

ASPECTOS TECNOLÓGICOS E ECONÔMICOS DA INDÚSTRIA DE ALUMÍNIO

*Marisa B. de Mello Monte
Rupen Adamian*

SED22

CE

CNPq

CETEM

PRESIDENTE DA REPÚBLICA: Itamar Franco
MINISTRO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA: José Israel Vargas

PRESIDENTE DO CNPq: Lindolpho de Carvalho Dias
DIRETOR DE DESENV. CIENT. E TECNOLÓGICO: José Ubirajara Alves
DIRETOR DE PROGRAMAS: Eduardo Moreira da Costa
DIRETOR DE UNIDADES DE PESQUISA: Luiz Bevilacqua

CETEM - CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

CONSELHO TÉCNICO-CIENTÍFICO (CTC)

Presidente: Roberto C. Villas Bôas

Vice-presidente: Antônio Gonçalves Dias

Membros Internos: Juliano Peres Barbosa; Luiz Gonzaga Sobral; Ronaldo Luiz Correa dos Santos e Fernando Freitas Lins (suplente)

Membros Externos: Antonio Dias Leite Junior; Arthur Pinto Chaves; Octávio Elísio Alves de Brito; Saul Barisnik Suslick e Luiz Alberto C. Teixeira (suplente)

DIRETOR: Roberto C. Villas Bôas

DIRETOR ADJUNTO: Antônio Gonçalves Dias

DEPTº DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS (DTM): Adão Benvindo da Luz

DEPTº DE METALURGIA EXTRATIVA (DME): Juliano Peres Barbosa

DEPTº DE QUÍMICA INSTRUMENTAL (DQI): Roberto Rodrigues Coelho

DEPTº DE ESTUDOS E DESENVOLVIMENTO (DES): Celso de O. Santos

DEPTº DE ADMINISTRAÇÃO (DAD): Denyr Pereira da Silva



ISSN - 0103-6319

Marisa Bezerra de Mello Monte

Engenheira Química (UFRJ), M.Sc. em Engenharia Metalúrgica e de Materiais (COPPE/UFRJ). Atua no CETEM, como bolsista RHAÉ, desde 1989, especialmente na área de flotação de minérios e em projetos de pesquisa relacionados à área de tratamento ambiental.

Rupen Adamian

Engenheiro Metalurgista e de Minas (1963), Doutor pela Faculté des Sciences de Paris (1970). Trabalhou em redução de minérios de ferro e aspectos básicos da flotação de minérios. Atualmente, como Professor Titular do Departamento de Metalurgia da UFRJ, se concentra nos aspectos tecnológicos e econômicos dos chamados "novos materiais".

Tambo: 006219

SED 22
CE
EX-2

MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia



CETEM - Centro de Tecnologia Mineral

1994

CT-006108-1

Editor

Ronaldo Luiz C. dos Santos

Conselheiros Internos

Maria Laura T. M.G. C. Barreto, Irene C. de M. H. de Medeiros Portela, Francisco E. de Vries Lapido Loureiro, Francisco R. C. Fernandes.

Conselheiros Externos

Luís Henrique Sanchez (USP), José Raimundo A. Ramos (UFRJ), Eduardo C. Damasceno (USP), Saul Barisnik Suslick (UNICAMP), Abraham Benzaquem Sicsu (Fundação Joaquim Nabuco), Helena Maria Lastres (IBICT), Hildebrando Hermann (UNICAMP), Rupen Adamian (COPPE/UFRJ)

A **Série Estudos e Documentos** publica trabalhos que busquem divulgar estudos econômicos, sociais, jurídicos e da gestão e planejamento em C&T, envolvendo aspectos tecnológicos e/ou científicos relacionados à área minero-metalúrgica.

Dayse Lúcia M. Lima COORDENAÇÃO EDITORIAL E REVISÃO

Vera Lúcia Ribeiro EDITORAÇÃO ELETRÔNICA

Jacinto Frangella ILUSTRAÇÃO

Monte, Marisa B. de Mello e Adamian, Rupen

Aspectos tecnológicos e econômicos da indústria de alumínio / Marisa B. de Mello Monte - Rio de Janeiro: CETEM/ CNPq, 1994.

32 p.: - (Série Estudos e Documentos, 22)

1. Alumínio-indústria. 2. Alumínio - aspectos econômicos
I - Centro de Tecnologia Mineral. II - Título. III - Série.

ISBN 85-7227-050-7

ISSN 0103-6319

CDD. 338.45

APRESENTAÇÃO

A presença do alumínio no cenário nacional e as perspectivas da indústria neste fim de milênio foram apontadas de maneira magistral por Raymundo de Campos Machado, em edições da Fundação Gorceix de 1985 a 1988, respectivamente.

Recentemente, a *Série Qualidade e Produtividade do CETEM* publicou um notável trabalho sobre a competitividade da Indústria do Alumínio no Brasil, de autoria de James Weiss, da Fundação Getúlio Vargas e IPT.

Na seqüência destes três textos acima, que, embora não esgotando o assunto, é óbvio, colocam o leitor dentro da problemática da indústria, o presente texto, de autoria de Rupen Adamian, da COPPE/UFRJ e Marisa Monte, Bolsista RHAÉ deste Centro, dará surgimento a novas proposições e questões que circundam este extraordinário metal que é o alumínio.

Roberto C. Villas Bôas
Diretor do CETEM

	CETEM
PATRIMÔNIO	
17-B -	6156
COL. DE	VOL. VOL N°
DATA	21/06/95
REG. N°	
BMB	

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	3
2. BREVE HISTÓRICO E EVOLUÇÃO DA INDÚSTRIA DE ALUMÍNIO NO BRASIL.....	5
3. ASPECTOS TECNOLÓGICOS NA PRODUÇÃO DE ALUMÍNIO PRIMÁRIO	10
3.1 Processo Hidrometalúrgico para Obtenção de Alumina.....	11
3.2 Redução de Alumínio	14
4. PANORAMA DO MERCADO MUNDIAL.....	17
4.1 Produção, Consumo e Preços	17
4.2 Evolução Qualitativa do Mercado Consumidor.....	23
4.3 Tendências Mundiais	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30

1. INTRODUÇÃO

O alumínio é um metal novo em relação aos demais. Tornou-se industrial depois que, há cerca de cem anos, Hall (EUA) e Heroult (França), simultânea e independentemente, descobriram um processo para reduzir a alumina. Nesse processo, a alumina (Al_2O_3) sofre redução eletrolítica em um banho de fluoretos, demandando alto consumo energético da ordem de 17.000 kWh/t de Al. O processo Hall-Heroult permitiu a produção do alumínio em larga escala e, mais uma vez, o progresso na utilização de materiais dependeu da tecnologia de processos.

As ligas mais úteis, para fins estruturais, surgiram a partir de 1920, quando se descobriu o processo de endurecimento do metal por solubilização e envelhecimento.(1) Isto produziu ganhos muito significativos em propriedades mecânicas como limite de escoamento e limite de resistência. O alumínio já substituiu o cobre em várias aplicações que supõem condutividade elétrica e térmica elevadas. Nessas aplicações surgem freqüentemente limitações devidas às dificuldades de soldagem. Mais uma vez procuram-se processos ou alterações de projeto para contornar o problema. Alguns importantes avanços vêm sendo feitos em processos de produção do alumínio metálico, de suas ligas e compósitos, objetivando aperfeiçoar suas propriedades e agregar valor ao metal.(2)

A presente monografia apresenta inicialmente um breve histórico da indústria de alumínio no Brasil. Faz-se também, uma revisão das inovações tecnológicas mais recentes - até 1993 - no setor de produção de alumínio metálico, objetivando o melhoramento da qualidade e do desempenho de seus produtos. Além da evolução qualitativa do mercado consumidor, são analisados os fatores que levaram ao enfraquecimento desse segmento industrial e, como conseqüência, o aumento

dos estoques e a instabilidade dos preços do metal. Concluindo, são discutidos, também, os possíveis efeitos das medidas tomadas para elevar o grau de competitividade desse setor industrial.

2. BREVE HISTÓRICO DA EVOLUÇÃO DA INDÚSTRIA DE ALUMÍNIO NO BRASIL

A expressão "indústria de alumínio" engloba aqui todas as etapas necessárias à obtenção de produtos acabados de alumínio, desde a bauxita até os transformados, passando pela produção de alumina e pela redução do metal.

O setor de transformados é tradicionalmente o mais ágil, uma vez que requer menores investimentos iniciais. Utiliza tecnologia bem conhecida e de fácil acesso, além de permitir rápida adaptação às exigências do mercado, através de uma fácil conversão da linha de fabricação a novos produtos. Tais características fizeram com que esse setor fosse o primeiro da indústria do alumínio a ser implantado no país, criando condições de mercado para a implantação de usinas produtoras de alumínio primário.

A indústria do alumínio no Brasil - no que se refere à produção primária - teve início em 1945 com a ELQUISA.⁽³⁾ A fábrica em Saramenha, Ouro Preto, estava programada para produzir 10.000 toneladas anuais de alumina e 1.500 toneladas anuais de alumínio. No entanto, a fábrica paralisou suas atividades em agosto de 1946, pois estava debilitada financeiramente e incapaz de responder à concorrência internacional.⁽⁴⁾ Em 1950 a ALCAN, de capital canadense, comprou as instalações da ELQUISA, iniciando a produção regular, em Ouro Preto (MG). Em 1955 entrou em funcionamento a CBA - Companhia Brasileira de Alumínio, ligada ao conglomerado VOTORANTIM, mantendo-se até hoje como único produtor de capital exclusivamente nacional. Essas duas empresas dominaram o mercado de alumínio primário até 1970. Com a entrada da ALCOA como produtora naquele ano, pôde ser observada uma expansão da capacidade produtiva: a ALCAN inaugurou uma nova unidade na Bahia e a CBA promoveu a duplicação de suas instalações no município de

Alumínio (ex-Mairinque), SP. Acentuou-se, em seguida, o processo de verticalização das empresas produtoras de alumínio primário. É interessante observar uma certa "especialização" referente aos produtos finais: a CBA se concentrava na produção de cabos e alumínio para uso na siderurgia, enquanto a ALCAN se voltava para a produção de pós, pastas e manufaturados de uso doméstico.

Embora a indústria de alumínio tenha apresentado notáveis índices de crescimento, durante o período entre 1950 e 1974, a sua produção não foi suficiente para atender à demanda interna.

Em dezembro de 1976, o governo brasileiro aprovou o projeto VALESUL, o que resultou na instalação de uma usina localizada em Santa Cruz, no Rio de Janeiro. Esse projeto foi realizado pela CVRD (61%) em associação com a SHELL (35%) e a REYNOLDS (4%), esta última fornecendo a tecnologia, e apresentou-se como alternativa imediata para a escassez crônica do metal na época, tendo entrado em operação em 1982.

A primeira corrida de alumínio do complexo integrado ao Programa Grande Carajás ocorreu em julho de 1984. Nessa época, a capacidade instalada era de 100 mil toneladas/ano, havendo planos para se expandir o complexo para dois milhões de t/ano de alumina e 300 mil t/ano do metal. A Figura 2 (5) apresenta a produção de bauxita e de alumina no Brasil no período de 1978 a 1991. A indústria de alumínio consome cerca de 90% de toda a bauxita produzida; os 10% restantes são utilizados na produção de abrasivos, refratários, catalisadores, produtos químicos e cimento.

O volume de bauxita (base seca) produzido em 1991 (10.414 mil toneladas) representou ligeiro acréscimo de 5,4% em relação ao ano anterior, com especial destaque para a Mineração Rio do Norte na extração do minério na mina de Trombetas no Pará.

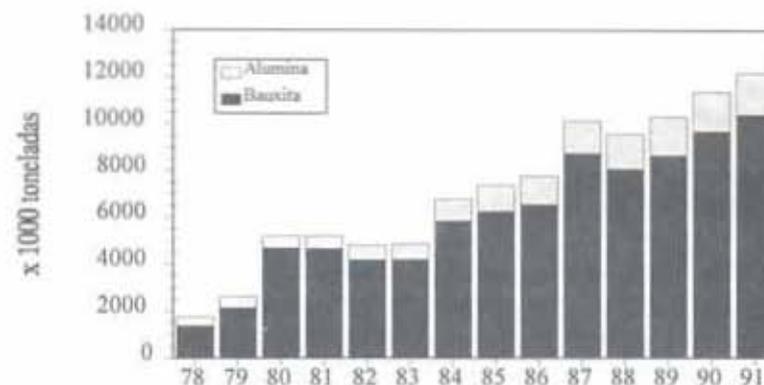


Figura 1 - Produção de bauxita e alumina no Brasil (5).

A Mineração Rio do Norte S/A prevê expandir sua atual capacidade de 8,5 milhões de toneladas para 10 milhões em 1995 e para 12 milhões a partir do ano 2000, com vistas a atender, principalmente, ao aumento da demanda interna, com a entrada em operação da fábrica de alumina da ALUNORTE, prevista para meados desta década.(5)

A Figura 2 (5,6) apresenta a evolução da produção nacional e do consumo doméstico, das exportações e das importações de alumínio entre 1975 e 1992. Observam-se pequenas variações do crescimento da produção nos anos de 1978 a 1982, que podem ser creditadas à retração do mercado interno, face à recessão atravessada pelo país. De fato, a grande expansão da indústria nacional se dá a partir de 1982, quando entra em operação a usina da VALESUL. Em 1983 percebe-se a retomada do crescimento da produção, com a entrada de novas usinas e o redirecionamento das empresas para o mercado externo, como alternativa à queda do crescimento da demanda nacional. Em 1984, a usina ALUMAR (ALCOA + BILLITON), localizada em São Luiz (MA), iniciou sua produção, fabricando 100 mil toneladas/ano. A ALBRÁS (CVRD +

consórcio japonês) entrou em operação em meados de 1985, fabricando 80 mil toneladas/ ano.

O Brasil, com uma produção de 873 mil toneladas, foi responsável, em 1989, por 6,5% da produção mundial.(7) Em 1991, o Brasil continuou mantendo a posição de quarto maior produtor do Ocidente ou de quinto produtor mundial, se considerada a produção dos países do antigo bloco socialista.

Em 1991, o mercado interno de transformados registrou relativa recuperação em relação ao ano anterior, (crescimento de 6,5%) ao atingir 338 mil toneladas. O volume de metal exportado totalizou 829 mil toneladas, das quais 784 mil de alumínio primário, 4 mil de ligas secundárias e 41 mil de semi manufaturados e acabados. Comparado às exportações efetuadas no ano anterior, apresentou um aumento significativo de 29,7%.

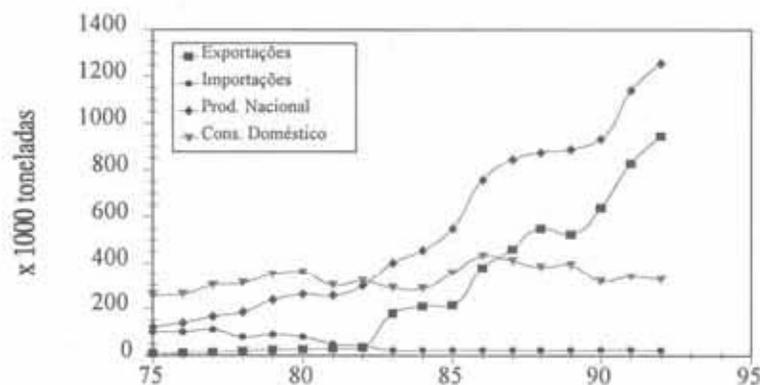


Figura 2 - Evolução da produção nacional e do consumo doméstico, das importações e exportações de alumínio entre 1975 e 1992 (5,6).

Composta por seis produtores de metal primário, com sete usinas instaladas e por aproximadamente 300 empresas transformadoras, a indústria do alumínio primário produziu 1195 mil toneladas em 1992, registrando um crescimento de 22,5% em comparação ao ano anterior.(5,7) No entanto, apenas a CBA conseguiu apresentar lucro, enquanto as demais tiveram prejuízos significativos e grandes reduções em seus patrimônios. A Tabela 1 (5) apresenta a capacidade de produção instalada de alumínio primário.

Conforme relatado no anuário da ABAL,(5) a CBA tem planos de elevar sua capacidade para 360 mil toneladas a partir de 1996. A Vale do Rio Doce Alumínio S/A-ALUVALE não prevê expansão de sua unidade localizada em Santa Cruz (RJ), devendo ser mantida sua capacidade atual de 93 mil toneladas.

A ALCAN Alumínio do Brasil S/A., em sua unidade industrial, instalada em Aratu (BA), operou com capacidade de 58 mil toneladas em 1991 e não tem previsão de aumentá-la.

A ALCOA Alumínio S/A. continua sem previsão de expandir sua unidade de Poços de Caldas (MG), bem como a de São Luís (MA), no consórcio Alumar.

Tabela 1 - Capacidade de produção instalada de alumínio primário

Acionistas	Localização das unidades industriais	1989	1990*	1991
ALBRÁS	Belém - PA	160	300	334
ALCAN	Ouro Preto - MG	60	60	55
	Aratu - BA	58	58	58
BILLITON/ ALCOA	São Luís - MA	245	332	351
	Poços de Caldas - MG	90	90	90
ALUVALE/ BILLITON	Santa Cruz - RJ	86	93	93
CBA	Mairinque - SP	170	196	215
TOTAL		869	1129	1196

*A partir de 1990, os dados aqui apresentados indicam a capacidade efetiva de produção. No ano anterior refere-se à capacidade nominal.

Fonte: ABAL

3. ASPECTOS TECNOLÓGICOS NA PRODUÇÃO DE ALUMÍNIO PRIMÁRIO

A obtenção de alumínio primário é realizada em duas grandes fases, a saber:

- a) processo hidrometalúrgico para a obtenção de alumina e
- b) redução do óxido através de eletrólise em banhos de sais fundidos.

A bauxita é a principal fonte natural da obtenção do metal. Trata-se de uma mistura de óxidos de alumínio hidratado, combinados com impurezas, como óxidos de ferro, de titânio e de silício.

Embora a bauxita seja relativamente abundante, depósitos contendo altos teores de óxido *aproveitável* do metal ($Al_2O_3 \geq 50\%$) são mais freqüentes em regiões de clima tropical e subtropical, concentrando-se em países em desenvolvimento. A Tabela 2 (8) apresenta as reservas mundiais estimadas de bauxita. Países como Guiné, Brasil, Jamaica, Índia, Camarões e Guianas possuem acima de 60% da reserva total mundial de bauxita, enquanto que países de economia centralizada e desenvolvida como um todo detêm somente 24% do total das reservas.

O território brasileiro, situado em sua maior parte na zona intertropical, possui uma grande variedade de depósitos de bauxita, cuja gênese foi controlada sobretudo pelas condições climáticas e geomorfológicas.(9) A primeira região em importância localiza-se na Amazônia Oriental, incluindo os ricos depósitos do Estado do Pará, a parte oeste do Estado do Maranhão, a leste do Estado do Amazonas e o sul do Estado do Amapá. Além dessa, tem-se a região sudeste do Brasil, abrangendo as zonas sul e sudeste do Estado de Minas Gerais,

incluindo o Quadrilátero Ferrífero e a Serra do Espinhaço, o sul do Estado do Espírito Santo, o Estado do Rio de Janeiro e a parte leste do Estado de São Paulo. O depósito de Lages em Santa Catarina pode também ser considerado como pertinente a essa província.

Tabela 2 - Reservas estimadas de bauxita em alguns países.

	Milhões de toneladas		Total mundial (%)	
	a	b	a	b
Guiné	8330	5900	33,9	26,3
Brasil	2540	2300	10,3	10,3
Jamaica	1530	2000	6,2	8,9
Índia	1420	1200	5,8	5,4
Camarões	1020	n.a.	4,1	n.a.
Guiana	1000	700	4,1	3,1
Venezuela				
Suriname	490	600	2,0	2,7
Serra Leoa	130	n.a.	0,5	n.a.
Outros (1)	5410	n.a.	22,0	n.a.
PEC (2)	500	1200	2,0	5,4
Total Mundial	24600	22400	100	100

(1) Austrália, Canadá, USA.

(2) "Países de Economia Centralizada": ex-URSS, China, etc.

Nota: O valor expresso na coluna "Total Mundial" não é igual à soma dos valores de produção dos países citados.

Fontes: a) UNCTAD, The World Market of Bauxite: Characteristics and Trends (1978) b) United States Bureau of Mines, Mineral Commodity Summaries 1982.

3.1 Processo Hidrometalúrgico para a Obtenção de Alumina

Atualmente, a alumina necessária à obtenção de alumínio é produzida basicamente pelo processo Bayer. Cerca de 90% da produção mundial de alumina é obtida através desse processo. No entanto, vários grupos de pesquisadores tentam melhorá-lo ou encontrar processos alternativos viáveis comercialmente.(10)

A bauxita, previamente seca e moída abaixo de 1,65 mm, é lixiviada em autoclaves, em uma solução de soda cáustica:

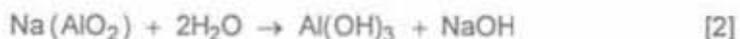


A bauxita brasileira tri-hidratada é solubilizada a baixas temperaturas (entre 140 e 145°C). Quanto maior for a concentração de soda cáustica, mais rápida é a taxa de dissolução. Entretanto, soluções com alto teor de soda precisam ser bastante diluídas antes de passarem para o estágio de precipitação com $\text{Al}(\text{OH})_3$. Dessa forma, deve-se procurar um valor ótimo de concentração que seja conveniente tanto para a etapa de lixiviação como para as subseqüentes.

Os óxidos de ferro e de titânio contidos na bauxita não são lixiviados pela soda e são deixados no resíduo, conhecido como lama vermelha. Uma parte da sílica é dissolvida e reage com alumina e o hidróxido de sódio, formando um silicato duplo de alumínio e sódio ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), o qual também é insolúvel no meio reacional.

Após a lixiviação, a solução contendo aluminato de sódio é levada a espessadores e tanques de clarificação. A fim de encurtar o tempo de precipitação das impurezas a polpa pode ser resfriada; além disso, podem-se utilizar floculantes poliméricos para diminuir o tempo de residência nessa etapa de precipitação. Os sólidos precipitados consistem na, então chamada, lama vermelha, que durante algum tempo era simplesmente descartada, mas atualmente pode ser reutilizada para recuperação de algumas impurezas como ferro e titânio.

O aluminato de sódio contido na solução clarificada é submetido a uma hidrólise, precipitando hidróxido de alumínio, que é então espessado e filtrado.



A alumina é, assim, obtida pela calcinação do hidróxido:



Na Tabela 3 apresenta-se a listagem dos principais insumos envolvidos na produção da alumina. (5)

Durante o processo Bayer, a solução cáustica, que permanece após a precipitação da maior parte da alumina, volta à etapa inicial do processo, para lixiviar mais bauxita. O gálio, que é quase sempre recuperado industrialmente como subproduto do processamento da bauxita, é enriquecido na solução de aluminato de sódio, à proporção que a mesma é reciclada durante o processo.

Tabela 3 - Principais insumos para a produção de 1000 toneladas de alumina pelo processo Bayer

Insumos	Consumo Específico
Bauxita	3965,7 t
Óleo combustível	159,7 t
Soda Cáustica	163,6 t
Energia	1379,3 kWh

Fonte: ABAL 1991

Atualmente, o gálio é comercialmente extraído dos licores Bayer por dois principais processos, (11) a saber:

- a) processo de carbonatação (Beja) e
- b) processo de eletrólise direta (La Bretèque)

O processo de carbonatação da ALCOA utiliza CO_2 para o tratamento da solução de aluminato de sódio. O primeiro estágio envolve a carbonatação controlada dessa solução, resultando na precipitação da alumina, enquanto 90% do gálio mantém-se em solução. Na próxima etapa, ocorre uma segunda

carbonatação do licor resultante, porém mais rápida que a primeira, precipitando o gálio e um pouco da alumina remanescente. O concentrado de gálico, assim obtido, é redissolvido em soda cáustica, sendo suficientemente rico em gálio (3 a 10 g/l), para permitir sua deposição eletrolítica.

A empresa ALUSUISSE produz o gálio pela eletrólise direta do licor Bayer concentrado. A eletrólise direta ocorre em células que, operadas continuamente, utilizam um catodo de mercúrio e anodo de níquel (células La Bréteque). A combinação de uma elevada superfície catódica e da amalgamação do gálio no catodo líquido permite a deposição do gálio proveniente de soluções com concentrações menores que 0,3 g/l. Quando o gálio no amálgama atinge cerca de 1%, ele é lixiviado com soda cáustica e a solução é eletrolisada, obtendo-se o gálio metálico de uma maneira similar à última etapa do processo BEJA.

A RHÔNE-POULENC S/A., uma das maiores produtoras mundiais de gálio, utiliza o processo de extração por solventes. A solução de aluminato de sódio proveniente do processo Bayer é submetida a uma etapa de extração por solvente, usando Kelex 100 como extratante, altamente seletivo para o gálio em relação aos outros dois principais elementos contaminantes: Al e Na. Já a Sumitomo Chemical Co. Ltd., do Japão, extrai o gálio diretamente do licor Bayer, através do processo de troca iônica.

O Brasil, tanto pelas reservas de bauxita, quanto pelas usinas de alumínio, se apresenta com um grande potencial, podendo vir a ser um futuro produtor de gálio. Em nosso país, o CETEM (11) está desenvolvendo um trabalho de pesquisa objetivando a recuperação do gálio oriundo dos licores Bayer através da técnica de extração por solventes.

3.2 Redução do Alumínio

O processo Hall-Heroult consiste na eletrólise, em banho de criolita (Al_3F), da alumina previamente fundida. Uma

apresentação simplificada das reações que ocorrem nos eletrodos da célula é dada a seguir:

reação catódica



reação anódica



Também no anodo:



Adicionando as equações [4], [5] e [6] obtém-se a reação global:



A eletrólise processa-se em célula cujo catodo é constituído por blocos de carbono, fixos, enquanto o anodo é móvel.

Tem-se verificado que, por questões de desenvolvimento tecnológico, usinas com produção de até 100.000t/ano - as pioneiras - utilizam mais freqüentemente anodos feitos com pasta Söderberg (75% de coque de petróleo calcinado e 25% de piche); em usinas com produção acima de 100 000 t/ano, utilizam-se anodos pré-cozidos (a composição é semelhante à da pasta Söderberg).

Estão em curso pesquisas visando à substituição dos atuais eletrodos de carbono (0,5 kgC/kgAl) por eletrodos inertes permanentes.(10) Resultados promissores têm sido obtidos recentemente, com anodos inertes e catodos cobertos com TiB_2 para a obtenção do metal. Certamente, é de suma

importância o aprimoramento dos anodos utilizados, no sentido de aumentar sua durabilidade.

Uma diminuição do consumo de energia é, e deverá ser, a meta mais importante a ser atingida no futuro, devido ao contínuo aumento nos custos da energia elétrica. A redução do consumo de energia elétrica é factível através do aumento do tamanho da célula, diminuição da densidade de corrente, modificações na composição química do eletrólito e no controle do processo.

A Tabela 4 (5) apresenta os principais insumos para a obtenção do alumínio pelo processo Hall-Heroult. De acordo com a ABAL (5), em 1990 os custos de produção do alumínio no Brasil estavam em torno de US\$1424 por tonelada, do qual mais de um terço (US\$500) seria referente à energia elétrica, e outro terço referente à alumina. Outras matérias primas, mão de obra e outros custos representariam o restante do custo total de produção.

Tabela 4 - Principais insumos para a produção de 1000 toneladas de alumínio pelo processo Hall - Heroult

Insumos	Consumo Específico
Alumina	2236,9 t
Energia elétrica	17807,7 kWh
Óleo combustível	12,9 t
Coque	442,7 t
Piche	138,7 t
Fluoreto	27,9 t
Críolita	24,5 t

Fonte ABAL

4. PANORAMA DO MERCADO MUNDIAL

Os seis maiores produtores mundiais de alumínio primário detêm aproximadamente 50% do mercado mundial. São eles a ALCOA, ALCAN, Kayser, Reynolds, Alussuisse e Pechiney. No entanto, o primeiro choque do petróleo (1973) desencadeou um profundo processo de reestruturação. O novo patamar de preços dos insumos energéticos representou não apenas um aumento substancial nos preços do produto, como também provocou uma forte retração da demanda mundial.(12)

4.1 Produção, Consumo e Preços

A produção mundial de alumínio primário cresceu de 1960 a 1980 a uma taxa de 6,5%, bem próxima ao valor da taxa de crescimento da produção de bauxita e de alumina. Em 1960, os países de economia desenvolvida produziam 77% da produção mundial. No entanto, a partir dessa década, observa-se um aumento da produção de alumínio primário nos países em desenvolvimento (a produção de alumínio cresceu duas vezes mais rapidamente nos países em desenvolvimento do que nos industrializados 14,3% versus 5,9%). (Tabela 5) (8) Isso se deve à estratégia seguida pelas empresas produtoras, de transferir o parque produtor para países na faixa tropical, com reservas abundantes de bauxita, dotados de energia elétrica farta a baixo custo e onde geralmente a legislação sobre preservação ambiental é pouco exigente.

Tabela 5 - Evolução da produção mundial de alumínio primário
(10³ toneladas/ano).

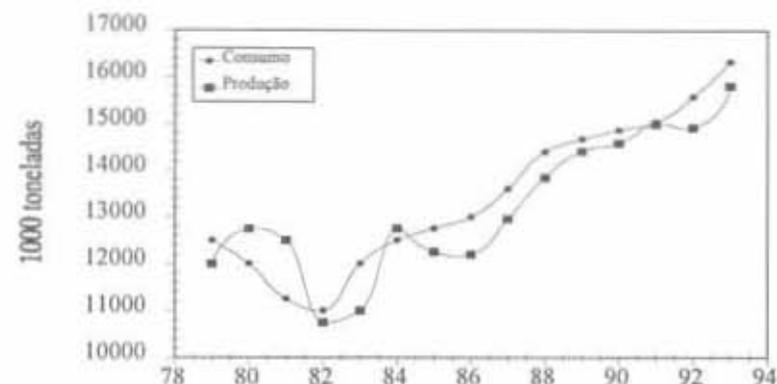
	1960	1970	1980
PED (1)	3503,9	7470,5	11128,2
Brasil	18,2	56,1	260,6
Índia	18,2	161,1	184,4
Ghana	0	113,0	187,7
Egito	0	0	120,0
Suriname	0	54,9	54,9
Camarões	43,9	52,4	43,1
Venezuela	0	22,4	327,9
PEC (2)	925,6	2201,1	3285,9
Outros	33,4	126,5	471,7
Total Mundial	4543,2	10257,0	16064,4

(1) "Países de Economia Desenvolvida": Austrália, Canadá, USA.

(2) "Países de Economia Centralizada": ex-URSS, China, etc.

Fontes: a) UNCTAD, *The World Market of Bauxite: Characteristics and Trends 1978*;b) United States Bureau of Mines: *Mineral Commodity Summaries (1982)*

A Figura 3 (13,14) apresenta a evolução da produção e do consumo de alumínio no Mundo Ocidental. Observa-se um declínio acentuado da demanda do metal a partir de 1979, chegando a um valor mínimo de 10,9 milhões de toneladas em 1982, devido aos constantes aumentos dos custos de produção. Além do aumento dos custos de energia e de capital, tornou-se praticamente impossível manter a estabilidade dos preços do metal. A partir de 1979, o metal primário passou a ser cotado na Bolsa de Mercadorias de Londres, tornando-se alvo de especulações e de bruscas variações de preços. (Figura 4)

**Figura 3 - Evolução da produção e do consumo de alumínio no Mundo Ocidental (13,14).**

A Tabela 6 apresenta a produção de alumínio primário por continentes (15) especificamente nos anos de 1988-1991. As tendências recentes refletem algumas medidas que foram tomadas pelos principais produtores de alumínio no mundo, a saber: (13)

- desaparecimento quase completo da produção japonesa (ausência de recursos energéticos) que era de cerca de $1,6 \times 10^6$ t em 1977 e hoje em dia, é de somente 40 000 t;
- estagnação da produção européia;
- decrêscimo da produção de alumínio primário e aumento da produção de alumínio secundário. Este último representando, nos países ricos, como os EUA, Japão e Alemanha Ocidental, cerca de 30% da produção total e
- aumento da produção dos países com abundância em recursos naturais, como Brasil, Venezuela, Austrália e Canadá.

Tabela 6 - Produção de alumínio primário (10³ toneladas/ano) por regiões, no período, 1988-1991.

	1988	1989	1990	1991
África (1)	597	603	602	612
América do Norte(2)	5475	5587	5617	5947
América Latina(3)	1553	1698	1790	1996
Ásia (4)	981	1093	1118	1223
Europa	3488	3580	3561	3505
Oceania(5)	1407	1501	1498	1495
Total	13501	14062	14186	14778

(1) Guiné

(2) Canadá, USA

(3) Brasil, Guiana, Jamaica, Suriname, Venezuela

(4) Japão, Índia e Turquia

(5) Austrália

Fonte: IPAI

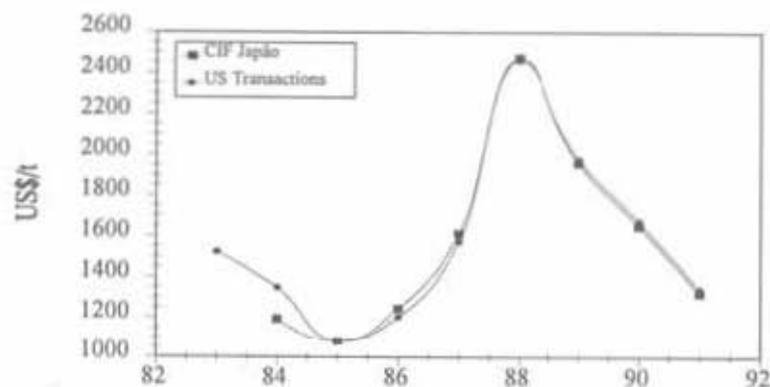


Figura 4 - Evolução dos preços do metal no período entre 1982 e 1992. (5)

De fato, as flutuações do preço do metal levaram os investidores a criar novos modelos de competição, através da redução dos custos operacionais e da tentativa de ajuste entre os suprimentos e a demanda. A redução progressiva dos estoques da indústria teve, conseqüentemente, um efeito positivo nos preços entre 1987 e 1989. (Figura 4)

Segundo os dados do IPAI - *International Primary Aluminium Institute*, (5) em 1991, a produção mundial de alumínio primário alcançou 14,8 milhões de toneladas, superior 4,2% ao volume de 1990. Porém, não foi considerada a produção dos países da área geográfica 9, que de acordo com a classificação daquele Instituto são os seguintes: China, a antiga Tchecoslováquia, Coreia, a antiga Alemanha Oriental, Hungria, Polônia, Romênia e a ex-URSS. Cerca de 1 milhão de toneladas de alumínio, oriunda desses países, foi colocada no mercado, o que ocasionou novamente queda nas cotações do metal e a necessidade de redução da capacidade instalada.

As transformações que vêm ocorrendo no mundo são obviamente ricas em incidentes políticos e econômicos, os quais obrigam os investidores e os produtores a uma maior percepção de novos mercados. As empresas internacionalmente competitivas são as que se movimentam de maneira agressiva para explorá-los, identificando possíveis clientes e desenvolvendo novos processos de fabricação para novos produtos.

O setor de embalagens nos EUA foi um dos principais responsáveis pelo aquecimento do mercado de alumínio nos últimos dez anos. Quanto à utilização do alumínio na indústria automobilística, observa-se que o consumo desse metal é menor nos EUA, enquanto que na Europa representa 30% do consumo total do metal. A Tabela 7 (14) apresenta o consumo de alumínio por setor em seis países.

Dados semelhantes para o Brasil, relativos aos anos de 1980 e 1990, estão representados na Tabela 8.(5) Dos seis principais segmentos da economia, o setor de embalagens e transportes foram os que apresentaram um crescimento significativo da demanda (50,6 e 44,2%).

Tabela 7 - Consumo (%) de alumínio por setor.

Países Setor	Alemanha Ocidental	Espanha	EUA	França	Itália	Reino Unido
Construção civil	17,4	31,5	18,6	15,5	28,7	22,6
Transportes	34,4	30,1	20,4	38,0	26,8	5,0
Indústria e Eletricidade	4,9	10,4	9,2	14,4	7,2	1,6
Bens de Consumo e manufaturados	5,5	4,9	7,7	4,4	9,2	4,7
Embalagens	8,1	15,9	33,3	7,0	11,0	33,5
Máquinas e equipamento	11,0	4,5	6,8	5,6	10,2	5,8
Outros	18,7	2,7	4,0	14,0	6,9	26,8
Total	100	100	100	100	100	100
Total em 1000 t	1189,3	352,6	6482,7	628,9	939,3	275,3

Fonte: Aluminium Statistical Review 1990 - The Aluminium Association
European of Aluminium Statistics - European Aluminium Association

Tabela 8 - Consumo (%) de alumínio no Brasil por setor

Setor	1980	1990	Varição (%)
Construção Civil	23,50	19,60	-16,6
Eletricidade	21,40	9,30	-56,5
Transportes	19,00	27,40	+44,2
Bens de Consumo	14,40	13,20	-8,3
Outros	9,60	13,20	+37,5
Embalagens	8,10	12,20	+50,6
Máquinas e equipamentos	4,00	5,10	+27,5

Fonte: ABAL

A Tabela 9 (16) apresenta uma estimativa da demanda mundial de alumínio realizada pelos analistas da CRU - *Commodities Research Unit* - Londres. Entre 1990 e 1995, o consumo mundial do metal deverá apresentar uma taxa de crescimento média de 2,4%, a despeito do baixo crescimento observado em 1990 e 1991. A previsão do consumo mundial do metal entre 1995 e o ano 2000 é de uma taxa de crescimento média anual de 2,7%, pois espera-se um aumento significativo da demanda do metal no setor de transportes e de embalagens em todas as regiões, particularmente na América do Norte e

Japão. Entre o ano 2000 e 2005, o consumo estimado do metal primário nos "Outros Países" apresenta um crescimento de 3,3%, enquanto que a taxa de crescimento média para as outras três regiões é de 2,5%, face à grande competição de outros materiais, tais como os plásticos, no setor de construções. Mais uma vez, vale ressaltar a forte tendência do uso de alumínio no setor automobilístico em todas as regiões e o aumento do consumo de alumínio no Japão, no setor de embalagens.

Tabela 9 - Previsão do consumo mundial de alumínio primário de 1993 a 2005 (1 000 toneladas).

Ano	América do Norte	Europa	Japão	Outros Países	Total	% Variação
1993	4879	5118	2535	3283	15815	2,8
1994	5000	5256	2600	3369	16225	2,6
1995	5143	5400	2678	3476	16697	2,9
1996	5254	5557	2739	3530	17081	2,3
1997	5449	5696	2851	3649	17645	3,3
1998	5630	5867	2941	3772	18210	3,2
1999	5729	6021	3022	3891	18663	2,5
2000	5822	6131	3067	4041	19061	2,1
2005	6491	6869	3470	4707	21537	2,5

Fonte: CRU - Comanditeis Research Unit.

4.2 Evolução Qualitativa do Mercado Consumidor

As propriedades do alumínio permitem as mais diversas aplicações, desde embalagens a peças de máquinas, resistentes e rígidas.

O alumínio é um material maleável, dúctil, resistente à corrosão, apresentando elevada condutividade térmica e elétrica, além de ser muito leve. Tais propriedades justificam seu uso em diversos segmentos industriais, tais como: motores, aeronaves, condutores elétricos, esquadrias metálicas,

recipientes e embalagens, componentes mecânicos e estruturais de máquinas e veículos automotores, etc.

O uso de metais leves, especialmente o alumínio e suas ligas, vem tendo grande estímulo no atual padrão de concepção de veículos. Os dados da Tabela 10 (17) revelam que os modelos fabricados na Alemanha e no Japão incorporam incrementos de peso de alumínio da ordem de 150 a 50%, respectivamente. O uso do alumínio e/ou suas ligas à base de metal em blocos de motores, radiadores, bielas, pistões, bronzinas e rodas já está consolidado. Na carroceria de automóveis, o alumínio tem sido utilizado em modelos sofisticados como Porsche e Rolls-Royce.(18) Como pode ser observado pela Tabela 10, houve um declínio na quantidade de aços utilizados na fabricação de automóveis na década de 80, em favor dos plásticos e do alumínio.

Acredita-se que, no futuro, o aço poderá ser usado predominantemente nas carrocerias de veículos de carga e de transporte coletivo de passageiros, o que é atribuído à baixa competitividade do alumínio, devido ao seu alto preço acoplado a freqüentes flutuações das cotações no mercado internacional. Até o momento, o alumínio vem sendo utilizado em estruturas integrais de carroceria somente em carros de corrida (Honda - NSX) e em painéis de veículos do tipo Land Rover.

Tabela 10 - Mudanças (% peso) na composição média de materiais em automóveis. (17)

Materiais	Alemanha		Japão		EUA	
	1975	1988	1977	1986	1977	1987
Aços	60	50	83,0	76,6	60	56
Ferros fundidos	15	10			15	15
Plásticos	7	13	3,5	7,3	5	7
Alumínio	2	7	2,6	3,9	4	5
Outras	16	20	10,9	12,2	16	16

Em 1993 estava previsto o funcionamento de uma nova usina na Alemanha, que deveria fornecer peças de alumínio

extrudadas, fundidas e outros componentes trabalhados para a Audi, subsidiária da Volkswagen (19). Esses componentes deverão ser utilizados na carroceria de automóveis, constituindo a nova geração de carros da Audi. Neste caso, o aço tradicional vislumbrará o alumínio como um sério rival na indústria automobilística.

De fato, a ALCOA vem pesquisando há mais de 10 anos para desenvolver o sistema *space frame body* (peças de alumínio interconectadas que constituem a estrutura integral dos futuros carros). Esse programa de pesquisa envolve o desenvolvimento de novas ligas de alumínio, técnicas de fundição a vácuo, processos de extrusão e técnicas de robótica para a soldagem de peças. O uso do alumínio em partes externas estruturais dos automóveis deverá crescer muito mais, e espera-se que, no fim dessa década, essa aplicação consuma 100.000 t/ano do metal.

A substituição de partes metálicas por plásticos ou por outros materiais tem sido motivada por várias razões. Um grande impulso foi dado a partir da crise do petróleo durante os anos 70, resultando na necessidade de se obter carros mais econômicos, através da diminuição do seu peso e, conseqüentemente, do consumo de energia.

A redução de 25% do peso em um automóvel de tamanho médio, isto é, 1 360 kg para 1 011 kg, com o uso de um incremento no percentual de peso de alumínio, poderá acarretar o decréscimo do consumo de óleo combustível de cerca de 17% e a redução na emissão de CO₂. (20)

Na indústria automobilística, particularmente, constata-se que a diminuição de peso praticamente atingiu o limite técnico aceitável, e as substituições que se processam atualmente vêm obedecendo a critérios "de função" e/ou melhoria de cunho puramente tecnológico.

Na indústria aeroespacial observa-se também uma tendência à substituição intensiva de materiais. Os compósitos de alto desempenho são os primeiros candidatos para aplicações nesse segmento industrial devido à possibilidade de combinação de propriedades dos diversos materiais que os constituem. (21)

Uma família de novas ligas de importância para a indústria aeronáutica são compostas de alumínio e lítio; alumínio, lítio e carbono (alta resistência mecânica) e de alumínio, ferro e cério (resistentes às altas temperaturas). De fato, adições de lítio (de até 3%) podem reduzir a densidade da liga metálica em até 20%, aumentar a rigidez em 20% e garantir resistência mecânica comparável à das melhores ligas de alumínio. (2)

As pré-ligas (pré-fundidas) de alumínio vêm sendo desenvolvidas para o emprego aeronáutico que exija elevado desempenho, mesmo com o aumento da temperatura. A ALCOA produziu uma liga com 8% Fe e 4% Ce, com resistência à fadiga e à corrosão superiores às convencionais para asas de avião. Essas ligas atualmente suportam temperaturas de serviço de até 345°C.

A procura de materiais leves, resistentes à oxidação e às altas temperaturas leva a investigações intensivas de compósitos ricos em alumínio do tipo Al_3X , onde X é usualmente Ti, Zr, Hf, V, Nb ou Ta. (23)

Outra importante aplicação do alumínio é na indústria de embalagens. Embora os menores custos do aço tenham permitido o domínio de mercado na área de alimentos enlatados, o alumínio vem apresentando um aumento crescente no mercado de latas (60% desse mercado). Um crescimento contínuo desse mercado é verificado no Reino Unido (Tabela 7), cuja estratégia é persuadir o público britânico através de propagandas essencialmente de caráter ecológico. Com 350 centros de reciclagem, eles podem recuperar as latas de alumínio quase em sua totalidade. (24)

4.3 Tendências Mundiais

Para definição das tendências mundiais não basta considerar apenas os desenvolvimentos alternativos possíveis; é também necessário olhar a estratégia dos atores: empresas produtoras, consumidores, legislação de cada país, etc. É importante ter em mente os horizontes temporais (5, 10 ou 20 anos).

Para a indústria de alumínio, a instabilidade de preços é a tônica, não tanto pela introdução de novos materiais, mas pelos custos energéticos e demais taxas, impulsionando o processo de deslocamento das indústrias primárias para os países do terceiro mundo. A locação das reservas de bauxita deverá determinar os sítios futuros para a produção da alumina. No futuro, países que oferecerem taxas competitivas para a energia elétrica também, atrairão novas fundições.

O Japão, carente em recursos naturais, praticamente abandonou a produção de alumínio, ao mesmo tempo em que aumentou a sua participação em investimentos produtivos em outros países, além de manter a curva crescente no consumo deste metal.

No presente momento, alguns analistas acreditam que o custo da tonelada de alumínio deverá permanecer nos patamares entre US\$ 1000 e US\$1200, com a conseqüente deterioração da lucratividade. Sendo esta uma ameaça real, deve-se prever a tentativa dos grandes produtores em obter benefícios, forçando e/ou estabilizando os preços em valores maiores.

O relatório *Survival in Aluminium Smelting* elaborado pela *Commodities Research Unit* (CRU) (25) prevê que os preços do alumínio primário deverão se manter baixos pelo resto da década. As razões apresentadas foram a existência de estoques grandes e crescentes e, principalmente, o volume das

exportações provenientes da antiga União Soviética,(26) que irá diminuir.

A competitividade do alumínio com relação ao ferro, cobre, zinco, magnésio e titânio, é resumida na Quadro 1.(27) Para esse estudo, consideraram-se as reservas remanescentes, o consumo de energia, os recentes desenvolvimentos em tecnologia, novas aplicações e impactos ambientais associados com a produção dos produtos finais manufaturados, para então prever a demanda preferencial de um material sobre o outro. Dos metais avaliados, somente as reservas de cobre e de zinco deverão esgotar dentro dos próximos 100 anos (baseando-se nos processos atuais de obtenção e na demanda desses seis metais).

De um modo geral, em termos de materiais leves, aplicações a temperaturas de intermediárias a elevadas, o alumínio poderá ser mais competitivo do que o titânio e o magnésio, que também requerem processamento de energia intensiva. As ligas de alumínio e lítio deverão ser fortes candidatas para essas aplicações, pois gradativamente essas ligas vão penetrando no setor aeroespacial. Para aplicações estruturais, o aço predominará no mercado, devido aos seus baixos custos de fabricação. Um estudo econômico realizado pelo MIT (28) conclui que, hoje, para grandes produções, o aço ainda é o mais competitivo, enquanto que para médias e pequenas, o alumínio (compostos por partes) já é mais competitivo.

Quadro 1 - Comparação entre seis indústrias de metais primários. (7)

Parâmetros: Reservas para os próximos 100 anos? (1) Consumo de energia < 25 MWh/t? (2) Avanços tecnológicos nos próximos dez anos? (3) Novas aplicações significativas? (4) Impactos ambientais (5)	
Al	Sim (1), Não (2), Não (3) Sim (4), lama vermelha, HF, CO ₂ , voláteis do alcatrão(5)
Fe*	Sim (1), Sim (2), Sim (3), Sim (4), efluentes líquidos, sólidos (ZnO), CO ₂ (5)
Cu	Não (1), Não (2), Sim (3) Não (4), SO ₂ , vapores de compostos metálicos (5)
Zn	Não (1), Sim (2), Sim (3), Não (4), SO ₂ , óxido de ferro, Cd, SO ₂ (5)
Mg	Sim (1), Não (2), Sim (3) Sim (4), CHCs, dioxina (5)
Ti	Sim(1), Não (2), Sim (3), Sim(4), FeCl ₃ , cloretos voláteis, CO ₂ (5)

* incluindo o aço.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Gildo Sá (CETEM) e Leonardo Moretzhon (CVRD) pelo incentivo e contribuições apresentadas durante o desenvolvimento deste trabalho e a Antonieta Middea (CETEM) pela confecção dos gráficos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. FALLEIROS, I.G.S. Materiais, processos, solicitações ou mercados avançados? In: Seminário Tendências e Perspectivas na Área dos Novos Materiais. São Paulo: ABM/E.C. Villas, 1988. p.86-96.
2. MONTEIRO, S.N. Caracterização, Perspectivas e Oportunidades para Novos Metais e Ligas Especiais. In: Seminário Tendências e Perspectivas na Área dos Novos Materiais. São Paulo: ABM, 1988.
3. BARTOLO, M.B. Notas sobre a Indústria e o Mercado de Alumínio no Brasil. Rio de Janeiro: UFRJ/Escola de Engenharia, Departamento de Metalurgia, ago. 1985.
4. OS MAIORES Mineradores do Brasil: perfil empresarial do setor mineral brasileiro. Brasília, CNPq, 1982. v.1
5. ANUÁRIO ESTATÍSTICO da Abal. 1991.
6. DESEMPENHO do Setor Nacional de Alumínio, Metalurgia & Materiais, v. 48, n.409, p.538, 1992.
7. RIBEIRO, I. Alumínio - Momento Difícil Não Impede Investimento. Brasil Mineral, v. 69, p.32-36, 1989.
8. MINERAL Processing in Development Countries. A Discussion of economic, technical and structural factors. Prepared by the Department of Technical Cooperation for development. Graham & Trotman, 1984. 56p. Cap. 2, P.15-26.
9. PRINCIPAIS Depósitos Minerais do Brasil. DNPM/CVRD. Rio de Janeiro: DNPM/CVRD, 1988. v.2
10. GRJOTHEIM, K. & KVANDE, H. Understanding the Hall-Heroult Process of Production of Germany.ed. Grjotheim & Kvande cap.6., p. 149-158.1986.

11. MASSON, I.O.C.; BORGES, P.P. Recuperação de Gálio Contido numa Solução Fraca de Aluminato de Sódio através de Extração por Solventes, Anais 46º Congresso da ABM, v.2, 1991.
12. WEISS, J.M.G. A Competitividade da Indústria Brasileira de Alumínio: Avaliação e Perspectiva. Revista de Administração de Empresas: 32 (1). p. 48-59, 1992.
13. SÁ, P. From Oligopoly to Competition: The Changing Aluminium Industry, Materials and Society, 15,(2), 149-175, 1991.
14. BUXTON, N.; STEWART, R. The Aluminium Industry Review, Metal Bulletin Research, December, 1991.
15. PROVISIONAL REPORT - International Primary Aluminium Institute - IPAI form 65, 2p., 20 de maio de 1992.
16. ALUMINA TO 2005 - The prospects for new capacity . CRU - Commodities Research Unit Limited - London, 1991.
17. O'TOOLE, J.P. Steelmakers Consider Issues of Competitiveness for Autos. J.Q.M., p.8-9, Abril 1992.
18. PEITER, C.C. & BORGES, C. Diagnóstico sobre a Situação e Tendências Materiais sob a Perspectiva do Setor Consumidor - Complexo das Indústrias de Transporte. Projeto Materiais Avançados e Desenvolvimento Sustentável. Estratégias para o Brasil. CNPq/CETEM, 1992, 1-39.
19. GRIFFITHS, J. Is Aluminium Key to Future? Financial Times Survey, June 5, 1992.
20. Aluminium Company of America. Potential for Passenger Car Lightweighting through the Use of Aluminium, and Effects of Lightweighting on Fuel Economy, Emissions, Performance, and Utility, April 1991.
21. WILLINGER, M.; COHENDET, P.; LEDOUX, M.; ZUSCOVITICH, E. New Materials and Technological Opportunities: From Standardization to Variety?

- European Association of Development Research and Training Institutes. VIth General Conference Oslo 27-30 June 1990, 1-23.
22. WANG, W. Aluminium Alloys for Aircraft Applications. J.O.M., v.45, n.9, p. 16-18, September 1993.
23. KUMAR, K.S.; LIU, C.T. Ordered intermetallic Alloys, Part II: Silicides Trialuminides and others. J.O.M., v.45, n.6, p. 28-33, June, 1993.
24. THORNHILL, J. Clash of the Cans. Business and Environment, September 9, 1992. 20. Alumina to 2005. The prospects for New Capacity. CRU - Commodities Research Unit Limited - London - 1991.
25. ALUMINIUM industry locked into low prices. Engineering and Mining Journal, v.194, n. 5, p.49, May 1993.
26. ADAMS, R.G. The long - term significance of the CIS Aluminium Industry. J.O.M., v.45, n.8, p. 21-22, August, 1993.
27. YOSHIKI, K.S. ; TOGURI, J.M. ; CHOO, R.T.C. Metals Production, Energy and the Environment, Part II: Environmental Impact. J.O.M., v. 45, n. 8, p. 23-29, agosto, 1993.
28. MASCARIN, A.E., DIEFFENBACH, J. R. Body in White Material Systems: A life cycle cost comparison. J.O.M., v. 45, n.6, p. 16-19, June 1993.



NÚMEROS PUBLICADOS NA SÉRIE TECNOLOGIA MINERAL

1. Flotação de Carvão: Estudos em Escala de Bancada - Antonio R. de Campos, Salvador L. M. de Almeida e Amílcar T. dos Santos, 1979. (esgotado)
2. Beneficiamento de Talco: Estudos em Escala de Bancada - Nelson T. Shimabukuro, Carlos Adolpho M. Baltar e Francisco W. Hollanda Vidal, 1979. (esgotado)
3. Beneficiamento de Talco: Estudos em Usina Piloto - Nelson T. Shimabukuro, Carlos Adolpho M. Baltar e Francisco W. Hollanda Vidal, 1979. (esgotado)
4. Flotação de Cianita da Localidade de Boa Esperança (MG) - Ivan O. de Carvalho Masson e Tulio Herman A. Luco, 1979. (esgotado)
5. Beneficiamento de Diatomita do Ceará - José A. C. Sobrinho e Adão B. da Luz, 1979. (esgotado)
6. Eletrorecuperação de Zinco: uma Revisão das Variáveis Influente - Roberto C. Villas Bôas, 1979. (esgotado)
7. Redução da Gipsita com Carvão Vegetal - Ivan O. de Carvalho Masson, 1980. (esgotado)
8. Beneficiamento do Diatomito de Canavieira do Estado do Ceará - Franz Xaver H. Filho e Marcello M. da Veiga, 1980. (esgotado)
9. Moagem Autógena de Itabirito em Escala Piloto - Hedda Vargas Figueira e João Alves Sampaio, 1980. (esgotado)
10. Flotação de Minério Oxidado de Zinco de Baixo Teor - Carlos Adolpho M. Baltar e Roberto C. Villas Bôas, 1980. (esgotado)
11. Estudo dos Efeitos de Corrente de Pulso Sobre o Eletrorefino de Prata - Luiz Gonzaga dos S. Sobral, Ronaldo Luiz C. dos Santos e Delfin da Costa Laureano, 1980. (esgotado)
12. Lixiviação Bacteriana do Sulfeto de Cobre de Baixo Teor Caraíba - Vicente Paulo de Souza, 1980. (esgotado)
13. Flotação de Minérios Oxidados de Zinco: uma Revisão de Literatura - Carlos Adolpho M. Baltar, 1980. (esgotado)
14. Efeito de Alguns Parâmetros Operacionais no Eletrorefino do Ouro - Marcus Granato e Roberto C. Villas Bôas, 1980. (esgotado)
15. Flotação de Carvão de Santa Catarina em Escala de Bancada e Piloto - Antonio R. de Campos e Salvador L. M. de Almeida, 1981. (esgotado)
16. Aglomeração Seletiva de Finos de Carvão de Santa Catarina: Estudos Preliminares - Lauro Santos N. da Costa, 1981.
17. Briquetagem e a sua Importância para a Indústria - Walter Shinzel e Regina Célia M. da Silva, 1981. (esgotado)
18. Aplicação de Petrografia no Beneficiamento de Carvão por Flotação - Ney Hamilton Porphirio, 1981.
19. Recuperação do Cobre do Minério Oxidado de Caraíba por Extração por Solventes em Escala Semipiloto - Ivan O. C. Masson e Paulo Sérgio M. Soares, 1981. (esgotado)

20. Dynawhirlpool (DWP) e sua Aplicação na Indústria Mineral - Hedda Vargas Figueira e José Aury de Aquino, 1981. (esgotado)
21. Flotação de Rejeitos Finos de Scheelita em Planta Piloto - José Farias de Oliveira, Ronaldo Moreira Horta e João Alves Sampaio, 1981. (esgotado)
22. Coque de Turfa e suas Aplicações - Regina Célia M. da Silva e Walter Schinzel, 1982.
23. Refino Eletrolítico de Ouro, Processo Wohlwill - Juliano Peres Barbosa e Roberto C. Villas Bôas, 1982. (esgotado)
24. Flotação de Oxidados de Zinco: Estudos em Escala Piloto - Adão Bezvindo da Luz e Carlos Adolpho M. Baltar, 1982.
25. Dosagem de Ouro - Luiz Gonzaga S. Sobral e Marcus Granato, 1983.
26. Beneficiamento e Extração de Ouro e Prata de Minério Sulfetado - Márcio Torres M. Penna e Marcus Granato, 1983.
27. Extrações por Solventes de Cobre do Minério Oxidado de Caraiíba - Paulo Sérgio M. Soares e Ivan O. de Carvalho Masson, 1983.
28. Preparo Eletrolítico de Solução de Ouro - Marcus Granato, Luiz Gonzaga S. Sobral, Ronaldo Luiz C. Santos e Delfin da Costa Laureano, 1983. (esgotado)
29. Recuperação de Prata de Fixadores Fotográficos - Luiz Gonzaga dos Santos Sobral e Marcus Granato, 1984. (esgotado)
30. Amostragem para Processamento Mineral - Mário V. Possa e Adão B. da Luz, 1984. (esgotado)
31. Indicador de Bibliotecas e Centros de Documentação em Tecnologia Mineral e Geociências do Rio de Janeiro - Subcomissão Brasileira de Documentação em Geociências - SBDG, 1984.
32. Alternativa para o Beneficiamento do Minério de Manganês de Uracum, Corumbá-MS - Lúcia Maria Cabral de Góes e Silva e Léllo Fellows Filho, 1984.
33. Lixiviação Bacteriana de Cobre de Baixo Teor em Escala de Bancada - Teresinha R. de Andrade e Francisca Peisona de França, 1984.
34. Beneficiamento do Calcário da Região de Cantagalo-RJ. - Vanilda Rocha Barros, Hedda Vargas Figueira e Rupen Adamian, 1984.
35. Aplicação da Simulação de Hidrociclones em Circuitos de Moagem - José Ignácio de Andrade Gomes e Regina C. C. Carrisso, 1985.
36. Estudo de um Método Simplificado para Determinação do "Índice de Trabalho" e sua Aplicação à Remoagem - Hedda Vargas Figueira, Luiz Antonio Pretti e Luiz Roberto Moura Valle, 1985.
37. Metalurgia Extrativa do Ouro - Marcus Granato, 1986. (esgotado)
38. Estudos de Flotação do Minério Oxidado de Zinco de Minas Gerais - Francisco W. Hollanda Vidal, Carlos Adolpho M. Baltar, José Ignácio de A. Gomes, Leonardo A. da Silva, Hedda Vargas Figueira, Adão B. da Luz e Roberto C. Villas Bôas, 1987.
39. Lista de Termos para Indexação em Tecnologia Mineral - Vera Lúcia Vianna de Carvalho, 1987.
40. Distribuição de Germânio em Frações Densimétricas de Carvões - Luiz Fernando de Carvalho e Valéria Conde Alves Moraes, 1986.
41. Aspectos do Beneficiamento de Ouro Aluvionar - Fernando A. Freitas Lins e Leonardo A. da Silva, 1987.
42. Estudos Tecnológicos para Aproveitamento da Atapulgita de Guadalupe-PI - Adão B. da Luz, Salvador L. M. de Almeida e Luciano Tadeu Silva Ramos, 1988.
43. Tratamento de Efluentes de Carvão Através de Espessador de Lamelas - Francisco W. Hollanda Vidal e Franz Xaver Horn Filho, 1988.
44. Recuperação do Ouro por Amalgamação e Cianetação: Problemas Ambientais e Possíveis Alternativas - Vicente Paulo de Souza e Fernando A. Freitas Lins, 1989. (esgotado)
45. Geopolítica dos Novos Materiais - Roberto C. Villas Bôas, 1989. (esgotado)
46. Beneficiamento de Calcário para as Indústrias de Tintas e Plásticos - Vanilda da Rocha Barros e Antonio R. de Campos, 1990.
47. Influência de Algumas Variáveis Físicas na Flotação de Partículas de Ouro - Fernando A. Freitas Lins e Rupen Adamian, 1991.
48. Caracterização Tecnológica de Caulim para a Indústria de Papel - Rosa Malena Fernandes Lima e Adão B. da Luz, 1991.
49. Amostragem de Minérios - Maria Alice C. de Goes, Mário V. Possa e Adão B. da Luz, 1991.
50. Design of Experiments in Planning Metallurgical Tests - Roberto C. Villas Bôas, 1991. (esgotado)
51. Eletrorecuperação de Ouro a partir de Soluções Diluídas de seu Cianeto - Roberto C. Villas Bôas, 1991.
52. Talco do Paraná - Flotação em Usina Piloto - Salvador Luiz M. de Almeida, Adão B. da Luz e Ivan F. Pontes, 1991.
53. Os Novos Materiais e a Corrosão - Roberto C. Villas Bôas, 1991.
54. Aspectos Diversos da Garimpagem de Ouro - Fernando Freitas Lins (coord.), José Cunha Cotta, Adão B. da Luz, Marcelo M. da Veiga, Fernando Freitas Lins, Luiz Henrique Farid, Márcia Machado Gonçalves, Ronaldo Luiz C. dos Santos, Maria Laura Barreto e Irene C. M. H. Medeiros Portela, 1992. (esgotado)
55. Concentrador Centrifugo - Revisão e Aplicações Potenciais - Fernando Freitas Lins, Lauro S. Norbert Costa, Oscar Cuéllar Delgado, Jorge M. Alvares Gutierrez, 1992.
56. Minerais Estratégicos: Perspectivas - Roberto C. Villas Bôas, 1992.
57. O Problema do Germânio no Brasil - Roberto C. Villas Bôas, Maria Dionísia C. dos Santos e Vicente Paulo de Souza, 1992.
58. Caracterização Tecnológica do Minério Aurífero da Mineração Casa de Pedra-Mato Grosso - Ney Hamilton Porfírio e Fernando Freitas Lins, 1992.
59. Geopolitics of the New Materials: The Case of the Small Scale Mining and New Materials Developments - Roberto C. Villas Bôas, 1992.
60. Degradação de Cianetos por Hipoclorito de Sódio - Antonio Carlos Augusto da Costa, 1992.
61. Paládio: Extração e Refino, uma Experiência Industrial - Luiz Gonzaga S. Sobral, Marcus Granato e Roberto B. Ogando, 1992.
62. Desempenho de Ciclones e Hidrociclones - Giulio Massarani, 1992.
63. Simulação de Moagem de Talco Utilizando Seixos - Regina Coeli C. Carrisso e Mário Valente Possa, 1993.
64. Atapulgita do Piauí para a Indústria Farmacêutica - José Pereira Neto, Salvador L. M. de Almeida e Ronaldo de Miranda Carvalho, 1993.
65. Caulim: um mineral industrial importante - Adão B. da Luz e Eduardo C. Damasceno, 1993.
66. Química e Tecnologia das Terras-Raras - Alcídio Abrão, 1994.
67. Tiouréia e Bromo como Lixivantes Alternativos à Cianetação do Ouro. Roberto de Barros E. Trindade, 1994.

ESTUDO DOS IMPACTOS
AMBIENTAIS DECORRENTES
DO EXTRATIVISMO MINERAL
E POLUIÇÃO MERCURIAL
NO TAPAJÓS

- PRÉ-DIAGNÓSTICO -

4

Rita Maria Rodrigues
Arrau F. S. Maciel
Andréia H. S. Silva
Tereza M. C. de Souza
Elson Diniz de Brito
Vicente Bello
Sandra Hacon
Alberto Sérgio B. da Silva
Júlio César P. Braga
Bernard Stilianoff Filho

MCT CNPq CETEM

NÚMEROS PUBLICADOS NA SÉRIE
TECNOLOGIA AMBIENTAL

1. Poconé: Um Campo de Estudos do Impacto Ambiental do Garimpo - Marcelo M. da Veiga, Francisco R. C. Fernandes, Luiz Henrique Farid, José Eduardo B. Machado, Antônio Odilon da Silva, Luís Drude de Lacerda, Alexandre Pessoa da Silva, Edinaldo de Castro e Silva, Evaldo F. de Oliveira, Gercino D. da Silva, Helcias B. de Pádua, Luiz Roberto M. Pedroso, Nelson Luiz S. Ferreira, Salete Kiyoka Ozaki, Rosane V. Marins, João A. Imbassahy, Wolfgang C. Pfeiffer, Wanderley R. Bastos e Vicente Paulo de Souza (2ª edição), 1991. (esgotado)

2. Diagnóstico Preliminar dos Impactos Ambientais Gerados por Garimpos de Ouro em Alta Floresta/MT: Estudo de Caso (versão Português/Inglês) - Luiz Henrique Farid, José Eduardo B. Machado, Marcos P. Gonzaga, Saulo R. Pereira Filho, André Eugênio F. Campos, Nelson S. Ferreira, Gersino D. Silva, Carlos R. Tobar, Volney Câmara, Sandra S. Hacon, Diana de Lima, Vângil Silva, Luiz Roberto M. Pedroso, Edinaldo de Castro e Silva, Laís A. Menezes, 1992.

3. Mercúrio na Amazônia: Uma Bomba Relógio Química? - Luis Drude Lacerda e Win Salomons, 1992.

ACOMPETITIVIDADE
DA INDÚSTRIA
BRASILEIRA DE ALUMÍNIO:
AVALIAÇÃO E PERSPECTIVAS

4

James M. G. Weber

MCT CNPq CETEM

NÚMEROS PUBLICADOS NA SÉRIE
QUALIDADE E PRODUTIVIDADE

1. Qualidade na Formulação de Misturas - Roberto C. Villas Bôas, 1992.

2. La Importância del Método em la Investigación Tecnológica - Roberto C. Villas Bôas, 1992.

3. Normalización Minerometalúrgica e Integración Latinoamericana - Rômulo Genuino de Oliveira, 1993.

ASPECTOS TECNOLÓGICOS E
ECONÔMICOS DA INDÚSTRIA DE
ALUMÍNIOMarisa B. de Melo Monte
Rupen Adamian

MCT CNPq CETEM

NÚMEROS PUBLICADOS NA SÉRIE
ESTUDOS E DOCUMENTOS

1. Quem é Quem no Subsolo Brasileiro - Francisco R. C. Fernandes, Ana Maria B. M. da Cunha, Maria de Fátima Faria dos Santos, José Raimundo Coutinho de Carvalho e Maurício Lins Arcoverde, (2ª edição) 1987.
2. A Política Mineral na Constituição de 1967 - Ariadne da Silva Rocha Nodari, Alberto da Silva Rocha, Marcos Fábio Freire Montysuma e Luís Paulo Schance Heler Giannini, (2ª edição) 1987.
3. Mineração no Nordeste - Depoimentos e Experiências - Manuel Correia de Andrade, 1987. (esgotado)
4. Política Mineral do Brasil - Dois Ensaios Críticos - Osny Duarte Pereira, Paulo César Ramos de Oliveira Sá e Maria Isabel Marques, 1987. (esgotado)
5. A Questão Mineral da Amazônia - Seis Ensaios Críticos - Francisco R. C. Fernandes, Roberto Gama e Silva, Wanderlino Teixeira de Carvalho, Manuela Carneiro da Cunha, Breno Augusto dos Santos, Armando Álvares de Campos Cordeiro, Arthur Luiz Bernardelli, Paulo César de Sá e Maria Isabel Marques, 1987. (esgotado)
6. Setor Mineral e Dívida Externa - Maria Clara Couto Soares, 1987.
7. Constituinte: A Nova Política Mineral - Gabriel Guerreiro, Octávio Elísio Alves de Brito, Luciano Galvão Coutinho, Roberto Gama e Silva, Alfredo Ruy Barbosa, Hildebrando Herrmann e Osny Duarte Pereira, 1988. (esgotado)
8. A Questão Mineral na Constituição de 1988 - Fábio S. Sá Earp, Carlos Alberto K. de Sá Earp e Ana Lúcia Villas-Bóas, 1988. (esgotado)
9. Estratégia dos Grandes Grupos no Domínio dos Novos Materiais - Paulo Sá, 1989. (esgotado)
10. Política Científica e Tecnológica no Japão, Coreia do Sul e Israel - Abraham Benzaquen Sicsú, 1989. (esgotado)
11. Legislação Mineral em Debate - Maria Laura Barreto e Gildo Sá Albuquerque (organizadores), 1990.
12. Ensaio Sobre a Pequena e Média Empresa de Mineração - Ana Maria B. M. da Cunha (organizadora) 1991.
13. Fontes e Usos de Mercúrio no Brasil - Rui C. Hasse Ferreira e Luiz Edmundo Appel, (2ª edição) 1991.
14. Recursos Minerais da Amazônia - Alguns Dados Sobre Situação e Perspectivas - Francisco R. C. Fernandes e Irene C. de M. H. de Medeiros Portela, 1991. (esgotado)
15. Repercussões Ambientais em Garimpo Estável de Ouro - Um Estudo de Caso - Irene C. de M. H. de Medeiros Portela, (2ª edição) 1991.
16. Panorama do Setor de Materiais e suas Relações com a Mineração: Uma Contribuição para Implementação de Linhas de P & D - Marcello M. Veiga e José Octávio Armani Pascoal, 1991.
17. Potencial de Pesquisa Química nas Universidades Brasileiras - Peter Rudolf Seidl, 1991.
18. Política de Aproveitamento de Areia no Estado de São Paulo: Dos Conflitos Existentes às Compatibilizações Possíveis - Hildebrando Hermann, 1991.
19. Uma Abordagem Crítica da Legislação Garimpeira: 1967-1989 - Maria Laura Barreto, 1993.
20. Some Reflections on Science in the Low-Income Economies - Roald Hoffmann, 1993. (esgotado)
21. Terras-raras no Brasil: depósitos, recursos identificados e reservas - Francisco Eduardo de V. Lápido Loureiro, 1994.

PUBLICAÇÕES AVULSAS EDITADAS PELO CETEM OU EM CO-EDIÇÃO

1. Programação Trienal: 1989/1991. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/CNPq), 1989.
2. Programação Trienal: 1992/1994. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/CNPq).
3. Manual de Usinas e Beneficiamento. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/CNPq), 1989.
4. Relatório de Atividades de 1993. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/CNPq), 1994.
5. Impactos Ambientais. SPRU/USP/CNPq, 1993.
6. Garimpo, Meio Ambiente e Sociedades Indígenas. CETEM/CNPq/EDUFF, 1992.

Pedidos ao

CETEM / CNPq - Centro de Tecnologia Mineral

Departamento de Estudos e Desenvolvimento - DES

Rua 4 - Quadra D - Cidade Universitária - Ilha do Fundão

21949-590 - Rio de Janeiro - RJ - Brasil

Solicita-se permuta

We ask for interchange
