, acima da média mundial, situada em torno de 27%. A reciclagem concentra-se no segmento de latas, onde se atinge uma taxa de reciclagem de 98,2%, certamente bastante positivo, ainda restrita a um dos segmentos demandantes do alumínio.

A Tabela 12 sintetiza os destinos da produção da cadeia produtiva do alumínio. De acordo com dados da ABAL (2010b), as exportações brasileiras de alumínio primário têm representado parcela significativa da produção doméstica, com participação oscilando em torno de 39%. No mesmo sentido, o Brasil também exporta parcela significativa da bauxita produzida localmente nos últimos anos (entre 20% e 30%). A orientação exportadora mais forte, contudo, ocorre na alumina. Nada menos que 68% da alumina produzida no Brasil destina-se ao mercado externo, refletindo a ausência de investimentos em expansão da capacidade produtiva de alumínio primário. Note-se que se toda a alumina exportada pelo País fosse eventualmente transformada em alumínio, a produção doméstica deste produto seria o triplo da atual.

Tabela 12: Participação das Exportações na Produção da Cadeia Produtiva do Alumínio
– Brasil: 2010 (em %)

Estágio Produtivo	Bauxita	Alumina	Alumínio Primário
Produção (mil ton)	32.028	9.431	1.536
Exportação (mil ton)	6.789	6.419	606
Exportações/Produção (%)	21%	68%	39%

Fonte: ABAL, 2010b

2.2. Estrutura de Mercado e Concorrência na Indústria de Alumínio Brasileira

No Brasil, assim como em nível internacional, a decomposição da cadeia produtiva do alumínio primário em bauxita, alumina e alumínio, a despeito da solidariedade de interesses cruzados entre os vários *players*, permite uma melhor visualização e análise da estrutura de mercado da cadeia produtiva à montante.

Em relação à produção total de bauxita, em 2010, a MRN foi responsável por 53,1%, sendo seguida pela Vale/Paragominas (23%), Alcoa (11%) e Companhia Brasileira de Alumínio/CBA (9%), conforme pode ser visto na Tabela 13. Segundo a ABAL (2010b), depois da diminuição em 2009, em função da retração do mercado internacional, a produção brasileira de bauxita cresceu 22,8% em 2010, graças principalmente ao desempenho da mina de Juruti (PA) da Alcoa, que atingiu a utilização plena de capacidade. Ressalta-se também em 2010 o fechamento da mina de Ouro Preto (MG), pertencente à Novelis.

Tabela 13: Produção Brasileira de Bauxita por Empresa, 2003-2010 (em mil toneladas)

Empresa	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
MRN	14.406	16.749	17.211	17.750	18.058	18.100	15.600	17.000
CBA	2.143	2.233	2.461	2.785	3.000	2.800	2.200	2.850
Alcoa	798	789	1.068	1.181	956	1.150	1.180	3.640
Alcan	416	437						
Novelis			452	461	504	430	160	
Vale					1.876	4.400	6.200	7.523
Outros	695	742	1.172	1.059	1.067	1.260	656	979
TOTAL	18.458	20.950	22.364	23236	25.461	28.140	25.996	31.992

Fonte: ABAL, vários números.

Cabe salientar que a produção de bauxita no Brasil no período recente é fortemente concentrada em apenas duas empresas, MRN e Vale (antes da venda de seus ativos à Hydro Norsk), as quais são responsáveis conjuntamente por 75,5% da produção total em 2010.

Em julho de 2000, a Alunorte decidiu expandir sua capacidade instalada de 1,5 para 2,3 milhões de toneladas de alumina. Este projeto de expansão, que

requeriu investimentos de US\$ 286 milhões, foi concluído em janeiro de 2003. Em julho de 2003, um segundo projeto de expansão foi aprovado, com objetivo de ampliar a capacidade nominal de 2,5 para 4,4 milhões de toneladas, a um custo de US\$ 786 milhões. Este estágio foi formalmente inaugurado em março de 2006. Em 2008, foram concluídos os chamados estágios 6 e 7 da Alunorte, a um custo de US\$ 846 milhões. Assim, a unidade teve sua capacidade ampliada para 6,3 milhões de toneladas.

No caso da produção de alumina, os principais players são Alunorte e Alumar. O Consórcio de Alumínio do Maranhão (Alumar) é o segundo maior produtor de alumina do país. Ele começou a ser desenvolvido em 1980, tendo sido inaugurado quatro anos mais tarde, com a seguinte configuração produtiva: alumina (500 mil toneladas) e alumínio primário (110 mil toneladas). A bauxita é fornecida pela mina de Trombetas (MRN). A Alumar passou por alguns estágios de ampliação, de forma a alcançar a capacidade de alumínio primário equivalente a 250 mil toneladas (em 1986), 328 mil toneladas (em 1990) e ainda 443 mil toneladas (em 2006). Atualmente, a capacidade instalada é de 1,4 milhão de toneladas de alumina e de 447 mil toneladas de alumínio primário. Ressalta-se também que a composição acionária das plantas de refinaria e redução da Alumar é distinta. A Alcoa possui 54% das duas unidades, mas a BHP Billiton é proprietária de 36% da refinaria de alumina e 46% do *smelter*. A Alcan detém 10% da refinaria de alumina desde 1992, quando cedeu em troca para a BHP Billiton uma participação de 12% na MRN.

Tabela 14: Produção Brasileira de Alumina por Empresa, 2003-2010
(mil toneladas)

Empresa	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Alunorte	2.300	2.500	2.600	3.900	4.300	5.000	5.900	5.710
Alumar	1.400	1.400	1.400	1.500	1.500	1.400	1.500	2.250
CBA	600	700	800	800	900	820	890	880
Alcoa	300	300	400	400	400	360	220	320
Alcan	100	100				150	160	250
Novelis			100	100	100	100	40	
TOTAL	4.700	5.000	5.300	6.700	7.200	7.830	8.710	9.410

Fonte: Fonte: ABAL (2008) e ABAL (2010b).

Obs: Em 2005, a Novelis assumiu as operações de alumina em decorrência da cisão da Alcan.

Em setembro de 2004, a Alcoa anunciou que a refinaria de alumina da Alumar seria expandida para 3,5 milhões de toneladas. Para garantir o suprimento de bauxita para esta expansão, a Alcoa decidiu desenvolver a mina de Juruti, como já comentado. Ambos os projetos entraram em operação em 2009, a um custo estimado de US\$ 1,62 bilhão (expansão da Alumar) e US\$ 2 bilhões (mina de Juruti), sendo que esta última atingiu sua plena capacidade em 2010.

A Vale, com 60% de participação, liderou a construção da Companhia de Alumínio do Pará (CAP), através da formação de uma *joint-venture* com a Hydro (20%) e a Dubal (19%). A capacidade inicial da CAP será de 1,86 milhão de toneladas, tendo sido projetado alcançar capacidade final de 7,4 milhões de toneladas. Quando este objetivo for atingido, a CAP deve se tornar a maior refinaria de alumina do mundo. O investimento total da primeira etapa foi estimado em US\$ 2,2 bilhões, com previsão de entrada em operação em 2012.

Novamente, é necessário ressaltar que a produção de alumina no Brasil no período recente também é fortemente concentrada em apenas duas empresas, Alunorte e Alumar, as quais são responsáveis conjuntamente por 85% da produção total em 2010.

No Brasil, a produção de alumínio primário envolve fundamentalmente as seguintes empresas produtoras e respectiva localização geográfica de suas plantas industriais: CBA (subsidiária do grupo Votorantim), localizada em São Paulo; Alumar (controlada pela Alcoa e BHP Billiton), localizada no Maranhão; Vale, com operações no Pará (Albras); Novelis, na Bahia e Minas Gerais; e Alcoa, em Minas Gerais. A produção brasileira de alumínio primário foi ampliada de 1,13 milhão de toneladas para 1,66 milhão de toneladas ao longo do período 2001-2008, caindo nos dois anos seguintes. Do incremento total da produção entre 2001 e 2010 (404 mil toneladas), 60% relacionou-se ao crescimento da CBA⁵. O restante do aumento foi

⁵ A planta de produção de alumina e alumínio primário da CBA localiza-se no município de Alumínio, a 75 quilômetros de distância de São Paulo. Desde 2001, a CBA está envolvida em recorrentes projetos de expansão. Naquele momento, sua capacidade nominal era de 240 mil toneladas. Em 2003, ela já tinha sido ampliada para 314 mil toneladas, em 2005 para 400 mil toneladas e em 2007 para 475 mil toneladas.

vinculado à Alumar (27%) e à Albras (29%). Na Tabela 15, a concentração da produção de alumínio primário no Brasil fica patente. Albrás, CBA e Alumar são responsáveis por 88,5% da produção local. Além da forte concentração da produção ao longo de toda a cadeia produtiva de alumínio no Brasil, é preciso também ressaltar a importância das *joint-ventures* presentes no setor, as quais têm sido fundamentais nas estratégias competitivas das empresas (Tabela 16).

Tabela 15: Produção Brasileira de Alumínio Primário por Empresa, 2003-2010
(mil toneladas)

Empresa	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Albrás	334	416	436	441	450	460	459	459	454	451
CBA	230	248	314	345	370	405	451	466	471	472
Alumar	325	370	335	377	381	438	448	454	434	435
Novelis	92	102	107	109	108	110	107	99	100	90
Alcoa	70	88	95	90	95	96	96	97	65	88
Valesul	80	93	95	95	94	96	94	85	10	
Total	1.132	1.317	1.381	1.457	1.498	1.605	1.655	1.660	1.534	1.536

Fonte: ABAL, 2010b.

Tabela 16: *Joint-Ventures* na Indústria Brasileira de Alumínio em 2010

Consórcios	MRN	Alunorte	Albrás	Companhia Alumínio do Pará (CAP)	Alumar	
Produto	Bauxita	Alumina	Alumínio Primário	Alumina	Alumina	Alumínio Primário
CBA	10,0	3,6				
BHP Billiton	14,8				36,0	46,0
Rio Tinto Alcan	12,0				10,0	
Alcoa	18,2				54,0	54,0
Norsk Hydro	45,0	91,1	51,0	81,0		
Dubal				19,0		
Investidores japoneses		5,3	49,0			
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Fonte: Elaboração própria.

Adicionalmente, fatores micro e macroeconômicos (como baixa escala de produção e sobrevalorização cambial, respectivamente), infra-estrutura (custos de energia no Brasil) e determinantes estratégicos (relacionados aos preços e à rentabilidade do alumínio) resultaram na desativação da Valesul em 2009 e da planta da Novelis em 2011 e na recente venda dos ativos da Vale para a Norsk Hydro, com impactos sobre a indústria do alumínio brasileira. No que tange ao comportamento dos preços e da rentabilidade do alumínio, UBS (2009, p. 3) indica que, em fevereiro de 2009, os preços de comercialização do alumínio primário eram equivalentes a 99% do *cash production cost*, não incluindo, portanto, os custos de amortização de capital. Portanto, muitas empresas não estavam conseguindo nem mesmo empatar com os custos variáveis. Na verdade, a indústria do alumínio apresenta uma rentabilidade menor quando comparada com o desempenho de outros metais, uma vez que, na mesma ocasião, para zinco, os preços superavam os *cash production cost* em 11%; o níquel, em 37%; e o cobre, em 39%. Tais produtos, à semelhança do alumínio primário, têm como principal referência os preços da LME. Também em fevereiro de 2009, Macquarie (2009, p. 2) estimou que uma capacidade equivalente a 15% da produção mundial de alumínio do ano anterior encontrava-se paralisada.

Outrossim, a maior ameaça para os investimentos e aumento da capacidade produtiva de alumínio no Brasil diz respeito à existência de oferta estável e preços competitivos de energia. Seguindo a tendência internacional, conforme visto no Gráfico 14, parte das empresas brasileiras têm realizado investimentos em autogeração de energia, o que permitiu ampliar sua participação na matriz de consumo do setor de 12% em 2000 para 31% em 2010. O principal produtor de alumínio no Brasil, a Companhia Brasileira de Alumínio (CBA), do grupo Votorantin, já produz 60% da energia consumida nas atividades de processamento do alumínio primário por meio de 18 usinas hidrelétricas instaladas no Brasil.

2.3. Perfil Tecnológico da Indústria de Alumínio Primário no Brasil

No Brasil os gastos com Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) no setor de alumínio são reduzidos, pois as empresas multinacionais utilizam resultados das pesquisas de suas matrizes no exterior. As empresas de capital nacional licenciam ou se associam a multinacionais, utilizando-se assim de transferência de tecnologia importada (Lima, 2004).

A tabela 17 é referente aos investimentos realizados nas minas de bauxita no período 2001-2009, subdivididos em cinco segmentos. Pode-se observar que os gastos em Inovação Tecnológica e de Sistemas nas minas de bauxita são reduzidos no período 2001-2007, apresentando um pequeno crescimento no biênio 2008-2009 quando atinge 5% do total de investimentos anuais. De qualquer forma, seu valor médio na última década é pouco significativo sob qualquer critério comparativo. No item Geologia e Pesquisa Mineral os valores oscilam fortemente, sem ultrapassar a cifra dos 30%. No entanto, o segmento com maior participação é o de Aquisição e/ou Reforma de Equipamentos, com média de 48% ao longo de todo o período analisado.

Tabela 17: Investimentos Realizados nas Minas de Alumínio (bauxita): Brasil 2001-2009 (em R\$)

ANOS	Aquisição e/ou Reforma de Equipamentos		Geologia e Pesquisa Mineral		Infra-estrutura		Inovações Tecnológicas e de Sistemas		Outros		Total	
2001	11.910.591	84%	1.289.362	9%	461.500	3%	-	-	500.600	4%	14.162.053	100%
2002	5.082.400	18%	1.317.500	5%	1.273.800	4%	20.000	0%	20.814.807	73%	28.508.507	100%
2004	9.865.832	63%	2.548.024	16%	300.400	2%	150.000	1%	2.679.489	17%	15.543.745	100%
2005	14.797.900	54%	7.864.225	29%	1.667.200	6%	82.000	0%	2.763.190	10%	27.174.515	100%
2005	15.495.200	66%	2.442.300	10%	237.000	1%	15.000	0%	5.241.620	22%	23.431.120	100%
2006	102.795.554	22%	11.013.105	2%	61.835.107	13%	8.326.585	2%	276.057.665	60%	460.028.016	100%
2007	28.748.938	31%	27.856.223	30%	10.996.671	12%	765.386	1%	23.869.820	26%	92.237.038	100%
2008	25.842.597	32%	16.630.030	21%	8.907.725	11%	3.217.002	4%	25.720.504	32%	80.317.859	100%
2009	29.792.187	57%	6.404.381	12%	3.072.775	6%	2.790.966	5%	10.620.880	20%	52.681.189	100%
MÉDIA	27.147.911	48%	8.596.128	15%	9.861.353	7%	1.920.867	2%	40.918.731	29%	88.231.560	

Fonte: DNPM, 2012

Na mesma perspectiva, a tabela 18 apresenta informações sobre os investimentos realizados nas Usinas de Alumínio no Brasil no período 2001-2009, distribuídos pelos mesmos cinco segmentos. Observa-se, mais uma vez, que os maiores percentuais são destinados aos gastos em Infraestrutura (média de 34%) e Aquisição de Equipamentos (média de 28%) e o valor pouco significativo (média de 2% no período) dos em gastos realizados em Inovações Tecnológicas e de Sistemas. Por outro lado, deve-se destacar que nos últimos anos os gastos em Meio Ambiente das usinas de alumínio, que representaram 18% do total de gastos para todo o período, parece apresentar uma tendência de crescimento.

Tabela 18: Investimentos Realizados nas Usinas de Alumínio (bauxita): Brasil 2001-2009 (em R\$)

ANOS	Infra-Estrutura		Aquisição e/ou Reforma de Equipamentos		Meio Ambiente		Inovações Tecnológicas e de Sistemas		Outros		TOTAL	
2001	5.107.700	41%	6.433.310	52%	418.139	3%	366.715	3%	45.000	0%	12.370.864	100%
2002	3.452.900	1%	3.078.000	1%	385.000	0%	155.000	0%	259.932.700	97%	267.003.600	100%
2003	3.520.700	32%	2.771.339	25%	1.635.542	15%	203.889	2%	2.793.852	26%	10.925.322	100%
2004	8.719.354	32%	6.905.114	25%	10.489.930	38%	614.365	2%	713.928	3%	27.442.691	100%
2005	10.091.700	40%	10.129.863	40%	1.862.700	7%	618.074	2%	2.539.306	10%	25.241.643	100%
2006	55.925.743	48%	31.147.004	27%	20.025.705	17%	885.871	1%	7.604.653	7%	115.588.976	100%
2007	435.775.346	56%	184.958.099	24%	26.629.989	3%	2.127.442	0%	135.644.207	17%	785.135.083	100%
2008	48.614.627	42%	33.925.500	29%	30.139.168	26%	1.110.227	1%	2.792.620	2%	116.582.141	100%
2009	11.719.826	14%	24.808.092	30%	43.142.516	51%	3.185.508	4%	1.235.844	1%	84.091.787	100%
MÉDIA	64.769.766	34%	33.795.147	28%	14.969.854	18%	1.029.677	2%	45.922.457	18%	160.486.901	

Fonte: DNPM, 2012

Portanto, tais dados indicam que, na ausência de informações mais desagregadas de gastos em P&D das empresas no Brasil, que o setor de alumínio de fato possui um perfil tecnológico dependente de tecnologias geradas nas matrizes, com as empresas de capital nacional licenciando ou se associando às empresas transnacionais, utilizando-se assim de transferência de tecnologia importada.

3. MUDANÇAS CLIMÁTICAS, INSTITUCIONAIS E TECNOLÓGICAS

3.1. Impactos Ambientais na Indústria de Alumínio

No estudo *Scenarios & Strategies to 2050* da Agência Internacional de Energia, doravante IEA (2010), o uso futuro da energia e das emissões de CO₂ na produção de alumínio primário foram analisados através da projeção de dois cenários, *Baseline* e *Blue*, cada um subdividido nos casos de alta e baixa demanda de alumínio no mercado mundial⁶.

Os cenários *Baseline* refletem a evolução que se espera com base no consumo atual de energia e nas políticas climáticas. Os cenários *Blue* examinam as implicações de um objetivo político global de reduzir pela metade, em relação ao nível de 2006, o gasto com energia e emissões de CO₂ em 2050. Isso exigiria um incentivo de US\$ 200/tCO₂.

Tabela 19: Consumo de Alumínio Per Capital e Total por Região (Mt)

Regiões	Consumo per capita			Consumo Total (kg/hab)		
	2006	2050 baixa	2050 alta	2006	2050 baixa	2050 alta
América do Norte	28,5	32,1	38,1	12	18	22
Europa	22,7	28,1	36,7	12	16	20
Pacífico Asiático	13,9	21,5	31,3	3	4	6
China	5,1	22,6	32,3	7	32	45
Índia	1,0	6,0	8,8	1	10	14
Economias em Transição	3,8	11,8	26,5	1	3	3
América Latina	3,5	10,7	15,3	2	7	10
Oriente Médio e África	0,7	2,0	3,0	1	5	9
Países em Desenv.	2,0	10,6	15,0	2	16	26

⁶ Essa parte do trabalho se baseia fartamente em IEA (2010).

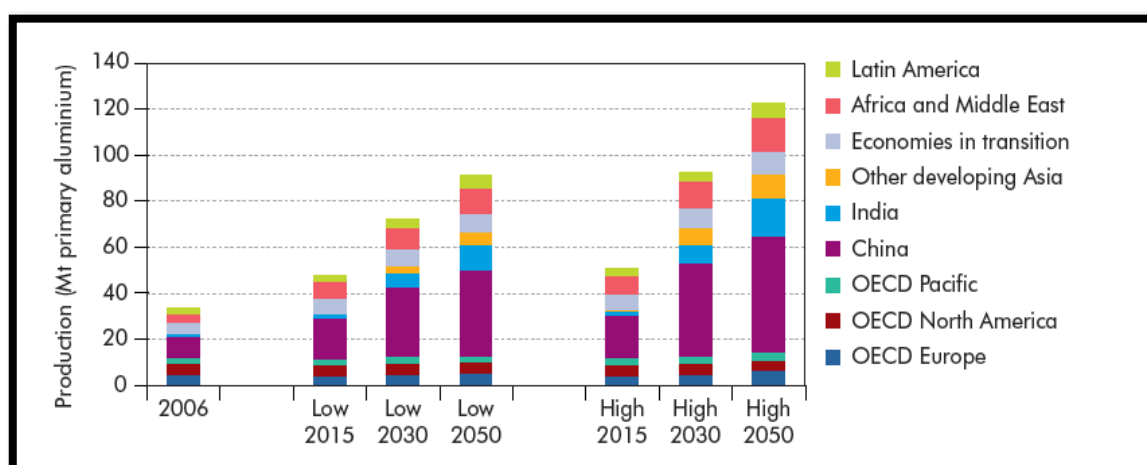
Ásia						
Total	6,3	12,1	16,8	41	110	155

Fonte: International Energy Agency (IEA), 2009

A demanda por alumínio deve crescer substancialmente até 2050 por causa do aumento do consumo em uma ampla gama de setores, especialmente transporte, construção civil e máquinas e equipamentos. A média mundial da demanda per capita quase o duplica no cenário *Baseline* de baixa demanda, e cresce mais de 2,5 vezes no cenário de alta demanda. Dado o crescimento populacional, isso significa que a demanda total cresce 2,7 vezes no caso de baixa demanda e 3,7 vezes no de alta demanda. Em termos absolutos, a demanda experimentaria rápido crescimento nas economias da Ásia, África e América do Sul.

Para atender a essa crescente demanda, a produção de alumínio primário deve atingir 91 Mt (milhões de toneladas) até 2050 no cenário *Baseline* de baixa demanda, e 123 Mt no caso de alta demanda. Em ambos os cenários, há fortes aumentos na produção da China, Índia, nas economias em transição, na África e no Oriente Médio.

Gráfico 30: Produção de Alumínio Primário no Cenário "Baseline", 2006-2050



Fonte IEA, 2010

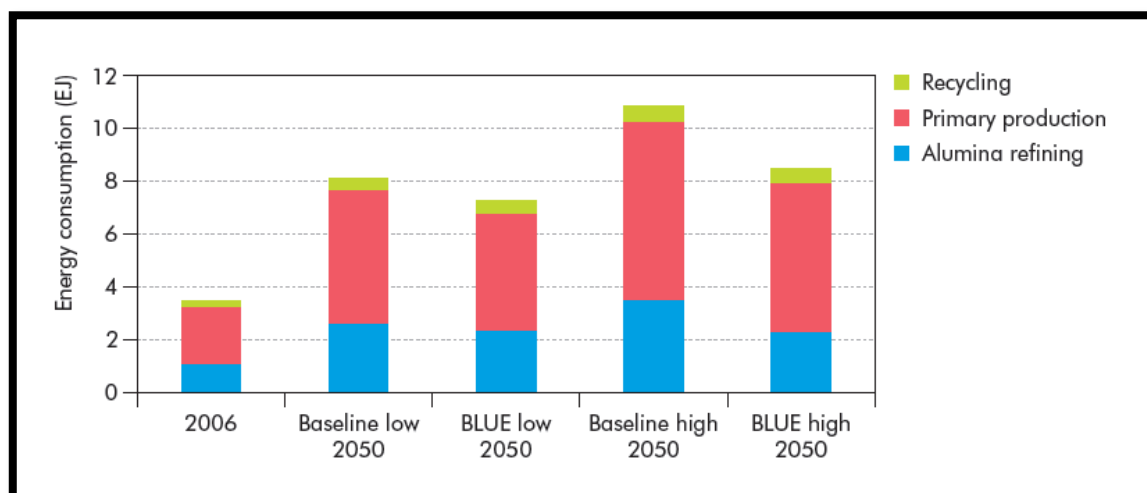
A oferta de alumínio reciclado também aumenta fortemente. Nos cenários *Baseline* a produção de alumínio reciclado sobe para 47 Mt em 2050 no caso de

baixa demanda e 63 Mt no caso de alta demanda, continuando a representar cerca de um terço da produção total de alumínio. Nos dois cenários *Blue*, a produção total de alumínio é assumida como sendo a mesma em relação aos cenários *Baseline*, mas a produção de alumínio reciclado aumenta para 55 Mt e 76 Mt em 2050 sob baixa e alta demanda, respectivamente, representando cerca de 40 % da produção total de alumínio.

Como resultado deste aumento de produção, o uso final de energia cresce fortemente nos cenários *Baseline*, atingindo 8,1 EJ em 2050, no caso de baixa demanda, e 10,8 EJ, no caso de alta demanda. Ela cresce mais lentamente do que a produção de alumínio devido a melhorias de eficiência na fundição e refino, projetando-se a manutenção das taxas de melhoria dos últimos anos. Isto significa que em 2050 a média global de utilização de energia na refinação diminuirá para 14 GJ/t de alumina e nos *smelters*, para 13 MWh/t de alumínio. A distribuição global de uso de energia refletirá a mudança do padrão de produção de alumínio.

Nos cenários *Blue*, o uso de energia em 2050 é de 11% a 22% menor do que no cenário *Baseline*. No caso de baixa demanda, estes ganhos de eficiência energética são em grande parte conseguidos através de desenvolvimentos nas tecnologias existentes, juntamente com alguma implantação de novas tecnologias. No cenário de alta demanda, ocorre a introdução generalizada de “wetted drained cathodes” e anodos inertes a partir de 2015 e de tecnologias de redução carbotérmica a partir de 2030. Assume-se que a média global de intensidade em energia elétrica nos *smelters* será em 2050 de 10,5 MWh/t de alumínio.

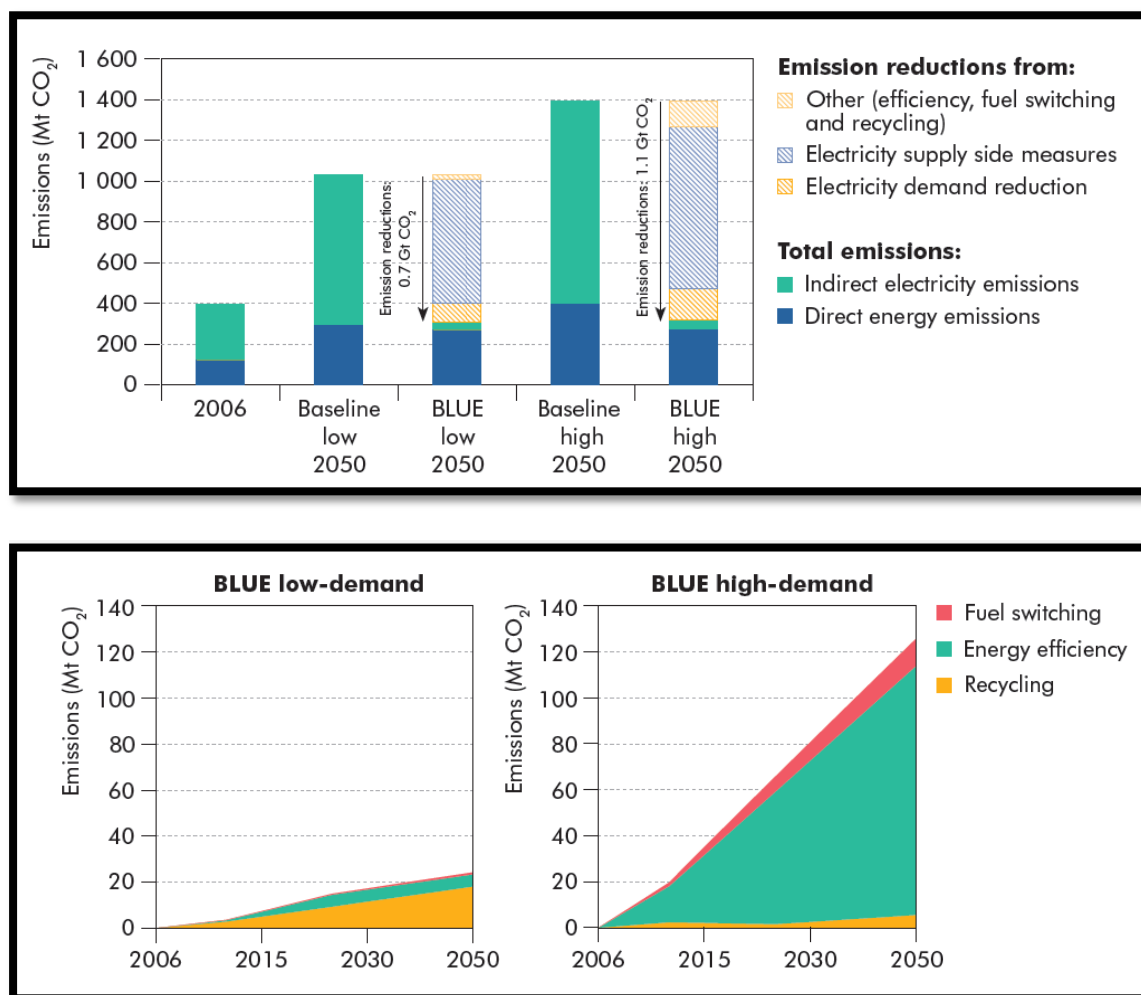
Gráfico 31: Consumo Final de Energia por Cenário, 2006 e 2050



Fonte IEA, 2010

Nos cenários *Baseline*, o total de emissões diretas e indiretas de CO₂ cresce a partir de cerca de 0,4 Gt em 2006 para entre 1,0 Gt e 1,4 Gt em 2050. O aumento das emissões é menor do que o aumento na utilização final de energia, o que reflete uma menor intensidade de CO₂ no mix de combustível, devido à troca de combustível combustível. Nos cenários *Blue*, as emissões de CO₂ são 70% (baixa demanda) e 77% (alta demanda) menores, situando-se em 0,3 Gt em 2050, cerca de 20% abaixo dos níveis de 2006. A maioria das reduções de emissões de CO₂ adviria do uso de eletricidade de baixo carbono, em vez de medidas diretas para reduzir as emissões da indústria de alumínio em si, onde são maiores os custos de redução de CO₂. No cenário de baixa demanda *Blue*, mais de 80% das reduções de emissões envolvem o uso da eletricidade, enquanto no cenário de alta demanda *Blue* a cifra equivalente é superior a 70%. Isto sugere que uma parte importante da estratégia de redução das emissões deste setor pode estar na localização do processo de fundição perto de fontes de energia limpas em termos de emissão de CO₂, como hidráulica ou centrais nucleares. Assim, a maior oportunidade de economia de emissão de CO₂ na indústria de alumínio depende da descarbonização da geração de eletricidade.

Gráfico 32: Emissão de CO₂ por Cenário na Produção de Alumínio, 2006 e 2050

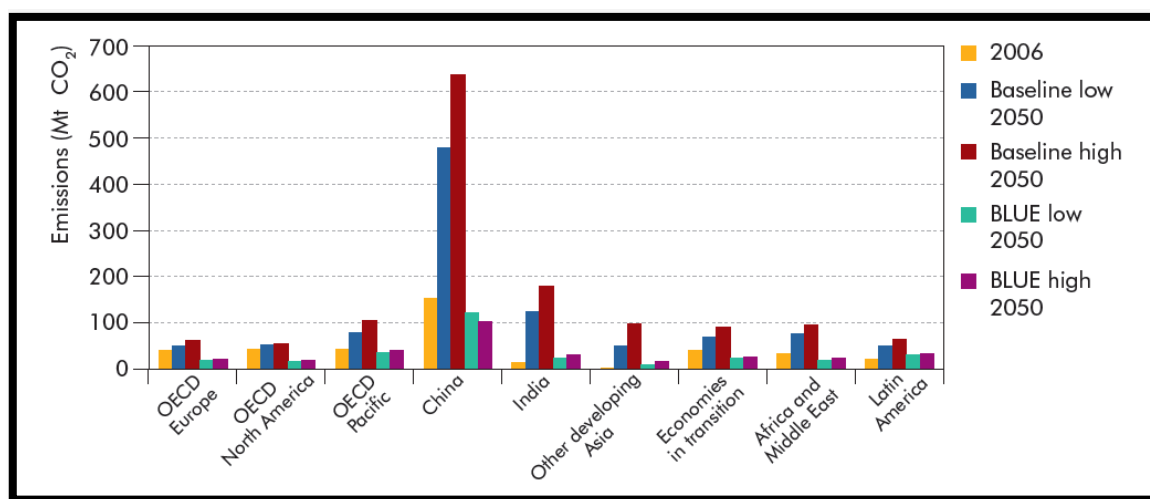


Fonte IEA, 2010

Se o fornecimento de eletricidade obtiver êxito na anulação da emissão de carbono, todas as economias adicionais de CO₂ se originarão apenas de emissões diretas do processo produtivo.. As reduções de emissões diretas são, portanto, significativamente maiores no cenário *Blue* de alta demanda do que no de baixa demanda. Neste último caso, a redução de emissões diretas é largamente conseguida através da reciclagem e de pequenos ganhos de eficiência, tanto em refino quanto em fundição. No cenário *Blue* de alta demanda, a reciclagem contribui muito menos, com a maior parte da redução vindo de melhoria de eficiência energética e de emissões no processo.

O Gráfico 33 mostra que nos cenários *Baseline*, quase metade de todas as emissões de CO₂ em 2050 vêm da China. Isso reflete os altos níveis de produção, combinados com baixo nível de eficiência na produção de alumina e uma elevada proporção de uso de carvão, tanto diretamente na indústria do alumínio, quanto indiretamente na geração de eletricidade. As emissões da Índia também crescem fortemente, assim como em outras partes da Ásia em desenvolvimento. Nos cenários *Blue*, todas as regiões apresentam grandes reduções nas emissões. Para China e Índia seriam necessárias maiores reduções de CO₂ em 2050. Isso reflete uma redução na utilização do carvão para geração de energia, combinada com maiores eficiências médias na indústria do alumínio. As menores reduções de emissões em 2050 são na América Latina, pois o setor elétrico já tem uma elevada quota de emissão zero de carbono. Assim, há menos espaço para redução da intensidade das emissões de carbono em função da fonte hidroelétrica de energia utilizada na produção de alumínio na região.

Gráfico 33: Emissão de CO₂ por Cenário e por Região, 2006 e 2050



Fonte IEA, 2010

Como já mencionado anteriormente, a produção de alumínio primário é altamente intensiva em energia, o que requer esforços tecnológicos permanentes de redução no consumo de energia, desde melhorias incrementais no clássico Processo Bayer na produção de alumina, na fundição e também no processo de reciclagem.

Melhorias na Tecnologia Disponível e Economia de Energia

- ✓ Processo Bayer: modificações nos equipamentos, redução de perdas de calor através de uma maior utilização de cogeração e melhor eficiência na transferência de calor. Tais medidas, dentre outras, poderiam reduzir o uso global de eletricidade e de combustível em 20% em comparação com o consumo médio atual.
- ✓ Processo de fundição: substituição de tecnologias antigas, desenvolvimento de controles de processos, melhoria no isolamento para reduzir as perdas de calor e economia no consumo de eletricidade auxiliar. No curto prazo, o objetivo da indústria de alumínio é reduzir para 14,5 MWh/t de alumínio, e com maior redução no longo prazo.
- ✓ A redução no consumo de energia também pode ser obtido na produção de ânodo e, sobretudo, no processo de reciclagem, que utiliza apenas 5% da energia em relação à produção de alumínio primário.

Custos de redução de CO₂ na indústria do alumínio

É provável que a implementação de novas tecnologias seja rentável se realizada como parte do ciclo natural de substituição da planta. Mas dada a longa vida das plantas de refinaria e de fundição, este ciclo não será suficiente para atingir as reduções de CO₂ que são necessárias nos cenários *Blue*. A estimativa de custos das novas tecnologias, que serão necessárias para atingir os cenários *Blue*, é bastante incerta, uma vez que elas ainda têm de ser comercializadas.

A partir da análise de prováveis custos das tecnologias e do volume de produção em cada cenário, os custos totais de investimento ao longo do período de 2006 a 2050, segundo os cenários *Baseline*, seriam de US\$ 660 bilhões (baixa demanda) e US\$ 910 bilhões (alta demanda). Para os cenários *Blue*, seriam

requeridos investimentos adicionais seriam US\$ 60 bilhões (baixa demanda) e US\$ 90 bilhões (alta demanda), cerca de 10% a mais que no *Baseline*. A tabela abaixo procura sintetizar as principais conclusões no que se refere aos impactos ambientais na indústria de alumínio.

Tabela 20: Síntese do Uso de Energia e Emissões de CO₂ na Produção de Alumínio em 2050 em relação a 2006

Parâmetros	Baseline BD	Baseline AD	Blue BD	Blue AD
Cenários	Evolução que se espera com a energia implementada e com as políticas climáticas atuais.		Objetivo político de reduzir pela metade o gasto de energia e as emissões.	
Demanda	2050: Aumenta demanda em setores que utilizam alumínio e aumento da população.			
	Cresce 2.7x	Cresce 3.7x	Cresce 2.7x	Cresce 3.7x
Oferta	2050: Aumenta a produção			
	91 milhões	123 milhões	91 milhões	123 milhões
Reciclagem	47 Mt	63 Mt	55 Mt	76 Mt
Energia 2006 =3.5 EJ	8.1 EJ	10.8 EJ	7.2 EJ	8.4 EJ
	O uso de energia cresce menos que a produção (melhorias de eficiência de fundição e refino)		Desenvolvimento de tecnologias existentes + novas tecn.	wetted drained cathodes + anodos inertes + red carbot.
Refino 2006 = 16 GJ/t	14 GJ/t			
Fundição 2006 = 15.2 MWh/t	13 MWh/t		10.5 MWh/t	
Emissão GEE 2006 = 0.4 Gt	1 Gt	1.4 Gt	0.3 Gt	0.3 Gt
	Aumento das emissões é menor do que o aumento final de energia		70% e 80% das reduções são do uso de eletricidade de baixo carbono. Emissões diretas: reciclagem, e aumento da efic de refino e fundição	
Emissão de CO2/t de alumínio	10,98	11,38	3,29	2,43
Investimentos	660 bi	910 bi	720 bi	1000 bi

Fonte: IEA (2010).

4. Referências Bibliográficas

ABAL (2008). Associação Brasileira da Indústria do Alumínio. *A Contribuição da Indústria Brasileira do Alumínio para um Desenvolvimento Sustentável*, São Paulo, junho de 2008.

____ (2010a). Associação Brasileira da Indústria do Alumínio. *Relatório de Sustentabilidade da Indústria Brasileira de Alumínio*. São Paulo.

____ (2010b). Associação Brasileira da Indústria do Alumínio. *Anuário Estatístico*. São Paulo.

ALCOA (2006). *Seizing Global Opportunities*. 15 de Junho de 2006.

BLOMBERG, J. (2007). *Essays on the Economics of the Aluminium Industry*. Doctoral Thesis. Economics Unit, Luleå University of Technology, Department of Business Administration and Social Sciences. SE-971 87 Luleå, Sweden.

BRAZ, E. (2009). *Cenário Evolutivo da Situação Tributária da Mineração no Brasil e Análise Comparativa com Países Mineradores Selecionados*. Produto 03. Relatório Técnico 07. Consultoria contratada pelo Ministério das Minas e Energia e Banco Mundial junto a J. Mendo Consultoria.

BUNKER, S. G. CICCATELL, P. (1994). The evolution of the world aluminium industry. In: BARHAM, B., BUNKER, S. and O'HEARN, D. (eds). *States, Firms and raw materials*. The world economy and ecology of aluminum. Madison, WI: University of Wisconsin Press, 1994.

CHINA METALS (2008). *Read into China's Alumina Production Numbers*. China Economic Information Center, Xinhua News Agency, vol. 14, Nº 303, Setembro de 2008.

CICCATELL, P. (2000). Globalization, Restructuring, and Natural Resource-Based Development: aluminum in Brazil and Venezuela. *2000 Meeting of the Latin American Studies Association*. Miami: Latin American Studies Association.

CRU (2010). *The Strategic Impact of Changing Energy Markets for the Aluminium Industry*. TMS 2010, Seattle, EUA.

CRU (2011). *Trends in the Costs of Production throughout the Aluminium Value Chain*. Trabalho apresentado na 15th ARABAL Conference, realizada em Omã entre 13 e 16 de novembro de 2011.

DNPM (2011). *Sumário Mineral*. Brasília, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Disponível em www.dnpm.gov.br

DNPM (2012). *Anuário Mineral Brasileiro*. Brasília, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Disponível em www.dnpm.gov.br

ERICSSON, M. (2003). *Global Aluminium Concentrating Corporate Structures*. Stockholm: Raw Materials Group.

ERNST & YOUNG (2007). *Práticas Tributárias Internacionais na Indústria da Mineração*. 12º Congresso Brasileiro de Mineração. IBRAM, Belo Horizonte.

GAREN, J. JEPSEN, C., SCOTT, F. (2009). *Economic Forces Shaping the Aluminum Industry*. Report Prepared for the Sloan Center for a Sustainable Aluminum Industry. Department of Economics, University of Kentucky Lexington, KY

HYDRO (2008). *Investor Presentation*. Oslo: Hydro.

IAI (2010). *International Aluminium Institute*. Disponível em www.world-aluminium.org

IEA (2010). *Scenarios e Strategies 2050*. Paris, França. Disponível em www.iea.org. Consulta realizada em 20 de janeiro de 2012.

LIMA, M. H. (2004). Inovação Tecnológica e setores da indústria brasileira: o contexto da indústria extrativa e de transformação mineral. XX Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa – ENTMME, vol. 1, p. 715. Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

LME (2012) *London Metal Exchange*. Disponível em www.lme.com. Consulta realizada em 05 de janeiro de 2012.

MCT (2006). Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal. Parte 2, Brasília, DF.

MACQUARIE (2008). Macquarie Research Commodities. *China Commodities Weekly*. 04 de Agosto de 2008.

MACQUARIE (2011). *China' role in global aluminium markets – drivers over the next 10 years*. London, UK, Novembro de 2011.

MERRILL LYNCH (2008a). *Commodity Price Review*. Industry Overview. 06 de Junho de 2008

MERRILL LYNCH (2008b). *Commodity Price Review*. Industry Overview. 05 de Setembro de 2008.

METAL BULLETIN (2011). *Indian Bauxite & Alumina Industry Growth – Implications for Export Balances*. Trabalho apresentado na *Bauxite & Alumina Conference* realizada entre 7 e 9 de Março de 2011, Miami, Estados Unidos.

MINING.com(2010). *Brasil será sede de divisão da Norsk Hydro*. Disponível em www.brasil.infomine.com. 05 de maio de 2010.

PWC (2008). *Forging Ahead: mergers and acquisitions activity in the global metals industry, 2007*. London: PricewaterhouseCoopers.

SCHEPS, R. (2010). Competitiveness of Aluminum: automotive applications. *Expoaluminio 2010*. São Paulo: Associação Brasileira do Alumínio (Abal).

UBS (2008). *UBS Investment Research Mining and Steel Primer*, 10 de Junho de 2008. Disponível em www.ubs.com.

UBS (2009). *Is there value in Commodities?* UBS Investment Research. Q-Series, 05 de Fevereiro de 2009. Disponível em www.ubs.com.

UNCTAD (2012). Disponível em: www.contrade.un.org. Consulta realizada em 20/12/2011.

US *Geological Survey* (2011). Disponível em www.usgs.gov. Consulta realizada em 15/12/2011.

WEISS, R. A. (2001). A tributação na mineração brasileira: o país é competitivo internacionalmente? *Anais do Congresso Brasileiro de Mineração*, nº 9, Belo Horizonte. Instituto Brasileiro de Mineração.