3
O alumínio

O alumínio é encontrado em diversos produtos do nosso dia-a-dia como aviões, barcos, automóveis e em objetos menores, como latas para bebidas e panelas. É o terceiro elemento mais abundante na crosta terrestre, sendo também o mais moderno dos metais comuns, tendo sido isolado apenas em 1825. O seu desconhecimento ao longo do tempo, deve-se ao fato de que, ao contrário de outros elementos metálicos como o cobre ou ferro, ele não ocorre naturalmente em sua forma metálica, existindo sempre em combinação com outros elementos, principalmente o oxigênio, com o qual forma um óxido extremamente duro, conhecido como alumina. Apesar de jovem, sua produção atual supera a soma de todos os outros metais não ferrosos.

A cadeia produtiva do alumínio inicia-se na exploração da bauxita. Após a extração e processamento do minério, que envolve a passagem por um processo de lavagem e dissolução em soda cáustica, obtém-se a alumina, que pode ser transformada em alumínio metálico, através de um processo eletrolítico. O metal obtido caracteriza-se por ser resistente, anticorrosivo, reciclável, muito leve e maleável, além de bom condutor de calor e eletricidade.

As refinarias produtoras do alumínio metálico normalmente encontram-se localizadas em áreas de fácil acesso a energia elétrica, sendo este um importante item do custo de produção do metal.

A maior parcela do consumo mundial de alumínio, da ordem de 34 milhões de toneladas, está concentrada nos segmentos de embalagem (cerca de 25%), transporte (cerca de 22%) e construção civil (cerca de 20%), segundo dados de 2006 do World Metal Statistics.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0712907/CA

Na última década, por força das crises energéticas, tanto nos Estados Unidos quanto no Brasil, a produção do alumínio tem sofrido fortes oscilações. Ainda assim, o Brasil ainda se mantém como sexto produtor mundial de alumínio primário, precedido pelos Estados Unidos, Rússia, Canadá, China e Austrália. Segundo dados da Associação Brasileira do Alumínio (ABAL), a importância da indústria brasileira do alumínio no cenário mundial está na sua participação no mercado global. O Brasil, além de possuir a terceira maior jazida de bauxita do planeta, é o quarto maior produtor de alumina e ocupa a quinta colocação na exportação de alumínio primário/ligas.

3.1. Cadeia de produção

O alumínio não é encontrado diretamente em estado metálico na crosta terrestre. Sua obtenção depende dos processos de mineração, refinaria e redução até chegar ao estado para utilização.

A principal matéria prima para a produção do alumínio é a bauxita. Depois de extraída da mina, a bauxita passa pelos processos de britagem, para redução de tamanho, lavagem com água para reduzir o teor de sílica contida na parcela mais fina e finalmente, secagem.

A refinaria é a fase do processo que transforma a bauxita em alumina calcinada. Nesta etapa, a bauxita é misturada a uma solução de soda cáustica, que dá como resultado uma pasta que, aquecida sob pressão e recebendo uma nova adição de soda cáustica, forma uma solução que passa por processos de filtragem. A alumina é o resultado do processamento químico da bauxita, conhecido como processo Bayer. Através de uma reação química, a alumina é então precipitada através do processo de cristalização. O material cristalizado é lavado e secado através de aquecimento para que o primeiro produto do processo de produção do alumínio, o óxido de alumínio de alta pureza, ou alumina (um pó branco e refinado), seja obtido.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0712907/CA

A alumina produzida será o principal insumo para a produção do alumínio que, através de um processo eletrolítico, mais conhecido como processo Hall-Hérould, em homenagem aos cientistas Paul Louis Toussaint Héroult e Charles Martin Hall, é transformada em alumínio metálico.

Segundo a ABAL, a produção de alumínio é altamente intensiva em consumo de energia elétrica, porém vem decrescendo ao longo do tempo (enquanto em 1940, a indústria consumia 24.000 KWh/t, os *smelters* atuais consomem cerca 13.000 KWh/t).

Quanto aos volumes utilizados na cadeia de produção do alumínio, são necessárias aproximadamente 4,49 toneladas de bauxita para a produção de 1,95 toneladas de alumina, que finalmente são necessárias para produzir 1 tonelada de alumínio.

A Figura 1 a seguir resume graficamente as etapas da cadeia produtiva do alumínio:

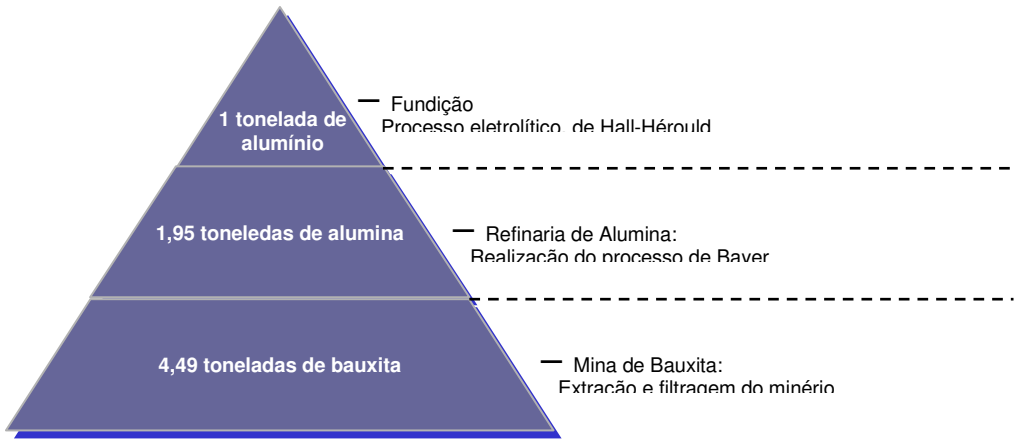

Figura 1: Cadeia de produção do alumínio,
Fonte: ABAL

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0712907/CA

Após sua produção, o alumínio pode ser transformado em diversos produtos semimanufaturados, por exemplo:

- **Perfis extrudados**: muito utilizado na construção civil, transformam-se em esquadrias e divisórias;
- **Chapas**: utilizadas na fabricação de latas, carrocerias, telhas, etc.;
- **Folhas**: de diversas espessuras, são normalmente aplicadas em embalagens rígidas;
- **Fios e cabos**: utilizadas para transmissão de energia;
- **Fundidos e forjados**: utilizados na fabricação de componentes de automóveis, como rodas e motores;
- **Pastas e pó**: utilizado em produtos químicos e medicamentos;

Por outro lado, o alumínio pode ser substituído pelo cobre em muitas aplicações, principalmente no setor elétrico. O magnésio e o titânio são substitutos para o alumínio em diversos usos estruturais e de transporte. O aço e o ferro competem com o alumínio na construção civil. Na indústria de embalagens, o aço, o plástico, o vidro e o papel são seus concorrentes.

Importante destacar a crescente recuperação de sucata de alumínio, que é uma atividade altamente benéfica, tanto em termos ambientais como em termos de economia de energia. Ao contrário de outros materiais, o alumínio pode ser reciclado infinitas vezes, sem perder suas características no processo de reaproveitamento. A reciclagem propicia a produção de alumínio de qualidade semelhante ao metal primário, mas com uma economia de 95% de energia. Nas últimas décadas, a reciclagem no Brasil vem crescendo fortemente, principalmente em relação às latas de refrigerantes e cervejas. Segundo dados da ABAL, a reciclagem de latas vem aumentando ano após ano, tendo alcançado cerca de 80% em 2006.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0712907/CA

3.2.
A indústria do alumínio

3.2.1.
A indústria de bauxita

De acordo com informações do International Aluminium Institute (IAI), a maior parte das reservas de bauxita no mundo encontra-se localizada em regiões tropicais e subtropicais. Os principais produtores mundiais são a Austrália, Guiné, Jamaica, Brasil e China.

O Brasil é o terceiro maior detentor de reservas de bauxita do mundo, com aproximadamente 3,5 bilhões de toneladas. As reservas brasileiras são caracterizadas por apresentarem características tanto de grau metalúrgico (83,7%), utilizadas na produção de alumínio primário, bem como de grau não-metalúrgico ou refratário (16,3%).

As reservas brasileiras de bauxita são do tipo trihidratado, o que é muito positivo, pois as plantas de alumina projetadas para utilizarem bauxitas trihidratadas exigem pressões e temperaturas mais baixas, o que implica custos de tratamentos menores. Além disso, as reservas brasileiras apresentam características químicas que se enquadram nos padrões exigidos pelo mercado mundial, tanto para grau metalúrgico como para refratário.

Cinco estados brasileiros (São Paulo, Pará, Santa Catarina, Minas Gerais e Maranhão) são detentores de reservas de bauxita de grau metalúrgico. Essas reservas encontram-se altamente concentradas geograficamente. Somente no estado de Pará encontram-se 90,8% dessas reservas que, quando somadas às reservas de Minas Gerais, perfazem 98,3%.

O mercado produtor de bauxita no Brasil é concentrado nas empresas Mineração Rio do Norte (MRN), Companhia Brasileira de Alumínio (CBA) e Alcoa, que respondem pela quase totalidade da produção de bauxita de grau metalúrgico. Conforme a tabela 1 abaixo, extraído com dados da ABAL, estas empresas garantem não só a auto-suficiência brasileira em bauxita como também permite a exportação do produto.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0712907/CA

Composição	2004	2005	2006
Suprimento	**20.548**	**22.081**	**22.914**
Produção	**20.512**	**22.035**	**22.836**
Alcan Alumínio do Brasil Ltda	-	-	-
Alcoa Alumínio S.A.	789	1.068	1.181
CBA - Cia. Brasileira de Alumínio	2.233	2.461	2.785
MRN - Mineração Rio do Norte S.A.	16.749	17.211	17.750
Novelis do Brasil Ltda	-	452	461
Outros	742	842	659
Importações	**37**	**47**	**78**
Consumo doméstico	**12.564**	**13.043**	**16.681**
Usos metálicos	11.861	12.200	15.848
Outros usos	703	843	833
Exportações	**7.291**	**7.509**	**5.310**

Tabela 1: Produção de bauxita (em 1.000 toneladas)
Fonte: ABAL

3.2.2. A indústria de alumina

O maior produtor mundial de alumina é a Austrália, seguida dos Estados Unidos, Brasil, Canadá e Rússia. Atualmente, o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de alumina, sendo a Austrália o maior produtor, respondendo por 30,0%, seguida dos EUA que responderam por 12%.

Atualmente, o Brasil conta com cinco refinarias de alumina localizadas em quatro estados: Minas Gerais (Alcan e Alcoa), São Paulo (CBA), Maranhão (Alcan, Alcoa e BHP Billiton, que formam o consórcio Alumar, instalado em São Luis-MA) e Pará (Alunorte), conforme apresentado na tabela 2.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0712907/CA

Composição	2004	2005	2006
Suprimento	**5.135**	**5.227**	**6.793**
Produção	**5.127**	**5.191**	**6.720**
Alcan Alumínio do Brasil Ltda	272	137	144
Ouro Preto - MG	132	-	-
São Luís - MA	140	137	144
Alcoa Alumínio S.A.	1.074	1.105	1.163
Poços de Caldas - MG	321	364	369
São Luís - MA	753	741	794
Alunorte - PA	2.548	2.570	3.939
BHP Billiton Metais S.A. - MA	502	484	504
CBA - Cia. Brasileira de Alumínio - SP	730	771	841
Novelis Brasil Ltda - MG	-	123	130
Importações	**8**	**36**	**73**
Consumo doméstico	**3.004**	**3.020**	**3.241**
Usos metálicos	2.820	2.886	3.098
Outros usos	183	133	143
Exportações	**1.921**	**2.327**	**3.381**

Tabela 2: Produção de alumina (em 1.000 toneladas)
Fonte: ABAL

A seguir, podem-se observar os percentuais dos custos diretos internacionais de produção de alumina na tabela 3.

	Alumina
Matéria-Prima	**61**
Bauxita	32,2
Alumina	–
Soda Cáustica	4,7
Gás Natural	14,2
Outros	10
Mão-de-Obra	**15,6**
Energia	**–**
Outros Custos	**23,4**
Custo Direto	**100**

Tabela 3: Custos de produção de alumina (em %)
Fonte: ABAL

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0712907/CA

3.2.3
A produção de alumínio

Conforme dados do IAI, os Estados Unidos são o maior produtor mundial de alumínio. Em seguida, destacam-se Rússia, China, Canadá, Austrália e Brasil, que juntos produziram cerca de 62% da produção mundial. Os maiores grupos produtores mundiais são Alcoa, Alcan, Russian Aluminium, BHP Billiton, Norsk Hydro, Rio Tinto, e Vale.

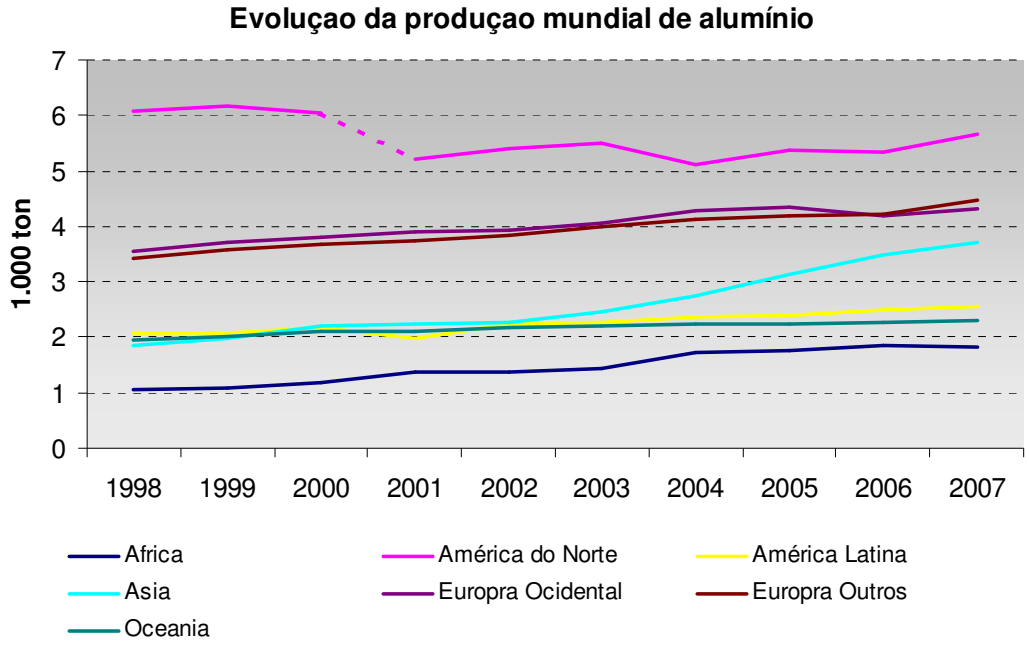

Figura 2: Evolução da produção mundial de alumínio
Fonte: IAI

Importante notar no comportamento histórico da produção de alumínio a queda apresentada no ano de 2001 na América do Norte, conforme figura 2. Como já citado, a produção de alumínio é intensiva em energia elétrica e este foi o ano de racionamento de energia naquela região. Face ao racionamento e aumento do preço da energia, os *smelters* decidiram por reduzir os níveis de produção.

No Brasil, a produção do alumínio é realizada pelas empresas Alcan, Alcoa, Valesul, Albrás, BHP Billiton e CBA. As unidades produtivas estão localizadas principalmente no Pará, Minas Gerais e Rio de Janeiro (tabela 4).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0712907/CA

Composição	2005	2006	2007
Produção	**1.498**	**1.605**	**1.655**
Albrás - PA	450	460	459
Alcoa Alumínio S.A.	301	357	365
Poços de Caldas - MG	95	96	96
São Luís - MA	206	261	269
BHP Billiton Metais S.A. - MA	175	177	179
CBA - Cia. Brasileira de Alumínio - SP	370	405	451
Novelis Brasil Ltda - MG	108	110	107
Ouro Preto - MG	51	51	48
Aratu - BA	57	59	59
Valesul - RJ	94	96	94

Tabela 4: Produtores instalados no Brasil (em 1.000 toneladas)
Fonte: ABAL

Os principais insumos para a produção de alumínio durante o processo de redução são alumina e energia elétrica. Conforme dados da ABAL, colhidos junto aos *smelters* nacionais, os parâmetros de consumo de matérias-primas, combustíveis fósseis e outros itens na produção de alumínio primário são apresentados na tabela 5:

Insumo	Utilização
Alumina	1.930kg/t Al
Energia elétrica	14 a 16,5 mwhcc/t Al
Criolita	12 kg/t Al
Fluoreto de alumínio	20 a 30 kg/t Al
Coque de petróleo	0,4 a 0,5 kg/kg Al
Piche	0,1 a 0,15 kg/kg Al

Tabela 5: Parâmetros de consumo
Fonte: ABAL

Utilizando a mesma fonte (ABAL), estão ilustrados na tabela 6 os percentuais dos custos diretos internacionais de produção do alumínio. Deve se destacar que os custos brasileiros são mais competitivos em relação aos custos apresentados, devido ao menor custo de transporte das matérias-primas, fatores que mais impactam os custos diretos.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0712907/CA

Participação no custo (em %)	Alumínio
Matéria-Prima	**40,1**
Bauxita	–
Alumina	27,5
Soda Cáustica	–
Gás Natural	–
Outros	12,6
Mão-de-Obra	**11,7**
Energia	**26,7**
Outros Custos	**21,5**
Custo Direto	**100**

Tabela 6: Custos de produção de alumínio (em %)
Fonte: ABAL

3.3.
Como funciona o mercado

Por ser uma *commodity*, os contratos de venda de alumínio primário seguem um padrão estabelecido na *London Metal Exchange* (LME). Como base, o alumínio negociado deve ter um mínimo de 99,7% grau de pureza (contendo no máximo 0,2% de ferro e 0,1% de sílica), a unidade básica é 25 toneladas (com tolerância de mais ou menos 2%), formato em lingotes, tarugos ou "barras-T", sob regulação da lei britânica e da *Financial Services Authorithy* (FSA).

Conforme trecho extraído do Form 20-F[1] 2007 da Vale, página 9:

> "Níquel, alumínio e cobre são vendidos num mercado global ativo e comercializados em bolsas de commodities, como a London Metal Exchange e a New York Mercantile Exchange. Os preços desses metais estão sujeitos a ampla flutuação e são afetados por vários fatores, inclusive as condições econômicas e políticas reais e esperadas, os níveis de oferta e demanda, a disponibilidade e os custos dos substitutos, estoques, investimentos por parte de fundos de commodities e outras ações de participantes do mercado de commodities. Os preços desses metais são mais voláteis do que os preços contratuais dos produtos, como o minério de ferro, pelotas e o carvão metalúrgico, porque respondem mais rapidamente a alterações reais e previstas das condições de mercado".

[1] "Form 20 F" é o nome de um documento público e obrigatório para todas as empresas que tem ações negociadas na NYSE (New York Stock Exchange), que contém muitas informações a respeito das operações, projetos e demonstrativos financeiros. Pode ser obtido no site da Securities and Exchange Comission: http://www.sec.gov/ .

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0712907/CA

Os mercados de vários tipos de *commodities* caracterizam-se por apresentar elevado grau de volatilidade. Preços e estoques, que normalmente são informações disponíveis para todos os agentes do mercado, flutuam de maneira imprevisível em curto intervalo de tempo. Segundo Pyndick (2001), em mercados de bens estocáveis, preços, níveis de produção e estoques são inter-relacionados, e são determinados via equilíbrio em dois tipos de mercados: um mercado para compras *spot* e um mercado de estoques.

Resumidamente, a volatilidade do preço determina a demanda por proteção (mais conhecido como *hedge*) por parte dos produtores e consumidores. O *hedge* contra possíveis flutuações prejudiciais para algum agente do mercado pode se dar via operações de derivativos, como contratos futuros, opções ou swaps, ou via instrumentos físicos como estoques.

Para os produtores, a manutenção de certo nível de estoque de produto permite a redução dos custos derivados de alterações de produção em resposta a alterações na demanda. Também os consumidores de *commodities* podem (e devem) manter um nível seguro de estoques de forma a garantir o suprimento e evitar paradas de fábrica. Os produtores devem então decidir o nível ótimo de produção levando em consideração as flutuações dos estoques. Essa decisão, por sua vez, é influenciada pelos preços no mercado *spot* e pelo que o autor chama de *"price for storage"* (Pindick, 2001). O preço no mercado *spot* é diretamente observável, no caso do alumínio, este é atualizado *on line* na LME. O preço para armazenamento, por sua vez, pode ser determinado pelo custo de armazenagem (aluguel de galpões, por exemplo), o custo de capital pela imobilização do produto e o *spread* entre o preço futuro e o preço *spot* da *commodity*. Esse preço é também chamado de *marginal convenience yeld*. É fácil notar que, seguindo o racional da microeconomia, só é interessante possuir estoque de produto até o nível que em que o custo para mantê-lo se iguala ao ganho representado pelo *spread* de preços.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0712907/CA

Como citado anteriormente, os estoques possuem a função de evitar custos relacionados a alterações bruscas de nível de produção para os ofertantes e de evitar paradas de produção para os consumidores. Observa-se que os estoques podem frear a volatilidade de preços de uma *commodity* no curto prazo, uma vez que o preço não é determinado apenas pelas variações de oferta e demanda, mas também pelas variações de nível de estoques em poder dos produtores e consumidores.

Para demonstrar a relação entre o mercado spot e os estoques, Pindick (2001) inicialmente define cada tipo de mercado. Para o mercado *spot* deve-se definir a demanda e a oferta. A demanda é função do preço no mercado *spot* (denotado como P), outros fatores agrupados que afetem a demanda (z_1), como crescimento econômico, e choques aleatórios ($\in$). A expressão matemática seria então:

$$Q = Q(P, z_1, \in_1)$$

Da mesma maneira, a oferta também é afetada diretamente pelo preço spot (P), fatores que afetam os custos de produção, como a energia e transporte (z_2), e choques aleatórios ($\in$). A expressão matemática seria então:

$$X = X(P, z_2, \in_2)$$

Com isso, a variação no nível de estoques num período t pode ser encontrada pela diferença entre oferta e demanda:

$$\Delta Nt = X(P, z_2, \in_2) - Q(P, z_1, \in_1)$$

Podemos derivar a função inversa da demanda da seguinte forma:

$$P_t = f(\Delta Nt, z_1, z_2, \in_t) \qquad (1)$$

A equação 1 demonstra a relação inversa entre o preço spot e as variações no estoques.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0712907/CA

A demanda por estoques, por sua vez, depende não só do preço de armazenamento (*marginal convenience yield*), como também de outros fatores: consumo presente e esperado da *commodity*, preço *spot*, volatilidade do preço (quanto maior a volatilidade, maior o incentivo para manter estoques) e choques aleatórios. A demanda por estoques é dada então pela equação 2:

$$N = N(\Psi, \sigma, z_3, \epsilon) \quad (2)$$

Onde:

- Ψ *:marginal convenience yield*
- σ *:* volatilidade
- z_3 *:* preço spot, consumo
- ϵ *:* choques aleatórios

A função inversa da demanda seria então:

$$\Psi = g(N, \sigma, z_3, \epsilon)$$

As equações $P_t = f(\Delta Nt, z_1, z_2, \epsilon_t)$ e $\Psi = g(N, \sigma, z_3, \epsilon)$ descrevem o equilíbrio dinâmico nos mercados spot e de estoque, respectivamente. Por exemplo, caso haja um aumento súbito de demanda, (e este aumento não é visto como permanente), o preço *spot* (P) aumenta imediatamente. Porém, este aumento é suavizado pelas reduções de estoques ($\Delta N < 0$). Quando a demanda voltar ao seu nível normal, o preço se reduzirá, mas não imediatamente ao nível anterior, mas a um nível pouco superior (este estado também é temporário), dado que a parte da oferta será destinada a repor os estoques. Na figura 3, é possível observar este comportamento no período de 1994 a 1995.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0712907/CA

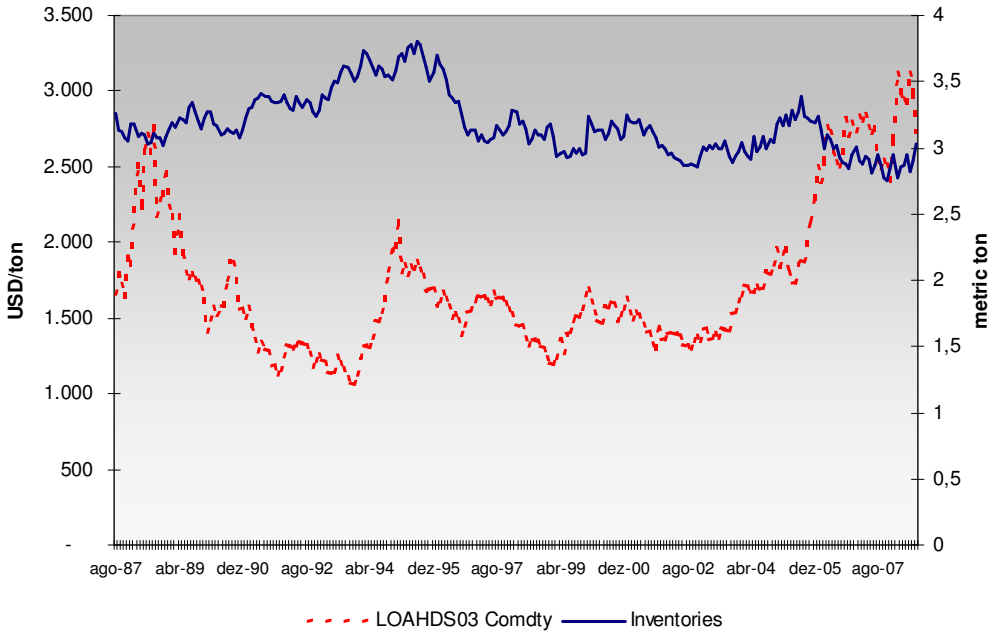

Figura 3: Cotação do alumínio primário (1987 a 2008)
Fonte: Bloomberg

Os estoques funcionam como amortecedores da volatilidade dos preços. Por exemplo: no mercado de petróleo, é comum a divulgação do nível de estoques norte-americanos. Isso porque, mantendo-se os estoques num nível razoável, os consumidores norte-americanos deixam de pressionar (ou pressionam menos) o mercado spot no curto prazo.

Importante frisar que não só o alumínio, como também os preços da bauxita e da alumina são baseados na LME. Os preços desses itens são determinados por fórmulas baseadas no preço do alumínio para contratos futuros de três meses na LME.

O mercado de alumina é competitivo, porém pequeno, se comparado ao do alumínio primário, porque muitas das principais empresas produtoras de alumínio integraram suas operações de bauxita, alumina e alumínio. A concorrência no mercado de alumina baseia-se principalmente na qualidade, confiabilidade de abastecimento e preço, que são diretamente relacionados a baixos custos.

O mercado global de alumínio, por sua vez, é altamente competitivo. Os maiores produtores mundiais são Alcoa, Rusal, Rio Tinto, Norsk Hydro, BHP Billiton e Chalco. Como o alumínio primário é uma *commodity*, a concorrência no mercado de alumínio apóia-se

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0712907/CA

principalmente nos fatores econômicos relacionados ao transporte e aos custos de produção.

Dois pontos merecem ser levantados, no que se refere aos produtores nacionais de alumínio, foco deste estudo. O primeiro é que os maiores *smelters* brasileiros (Albrás e CBA) não possuem poder de mercado para influenciar as cotações do alumínio na LME, dado que o volume de produção atual representa cerca de 5% da produção mundial. Assim, para o prosseguimento deste trabalho, as cotações da *commodity* serão tratadas como dados do problema. O segundo ponto é que a competitividade dos *smelters* situados no Brasil está diretamente relacionada à suas capacidades em obter energia elétrica a um custo competitivo.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0712907/CA