



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

(21) **PI0616740-3 A2**

(22) Data de Depósito: 11/09/2006
(43) Data da Publicação: 28/06/2011
(RPI 2112)



(51) *Int.Cl.:*
C22B 34/12 2006.01

(54) Título: **BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO TITANÍFERO**

(30) Prioridade Unionista: 18/10/2005 US 11/252.407

(73) Titular(es): MILLENNIUM INORGANIC CHEMICALS, INC.

(72) Inventor(es): ANDREA DE CASTRO SHELDON, EARL M. SMITH JR.

(74) Procurador(es): NELLIE ANNE DANIEL SHORES

(86) Pedido Internacional: PCT US2006035255 de 11/09/2006

(87) Publicação Internacional: WO 2007/046975 de 26/04/2007

(57) Resumo: BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO TITANIFERO. Essa invenção refere-se a um processo para beneficiar um minério titanífero. O processo compreende a lixiviação do minério titanífero com ácido sulfúrico para formar um minério lixiviado, a calcinação do minério lixiviado na presença de oxigênio para formar um minério calcinado, e a lixiviação do minério calcinado com ácido sulfúrico, ácido clorídrico e/ou ácido nítrico para formar um minério beneficiado. O minério lixiviado não é reduzido antes, ou subsequente à calcinação.



PI0616740-3

"BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO TITANÍFERO"

CAMPO DA INVENÇÃO

Essa invenção refere-se a um processo para beneficiar um minério titanífero. O processo compreende a lixiviação do minério titanífero com ácido sulfúrico para formar um minério lixiviado, a calcinação do minério lixiviado na presença de oxigênio para formar um minério calcinado, e a lixiviação do minério calcinado com ácido sulfúrico, ácido clorídrico e/ou ácido nítrico para formar um minério beneficiado. O minério lixiviado não é reduzido antes, ou subsequente à calcinação.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

O dióxido de titânio é comercialmente produzido pelo processo de sulfato ou pelo processo de cloreto. No processo de cloreto, matérias-primas de alimentação são clo-
radas para formar tetracloreto de titânio, o qual é, em seguida, oxidado para formar TiO_2 . Esse processo opera mais eficazmente partindo de matérias-primas de alimentação contendo titânia com alto teor de TiO_2 . Infelizmente, vários minérios titaníferos em seu estado natural, tal como a ilmenita, possuem um teor de TiO_2 na faixa de 40% a 65%, que é indesejavelmente baixo para o processo de cloreto.

Vários métodos de beneficiamento diferentes, para aumentar o teor de TiO_2 de minérios titaníferos, têm sido desenvolvidos. A escorificação, por exemplo, é utilizada para melhorar os minérios ilmenita pela redução da maior parte do teor de ferro férrico e ferroso a ferro metálico fundido em um forno. O ferro fundido mais denso separa-se da escória

que flutua sobre o topo da fase de ferro fundido. A escória contém uma alta porcentagem de TiO_2 junto com uma concentração mais baixa de outras impurezas. A alta porcentagem de escória de TiO_2 com impurezas é, então, separada do ferro fundido e processada como uma matéria-prima de alimentação de TiO_2 .

Devido ao fato de que o co-produto de ferro de um processo de escorificação pode ser vendido como uma matéria-prima de alimentação para a fabricação de aço, os processos de escorificação tornam-se econômicos para ilmenitas, possuindo porcentagens de concentrações de TiO_2 relativamente baixas. No entanto, uma vez que os processos de escorificação estão majoritariamente limitados à separação de ferro do precursor ilmenita, níveis significativos de outras impurezas da matéria-prima de alimentação ilmenita podem se formar na escória. Exemplos de tais impurezas são metais alcalino-terrosos (e.g. Ca, Mg) e metais alcalinos (e.g. Na). Devido aos pontos de ebulição elevados dos compostos de cloreto para essas impurezas, eles podem ser nocivos ao processo de cloração em leito fluidizado. Como resultado, impurezas de uma escória específica podem relegá-lo para usar o processo menos preferido de sulfato.

O processo Becher é um outro processo para melhorar a ilmenita. Embora o processo Becher seja um processo químico úmido, seu produto final é semelhante à escória em que o processo Becher remove o ferro, enquanto deixa para trás todas as outras impurezas não-ferrosas (cálcio, metais alcalinos, etc.).

Além dos minérios de ilmenita, existe um interesse em desenvolver processos a partir de minérios alternativos contendo níveis de impurezas elevados que não são comumente encontrados na ilmenita. A remoção e a recuperação de algumas dessas impurezas poderia ser comercialmente significativa, dado o preço elevado que alguns desses materiais detêm. Um minério e tanto alternativo é o TiO_2 anatásio de ocorrência natural que é encontrado no Brasil. Esse tipo de minério, bem como os corpos de minério de anatásio similares incluindo misturas de anatásio e ilmenita, tendem a apresentar níveis elevados de radionuclídeos, metais alcalino-terrosos, metais de terras raras, fosfatos, e sílica, que tiveram seu uso limitado devido aos custos elevados para remover essas impurezas do minério.

Processos de lixiviação ácida têm sido ensinados para remover óxido de ferro e outras impurezas dos minérios titaníferos. Vide, por exemplo, as patentes US 2.811.434, 3.77.013, 5.011.666, 5.085.837, 5.181.956, 5.826.162 e 6.048.505. A patente canadense No. 1.234.990 relata um processo de beneficiamento que compreende a lixiviação da ilmenita com um ácido mineral, a oxidação e, em seguida, a redução deste concentrado intermediário, e, então, a lixiviação do intermediário reduzido a ilmenita melhorada.

Existe uma necessidade em desenvolver processos para remover as impurezas dos minérios, particularmente, aqueles minérios com níveis elevados de impurezas não-ferrosas. A presente invenção fornece um processo e tanto aperfeiçoado.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

A invenção é um processo para beneficiar um minério titanífero. O processo compreende a lixiviação do minério titanífero com ácido sulfúrico para formar um minério lixiviado e uma fase líquida; a calcinação do minério lixiviado na presença de oxigênio para formar um minério calcinado, onde o minério lixiviado não é reduzido antes, ou subsequente à calcinação; e a lixiviação do minério calcinado com um ácido selecionado do grupo consistindo em ácido sulfúrico, ácido clorídrico e ácido nítrico, para formar um minério beneficiado. O processo da invenção resulta em níveis de impureza no minério beneficiado significativamente reduzidos.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

O processo da invenção é um método de beneficiamento de minérios titaníferos pelo uso de dois estágios de lixiviação com um estágio intermediário de calcinação. Os minérios titaníferos úteis no processo da invenção incluem minérios contendo titânia que contêm ferro e outras impurezas. Minérios particularmente preferidos incluem minérios titaníferos com concentrações totais de metais alcalino-terrosos entre 0,2 e 4 por cento em peso; minérios titaníferos com concentrações de radionuclídeos (em particular urânio + tório) entre 120 ppm e 1000 ppm; minérios titaníferos com concentrações de metais de terras raras entre 0,3 e 3 por cento em peso; minérios titaníferos com concentrações de fosfato entre 1 e 10 por cento em peso; minérios titaníferos com concentrações de sílica entre 1 e 10 por cento em peso;

e matérias-primas de alimentação titaníferas com concentrações de TiO_2 baixas, entre 40 e 75 por cento em peso de TiO_2 , bem como escórias contendo entre 75 e 87 por cento em peso de TiO_2 .

5 Um minério titanífero e tanto é o TiO_2 anatásio de ocorrência natural. Em particular, o minério de anatásio encontrado no Brasil, bem como os corpos de minério de anatásio incluindo misturas de anatásio e ilmenita, tendem a apresentar níveis elevados de radionuclídeos, metais alcali-
10 no-terrosos, metais de terras raras, fosfatos e sílica. Outros tipos de minério incluem, mas não estão limitados a escórias, tal como as que contêm níveis elevados de cálcio e magnésio, e estão, por exemplo, localizadas na Noruega, Suécia, Canadá e China; areias oleígenas, tal como as que con-
15 têm níveis relativamente elevados de alcalino-terrosos e SiO_2 e estão, por exemplo, localizadas em Alberta, Canadá; e outros tipos de minérios titaníferos de ocorrência natural, tal como os conhecidos depósitos de ilmenita. Os minérios titaníferos preferidos incluem minério de anatásio, ilmenita
20 e misturas de anatásio e ilmenita. Quando uma mistura anatásio/ilmenita é utilizada, a mistura irá tipicamente conter entre 70 e 90 por cento em peso de anatásio e entre 30 e 10 por cento em peso de ilmenita.

25 Antes do primeiro estágio de lixiviação, o minério titanífero pode ser sujeito a um pré-tratamento químico ou térmico. Por exemplo, o minério titanífero pode ser pré-tratado pela oxidação do minério para formar um minério oxidado e, em seguida, pela redução do minério oxidado. A etapa

de oxidação pode ser realizada na presença de um gás contendo oxigênio, tal como ar, a uma temperatura elevada. Preferivelmente, a temperatura de oxidação é maior que 250°C, mais preferivelmente maior que 400°C. A etapa de redução pode ser realizada na presença de um redutor, preferivelmente hidrogênio, a uma temperatura elevada. Preferivelmente, a temperatura de redução é maior que 50°C, mais preferivelmente maior que 150°C. No caso de ilmenita, a ilmenita pode ser oxidada para formar um material baseado em pseudobrookita e, então, reduzida, antes do primeiro estágio de lixiviação. Um exemplo desse processo está descrito no pedido de patente comumente possuído sob No. de série 10/126.241, depositado em 19 de abril de 2002, publicado como US 2003/0198591, em 23 de outubro de 2003. Logo após o pré-tratamento de oxidação/redução, substancialmente todo ferro do minério está no estado de oxidação +2. Preferivelmente, o pré-tratamento de oxidação/redução resulta em, virtualmente, nenhum ferro remanescente no estado de oxidação +3 e, apenas, até 1 por cento em peso de ferro metálico.

Além do pré-tratamento de oxidação/redução, o minério titanífero pode ser pré-tratado, também, antes do primeiro estágio de lixiviação pela redução do minério titanífero para formar um minério reduzido e, em seguida, pela sujeição do minério reduzido a uma separação magnética e/ou oxidação branda. Um exemplo desse procedimento está descrito na EP 0 243 725 A2. A remoção de ferro pode ser melhorada pela etapa de redução inicial. A etapa de redução pode ser realizada na presença de um redutor, tal como hidrogênio, a

uma temperatura elevada. Preferivelmente, a temperatura de redução é maior que 50°C, mais preferivelmente maior que 150°C. O minério reduzido pode ser, então, sujeitado à separação magnética e/ou oxidação branda. A separação magnética
5 pode ser realizada a aproximadamente 500 gauss a 20.000 gauss. A etapa de separação magnética é útil para remover redutores em fase sólida, e.g. carvão mineral, etc. A oxidação branda pode ser realizada na presença de um gás contendo oxigênio, tal como ar, a uma temperatura branda. Preferivel-
10 mente, a temperatura de oxidação é menor que 600°C, mais preferivelmente menor que 500°C.

Embora o minério titanífero possa ser pré-tratado antes do primeiro estágio de lixiviação, é usualmente preferível que o minério titanífero não seja sujeitado a um pré-
15 tratamento químico ou térmico antes da lixiviação. De fato, ambos anatásio e uma mistura de anatásio/ilmenita têm sido percebidos por lixiviar melhor a maior parte das impurezas sem pré-tratamento. Ademais, embora a remoção de ferro seja melhor quando o minério é pré-tratado por uma etapa de redu-
20 ção, a melhora na remoção de ferro desses tipos de minério não é comercialmente significativa comparada à remoção de radionuclídeos, alcalino-terrosos e fosfatos e à remoção de metais de terras raras. De fato, a remoção de ferro de minérios baseados em anatásio não-tratado é surpreendentemente
25 eficaz, dado o alto teor férrico.

No primeiro estágio de lixiviação, o minério titanífero é lixiviado com ácido sulfúrico para formar um minério lixiviado e uma fase líquida. Qualquer fonte de ácido

sulfúrico pode ser utilizada na etapa de lixiviação. No entanto, o ácido sulfúrico é mais preferivelmente virgem, ácido sulfúrico reciclado e/ou de resíduo. A concentração de ácido sulfúrico está preferivelmente na faixa de 5 a 65 por cento em peso de H_2SO_4 .

A lixiviação pode ocorrer a uma pressão ambiente ou elevada. Preferivelmente, o minério titanífero é lixiviado pelo contato do minério com ácido sulfúrico a uma pressão elevada de pelo menos 68,95 kPa (10 psig), mais preferivelmente de pelo menos 137,89 kPa (20 psig) e ainda mais preferivelmente de pelo menos 206,84 kPa (30 psig). Como é de conhecimento de técnicos no assunto, quando se conduz um processo de lixiviação, a pressão é dependente da temperatura e da concentração do ácido envolvido. Com o intuito de aumentar a pressão, o técnico deve aumentar a temperatura e/ou diminuir a concentração de ácido.

A lixiviação pode ocorrer à temperatura ambiente ou a uma temperatura elevada. Preferivelmente, o minério titanífero é lixiviado pelo contato do minério a uma temperatura de pelo menos 110°C. A lixiviação ocorre, preferivelmente, para um tempo de reação de 10 minutos a 5 horas. A relação em peso de ácido anidro/minério excede preferivelmente 0,5. Uma relação de ácido anidro/minério é uma relação baseada no peso que descreve a quantidade de ácido em peso (não a quantidade de solução na qual o ácido está dissolvido) relacionada à quantidade de minério.

O produto da primeira etapa de lixiviação é uma primeira fase líquida e um primeiro minério lixiviado. Den-

tro da primeira fase líquida, existirão finos que se formam como uma primeira fase sólida em solução. Os finos são compostos por: (i) TiO_2 hidrolisado, compreendendo tipicamente $\text{TiO}(\text{OH})_2$ e outras formas de TiO_2 hidratado (ou sulfatado),
5 que é formado via dissolução do beneficiado TiO_2 a partir do beneficiado e, subseqüentemente, precipitado em solução como hidrolisado; (ii) sais metálicos daquelas impurezas lixiviadas do minério, que atingiram suas concentrações de saturação em solução e, subseqüentemente, formaram precipitados; e
10 (iii) hidratos metálicos, tal como hidróxidos metálicos daquelas impurezas lixiviadas do minério. Um dos aspectos surpreendentes do processo é o número de impurezas que foram percebidas por lixiviar com ácido sulfúrico do minério baseado em anatásio.

15 O minério lixiviado é preferivelmente separado dos finos e solução-mãe (*mother liquor*) por um processo de separação e lavagem (preferivelmente conduzido na presença de lavagens de água e/ou ácidos diluídos de outras etapas do processo). Métodos para separar o minério lixiviado das so-
20 luções-mãe e finos são bem conhecidos por técnicos no assunto e incluem, mas não estão limitados ao uso de hidrociclones. Após a separação, o minério lixiviado bruto pode ser lavado para remover impurezas solúveis antes da etapa de calcinação. Lavagens em excesso podem ser enviadas para neu-
25 tralização, ou recicladas para outras partes do processo.

A mistura de finos e solução-mãe pode ser enviada para um processo de separação, no qual o técnico no assunto consegue remover os finos da solução-mãe. A filtração e a

sedimentação são opções de separação possíveis, mas outras técnicas, que são atualmente conhecidas ou que vierem a se tornar conhecidas por técnicos no assunto, podem ser usadas. Os finos podem ser enviados para um processo similar ao descrito no pedido US 2003/0198591, o qual descreve a separação de finos de TiO_2 separados de sais metálicos solúveis, subsequente à lixiviação da ilmenita.

Devido ao tipo e nível de metais alcalino-terrosos e de terras raras presentes em alguns minérios titaníferos, incluindo o minério de anatásio, o processamento dos finos supracitados pode necessitar de etapas de processamento adicionais (e.g. a digestão de TiO_2) para remover o TiO_2 das impurezas. Por exemplo, o TiO_2 hidrolisado e sulfatos metálicos podem ser sujeitados a um líquido de lavagem para dissolver os sulfatos metálicos e produzir um TiO_2 hidrolisado lavado. O hidrolisado lavado pode ser usado "como é" ou digerido em ácido à jusante para, adicionalmente, separar o teor de TiO_2 das impurezas não-digeríveis.

A solução-mãe supracitada pode ser referida como uma "primeira solução-mãe" e compreende ácido sulfúrico, bem como outras determinadas impurezas, tal como sais metálicos. Essa primeira solução-mãe pode ser sujeitada a qualquer forma de etapa de cristalização, incluindo cristalização por resfriamento ou cristalização/evaporação a vácuo, etc., para remover sais metálicos da solução-mãe e reconcentrar o ácido. Esse ácido pode ser sujeitado a um redutor e, em seguida, reciclado para o primeiro estágio de lixiviação. Adicionalmente, a reposição de ácido virgem é preferivelmente adi-

cionada na cristalização para dar assistência à cristalização via efeito "salting-out" dos sais metálicos acima.

O ácido reciclado supracitado contém ambos sulfatos de ferro férrico e ferroso. Através da redução do ferro férrico a ferroso na corrente de reciclo supracitada, a lixiviação subsequente de radionuclídeos é potencialmente melhorada fora dos limites de métodos do estado da técnica. Pela adição, ainda, de um agente redutor à lixiviação, e.g. pela a adição de Ti^{+3} à corrente de reciclo, a remoção de radionuclídeos é ainda mais intensificada fora dos limites de métodos do estado da técnica. A redução de sulfatos férricos a sulfatos ferrosos pode ser também realizada via adição de ferro metálico, eletroliticamente, ou qualquer outro método atualmente conhecido ou que vier a se tornar conhecido por técnicos no assunto. A quantidade de redutor a ser adicionada é determinada principalmente pela quantidade de ferro férrico no ácido reciclado. Uma quantidade suficiente de redutor deve ser adicionada para converter todo ferro férrico em ferro ferroso e para converter uma quantidade significativa (se não toda) de qualquer Ti^{+4} solubilizado remanescente em Ti^{+3} na corrente de reciclo.

De modo similar às modificações acima para a corrente de reciclo de ácido, a remoção melhorada de radionuclídeos é preferivelmente realizada durante a primeira lixiviação com ácido sulfúrico pela promoção de condições de redução via adição de ferro metálico, adição de Ti^{+3} , eletroquimicamente, ou via qualquer outro método conhecido no estado da técnica. A quantidade de redutor a ser adicionado é

determinada pela conversão de ferro férrico solubilizado em ferroso e pela presença de Ti^{+3} durante a lixiviação para promover condições de redução favoráveis à lixiviação de tório.

5 O minério lixiviado supracitado é preferivelmente lavado e seco antes da calcinação. No estágio de calcinação, o minério lixiviado é calcinado na presença de oxigênio para formar um minério calcinado, onde o minério lixiviado não é reduzido antes, ou subsequente à calcinação. O minério lixiviado é calcinado na presença de um gás contendo oxigênio (incluindo ar, oxigênio puro, oxigênio em nitrogênio, ou quaisquer gases como tais), preferivelmente, a uma temperatura maior que $800^{\circ}C$. Mais preferivelmente, o minério lixiviado é calcinado a uma temperatura entre 900° e $1100^{\circ}C$. Tipicamente, o minério lixiviado é aquecido na temperatura de calcinação por um tempo maior que 0,5 hora.

 Preferivelmente, o minério lixiviado é calcinado de tal forma que o perfil de temperatura seja manipulado durante o processo de calcinação. A manipulação da temperatura é conduzida, preferivelmente, pelo aquecimento a uma temperatura maior que $800^{\circ}C$, e, em seguida, pelo aumento rápido do perfil de temperatura para uma segunda temperatura ao final da calcinação por um tempo preferivelmente menor que 0,5 hora.

25 A manipulação dos perfis de temperatura durante a etapa de calcinação pode, ainda, melhorar a lixiviação de impurezas. Os compostos que são calcinados por longos períodos de tempo podem tender ao recozimento e ao ganho uma es-

estrutura/morfologia cristalina mais uniforme, tornando-os, portanto, mais difíceis de lixiviar. A variação dos perfis de temperatura da calcinação pode romper a estrutura/morfologia do cristal e aumentar o nível de defeitos cristalinos, fases amorfas e fissuras nas partículas. Tais rompimentos podem intensificar significativamente a remoção de impurezas, caso todos os outros fatores sejam iguais. Um exemplo de manipulação da temperatura durante a calcinação é trazer a temperatura de uma amostra para 950°C e mantê-la constante por 30 minutos, seguida de um breve aumento da temperatura para 1000°C por 10 minutos adicionais antes do resfriamento. Um exemplo de manipulação do perfil de temperatura pós-calcinação é o resfriamento lento do material pela diminuição lenta dos ajustes de temperatura no forno.

15 Aumentos menores no final do perfil de temperatura, e.g. 30 minutos a uma temperatura inicial entre 900°C e 1500°C, seguidos de 30 minutos a uma temperatura 50°C mais elevada, resulta em melhoras significativas para resultados de lixiviação de radionuclídeos. Observe que as temperaturas acima são temperaturas de ponto de ajuste (*setpoint*) do forno. Dependendo das condições, a temperatura real do minério irá atrasar bruta-mente os pontos de ajuste do forno por 2 a 25 minutos.

25 Além da manipulação da temperatura, é preferível também combinar o minério lixiviado com pelo menos um aditivo químico, antes da etapa de calcinação. Em vários casos, o fornecimento de aditivos químicos para o minério lixiviado, antes da etapa de calcinação, permite uma remoção ainda mai-

or de impurezas através da reação com as impurezas no minério, para fornecer compostos que são mais solúveis durante a etapa de lixiviação subsequente.

Os aditivos químicos reagem tipicamente com as impurezas acima para formar sais ou óxidos solúveis. Exemplos de aditivos químicos úteis no processo incluem, mas não estão limitados a, NaCl, NaOH, Na₂CO₃, KCl, KOH e K₂CO₃, bem como outros sais de metais alcalinos e misturas dos compostos mencionados anteriormente. Os aditivos químicos são preferivelmente adicionados como uma solução aquosa ao minério lixiviado, com o intuito de assegurar a penetração nas partículas do minério. Um minério calcinado que é misturado com o aditivo químico é preferivelmente seco antes da calcinação. Por exemplo, é possível secar o material na seção de baixa temperatura de um calcinador rotativo comercial, antes da calcinação na seção de alta temperatura do forno.

A quantidade de aditivos químicos combinados com o minério lixiviado pode ser determinada empiricamente, mas trata-se essencialmente de uma relação das cargas catiônicas totais de impurezas selecionadas no minério com as cargas catiônicas totais do sal adicionado. Dependendo dos níveis de impurezas, o peso do sal adicionado é, tipicamente, de 0,1 a 15 por cento em peso. Em alguns casos, a adição de muito sal alcalino pode resultar na formação de titanatos de metais alcalinos, que podem ser nocivos ao desempenho do processo subsequente de cloração do produto.

Seguindo a etapa de calcinação, o minério lixiviado é preferivelmente colocado em contato com água. O uso de

uma etapa de contato com a água após a calcinação e antes do segundo estágio de lixiviação pode melhorar significativamente a remoção de impurezas como um todo. A etapa de contato com a água pode ser realizada por qualquer maneira de colocar o minério calcinado em contato com a água. Por exemplo, o minério calcinado pode ser lavado com água logo após a calcinação, ou o minério calcinado pode ser diretamente descarregado na água imediatamente após a calcinação. O uso da etapa de contato com a água após a calcinação é também preferível devido ao desejo de remover sais solúveis, tal como os sais de sódio, do minério, antes do segundo estágio de lixiviação. O aumento de sódio funciona contrário ao reciclo ácido porque requer um nível elevado de sangria da corrente de reciclo. A remoção de sódio antes do segundo estágio de lixiviação minimiza a corrente de sangria de reciclo ácido, melhorando, assim, a economia do processo.

Em uma modalidade, o minério descarregado da calcinação é resfriado e lavado em lavagens de água ou ácido diluído de outras partes do processo de lixiviação. Em outra modalidade, o minério descarregado da calcinação é diretamente colocado em contato (i.e. sem uma etapa de resfriamento precedente) com lavagens de água ou ácido diluído de outras partes do processo de lixiviação. O uso de uma etapa de contato com a água produz melhoras de mudança de etapa para os resultados de lixiviação do segundo estágio para as seguintes impurezas: (i) radionuclídeos (U+Th); (ii) metais alcalino-terrosos; (iii) metais de terras raras; (iv) teor total de fosfatos; e (v) SiO_2 . Seguindo o contato com a á-

gua, as soluções de contato são tipicamente separadas do minério calcinado e enviadas para neutralização.

Seguindo o estágio de calcinação, o minério calcinado é lixiviado com ácido sulfúrico, ácido clorídrico, e/ou
5 ácido nítrico para formar um minério beneficiado. O ácido sulfúrico e o ácido clorídrico são preferidos. O ácido clorídrico apresenta vantagens devido à sua presença como ácido redutor com relação à lixiviação sulfúrica do primeiro estágio e seu nível elevado de solubilidade para metais alcali-
10 no-terrosos. O ácido sulfúrico apresenta a vantagem de que as soluções de resíduos podem ser recicladas para o sistema de reciclo ácido de lixiviação do primeiro estágio, contanto que a contaminação de metal alcalino na lixiviação do segundo estágio seja mantida em um mínimo. O ácido nítrico pode
15 ser o agente de lixiviação preferido onde condições altamente oxidantes são favoráveis para a remoção de impurezas, e onde a remoção melhorada de impurezas superar o alto custo do HNO_3 .

O segundo estágio de lixiviação pode ocorrer à
20 pressão ambiente ou a uma pressão elevada. Quando o ácido sulfúrico é usado como o agente de lixiviação, o minério titanífero é preferivelmente lixiviado pelo contato do minério com ácido sulfúrico a pressão elevada de pelo menos 68,95 kPa (10 psig), mais preferivelmente de pelo menos 137,89 kPa
25 (20 psig) e ainda mais preferivelmente de pelo menos 206,84 kPa (30 psig). Como é de conhecimento de técnicos no assunto, quando se conduz um processo de lixiviação, a pressão é dependente da temperatura e da concentração do ácido envol-

vido. Com o intuito de aumentar a pressão, o técnico deve aumentar a temperatura e/ou diminuir a concentração de ácido. Quando o ácido clorídrico é usado como o agente de lixiviação, o minério titanífero é preferivelmente lixiviado pelo contato do minério com ácido clorídrico à pressão ambiente.

O segundo estágio de lixiviação pode ocorrer à temperatura ambiente ou elevada. Preferivelmente, o minério titanífero é lixiviado pelo contato com o minério a uma temperatura de pelo menos 110°C. A lixiviação ocorre, preferivelmente, para um tempo de reação de 10 minutos a 5 horas.

Quando o ácido trata-se de ácido clorídrico, preferivelmente pelo menos uma, mais preferivelmente mais que uma, e ainda mais preferivelmente todas as condições de processo a seguir são empregadas: (1) concentração de HCl entre 10-32 por cento em peso; (2) tempo de residência de 10 minutos a 5 horas; e (3) relação de ácido anidro/minério maior que 0,3.

De modo similar, quando o ácido sulfúrico é o agente de lixiviação, o segundo estágio de lixiviação é conduzido usando preferivelmente pelo menos uma, mais preferivelmente mais que uma, e ainda mais preferivelmente todas as condições de processo a seguir: (1) concentração de H_2SO_4 entre 5-75 por cento em peso (5-70% em peso se conduzido em pressão e temperatura elevada); (2) tempo de residência de 10 minutos a 5 horas; e (3) relação de ácido anidro/minério maior que 0,3.

Adicionalmente, o segundo estágio de lixiviação

pode ser realizado na presença de agentes adicionais, tais como NaF ou HNO_3 , que facilitam a remoção de impurezas indesejáveis. Embora essa opção não seja considerada necessária para operação comercial, pequenas quantidades de NaF podem ser adicionadas à etapa de lixiviação do segundo estágio para melhorar ainda a remoção de radionuclídeos, ferro e alumínio. De modo similar, pequenas quantidades de HNO_3 pode ser adicionadas para auxiliar na remoção de urânio. Se NaF é usado, é preferivelmente em uma quantidade de até 10 por cento em peso com base no peso do minério, mais preferivelmente até 5 por cento em peso, e ainda mais preferivelmente até 0,5 por cento em peso. A remoção de radionuclídeos também é melhorada, mas o efeito é pequeno. Outros fluoretos alcalinos solúveis, tais como KF e LiF, bem como HF, podem ser usados no lugar de NaF. Ademais, misturas de quaisquer dessas substâncias podem ser usadas.

Uma pequena quantidade de finos é gerada durante a lixiviação do segundo estágio. De modo similar à lixiviação do primeiro estágio, os finos são feitos principalmente de TiO_2 hidrolisado e sais metálicos.

Após a lixiviação do segundo estágio, a mistura de minério lixiviado bruto, finos e solução-mãe deve ser submetida a uma etapa de separação e etapa de lavagem, usando, e.g. água, para remover os finos e a solução-mãe do material bruto. Similarmente à lixiviação do primeiro estágio, vários meios conhecidos por técnicos no assunto podem ser usados para a separação (e.g. hidrociclones, etc.). Soluções de lavagem desse estágio podem ser enviadas para a lavagem do

primeiro estágio de lixiviação ou estágio de lavagem subsequente à calcinação, para minimizar o consumo de água da planta. Os finos e a solução-mãe são separados por filtração, sedimentação, ou qualquer outro meio aceitável conhecido por técnicos no assunto. A solução-mãe desse estágio pode ser referida como "segunda solução-mãe".

Os finos acima podem ser enviados para um processo similar ao empregado para purificar os finos da lixiviação do primeiro estágio. Desta forma, a segunda fase líquida pode ser submetida à separação e repastamento para separar a solução-mãe, a qual contém ácido, do TiO_2 hidrolisado e sais metálicos. Os finos podem ser lavados sendo sujeitados a um líquido de lavagem, e o hidrolisado separado dos sais metálicos solúveis.

Devido ao nível elevado de metais alcalino-terrosos e de terras raras presentes no minério de anatásio, o processamento dos finos acima pode necessitar de etapas de processamento adicionais (e.g. digestão de TiO_2) para remover o TiO_2 das impurezas.

O ácido virgem pode ser adicionado à solução-mãe da separação dos finos e a solução reabastecida pode ser reciclada para a lixiviação do segundo estágio. A reposição de ácido é relativamente pequena devido à qualidade do polimento da lixiviação do segundo estágio. Uma corrente de sangria pode ser retirada antes da reposição de ácido e enviada para neutralização ou regeneração de ácido, se necessário.

O ácido do reciclo acima contém ambos sais de ferro férrico e ferroso. Como discutido anteriormente, a adição

de um agente de redução à lixiviação, e.g. pela adição de Ti^{+3} à corrente de reciclo, pode aumentar a remoção de radionuclídeos.

5 O minério beneficiado é preferivelmente seco antes de ser embarcado. É preferido calcinar o produto de minério beneficiado na presença de ar e aquecê-lo para remover a água ligada e para quebrar os ácidos e sais residuais, gerando, portanto, o rutilo sintético final.

10 O rutilo sintético supracitado pode, então, ser usado como alimentação para cloradores de leite fluidizado. Os finos do co-produto podem ser usados como matéria-prima de alimentação para planta de pigmento de sulfato ou processo catalítico. Os sais metálicos, outros que não aqueles que são baseados em titânio, deveriam se tornar concentrados na
15 corrente de sangria ou reciclo ácido, assim, existiriam ocasiões favoráveis para cristalização ou precipitação seletiva dos sais metálicos mais valiosos.

Os exemplos a seguir ilustram meramente a invenção. Os técnicos no assunto irão reconhecer inúmeras variações que estão dentro do propósito da invenção e escopo das reivindicações.
20

Os exemplos usam anatásio ou uma mistura de anatásio e ilmenita (contendo 80% de anatásio e 20% de ilmenita). A análise dos teores desses minérios pode ser encontrada na
25 Tabela 1.

EXEMPLO 1: LIXIVIAÇÃO COM H_2SO_4 , CALCINAÇÃO,
LIXIVIAÇÃO COM HCl

Beneficiado 1A: Anatásio (400 g) é colocado numa

autoclave contendo um ácido de lixiviação sintético aquoso (2057 g, possuindo a composição de 35% de H_2SO_4 e 2,5% de FeSO_4 para estimular o sulfato de ferro residual de um processo de reciclo de ácido). A mistura é aquecida sob agitação por 5 horas a 160°C e 344,74 kPa (50 psig), em seguida, despressurizada e resfriada, e os teores descarregados do fundo da autoclave para um frasco de Erlenmeyer.

O material beneficiado bruto é separado dos finos e solução-mãe por decantação, purificado adicionalmente pela lavagem e decantação da solução-mãe e finos residuais, e é, finalmente, lavado e filtrado num funil de Buchner. O beneficiado bruto lavado é seco durante a noite a 105°C em um forno e coletado (220,5 g) para resultar no Beneficiado 1A.

Beneficiado 1B: O Beneficiado 1A (20 g) é calcinado com ar a 950°C durante uma hora e é, então, lixiviado em HCl fervendo (20%, 100 g) sob refluxo por 5 horas antes de ser resfriado. O material beneficiado bruto é decantado, filtrado e seco, conforme descrito para o Beneficiado 1A, e coletado (18,4 g) para resultar no Beneficiado 1B. O material é calcinado a 900°C .

Beneficiado 1C: O Beneficiado 1A (20,0 g) é misturado com NaCl (8,0 g de uma solução aquosa de 25% em peso) e posto para secar durante a noite a 103°C . A mistura é, então, calcinada a 950°C com ar durante uma hora. O material calcinado resultante (15 g) é, em seguida, lixiviado em HCl fervendo (20%, 100 g) sob refluxo por 5 horas antes de ser resfriado. O material beneficiado bruto é decantado, filtrado e seco, conforme descrito para o Beneficiado 1A, e cole-

tado (12,5 g) para resultar no Beneficiado 1C. O material é calcinado a 900°C.

Os resultados (na Tabela 2) mostram um aumento significativo no teor de TiO_2 com uma grande diminuição correspondente nos teores de ferro, alumínio e fosfato para beneficiados que são submetidos ao processo de lixiviação em dois estágios da invenção. O uso de cloreto de sódio como um químico de pré-tratamento, antes da calcinação, reduz dramaticamente os compostos de sílica, alumina, fosfatos, cálcio e radionuclídeos.

EXEMPLO 2: PERFIL DA TEMPERATURA DE CALCINAÇÃO

Beneficiado 2A: Anatásio (400 g) é colocado numa autoclave contendo um ácido de lixiviação sintético aquoso (1800 g, possuindo uma composição de 30 % de H_2SO_4 , 3,5% de FeSO_4 e 5,6% de $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$). A mistura é aquecida sob agitação por 5 horas a 160°C e 344,74 kPa (50 psig), em seguida, depressurizada e resfriada, e os teores descarregados do fundo da autoclave para um frasco de Erlenmeyer.

O material beneficiado bruto é decantado, filtrado e seco, conforme descrito para o Beneficiado 1A, e coletado para resultar no Beneficiado 2A.

Beneficiado 2B, 2C e 2D: O Beneficiado 2A é misturado com NaCl (solução aquosa de 25% em peso) em uma relação de sal anidro/beneficiado de 10% e posto para secar durante a noite a 103°C. O material é, então, dividido em amostras separadas e calcinado com ar em conformidade com os perfis de temperatura a seguir: o material 2B é calcinado a 900°C por 30 minutos, seguido de 950°C por 30 minutos adicionais;

o material 2C é calcinado a 950°C por 30 minutos, seguido de 1000°C por 30 minutos adicionais; e o material 2D é calcinado a 950°C por uma hora.

Os materiais calcinados resultantes (tipicamente 18 g) são, então, lixiviados separadamente em HCl fervendo (20%, 100 g) sob refluxo por 5 horas, antes de ser resfriado. Os materiais beneficiados brutos são decantados, filtrados e secos, conforme descrito para o Beneficiado 1A, e coletados para formarem o Beneficiado 2B, 2C e 2D. Esses materiais são calcinados a 900°C.

Um conjunto de experiências similares foi realizado com a matéria-prima de alimentação anatásio-ilmenita, para produzir Beneficiados 2E (produzido da mesma maneira que o 2A), 2F (preparado da mesma maneira que o 2B), 2G (produzido da mesma maneira que o 2C) e 2H (produzido da mesma maneira que o 2D).

Os resultados (Tabela 3) mostram uma melhora significativa na capacidade de lixiviação de urânio, tório e terras raras para os Beneficiados 2B, 2C, 2F e 2G, os quais foram submetidos à manipulação do perfil de temperatura, comparados com os Beneficiados 2D e 2H, que mantiveram uma temperatura de calcinação estável.

EXEMPLO 3: EFEITO DA ETAPA DE LAVAGEM SUBSEQÜENTE À CALCINAÇÃO

Beneficiado 3: A mistura de minério de anatásio/ilmenita (350 g) é colocada numa autoclave contendo um ácido de lixiviação sintético aquoso (2100 g, possuindo uma composição de 35% de H_2SO_4 , 3,2% de $Fe_2(SO_4)_3$ e 2,0% de Fe-

SO₄). A mistura é aquecida sob agitação durante 5 horas a 140°C e 220,63 kPa (32 psig), em seguida, despressurizada e resfriada, e os teores descarregados do fundo da autoclave para um frasco de Erlenmeyer. O material beneficiado bruto é
5 decantado, filtrado e seco, conforme descrito para o Beneficiado 1A, e coletado (150 g). Cinco lixiviações com H₂SO₄ adicionais do primeiro estágio do minério de anatásio/ilmenita são realizadas em conformidade com o procedimento acima. Cada uma das seis lixiviações do primeiro estágio
10 é mantida separada durante o pré-tratamento subsequente.

Os beneficiados do primeiro estágio são, então, pré-tratados separadamente com uma solução de NaCl a 20% numa relação de sal anidro/beneficiado de 8% e, em seguida, seco durante a noite a 103°C num forno. Os materiais são,
15 então, calcinados por 30 minutos a 975°C e 30 minutos a 1025°C.

Três amostras calcinadas são postas para resfriar lentamente após a calcinação, em seguida, são lavadas por decantação (pela lavagem com água e decantação imediata) até
20 que a solução de decantação esteja clara. As amostras lavadas são coletadas num funil de Buchner e secas durante a noite a 103°C. Cada uma das (3) porções de minério lavado é dividida em 6 lotes (cada um com aproximadamente 20 g) e, em seguida, são lixiviadas em HCl a 20% (100 g) sob refluxo durante cinco horas. O material bruto é decantado, filtrado e
25 seco, conforme descrito para o Beneficiado 1A, e, então, calcinado a 900°C com ar.

Os materiais beneficiados (Beneficiado 3 junto)

são analisados separadamente para composição e a média da composição das amostras de beneficiados são mostradas na Tabela 4.

EXEMPLO 4: SEGUNDO ESTÁGIO DE LIXIVIAÇÃO COM H_2SO_4

5 Beneficiado 4A: O minério de anatásio/ilmenita (300 g) é colocado numa autoclave contendo um ácido de lixiviação sintético aquoso (1800 g, possuindo uma composição de 30% de H_2SO_4 , 5,6% de $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ e 3,5% de FeSO_4). A mistura é aquecida sob agitação por 5 horas a 160°C e 344,74 kPa (50
10 psig), em seguida, despressurizada e resfriada, e os teores descarregados do fundo da autoclave para um frasco de Erlenmeyer. O material beneficiado bruto é decantado, filtrado e seco, conforme descrito para o Beneficiado 1A. O procedimento acima é repetido 18 vezes e os beneficiados resultantes
15 do primeiro estágio são misturados para uso adicional.

Beneficiado 4B: O Beneficiado 4A (172 g) é pré-tratado com uma solução de NaOH a 17,5% numa relação de hidróxido anidro/beneficiado de 7% e posto para secar durante a noite a 103°C . O material é, então, calcinado por 30 minutos
20 a 1050°C , seguidos de 30 minutos a 1100°C , e, em seguida, resfriado lentamente, e lavado por decantação. A amostra é coletada num funil de Buchner e seca durante a noite a 103°C .

 A amostra lavada (160 g) é colocada numa autoclave
25 com ácido de lixiviação sintético (1350 g, compreendendo 25% de H_2SO_4 , 8,0% de $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ e 5,0% de FeSO_4). A mistura é aquecida sob agitação por 5 horas a 140°C e 206,84 kPa (30 psig), em seguida, despressurizada e resfriada, e os teores

descarregados do fundo da autoclave. O material bruto é decantado, filtrado e seco, conforme descrito para o Beneficiado 1A, e calcinado a 900°C com ar.

Os resultados (Tabela 4) mostram resultados de lixiviação do segundo estágio com ácido sulfúrico (similar à lixiviação do segundo estágio com HCl) em reduções dramáticas de radionuclídeos, cálcio, estrôncio, terras raras, fosfatos, manganês, vanádio e zircônia.

Beneficiado 4C: Uma amostra do material preparado identicamente ao Beneficiado 4A (67 g) é pré-tratada com uma solução de NaCl a 25% numa relação de cloreto anidro/beneficiado de 10% e posta para secar durante a noite a 103°C. O material é, então, calcinado por 30 minutos a 950°C, seguidos de 30 minutos a 1000°C, em seguida, lentamente resfriado.

O material calcinado resultante (10 g) é, então, lixiviado à pressão atmosférica em H₂SO₄ fervendo (60,0%; 100 g) sob refluxo por 5 horas, antes de ser resfriado. O material bruto é decantado, filtrado e seco, conforme descrito para o Beneficiado 1A, e calcinado a 900°C com ar.

Os resultados (Tabela 4) mostram resultados de lixiviação atmosférica do segundo estágio com ácido sulfúrico (similar à lixiviação do segundo estágio com HCl) em reduções dramáticas de radionuclídeos, cálcio, estrôncio, terras raras, fosfatos, manganês, ferro e alumínio.

TABELA 1: COMPOSIÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS DE ALIMENTAÇÃO DE MINÉRIO

Componentes	Matérias-primas de Alimentação de Minério		Técnica Analítica
	Anatásio/ilmenita	Anatásio	
TiO ₂ (%)	52,9	60,6	Raio-x/Uniquant
Fe ₂ O ₃ (%)	25,1	16,2	Raio-x/Uniquant
Al ₂ O ₃ (%)	5,9	6,2	Raio-x/Uniquant
SiO ₂ (%)	1,51	1,53	Raio-x/Uniquant
P ₂ O ₅ (%)	6,3	7,4	Raio-x/Uniquant
MnO(%)	0,98	0,71	Raio-x/Uniquant
ZrO ₂ (%)	0,67	0,78	Raio-x/Uniquant
CaO(%)	1,24	1,53	Raio-x/Uniquant
SrO(%)	0,60	0,64	Raio-x/Uniquant
BaO(%)	1,15	0,98	Raio-x/Uniquant
Terras Raras(%)	2,3	2,1	Raio-x/Uniquant
U (ppm)	172	202	Ativação com nêutrons
Th (ppm)	487	544	Ativação com nêutrons

TABELA 2: EFEITO DA LIXIVIAÇÃO COM H₂SO₄, CALCINAÇÃO E LIXIVIAÇÃO COM HCl

Componentes	1A	1B	1C
TiO ₂ (%)	88,5	89,8	93,7
Fe ₂ O ₃ (%)	2,38	2,01	1,77
Al ₂ O ₃ (%)	0,74	0,63	0,06
SiO ₂ (%)	1,41	1,85	0,89

P ₂ O ₅ (%)	2,32	1,42	0,18
MnO(%)	0,11	0,11	0,08
ZrO ₂ (%)	0,82	0,74	0,82
CaO(%)	0,16	0,08	0,03
SrO(%)	0,06	n.d.	n.d.
BaO(%)	0,23	0,08	0,12
Terras Raras(%)	0,48	0,10	0,29
U (ppm)	109	93	60
Th (ppm)	176	104	91

n.d.= não detectado

TABELA 3: EFEITO DO PERFIL DE TEMPERATURA DA CALCINAÇÃO

Componentes	Anatásio				Anatásio/Ilmenita			
	2A	2B	2C	2D	2E	2F	2G	2H
TiO ₂ (%)	85,9	89,6	90,1	90,2	83,7	83,5	84,8	84,4
Fe ₂ O ₃ (%)	5,5	5,2	5,0	4,9	6,6	8,87	7,88	8,27
Al ₂ O ₃ (%)	0,79	0,45	0,32	0,26	1,04	0,58	0,52	0,41
SiO ₂ (%)	1,56	0,65	0,77	0,89	1,62	1,73	2,18	2,57
P ₂ O ₅ (%)	2,1	0,19	0,16	0,21	2,3	0,17	0,13	0,31
MnO(%)	0,2	0,16	0,14	0,14	0,25	0,27	0,23	0,21
ZrO ₂ (%)	0,72	0,61	0,63	0,72	0,68	0,98	0,78	1,14
CaO(%)	0,16	0,05	0,05	0,05	0,22	0,08	0,05	0,07
SrO(%)	0,07	n.d.	n.d.	n.d.	0,08	n.d.	n.d.	n.d.
BaO(%)	0,24	0,23	0,24	0,22	0,25	0,16	0,16	0,10
Terras Ra- ras(%)	0,56	0,27	0,33	0,44	0,76	0,20	0,21	0,43
U (ppm)	95	31	32	42	104	28	31	40
Th (ppm)	202	94	90	121	195	61	65	109

n.d. = não detectado

TABELA 4: EFEITO DA LAVAGEM E EFEITO DO SEGUNDO ESTÁGIO DE LIXIVIAÇÃO COM ÁCIDO SULFÚRICO

Componentes	3	4A	4B	4C
TiO ₂ (%)	89,0	82,5	86,65	92,9
Fe ₂ O ₃ (%)	4,40	7,71	4,57	1,36
Al ₂ O ₃ (%)	0,38	0,99	0,87	0,16
SiO ₂ (%)	2,25	1,63	2,59	1,52
P ₂ O ₅ (%)	0,46	1,58	0,06	0,12
MnO(%)	0,16	0,26	0,17	0,11
ZrO ₂ (%)	1,12	0,96	0,64	0,98
V ₂ O ₅ (%)	0,37	0,07	n.d.	0,38
CaO(%)	0,06	0,12	0,06	0,04
SrO(%)	-	0,07	0,03	0,04
BaO(%)	-	0,22	0,19	0,26
Terras Raras(%)	0,12	0,36	0,06	0,19
U (ppm)	50	80	18	40
Th (ppm)	47	113	32	37

n.d. = não detectado

REIVINDICAÇÕES

1. Processo para beneficiar um minério titanífero,
CARACTERIZADO pelo fato de que compreende:

(a) lixiviar o minério titanífero com ácido sulfú-
5 rico para formar um minério lixiviado e uma fase líquida;

(b) calcinar o minério lixiviado na presença de
oxigênio para formar um minério calcinado, onde o minério
lixiviado não é reduzido antes, ou subsequente à calcinação; e

(c) lixiviar o minério calcinado com um ácido se-
10 lecionado do grupo consistindo em ácido sulfúrico, ácido
clorídrico, ácido nítrico e mistura dos mesmos, para formar
um minério beneficiado.

2. Processo, de acordo com a reivindicação 1,
CARACTERIZADO pelo fato de que o minério titanífero compre-
15 ende um minério selecionado do grupo consistindo em escória,
minério de anatásio, ilmenita e mistura dos mesmos.

3. Processo, de acordo com a reivindicação 1,
CARACTERIZADO pelo fato de que o minério titanífero não é
sujeitado a um pré-tratamento químico ou térmico antes da
20 lixiviação do minério titanífero.

4. Processo, de acordo com a reivindicação 1,
CARACTERIZADO pelo fato de que o minério titanífero é pré-
tratado por oxidação seguida de redução.

5. Processo, de acordo com a reivindicação 1,
25 **CARACTERIZADO** pelo fato de que o minério titanífero é pré-
tratado por redução seguida de separação magnética e/ou oxi-
dação branda.

6. Processo, de acordo com a reivindicação 1,

CARACTERIZADO pelo fato de que o ácido sulfúrico da etapa (a) é obtido principalmente de uma corrente de resíduo e/ou uma corrente de reciclo.

7. Processo, de acordo com a reivindicação 1,
5 **CARACTERIZADO** pelo fato de que a lixiviação do minério titanífero ocorre a uma pressão de pelo menos 68,95 kPa (10 psig).

8. Processo, de acordo com a reivindicação 1,
10 **CARACTERIZADO** pelo fato de que a lixiviação do minério titanífero ocorre a uma temperatura de pelo menos 110°C.

9. Processo, de acordo com a reivindicação 1,
CARACTERIZADO pelo fato de que a lixiviação do minério calcinado ocorre a uma pressão de pelo menos 68,95 kPa (10 psig) usando ácido sulfúrico.

15 10. Processo, de acordo com a reivindicação 1,
CARACTERIZADO pelo fato de que a lixiviação do minério calcinado ocorre a uma temperatura de pelo menos 110°C.

11. Processo, de acordo com a reivindicação 1,
20 **CARACTERIZADO** pelo fato de que o ácido sulfúrico da etapa (a) possui uma concentração de 5% a 65% em peso.

12. Processo, de acordo com a reivindicação 1,
CARACTERIZADO pelo fato de que compreende ainda separar o minério lixiviado da fase líquida, onde a fase líquida compreende solução-mãe, a qual compreende ácido sulfúrico e
25 sais metálicos, e finos compreendendo $\text{TiO}(\text{OH})_2$, sais metálicos e hidratos metálicos.

13. Processo, de acordo com a reivindicação 12,
CARACTERIZADO pelo fato de que compreende ainda separar a

solução-mãe dos finos.

14. Processo, de acordo com a reivindicação 13,
CARACTERIZADO pelo fato de que compreende cristalizar os
sais metálicos a partir da solução-mãe e reconcentrar o áci-
do sulfúrico.

15. Processo, de acordo com a reivindicação 14,
CARACTERIZADO pelo fato de que compreende ainda reciclar o
ácido reconcentrado para a etapa de lixiviação (a).

16. Processo, de acordo com a reivindicação 1,
CARACTERIZADO pelo fato de que compreende calcinar o minério
lixiviado a uma temperatura de 900°C a 1100°C.

17. Processo, de acordo com a reivindicação 1,
CARACTERIZADO pelo fato de que compreende calcinar o minério
lixiviado a uma primeira temperatura maior que 800°C e, em
seguida, aquecer para uma segunda temperatura maior que a
primeira temperatura.

18. Processo, de acordo com a reivindicação 1,
CARACTERIZADO pelo fato de que compreende ainda combinar o
minério lixiviado com pelo menos um aditivo químico antes da
etapa de calcinação.

19. Processo, de acordo com a reivindicação 18,
CARACTERIZADO pelo fato de que o aditivo químico é selecio-
nado do grupo consistindo em NaCl, Na₂CO₃, NaOH, KCl, K₂CO₃,
KOH e mistura dos mesmos.

20. Processo, de acordo com a reivindicação 1,
CARACTERIZADO pelo fato de que compreende ainda colocar o
minério calcinado em contato com a água antes da etapa de
lixiviação (c).

RESUMO

"BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO TITANÍFERO"

Essa invenção refere-se a um processo para beneficiar um minério titanífero. O processo compreende a lixiviação do minério titanífero com ácido sulfúrico para formar um minério lixiviado, a calcinação do minério lixiviado na presença de oxigênio para formar um minério calcinado, e a lixiviação do minério calcinado com ácido sulfúrico, ácido clorídrico e/ou ácido nítrico para formar um minério beneficiado. O minério lixiviado não é reduzido antes, ou subsequente à calcinação.