

# Cadeia produtiva do Alumínio

## Processo Industrial e Fontes de Poluição

\* Elio Lopes dos Santos

**Resumo:** A cadeia produtiva do alumínio apresenta um elevado potencial poluidor com emissões constituídas primordialmente por material particulado, gases ácidos e vapores alcalinos. Neste contexto a poluição do ar é a que mais afeta o meio ambiente e à saúde do trabalhador. Entre as principais fontes emissoras de poluentes destacam-se as cubas eletrolíticas. O sistema de controle de poluição dessas unidades utiliza numa primeira fase a própria alumina para adsorção do gás fluoreto, retendo numa segunda fase a alumina, (adsorvida com fluoreto e compostos orgânicos) em filtros de tecido. Os poluentes recuperados são utilizados como matéria prima no processo produtivo. Porém existem falhas de operação e manutenção nestes sistemas de controle de poluentes, assim como também existem nas várias fases de produção da alumina e do alumínio, onde diversas fontes de poluição desprovidas de equipamentos e sistemas de controle de poluentes colocam em risco o meio ambiente e a saúde do trabalhador.

**Palavras Chave:** alumina, alumínio, fluoreto, fontes de poluição, poluentes, poluição, meio ambiente, saúde do trabalhador.

## 1 - Processo de produção da alumina

As principais fases de produção da alumina (matéria prima para produção do alumínio) são: armazenagem, transporte, moagem, digestão, filtração, evaporação, precipitação e calcinação.

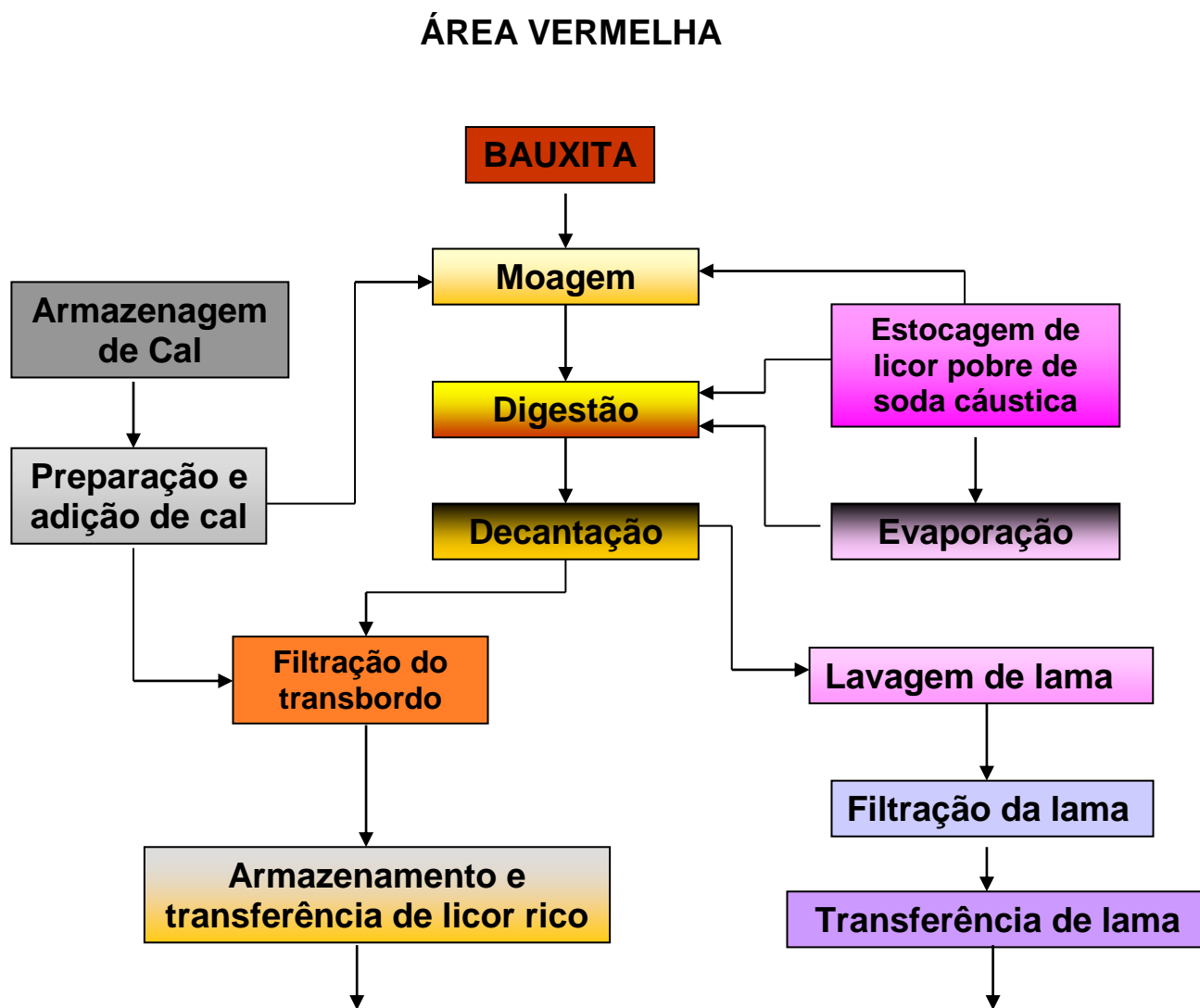


Figura 1 – Diagrama de processo (Área vermelha) produção de alumina.

## ÁREA BRANCA

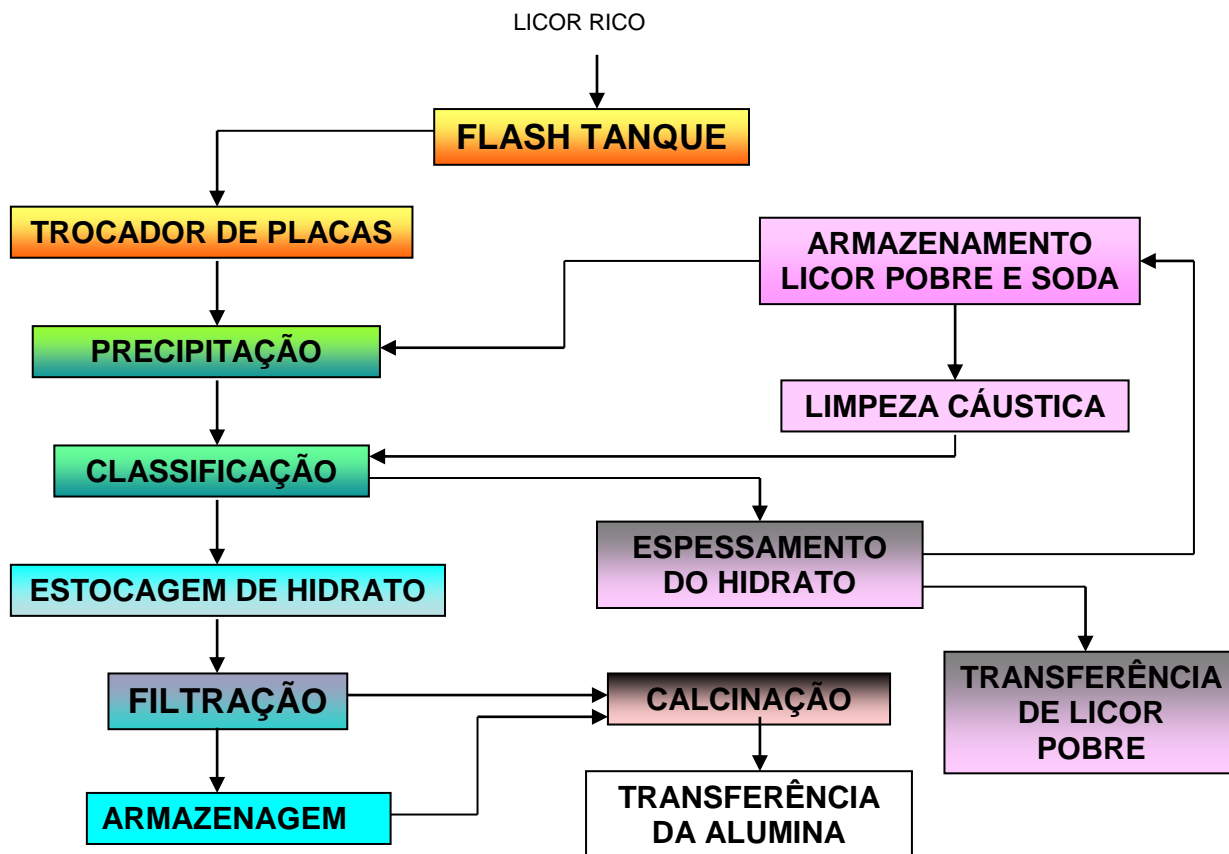


Figura 2 – Diagrama de processo (área branca) produção da alumina.

No processo Bayer, a primeira etapa é a purificação do minério (bauxita), onde são removidas as impurezas (principalmente compostos de ferro, silício e gálio) que poderiam afetar as propriedades do produto. Adiciona-se NaOH ao minério, e como o alumínio é anfótero dissolve-se, formando aluminato de sódio. O SiO<sub>2</sub> também se dissolve na forma de íons silicato. Todos os rejeitos insolúveis, particularmente óxido de ferro, são removidos da solução fortemente alcalina de aluminato. Isso pode ser feito com borbulhamento de CO<sub>2</sub> (óxido que diminui o pH) ou então semeando a solução com Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Os íons silicato permanecem em solução. O precipitado de Al(OH)<sub>3</sub> é calcinado (aquecido fortemente), convertendo-se em Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> purificado.

## 1.1 - Principais fontes de poluição

As principais emissões, provenientes da produção da alumina, são formadas por poluentes atmosféricos como material particulado e vapores cáusticos. Os efluentes líquidos, assim como os resíduos sólidos, também se destacam e merecem uma atenção especial em relação a sua contenção e tratamento. As figuras abaixo destacam as principais fontes de poluição desprovidas de sistema de controle de poluentes, assim como aquelas providas de sistemas de controle, porém com sérios problemas de operação e manutenção.



Figura 3 – Emissão de poeiras fugitivas provenientes da armazenagem e operações de manuseio da bauxita, fazem parte da poluição difusa, característica da inexistência do controle ambiental.



Figura 4 – Os Sistemas de transportes e pontos de transferência da bauxita (correia transportadora e elevadores de caneca) geralmente são dotados de Sistema de Ventilação Local Exaustora e Filtros de Tecido. Enclausuramento inadequado das correias transportadoras aéreas permitem o arraste, pela ação dos ventos, de particulados finos para atmosfera.



Figura 5 – A moagem da bauxita é realizada adicionando-se uma mistura de solução de soda cáustica e cal.



Figura 6 – A adição de soda cáustica e cal geram emissão de vapores cáusticos através dos ventís dos moinhos e conseqüentemente um ambiente insalubre.



Figura 7 – A Unidade de Filtração da lama de bauxita, desprovida de sistema de controle de poluentes, apresenta emissões significativas de vapores cáusticos na atmosfera, colocando em risco o meio ambiente e à saúde dos trabalhadores.





Figura 8 - A evaporação do licor cáustico, associada à inexistência de sistema de controle de poluentes, acarreta emissões atmosféricas em diversos pontos de armazenamento.



Figura 9 – O sistema de filtração de lama da bauxita, além de apresentar emissão significativa de vapores cáusticos, gera resíduos sólidos alcalinos. As operações de carregamento de caminhões e transferência dos resíduos geram efluentes líquidos contaminados. A fase mais crítica da contaminação ambiental ocorre no percurso entre a unidade de filtração e o local de disposição dos resíduos. A ausência de sistema de contenção de efluentes, aliada aos procedimentos operacionais de lavagem do piso da unidade tem potencial para poluir o solo, águas superficiais e subterrâneas.

## 2 - Processo de produção do Alumínio

A transformação da alumina em alumínio metálico recebe o nome de Redução, e se realiza em cubas eletrolíticas, em altas temperaturas (960°C), em banho de criolita fundida. O processo foi patenteado em 1886 por Hall-Hérault, onde ocorrem as reações de eletrólise:

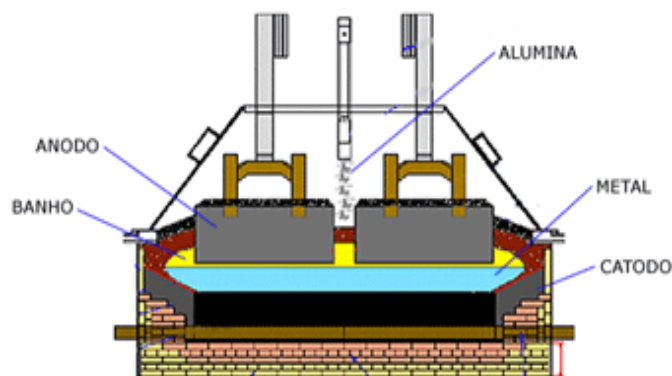
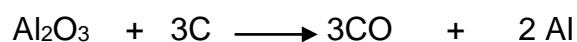
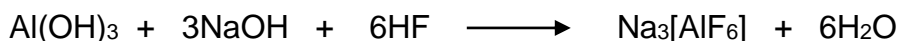


Figura -10 – Cuba eletrolítica

Nesse processo a alumina  $\text{Al}_2\text{O}_3$  é fundida, misturada com criolita,  $\text{Na}_3[\text{AlF}_6]$ , e eletrolisada num tanque de aço revestido de grafita, que atua como cátodo. Os ânodos também são feitos de grafita. A célula funciona continuamente, e a certos intervalos o alumínio fundido (ponto de fusão 660°C) é removido do fundo da célula, adicionando-se também novas quantidades de alumina.



A criolita melhora a condutividade elétrica da célula, pois o  $\text{Al}_2\text{O}_3$  não é um bom condutor de eletricidade. Além disso, a criolita é uma impureza adicionada que reduz o ponto de fusão da mistura à cerca de 960°C. No ânodo formam-se vários produtos,



incluindo O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, F<sub>2</sub>, compostos de carbono e flúor. Eles provocam desgaste do ânodo, que deve ser substituído periodicamente. Os traços de flúor formados provocam séria corrosão. Nas primeiras semanas depois de se colocar em operação uma célula recém revestida, o eletrólito é rapidamente absorvido no revestimento e no isolamento, com a absorção preferencial marcada da parcela em alto teor de sódio, o que tende a tornar a razão NaF/AlF<sub>3</sub> inferior ao nível desejado. Compensa-se esta perda pela adição de material alcalino, por exemplo, barrilha:



Depois das primeiras semanas de operação das cubas, ocorre uma perda de AlF<sub>3</sub> mediante a volatilização dos compostos ricos em AlF<sub>3</sub> e também em virtude da reação com a soda cáustica residual na alumina, na hidrólise do ar ou nos materiais adicionados:



Para manter a composição desejada, as perdas são compensadas mediante adição periódica de AlF<sub>3</sub> ao eletrólito. A pequena quantidade de cal normalmente presente na alumina é suficiente para manter a concentração desejada de fluorita durante a reação.

Os fluoretos volatilizados e os fluoretos de hidrogênio são coletados, juntamente com outros gases liberados nas células, por sistema de ventilação local exaustora e encaminhados para uma central de tratamento e recuperação de gases.

## 2. 1 - Principais insumos básicos

### 2.1.1 - Fluoreto de Alumínio (AlF<sub>3</sub>):

A eletrólise da alumina é realizada em meio a um banho de sais fundidos, ou eletrólito, constituído basicamente de fluoretos de Sódio e Alumínio. No início de funcionamento, o constituinte principal do banho é a criolita (NaF<sub>3</sub>.AlF<sub>6</sub>), mas, durante a operação das cubas, a composição química do eletrólito sofre variações que necessitam ser permanentemente ajustadas, para manter as condições adequadas ao processo

eletrolítico. Este ajuste é feito pela adição programada de fluoreto de alumínio, pó de aspecto esbranquiçado.

#### 2.1.2 – Coque de petróleo (C):

Via de regra a indústria de alumínio dispõe de instalações completas para fabricação do anôdo, Este produto, obtido pela calcinação do chamado coque verde originado nas refinarias de petróleo, tem o aspecto de carvão granulado e é recebido à granel. Após beneficiamento na Fábrica de Anôdos Verdes, para ajuste na distribuição granulométrica, o coque é então misturado a uma certa quantidade de piche eletrolítico, de função aglomerante. Passa, a seguir, por um processo de moldagem para constituir o bloco de anôdo verde, que sofrerá, na seqüência um processo de cozimento a altas temperaturas, para adquirir as propriedades apropriadas ao processo eletrolítico.

#### 2.1.3 - Piche (C):

O piche eletrolítico, obtido a partir da destilação do alcatrão de carvão mineral, é utilizado na fabricação de anôdos como aglomerante das partículas de coque. O produto tem que atender a especificações rígidas para a indústria do alumínio, sendo fornecido na forma líquida ou na forma sólida, o chamado piche “pencil”.

#### 2.1.4 - Óleo Pesado:

Normalmente são utilizados óleos, BPF, ou Tipo A, nos fornos de cozimento. Esse óleo serve como combustível para queima e geração do calor necessário para produzir anôdos cozidos com as propriedades especiais exigidas pelo processo eletrolítico, dentre elas, elevadas resistência mecânica e baixa resistividade elétrica.

## 2.2 - Principais fontes de poluição

Essas unidades de apoio, assim como as unidades de eletrólise, apresentam diversas fontes de poluição ambiental, que colocam em risco a saúde dos trabalhadores, conforme descritos nas figuras seguintes:



Figura 11 – Emissão de material particulado: tem início no poço de recebimento de insumos básicos (pixe e coque). Esses sistemas normalmente são providos de sistema de ventilação local exaustora e equipamentos de controle de poluentes (filtros de tecido). O arraste de material particulado para a atmosfera ocorre pela ação dos ventos, devido ausência de uma porta (enclausuramento) na entrada do poço de descarga.



Figura 12 – Forno de cozimento de coque com detalhe da emissão de poluentes orgânicos e inorgânicos gerados pelo refluxo das câmaras.



Figura 13 – Emissões de Compostos Orgânicos Voláteis: São geradas durante as operações do pré-aquecimento do agregado. Nesta fase a indústria controla as emissões no próprio processo produtivo utilizando alumina na adsorção. Trata-se de uma operação de alto risco, onde se mistura particulados com gases, potencializando a toxicidade dessa mistura de poluentes (material particulado + fluoreto + orgânicos).



Figura 14 – À direita, em primeiro plano, observa-se detalhe do sistema de ventilação local exaustor e filtros de tecido da unidade de pré-aquecimento de agregado. Nesse sistema, a alumina adsorvida com compostos orgânicos voláteis é estocada em silos e, a seguir, misturada com o produto da britagem de crosta (limpeza dos ânodos usados com alumina fresca). Essa mistura de resíduos constituído de material particulado adsorvido com fluoreto e poluentes orgânicos, retorna por caminhão para as unidades de redução. Essas operações envolvendo o carregamento, transporte e descarregamento, geram emissões atmosféricas e são as principais fontes de poluição ambiental, disseminando poluentes altamente tóxicos nas áreas internas e externas à indústria de alumínio.



Figura 15 – Central de tratamento e recuperação de gases. Utiliza alumina para adsorver os fluoretos volatilizados e os fluoretos de hidrogênio, juntamente com outros gases liberados nas células. Essa tecnologia é bastante eficiente na recuperação desses gases. Porém, os pequenos vazamentos em conexões juntas e equipamentos do sistema, permitem uma perda desses poluentes (alumina adsorvida com fluoreto e outros gases). A ação dos ventos se encarrega de espalhar os poluentes por toda área da indústria de alumínio, colocando em risco o meio ambiente e a saúde do trabalhador.

### 3- Conclusão

Excetuando as fontes de poluição desprovidas de controle de poluentes, supra citadas, as quais representam um risco direto ao meio ambiente e à saúde dos trabalhadores, de uma maneira geral as indústrias de alumínio, são dotadas de equipamentos e sistemas de controle de poluentes para as fontes emissoras de material particulado que garantem uma eficiência de até 99% na retenção de material particulado.

Todavia, essa eficiência pontual da emissão primária, passa a ser ameaçada pelas emissões secundárias, representadas pela ausência e/ou procedimentos errôneos de operação e manutenção. Devido à tecnologia de controle da indústria de alumínio, utilizar a própria alumina como fluido de adsorção para recuperação dos gases de fluoreto,



pequenos vazamentos dessa fração de material particulado inalável (alumina), adsorvida com gases tóxicos (fluoreto e compostos orgânicos), representam um efeito aditivo na ação tóxica, pois além da ação mecânica e irritativa das partículas inaláveis, ocorre um efeito tóxico e inflamatório da mucosa respiratória pela ação dos gases tóxicos, o que representa uma grande ameaça ao meio ambiente e à saúde do trabalhador.

Neste contexto, o monitoramento das emissões primárias de poluentes passa a ser uma ferramenta importante de fiscalização e deve ser realizado através de Sistema “On-Line” em tempo real com a agência de controle ambiental, única forma de se manter a regularidade dos padrões de emissão.

Para as fontes de poluição secundárias e difusas, representadas por diversos pequenos vazamentos, faz-se necessário um rígido programa de operação e manutenção preventiva e corretiva dos equipamentos e sistemas de controle de poluentes, assim como dos equipamentos do processo de produção.

#### **4 – Bibliografia**

AZEVEDO, F.A. e CHASIN, A.A.M. – **Metals Gerenciamento da Toxicidade**: São Paulo S.P. Editora Atheneu, 2003.

BUONICORE, A.J. e DAVIS W.T. – **Air Pollution Engineering Manual** – USA 1992

SHREVE, R.N e BRINK JR, J. A. – **Indústrias de Processos Químicos** – 4ª Edição McGraw-Hill – 1977 - Inc. Editora Guanabara Koogan S.A – Rio de Janeiro – R.J.

CIÊNCIA QUÍMICA - [www.cienciaquimica.hpg.com.br](http://www.cienciaquimica.hpg.com.br) – acesso em 20/05/2005.

MINISTÉRIO DA SAÚDE – COORDENADORIA DE SAÚDE DO TRABALHADOR  
**Parecer Técnico sobre a Cadeia Produtiva do Alumínio** – Produto OPAS/OMS, 2005.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – **Legislação Ambiental**  
Brasília, 2005.

- **Elio Lopes dos Santos** é Mestre em Engenharia Urbana, Pós-Graduado em Engenharia de Controle de Poluição, Químico, Engenheiro Industrial e de Segurança do Trabalho, Ex-Gerente da CETESB em Cubatão, Assistente Técnico do Ministério Público Estadual - SP e Ministério Público Federal, Consultor Ambiental do Ministério da Saúde, Coordenador Técnico do Curso de Engenharia de Segurança do Trabalho da Unisanta e Professor da Faculdade de Engenharia Química da Unisanta - SP. (Referência Ano 2004).