



República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e do Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) PI 1106778-0 A2



* B R P I 1 1 0 6 7 7 8 A 2 *

(22) Data de Depósito: 30/08/2011

(43) Data da Publicação: 27/08/2013

(RPI 2225)

(51) Int.Cl.:

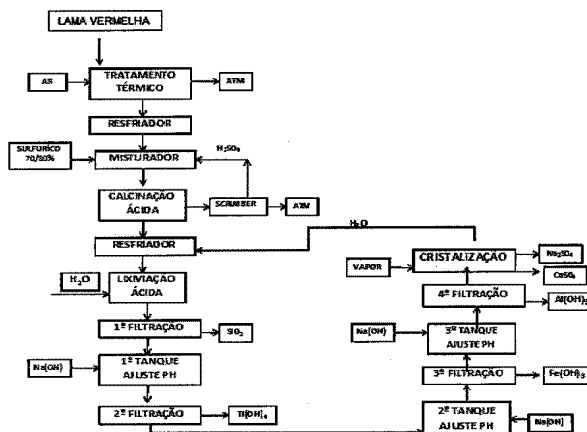
C22B 3/06

(54) Título: PROCESSO INTEGRADO PARA A RECUPERAÇÃO DOS METAIS DA LAMA VERMELHA

(73) Titular(es): Numinus Engenharia e Consultoria Ltda

(72) Inventor(es): Marcos Aguirre, Samuel Aguirre Diaz

(57) Resumo: PROCEESO INTEGRADO PARA A RECUPERAÇÃO DOS METAIS DA LAMA VERMELHA.A presente invenção refere-se a um processo integrado para a recuperação dos metais da lama vermelha(red mud).mas especificamente,a presente invenção fornece um processo integrado para a recuperação de alumínio,ferro,titânio,sódio e cálcio a partir de uma sequência de tratamentos hidrometalúrgicos da lama vermelha(red mud).



**PROCESSO INTEGRADO PARA A RECUPERAÇÃO DOS METAIS DA LAMA
VERMELHA**

CAMPO DA INVENÇÃO

A presente invenção refere-se a um processo integrado
5 para a recuperação dos metais da lama vermelha (red mud).
Mais especificamente, a presente invenção fornece um
processo integrado para a recuperação de alumínio, ferro,
titânio, sódio e cálcio a partir de uma sequência de
tratamentos hidrometalúrgicos da lama vermelha (red mud).

10 **FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO**

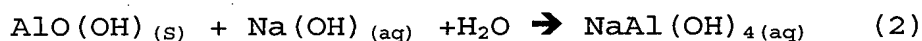
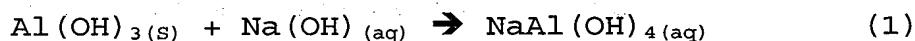
A lama vermelha (red mud) é o maior resíduo produzido
pela indústria de alumínio. Seu descarte tem acarretado
inúmeros problemas ambientais, além de aumentar
sobremaneira os custos desta indústria.

15 O alumínio metálico é comercialmente produzido a
partir da bauxita, através de um processo de duas etapas.
Na primeira etapa a alumina hidratada é produzida, através
do processo "Bayer", em uma segunda etapa o alumínio
metálico é obtido através de uma eletrólise em células de
20 Hall-Herout.

A bauxita é um mineral que ocorre naturalmente. A
bauxita é um material heterogêneo, composto principalmente
de óxidos de alumínio hidratados, e várias misturas de
sílica, óxido de ferro, dióxido de titânio, silicato de
25 alumínio e outras impurezas em quantidades menores. Os
principais óxidos de alumínio achados em proporções
variadas na bauxita são gibsite e os isômeros boemita e
diásporo. A bauxita é classificada tipicamente de acordo
com a sua aplicação comercial: abrasivos, cimento, produtos
30 químicos, metalúrgicos e material refratário, entre outros.

A maior parte da extração mundial de bauxita (aproximadamente 85%) é usada como matéria-prima para a fabricação de alumina, por lixiviação química, método conhecido como processo "Bayer". Subsequentemente, a
 5 maioria da alumina produzida deste processo de refinamento é, por sua vez, empregada como matéria-prima para a produção de alumínio metálico, pela redução eletrolítica da alumina em um banho de criolita natural ou sintética fundida (Na_3AlF_6) ou AlF_3 , método este, conhecido como
 10 processo Hall-Héroult. Bauxita é a matéria-prima mais usada na produção de alumina em escala comercial.

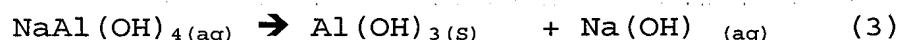
O estágio inicial da produção de alumina, denominado digestão, envolve num primeiro momento a moagem da bauxita, seguida pela digestão, propriamente dita em uma solução
 15 cáustica de hidróxido de sódio (NaOH) sob temperatura e pressão. As condições em que se processa a digestão (concentração, temperatura e pressão) variam de acordo com as propriedades da bauxita. Plantas modernas operam em temperaturas entre 200 e 240°C, e pressão em torno de 30
 20 atm (3.039,75 kPa). Nestas condições, a maioria das espécies contendo alumínio é dissolvida, formando um licor verde, conforme equações (1) e (2).



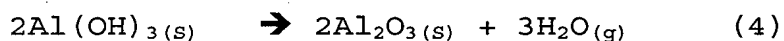
25 A clarificação é uma das etapas mais importantes do processo, nela ocorre a separação entre as fases sólida (resíduo insolúvel) e líquida (licor). Normalmente as técnicas empregadas envolvem espessamento seguido de filtração. O espessamento é um processo de decantação em
 30 que o resíduo proveniente da digestão é encaminhado para

unidades denominadas de espessadores/lavadores. O objetivo destas unidades é adensar o resíduo aumentando o seu teor de sólidos, para recuperar a maior quantidade possível de Na(OH) e fornecer um "overflow" para a filtragem. Nesta
5 fase, é comum a adição de polímeros para induzir a floculação das partículas nos espessadores.

Em seguida ocorre a etapa de precipitação, quando se dá o resfriamento do licor verde. Após este esfriamento é feita adição de uma pequena quantidade de cristais de
10 alumina (semeadura) para estimular a precipitação $\text{NaAl(OH)}_4(\text{aq})$, em uma operação reversa à digestão conforme equação (3).



A alumina cristalizada é encaminhada para a calcinação e o licor residual contendo Na(OH) e alguma alumina
15 cristalizada segue para a etapa de digestão. A calcinação é a etapa final do processo, em que a alumina é lavada, para remover qualquer resíduo do licor e posteriormente seca. Em seguida a alumina é calcinada a aproximadamente
20 1000°C para desidratar os cristais, formando cristais de alumina puros, de aspecto arenoso branco, conforme equação (4).



O resíduo insolúvel formado durante a clarificação é
25 chamado genericamente de lama vermelha (red mud). A lama vermelha como o nome sugere é uma lama avermelhada, altamente cáustica, constituída de partículas com média inferior 10 μm . Existem algumas poucas partículas maiores que 20 μm . Este resíduo constitui-se, basicamente, de
30 ferro, alumínio, silício, cálcio, titânio e sódio. A

composição da lama vermelha, obviamente, depende da bauxita que foi empregada na produção da alumina, apresentando a seguinte composição geral: Fe_2O_3 : 20-60%; Al_2O_3 : 10-30%; SiO_2 : 2-20%; Na_2O : 2-10%; CaO : 2-8%; TiO_2 : 1-28%, com área superficial de 13-16 m^2/g e uma densidade de 3,3 g/cm^3 . A
5 quantidade de lama vermelha varia 0,5 a 2,0 (lama vermelha seca/ton de alumina), por tonelada de alumina produzida.

No Brasil dados publicados sobre a geração de lama vermelha são praticamente inexistentes. Apesar do país ser
10 o terceiro maior produtor mundial e contar com grandes empresas atuando na produção de alumina. Fazendo algumas inferências, podemos concluir que a geração de lama vermelha no Brasil deve passar os cinco milhões de toneladas/ano. Isto alerta para a dimensão do problema
15 ambiental que a lama vermelha representa no Brasil.

A literatura apresenta controvérsias quanto à toxicidade da lama vermelha. A lama vermelha não é particularmente tóxica, inclusive a Environmental Protection Agency (EPA) não a classifica como rejeito perigoso. Entretanto, consideram-
20 na tóxica, na medida em que possa atingir populações vizinhas, devido à presença de elevados valores de Ca, Al, Fe, e hidróxido de sódio. Outros relatos encontrados na literatura apontam riscos ao meio ambiente associados à lama vermelha, em função de sua elevada alcalinidade e
25 capacidade de troca iônica.

Diante do exposto, pode-se considerar que a lama vermelha representa um passivo ambiental importante para a indústria de beneficiamento de alumínio, devido aos riscos de contaminação do meio ambiente e aos custos associados ao
30 seu manejo e disposição, os quais representam uma grande

parte dos custos da produção da alumina. Como constatação, a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, cita entre as atividades industriais mais poluentes a indústria de metais não ferrosos, particularmente a
5 indústria de alumínio.

Várias tentativas tem sido feitas no intuito de reaproveitar a lama vermelha entre as quais podemos destacar:

- A Kaiser Aluminuim & Chemical Company utilizou a
10 lama vermelha como material para recobrimento de aterros e pavimentação. A lama vermelha, também foi pesquisada, como insumo para a produção de cimentos especiais, mas esta aplicação apresenta problemas devido a sua alta alcalinidade.

15 - A lama vermelha encontra aplicações na indústria cerâmica, propuseram seu uso na produção de revestimentos cerâmicos (porcelanas, vítreos e eletro porcelanas). Outros pesquisadores propõem a utilização de lama vermelha na confecção de telhas, isolantes e tijolos.

20 - Na agricultura é utilizada como corretivo para solos ácidos, enriquecimento de solos pobres em ferro, no aumento da retenção de fósforo pelo solo e na imobilização de metais pesados em solos contaminados.

- No campo do meio ambiente a lama vermelha é bastante
25 utilizada principalmente na remediação de áreas contaminadas e no tratamento de efluentes líquidos, tendo sido utilizada com sucesso no tratamento de águas ácidas de minas, assim como na remediação de solos contaminados por metais pesados, fósforo e nitrogênio.

30 - Na indústria química, as utilizações de lama

vermelha tem se baseado em sua ação como catalisador em várias aplicações com a remoção de enxofre em querosene, hidrogenação do antraceno, degradação de compostos orgânicos voláteis, degradação de cloreto de polivinílica em
5 óleos combustíveis, degradação de organoclorados. As propriedades de adsorção da lama vermelha são aproveitadas no tratamento de efluentes.

FUNDAMENTOS DA TÉCNICA

Na literatura encontramos alguns processos que têm
10 como objetivo a recuperação de alguns metais que constituem a lama vermelha.

Existem os processos pirometalúrgicos, entre os quais se pode citar um processo chamado "magma process", onde a lama vermelha é fundida num forno de arco elétrico. Nesta
15 massa fundida o ferro é reduzido utilizando-se carvão mineral como redutor, como resultado deste processo são produzidos ferro fundido e uma alumina de baixa qualidade bastante contaminada. Outros processos pirometalúrgicos, nesta mesma linha têm sido propostos entre os quais podemos
20 mencionar:

1- A. Atsoy, *Reduction of ferric oxides in the red mud by aluminothermic process*;

2- Li Xiao- Bin. Xiao Wei, *Recovery of alumina and ferric oxide from Bayer red mud rich in iron by reduction
25 sintering*.

Embora alguns destes processos acima descritos sejam implementados em escala industrial, produzem produtos de baixo valor agregado tais como alumina residual e ferro fundido (não existe a separação de ferro do titânio). Além
30 do mais, o consumo energético é bastante elevado,

inviabilizando uma implantação em massa destes projetos em escala mundial.

Diversos documentos de patentes têm tentado desenvolver processos hidrometalúrgicos para recuperação de metais da lama vermelha.

O documento US 3574537 descreve um processo onde é utilizado SO_2 com o intuito de solubilizar os metais. O licor é aquecido a pH 5, de onde é precipitado o SiO_2 e $\text{Al}(\text{OH})\text{SO}_3$. Os precipitados são filtrados da solução, sendo Na_2SiO_3 cristalizados. Ácido sulfúrico é adicionado, para digerir o precipitado, e são formados sais de alumínio solúveis. O SiO_2 não é digerido permanecendo no resíduo. Na solução contendo sais de alumínio são adicionados sais de potássio ou amônio, no intuito de precipitar alume de potássio ou amônio.

O documento US 4119698 descreve um processo onde a lama vermelha é digerida com ácido sulfúrico concentrado, sendo posteriormente lixiviado com água. A solução é aquecida em pH 1, para a precipitação do hidróxido de titânio. Os sulfatos remanescentes são obtidos após evaporação da solução, sendo estes calcinados para obtenção de óxidos de ferro e alumínio. Depois de uma lixiviação com água, com o intuito de remover o sulfato de sódio, o alumínio será separado do ferro, por meio do processo Bayer (soda cáustica). Processo semelhante é descrito no documento US 6248302.

Tendo em vista os documentos acima mencionados, pode-se notar a carência de processos que extraíam todos os metais presentes na lama vermelha, de uma maneira economicamente rentável.

A lama vermelha, com já foi mencionado, é vista como um problema ambiental, mas pela aplicação do processo de recuperação da presente invenção pode ser encarada como uma oportunidade de recuperação dos metais provenientes da lama vermelha, principalmente do alumínio e titânio, aumentando, assim, a rentabilidade da indústria de alumínio, além de preservar (aumentar o prazo de exploração), de nossas reservas de bauxita. O processo de recuperação da presente invenção acaba com as famigeradas lagoas de lama vermelha, locais onde a lama vermelha gerada é depositada, e que tem sido o foco de tantos acidentes ambientais no Brasil e no mundo. Desta forma, a presente invenção minimiza os resíduos gerados na indústria de alumínio, preservando o meio ambiente, aumentando a rentabilidade da indústria (o processo da presente invenção é economicamente rentável), e preservando as reservas de bauxita (com a mesma quantidade de bauxita se produz mais alumina).

BREVE DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

A presente invenção tem como principal objetivo fornecer um processo integrado para a recuperação dos metais da lama vermelha (red mud). Mais especificamente, a presente invenção fornece um processo integrado para a recuperação de alumínio, ferro, titânio, sódio e cálcio a partir de uma sequência de tratamentos hidrometalúrgicos da lama vermelha (red mud).

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A Figura 1 apresenta um diagrama de blocos do processo da presente invenção.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

O processo integrado para a recuperação dos metais da

lama vermelha proposto na presente invenção compreende as seguintes etapas:

TRATAMENTO TÉRMICO (CALCINAÇÃO)

5 A lama vermelha é composta de alguns minerais, que perdem massa, quando calcinados em diferentes temperaturas. Estes minerais são a goethita - FeO(OH) , sodalita - $\text{Na}_6[\text{Al}_6\text{Si}_6]_{24}(\text{CO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, boemita, AlO(OH) , gibbsita - Al(OH)_3 e kaolinita - $\text{Al}_4(\text{Si}_4\text{O}_{10}) \cdot (\text{OH})_2$.

10 A lama vermelha é calcinada a uma temperatura na faixa de $200\text{-}1000^\circ\text{C}$. É observado uma redução de peso da massa calcinada. Essa perda de peso é muito rápida nas temperaturas entre $400\text{-}873^\circ\text{C}$ e está associada a uma perda de água, gibbsita, boemita e goetita, tornando-se, assim, alumina anidra e hematita.

15 Este tratamento térmico, feito através de uma calcinação, facilita muito a dissolução dos metais, principalmente o ferro e o alumínio, em meio sulfúrico. O ponto onde a dissolução ácida atinge um ponto de máximo é a 600°C , curiosamente o ponto onde a lama vermelha perde mais massa, e onde apresenta um maior ganho na área específica. 20 Em temperaturas superiores a 600°C , a taxa de dissolução volta a cair.

O tratamento térmico (calcinação) é realizado em um forno rotativo de material refratário. O material 25 refratário é, preferencialmente, ácido inox refratário ou tijolo cerâmico refratário. O meio de aquecimento é o insuflamento direto de ar atmosférico aquecido a uma temperatura de $200\text{-}1000^\circ\text{C}$, durante um período de tempo de 1-2 horas. Esta operação é fundamental, pois assegura uma 30 extração total dos metais (Al, Fe e Ti), na etapa de

lixiviação.

Após o tratamento térmico a lama vermelha torna-se um pó avermelhado.

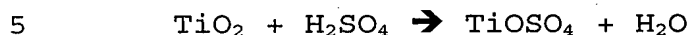
CALCINAÇÃO ÁCIDA

5 O pó avermelhado resultante do tratamento térmico é resfriado a temperatura ambiente. O pó avermelhado é misturado com ácido sulfúrico a 70-80% numa proporção de 1 kg de pó para 3-3,5 kg de ácido sulfúrico (70-80%).

10 A utilização do ácido sulfúrico diluído tem como objetivo reduzir a formação de grumos, que ocorreriam se fosse utilizado ácido sulfúrico concentrado, pois a reação seria muito violenta. Para realização dessa operação, é utilizado um ribbom-blender de alta eficiência. Esta operação de mistura é fundamental para que a extração de
15 metais atinja valores elevados.

A mistura ácida é introduzida em um forno de aquecimento elétrico (sem insuflamento de ar atmosférico) a uma temperatura na faixa de 250-300°C, preferencialmente na faixa de 280-300°C, por um período de tempo de 1-2 horas. O
20 material de construção deste forno deverá ser de uma liga resistente ao ácido sulfúrico (ligas de níquel ,titânio) Nesta faixa de temperatura o ácido sulfúrico, por estar próximo do seu ponto ebulição, sofre mudanças na sua estrutura molecular, o que o torna muito mais ativo. Isto
25 permite o uso do excesso de ácido sulfúrico, em relação ao estequiométrico consideravelmente menor. Desta maneira, reduz-se consideravelmente a geração de efluentes e os custos variáveis de um processo de lixiviação ácida. 50% de excesso em relação ao estequiométrico são suficientes para
30 garantir uma extração completa dos metais da lama vermelha.

O consumo de ácido sulfúrico pode ser calculado, de acordo com as seguintes equações:



O material do forno e do ribbom-blender é qualquer liga que suporte o ácido sulfúrico. O motivo do forno não
10 usar ar atmosférico como meio de aquecimento, deve-se ao fato de que em temperaturas elevadas, o sulfúrico seria carregado pelo ar e a reação de formação dos sulfatos, seria prejudicada.

Após a calcinação ácida tem-se uma areia branca seca.

15 Opcionalmente, pode ser usado um scrubber com ácido sulfúrico a 96%, com o intuito de absorver os fumos provenientes do forno elétrico da calcinação ácida. Uma vez saturada a solução, a mesma poderá ser reutilizada num próximo batch no misturador ribbom-blender.

20 LIXIVIAÇÃO ÁCIDA

Após a calcinação ácida, a torta proveniente do forno elétrico, é resfriada. Esta operação de resfriamento é realizada num resfriador rotativo. A massa proveniente do resfriador é então enviada para a lixiviação ácida. O
25 objetivo da lixiviação ácida é promover a solubilização dos sulfatos formados na calcinação ácida e completar as reações de formação dos mesmos.

A massa é lixiviada com água contendo 2% em peso de ácido sulfúrico. O objetivo é solubilizar completamente o
30 Al, Fe, Ti e Ca, restando na torta da primeira filtração,

sílica que pode ser utilizada em cimento e outras aplicações.

A lixiviação ácida é realizada utilizando-se uma relação mássica líquido/sólido na faixa de 5-30, preferencialmente 15-25. A temperatura utilizada é de 80-150°C, preferencialmente 100°C. O tempo de reação é de 1 a 2 horas. O reator onde ocorre a lixiviação opera com um sistema de agitação onde a velocidade de rotação está na faixa de 300-600 rpm, preferencialmente 450 rpm.

Para determinar as condições ideais da lixiviação ácida, foram realizados experimentos fatoriais, para otimizar quatro fatores importantes nesta operação. Os fatores estudados, foram: temperatura, relação sólido/líquido, velocidade de rotação e tempo de reação. Os valores otimizados foram: temperatura: 100°C, relação líquido/sólido (em massa): 20, velocidade de rotação: 450 rpm (dois níveis de agitação) e tempo de reação: 1 hora.

PRECIPITAÇÃO DOS METAIS E CRISTALIZAÇÃO DE SULFATOS

PRECIPITAÇÃO DOS METAIS

O primeiro metal a ser separado do licor ácido proveniente da lixiviação ácida é o titânio. Para tal objetivo o pH da solução será elevado para 1-1,5, pela adição de soda cáustica a 50%, sob aquecimento a uma temperatura de 60°C-100°C e agitação a uma velocidade de rotação de 150-500 rpm. Ocorrerá a precipitação Ti(OH)_4 , que posteriormente será calcinado a 350-400°C para obtenção TiO_2 .

O segundo metal a ser separado é o ferro. Para tal, a solução resultante da separação do titânio tem seu pH elevado acima de 12 através da adição de soda cáustica 50%,

sob aquecimento a uma temperatura de 60°C-100°C e agitação a uma velocidade de rotação de 150-500 rpm. Nesta faixa de pH, ocorre a precipitação do ferro, como $\text{Fe}(\text{OH})_3$, sem que ocorra a precipitação do alumínio. O precipitado de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ é, então, calcinado a 400-500°C para obtenção Fe_2O_3 .

O terceiro metal a ser separado é o alumínio. Para tal, a solução resultante da separação do ferro tem seu pH ajustado para 7,0-8,0 através da adição de ácido sulfúrico 98%, sob aquecimento a uma temperatura de 60°C-100°C e agitação a uma velocidade de rotação de 150-500 rpm. Ocorrerá a precipitação $\text{Al}(\text{OH})_3$, a partir de soluções ácidas podem se obter hidróxidos de alumínio de grande pureza.

CRISTALIZAÇÃO DE SULFATOS

Após a precipitação de Ti, Fe e Al restam uma solução de pH 7,0-8,0, contendo sulfato de sódio e sulfato de cálcio. Em um evaporador triplo efeito (de maneira a economizar energia térmica), primeiramente cristaliza todo o sulfato de cálcio, devido ao fato deste apresentar uma baixa solubilidade, posteriormente cristaliza o sulfato de sódio. Estes sulfatos que tem muitas aplicações industriais, podendo ser facilmente comercializados.

Desta maneira recuperamos todos os elementos constituintes da lama vermelha, transformando-os em produtos puros com valor comercial (SiO_2 , TiO_2 , Fe_2O_3 , $\text{Al}(\text{OH})_3$, CaSO_4 , Na_2SO_4), sem geração de efluente de nenhuma espécie.

REIVINDICAÇÕES

1. Processo integrado para a recuperação dos metais da lama vermelha, caracterizado por compreender as seguintes etapas:

- 5 a) tratamento térmico (calcinação);
 b) calcinação ácida;
 c) lixiviação ácida;
 d) precipitação dos metais, que compreende as seguintes subetapas:

- 10 separação do titânio;
 separação do ferro;
 separação do alumínio; e
 e) cristalização dos sulfatos.

2. Processo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a etapa de tratamento térmico (calcinação) é realizada em um forno rotativo de material refratário, onde o meio de aquecimento é o insuflamento direto de ar atmosférico aquecido.

3. Processo, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que o material refratário é ácido inox refratário ou tijolo cerâmico refratário.

4. Processo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que na etapa de tratamento térmico (calcinação) a lama vermelha é calcinada a uma temperatura na faixa de 200-1000°C, durante um período de tempo de 1-2 horas.

5. Processo, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que na etapa de tratamento térmico (calcinação) a lama vermelha é calcinada a uma temperatura na faixa de 400-873°C.

6. Processo, de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato de que na etapa de tratamento térmico (calcinação) a lama vermelha é calcinada a uma temperatura de a 600°C.

5 7. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, caracterizado pelo fato de que o pó avermelhado resultante da etapa de tratamento térmico (calcinação) é resfriado a temperatura ambiente.

10 8. Processo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que na etapa de calcinação ácida, o pó avermelhado resfriado é misturado com ácido sulfúrico a 70-80% numa proporção de 1 kg de pó para 3-3,5 kg de ácido sulfúrico (70-80%).

15 9. Processo, de acordo com a reivindicação 1 ou 8, caracterizado pelo fato de que a mistura ácida é introduzida em um forno de aquecimento elétrico (sem insuflamento de ar atmosférico) a uma temperatura na faixa de 250-300°C, por um período de tempo de 1-2 horas.

20 10. Processo, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que a temperatura é na faixa de 280-300°C.

25 11. Processo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a etapa de calcinação ácida compreende, ainda, a utilização de um scrubber com ácido sulfúrico a 96%.

10 ou 11, caracterizado pelo fato de que a torta resultante da etapa de calcinação ácida é resfriado a temperatura ambiente em um resfriador rotativo.

30 13. Processo, de acordo com a reivindicação 1,

caracterizado pelo fato de que na etapa de lixiviação ácida, a torta resfriada é lixiviada com água contendo 2% em peso de ácido sulfúrico.

14. Processo, de acordo com a reivindicação 13,
5 caracterizado pelo fato de que a relação mássica líquido/sólido está na faixa de 5-30, a temperatura utilizada é de 80-150°C, o tempo de reação é de 1 a 2 horas, o reator onde ocorre a lixiviação ácida opera com um sistema de agitação onde a velocidade de rotação está na
10 faixa de 300-600 rpm.

14. Processo, de acordo com a reivindicação 14,
caracterizado pelo fato de que a relação mássica líquido/sólido está na faixa de 15-25, a temperatura utilizada é de 100°C, o tempo de reação é de 1 hora, o
15 reator onde ocorre a lixiviação opera com um sistema de agitação onde a velocidade de rotação é de 450 rpm.

15. Processo, de acordo com a reivindicação 1,
caracterizado pelo fato de que a separação do titânio a partir do licor ácido proveniente da lixiviação ácida é
20 realizada elevando o pH da solução para 1-1,5, pela adição de soda cáustica a 50%, sob aquecimento a uma temperatura de 60-100°C e agitação a uma velocidade de rotação de 150-500 rpm, obtendo-se o precipitado de Ti(OH)_4 .

16. Processo, de acordo com a reivindicação 15,
25 caracterizado pelo fato de que após a precipitação de Ti(OH)_4 , o mesmo é calcinado a uma temperatura de 350-400°C, obtendo-se TiO_2 .

17. Processo, de acordo com a reivindicação 1,
caracterizado pelo fato de que a separação do ferro a
30 partir da solução resultante da separação do titânio é

realizada elevando o pH acima de 12 através da adição de soda cáustica 50%, sob aquecimento a uma temperatura de 60°C-100°C e agitação a uma velocidade de rotação de 150-500 rpm, obtendo-se o precipitado de $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

5 18. Processo, de acordo com a reivindicação 17, caracterizado pelo fato de que após a precipitação de $\text{Fe}(\text{OH})_3$, o mesmo é calcinado a uma temperatura de 350-400°C, obtendo-se Fe_2O_3 .

10 19. Processo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a separação do alumínio a partir da solução resultante da separação do ferro é realizada ajustado o pH para 7,0-8,0 através da adição de ácido sulfúrico 98%, sob aquecimento a uma temperatura de 60°C-100°C e agitação a uma velocidade de rotação de 150-15 500 rpm, obtendo-se o precipitado de $\text{Al}(\text{OH})_3$.

20 20. Processo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a etapa de cristalização dos sulfatos é realizada colocando-se a solução resultante da separação do alumínio em um evaporador triplo efeito, primeiramente cristaliza todo o sulfato de cálcio, e posteriormente cristaliza o sulfato de sódio.

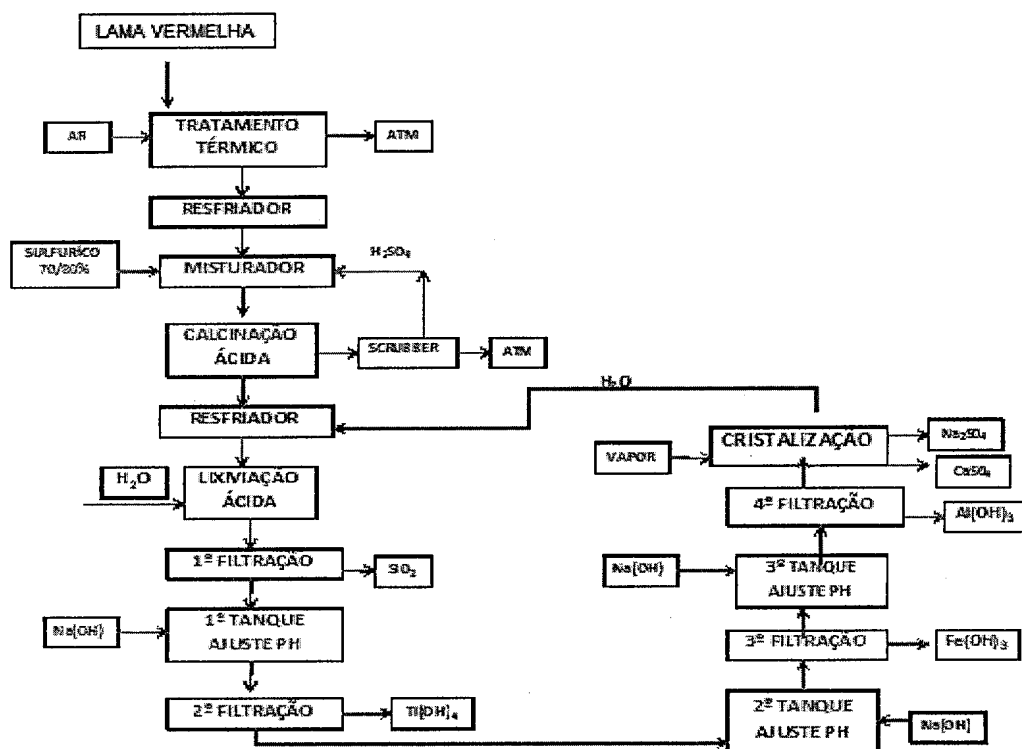


FIG. 1

Resumo

**PROCESSO INTEGRADO PARA A RECUPERAÇÃO DOS METAIS DA LAMA
VERMELHA**

A presente invenção refere-se a um processo integrado
5 para a recuperação dos metais da lama vermelha (red mud).
Mais especificamente, a presente invenção fornece um
processo integrado para a recuperação de alumínio, ferro,
titânio, sódio e cálcio a partir de uma sequência de
tratamentos hidrometalúrgicos da lama vermelha (red mud).