



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) PI 0816475-4 A2



(22) Data do Depósito: 22/08/2008

(43) Data da Publicação Nacional: 03/11/2020

(54) **Título:** PROCESSO DE LIXIVIAÇÃO EM RESINA PARA RECUPERAR NÍQUEL E/OU COBALTO EM LIXIVIAÇÃO EM POLPAS DE MINÉRIO

(51) **Int. Cl.:** C22B 23/00; C22B 3/06; C22B 3/42.

(71) **Depositante(es):** VALE INCO LIMITED.

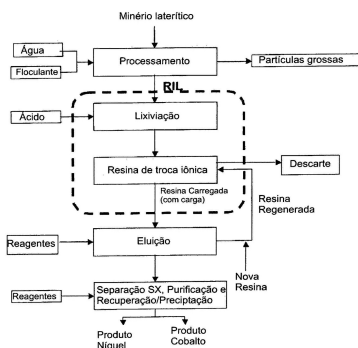
(72) **Inventor(es):** FLÁVIA DUTRA MENDES.

(86) **Pedido PCT:** PCT CA2008001488 de 22/08/2008

(87) **Publicação PCT:** WO 2009/026682 de 05/03/2009

(85) **Data da Fase Nacional:** 01/03/2010

(57) **Resumo:** PROCESSO DE LIXIVIAÇÃO EM RESINA PARA RECUPERAR NÍQUEL E/OU COBALTO EM LIXIVIAÇÃO EM POLPAS DE MINÉRIO Processo hidrometalúrgico utilizando resina em lixiviação (Resin-In-Leach - RIL) para a recuperação direta de níquel e/ou cobalto. A lixiviação simultânea da polpa por meio da adição de um ácido ou uma base dissolve os metais de interesse com a adsorção dos metais tornados solúveis na resina de troca iônica. Após a eluição da resina alterada, a purificação do níquel e cobalto presentes no eluato pode ocorrer por métodos convencionais, como precipitação, extração por solventes e membranas. A resina regenerada é recirculada para uso posterior.



Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "PROCESSO DE LIXIVIAÇÃO EM RESINA PARA RECUPERAR NÍQUEL E/OU COBALTO EM LIXIVIAÇÃO EM POLPAS DE MINÉRIO"

O presente pedido reivindica a prioridade do pedido provisório norte-americano US 60/968423 que foi depositado em 28 de agosto de 2007.

A presente invenção refere-se aos processos para recuperar o níquel e/ou cobalto de minérios. Mais especificamente, o processo da invenção provê lixiviação simultânea de polpa pela adição de um ácido ou base, para dissolver os metais de interesse, com a adsorção dos metais tornados solúveis em uma resina de troca iônica através de um processo de resina na lixiviação. Após a eluição, a purificação do níquel e cobalto presente no eluato pode ser recuperada por métodos convencionais, como, precipitação, extração por solventes e membranas. A resina regenerada volta ao circuito, para uso adicional.

Descrição do estado da técnica

Historicamente, as inovações na produção de níquel com base laterítica são essencialmente o resultado das tecnologias inicialmente utilizadas no processamento de urânio, e posteriormente aplicadas nas indústrias de ouro e cobre. Um bom caso é a extração por solvente (SX) e resinas de troca iônica (IX). Através do uso da pirometalurgia e hidrometalurgia, quatros processos são atualmente avaliados e utilizados na indústria do níquel. As tecnologias atuais de processo basicamente diferem em sua etapa inicial.

No processamento do minério laterítico, existem muitas opções disponíveis. Entretanto, a seleção do melhor processo para uma fábrica inicialmente depende do minério disponível. O tratamento químico ou térmico é utilizado no processamento de depósitos de níquel laterítico. As fábricas usando os fornos de redução ou lixiviação ácida enfrentaram muitos desafios na engenharia, construção, partida e desenvolvimento operacional. Uma ampla variedade de fluxogramas pode ser usada para rentabilidade dos minérios lateríticos de níquel envolvendo os processos pirometalúrgicos e hidrometalúrgicos. A composição química dos minérios lateríticos varia

amplamente para cada depósito, e essa variação certamente define a melhor via de processo a ser usada.

Processo Pirometalúrgico - Fusão - Nos processos pirometalúrgicos, a menção especial é para a fusão (fundição) para a produção de FeNi, adequado para os minérios que contêm na maioria a saprolita (enriquecimento supergênico de garnierita). Esses minérios contêm de forma proporcional baixos níveis de cobalto e ferro, comparado aos minérios limoníticos. As razões de Ni/Co e Ni/Cu para alimentar o processo de FeNi devem ser acima de 40 e 80, respectivamente. O processo de piro fusão pode render FeNi ou resíduo metálico. A etapa de preparo do minério compreende a secagem, calcinação e, por vezes, redução em forno giratório ou fundição em forno elétrico na presença de fontes de redução. Se o resíduo metálico for o produto a ser produzido, então o enxofre elementar é adicionado ao forno. Os processos pirometalúrgicos consomem muita energia e, assim, toda umidade e água combinadas devem ser removidas do processo. A fusão da mistura pode atingir temperaturas na faixa de 1400° a 1600°C. A energia elétrica e combustível como agentes de redução são os dois itens mais custosos no processo. A temperatura de fusão é principalmente uma função da razão de SiO₂/MgO e o grau de FeO. Em um forno elétrico, a diferença de temperatura do metal ou resíduo metálico e escória pode variar entre 100° e 200°C. Esse processo exige que a razão de SiO₂/MgO seja entre 1,8 e 2,0.

Além do processo pirometalúrgico de fusão (fundição), Caron (processo de redução/lixiviação em amônia) e HPAL (lixiviação ácida de alta pressão) são atualmente os dois processos hidrometalúrgicos para recuperar o níquel e cobalto em lateritas. Essas tecnologias exigem um tratamento químico relativamente agressivo e investimento de alto capital, além de uma forte dependência do custo de combustível e ácido sulfúrico/enxofre, respectivamente.

Processo Caron - Caron é um processo normalmente usado nos minérios lateríticos compreendendo uma mistura de limonita e saprolita. O minério é secado e o níquel é seletivamente reduzido (com cobalto e parcialmente ferro) a metal em temperaturas a cerca de 700°C. Subseqüentemente, os metais básicos são seletivamente extraídos através lixiviação por meio de solução de amônia. Esse processo Caron é industrialmente usado em quatro fábricas: Nicaro e

Punta-Gorda em Cuba, Níquel Tocantins no Brasil e Yabulu na Austrália. Esse processo tem diversos aspectos negativos: a preparação do minério envolve secagem, calcinação e redução, que são grandes consumidores de energia. A etapa de lixiviação utiliza amônia, cujo odor é altamente desagradável. A taxa de recuperação do níquel fica abaixo dos processos de fusão (fundição) e HPAL.

Processo HPAL - A fração de minério usada no processo HPAL é predominantemente limonítica. Uma pequena porção do minério saprolítico também pode ser misturada, contanto que os graus de Mg e Al não aumentem excessivamente o consumo de ácido sulfúrico. Esse reagente é aproximadamente 30% do custo operacional do níquel. A lixiviação é realizada em autoclaves em temperaturas na faixa de 145 a 270°C. Os produtos de uma fábrica HPAL podem ser: níquel eletrolítico, óxido de níquel ou briquetes de níquel. Algumas fábricas industriais produzem os produtos intermediários, como, sulfeto misturado ou uma mistura de hidróxido do níquel e cobalto.

A lixiviação de ácido é um processo mais desenvolvido na Austrália. Conforme o preço do enxofre diminuiu, uma oportunidade surgiu para reconsiderar o uso dos minérios lateríticos com outras características, que não eram utilizados nos processos tradicionais de produção. Além do mais, o níquel era recuperado com pureza e eficiência superiores e redução dos custos operacionais. Outras modalidades de incipiente da lixiviação de ácido sob as condições atmosféricas são parte de novas tecnologias para extrair o níquel e cobalto dos minérios, como lixiviação sulfúrica ou de cloreto.

A flexibilidade, baixo custo de capital, alta recuperação de metal, baixo custo operacional e geração de energia, todos se convertem em uma logística que poderia indicar a tecnologia de lixiviação atmosférica como o processo de escolha no desenvolvimento de médio e longo prazo dos depósitos lateríticos. Muitos analistas acreditam que os custos operacionais podem ser reduzidos, assim como os investimentos (custo de capital/ano).

Diversas vias hidrometalúrgicas de lixiviação atmosférica estão sendo desenvolvidas para extrair o níquel e cobalto dos minérios lateríticos, como aqueles descritos em US 2005/0226797 A1 "Atmospheric Pressure Leach Process for Lateritic Nickel Ore" ("*Processo de Lixiviação de Pressão Atmosférica para*

Minério de Níquel Laterítico") de H. Liu, et al. e WO 06/000098 " Method for Nickel and Cobalt Recovery from Laterite Ores by Reaction with Concentrated Acid and Water Leaching" ("*Método para Recuperação de Níquel e Cobalto a partir de Minérios de Laterita por Reação com Ácido Concentrado e Lixiviação em Água*") de D. Neudorf. O objetivo nessas vias é o de tornar os metais solúveis, usando ácidos inorgânicos, seguido por separação sólido-líquido e neutralização, antes da recuperação final de metal. A recuperação seletiva do metal presente na polpa de lixiviação é um item principal na avaliação econômica. A presença de muitas impurezas (como cobre, ferro, magnésio e outros) pode bem ser o principal obstáculo tecnológico a ser superado. Uma opção pode ser o uso de métodos físico-químicos, como usando os materiais de troca iônica e extração via solventes. No caso específico do níquel e cobalto, que é o propósito da presente invenção, vale observar que eles possuem propriedades químicas muito semelhantes. Isso facilita sua recuperação mútua, seja através de precipitação como sulfetos ou extração via solventes em um meio de cloreto, amônia ou enxofre. Com relação à troca iônica, posteriormente detalhada na presente invenção, os estudos estão sendo intensificados e diversas abordagens renderam resultados certamente promissores.

A lixiviação sulfúrica atmosférica pode ser usada em alguns tipos de minérios lateríticos com baixo grau de ferro, levando a uma redução significativa nos investimentos. Isso envolve a lixiviação em tonel em temperaturas abaixo do ponto de ebulição. Normalmente, algum agente de redução é adicionado, para controlar o Eh na faixa de 800-900mV. Os resultados são promissores, com leve diminuição no minério de níquel, se comparado ao processo HPAL, embora exista o consumo superior de ácido sulfúrico.

Características da lixiviação sulfúrica atmosférica

- Aplicável aos minérios lateríticos - as frações limoníticas e saprolíticas são submetidas ao tratamento de pressão atmosférica
- Simplicidade na operação, controle de processo e manutenção
- Nenhum material exótico de construção (Ti) é usado
- Alta disponibilidade sem nenhuma despressurização não planejada

- Altamente atrativo em termos de investimento e custo operacional
- Nenhuma aplicação industrial

A lixiviação atmosférica em cloreto ocorre sob a pressão atmosférica e temperaturas abaixo do ponto de ebulição, com recuperação de HC1 conforme demonstrada nos processos abaixo. Esse processo está sendo considerado pela Jaguar Nickel para o depósito de Ceceou na Guatemala. As vantagens são o custo mais baixo de investimento em relação ao processo HPAL e reciclagem do agente de lixiviação HC1 por meio de regeneração de pirohidrólise. Sua desvantagem é o uso de materiais especiais resistentes à altas temperaturas em um ambiente de ácido clorídrico.

Características da lixiviação atmosférica de cloreto

- Tratamento dos minérios com graus de até 25% de Mg
- Altas taxas de extração de Ni e Co (95%)
- Produção de HC1 através de H_2SO_4 (que é cinco vezes mais barato, com alto poder de reação)
- Um processo simples
- Nenhum refugo difícil é gerado para descarte posterior
- Rendimento potencial de subprodutos, como Mg e Fe como cloreto, porém principalmente como sal Glauber ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$)
- Possível tratamento da fração mais ácida do minério (Magnético - Alto Fe - Baixo Mg) e sua fração menos ácida (Não magnético - Baixo Fe - Alto Mg) em dois diferentes fluxos, menos consumo ácido, tempo de residência mais curto.
- Sem uso de materiais exóticos, como Ti nos equipamentos. O carvão é usado como a fonte de energia de cloração.
- Diversas vantagens (menor custo operacional, menor custo de capital, possível regeneração de ácido, modernização de engenharia, inclusão a jusante com maior simplicidade e economia, pesquisa de metal com grau adequado do Câmbio de Metal de Londres [LME]) tornam essas novas tecnologias ainda mais viáveis e atrativas no processamento do minério de níquel. A flexibilidade, baixo

custo de capital, alta recuperação de metal, baixo custo operacional e geração de energia, todos são convertidos em uma logística que pode indicar a tecnologia de lixiviação atmosférica como o processo de escolha no desenvolvimento de médio e longo prazo dos depósitos lateríticos.

5 Todas as fábricas de lixiviação ácida incluem um circuito de multietapa para assentamento contracorrente, na separação de sólido-líquido. Isso exige custos de capital e operacional consideráveis, utilizam as grandes áreas e exigem as quantidades significativas da água de lavagem. Uma alternativa para recuperar o níquel e cobalto a partir da polpa de lixiviação sem usar espessantes é a de
10 usar um sistema de resina na lixiviação (RIL), que é o objetivo da presente invenção. A última década observou muitas resinas de troca iônica nos processos hidrometalúrgicos, principalmente impulsionado pela tecnologia de carvão ativado na mineração de ouro. Além do mais, as resinas de troca iônica estão comercialmente disponíveis para quase qualquer processo de separação. Seu
15 uso pode garantir a purificação mais efetiva e simples, se comparado à purificação pela precipitação ou extração através de solvente, os dois métodos mais comumente usados para essa finalidade. Um processo de adsorção ou troca iônica é mais adequado e satisfatório para recuperar ou remover a baixa concentração de alguns íons de metal na presença de um excesso de outros
20 metais. Além do mais, a troca iônica não precisa de nenhuma filtragem custosa, nenhuma baixa seletividade do níquel e outros metais, não existe perda de reagente - todos os quais são desvantagens inerentes dos processos de extração por solvente.

 O processo de lixiviação ácida gera uma polpa ácida contendo metais
25 dissolvidos, incluindo altas concentrações de ferro, alumínio, manganês e magnésio, além de níquel, cobalto e cobre. Algumas vantagens influenciam a decisão de usar a tecnologia da resina de troca iônica nos processos hidrometalúrgicos de extração. Essas considerações são: (1) menor impacto ambiental - menos consumo de água e oportunidade para reciclagem de água;
30 (2) menor custo operacional e de capital; e (3) maior qualidade dos produtos de metal - alta seletividade para os metais de interesse e alta capacidade de separação. A tecnologia RIL pode ser usada para substituir a tecnologia de

decantação contra corrente convencional (CCD), para reduzir o custo e impacto ambiental.

Cada processo de lixiviação do minério de níquel laterítico inclui um circuito de assentamento multietapa em CCD, seguido por precipitação e/ou extração de líquido/sólido para recuperação de metal. Quando um minério de níquel laterítico de baixo grau é tratado de forma hidrometalúrgica e a separação de líquido/sólido torna-se necessária, o custo operacional é significativo, a ineficiência do processo provoca a perda do níquel, devido à dificuldade de lavar os sólidos e recuperar as espécies dissolvidas. Uma solução para essa restrição é a de recuperar o metal dissolvido na própria polpa, durante a lixiviação, usando uma troca iônica e tornando a separação de líquido/sólido desnecessária. Uma alternativa para recuperar o níquel e cobalto enquanto a polpa está sendo lixiviada seria a de usar o sistema de resina-na-lixiviação, que é a finalidade da presente invenção. Essa tecnologia, provada industrialmente na recuperação de ouro e urânio, pode ser usada nos processos que contemplam a substituição da tecnologia convencional de CCD. O uso da técnica de troca iônica com as resinas poliméricas deve oferecer algumas vantagens, como (1) nenhuma perda de reagente devido à dragagem, conforme é o caso em outros processos de extração-por-solventes, e (2) recuperação eficiente e remoção de concentrações menores de alguns íons de metal sobre um excesso de outros metais. A técnica de resina de troca iônica tende a reduzir os custos operacionais e de capital, para garantir maior sustentabilidade sem usar os produtos orgânicos, como na extração por meio de solventes.

Um processo RIL pode ser usado, através de adsorção de resina, na recuperação dos metais dissolvidos durante a lixiviação, porém antes da separação de sólido/líquido da polpa, assim evitando a perda de produto. As resinas poliméricas de troca iônica têm sido usadas de forma crescente na última década, e estão comercialmente disponíveis para quase todos os processos de separação. O processo está livre de perda de reagente e as resinas promovem a purificação mais efetiva e direta, se comparado à purificação via precipitação ou extração por solventes, que são técnicas comumente usadas. O processo RIL da

invenção usado na recuperação do níquel devido à lixiviação ácida fornece os seguintes benefícios:

- a) A lixiviação de ácido pode produzir uma polpa difícil de assentar ou sólidos que, quando separados, são difíceis para lavar. O processo RIL resolve esses obstáculos operacionais ao eliminar a etapa de separação de sólido/líquido;
- b) Custo reduzido de investimento, devido ao uso das resinas de troca iônica no mesmo circuito de equipamento durante a lixiviação e adsorção;
- c) A perda de níquel é minimizada através da coprecipitação, já que a neutralização de polpa pode ser eliminada ou extinguida. A resina adicionada à polpa tem mais cinética de adsorção, permitindo que o níquel seja carregado assim que for lixiviado, bem antes da coprecipitação durante o processo de neutralização;
- d) A adsorção preferencial e cinética do níquel é mais imediata do que em outros metais solúveis, pois o níquel é imediatamente capturado pela resina assim que é dissolvido;
- e) Extração superior do níquel e cobalto do minério durante a lixiviação. Assim, o processo fornece seletividade superior e capacidade superior de carregamento para a espécie de níquel na solução. Se os íons dissolvidos forem imediatamente removidos da solução pelo mecanismo de troca iônica, o equilíbrio é deslocado, conforme a Lei de Lê Chatelier.

O uso das resinas de troca iônica para recuperar níquel de soluções ácidas foi o foco de muita pesquisa nos últimos anos. Os técnicos no assunto acreditavam que as resinas não poderiam competir com outras técnicas de purificação, pois as resinas então produzidas tinham baixa seletividade e, ainda mais importante, tinham baixa resistência mecânica e térmica. Entretanto, o progresso nos últimos anos melhorou essas propriedades de forma considerável. Pode ser agora declarado que as resinas atuais são muito competitivas, se comparadas aos processos de precipitação, cristalização, extração por solventes, usadas em soluções impuras de níquel. As espécies iônicas solúveis de níquel são adsorvidas em resinas através de uma reação de troca iônica. As resinas são

materiais sintéticos com uma matriz inerte (normalmente poliestireno cruzado com divinilbenzeno) e grupos funcionais de superfície. Existem basicamente dois tipos de resinas para adsorver o níquel das soluções ácidas: resinas com ácido iminodiacético como um grupo funcional, e as resinas com bis-picolilamina como um grupo funcional. As primeiras resinas possuem um grupo de ácido fraco e somente pode trocar os íons após o ajuste de pH. Isso torna o seu uso difícil, considerando a necessidade de neutralização prévia. Assim, os esforços estão sendo feitos para incorporar as resinas com o grupo de bis-picolilamina e torná-las comercialmente disponíveis no mercado.

A resina de troca iônica é uma tecnologia inovadora de recuperação de níquel, embora seu uso na recuperação do níquel esteja ainda sob desenvolvimento na área de hidrometalurgia. Sua análise racional principal para ainda ser incipiente é uma abundância e eficiência de outras técnicas de purificação, como precipitação e extração por solventes. As resinas poliméricas são usadas para adsorver o níquel e cobalto através da troca iônica. As resinas são consideradas como relativamente dispendiosas e seu uso viável é limitado a RIP (resina na polpa) e técnicas RIL, caracterizadas pelo fato de que as resinas poliméricas são diretamente aplicadas na polpa, sem necessidade de separação sólido/líquido. É interessante distinguir RIP de RIL. No RIL, a resina é adicionada ao minério, ao mesmo tempo em que os agentes de lixiviação também são adicionados. No RIP, a resina entra contato com o efluente de lixiviação e é introduzida no circuito após a etapa de lixiviação. Existem alguns princípios semelhantes, mas também diferenças fundamentais entre os dois processos.

Os processos de recuperação do níquel a partir das soluções de enxofre com base em resina são semelhantes entre si e envolvem as etapas de alimentação (carregamento), eluição e regeneração. Assim, as resinas podem ser usadas para tratar as soluções purificadas (através de RIS - resina na solução), para polpas (através de RIP - resina na polpa) ou resina na lixiviação (RIL). A partir de um ponto de vista prático, uma diferença principal é a resistência mecânica da resina e seu tamanho adequado de grão (granulometria). Isso implica em diferenças nos sistemas de mistura em tonel e na separação

adsorvente de polpa. Um caso é o uso dos sistemas de mistura de ar (pachuca) para adsorção, ao invés de tonéis mecanicamente misturados.

A lixiviação libera os metais do minério por meio de dissolução química. É a base para a maioria dos processos hidrometalúrgicos de extração. O objetivo principal da lixiviação é o de seletivamente liberar uma quantidade máxima do metal de interesse: Já que os procedimentos de lixiviação ácida para o níquel são normalmente agressivos, as impurezas também são liberadas junto com os metais de interesse na solução. A lixiviação é um método bem-sucedido e bem estabelecido de extração mineral, especialmente para minérios de alto grau. Em contraste, a lixiviação dos minérios de baixo grau é custosa e economicamente inviável, considerando o alto consumo de ácido rendendo baixa concentração dos metais de interesse, se comparado à presença de impurezas. Isso implica o processamento de grandes volumes das soluções diluídas nas operações de purificação por unidade, com a finalidade de obter uma solução pura e concentrada do metal de interesse, conducente com sua recuperação final. Em alguns casos, a lixiviação e transferência das espécies de interesse tornam-se muito difíceis, dependendo da concentração desses metais na solução, conforme a Lei de Lê Chatelier. Com a finalidade de evitar esse fenômeno, os circuitos de lixiviação de multietapa são usados, preferencialmente operando em fluxo contracorrente com a presença das resinas.

A recuperação do níquel pode ser feita através da resina em lixiviação, conforme proposto pela presente invenção. Os metais, como cobre, ferro e alumínio dissolvem-se facilmente na solução ácida. Sob as condições necessárias para a dissolução de níquel, o ácido reagirá com esses metais e será consumido. As resinas de troca iônica podem ser usadas para recuperar minérios pouco solúveis ou minérios com partículas sólidas rígidas para dissociarem-se e formar os traços de íon nas soluções. O equilíbrio da dissolução é estabelecido entre os íons dissolvidos na solução e partículas sólidas. Se os traços de íons dissolvidos forem removidos da solução através da troca iônica, o equilíbrio é deslocado e a dissolução adicional logo ocorre, conforme a Lei de Lê Chatelier. É essencial para a economia do processo que a resina de troca iônica tenha alta seletividade e alto equilíbrio de alimentação (carregamento) para as espécies de

interesse com baixas concentrações na solução. A dissolução total dos sólidos parcialmente solúveis e liberação total das espécies de interesse são possíveis, se resina suficiente estiver presente. A recuperação dessas espécies também pode ser melhorada, se as espécies contaminantes forem removidas da solução durante a lixiviação (pelos métodos de precipitação).

A concentração de níquel na solução aumenta significativamente durante a lixiviação. Lamentavelmente, a concentração de impureza aumenta simultaneamente e, de acordo com a Lei de Lê Chatelier, o aumento excessivo da concentração das espécies na solução desloca o equilíbrio da reação, formando os sólidos precipitados. Para minimizar essa reação de re-precipitação, a adição agente de lixiviação (ácido) é necessária para novamente solubilizar o níquel, resultando em alto consumo de ácido por unidade de massa do níquel lixiviado, aumentando o custo operacional do processo. O equilíbrio existente entre o sólido e os íons existentes é perturbado quando a solução rica é removida entre as diferentes etapas de lixiviação. A dissolução adicional de sólido então ocorre de acordo com a Lei de Lê Chatelier.

Considerando essa restrição, é de suma importância desenvolver uma tecnologia capaz de fornecer um processo de extração mais seletivo para a espécie de interesse e minimizar o tamanho das unidades de purificação e refinação. Além disso, as espécies de interesse devem ser concentradas em uma etapa conducente com sua fácil separação da polpa de minério lixiviado. Da mesma forma, é de suma importância minimizar o consumo de reagente, especialmente por minerais de ganga presentes no minério.

A troca iônica é uma das novas tecnologias mais promissoras disponíveis para tratar os minérios de baixo grau. Embora os benefícios dessa tecnologia na indústria de extração foram reconhecidos há muito tempo, seu progresso foi impedido pela indisponibilidade das resinas com propriedades controladas, como capacidade, seletividade e estabilidade. Atualmente, é possível sintetizar de forma química e física resinas seletivas altamente estáveis. Isso permite que as resinas de troca iônica sejam usadas nos processos hidrometalúrgicos, como, extração dos minérios primários, recuperação de metal nos materiais reciclados e remoção de contaminante no tratamento de efluente.

Na presente invenção, o tratamento de efluente e custos operacionais (consumo mínimo de lixiviação) são minimizados há que a dissolução (lixiviação) ocorre simultaneamente com a adsorção (remoção de fase líquida) da espécie de níquel em uma etapa separada, com o uso das resinas de troca iônica. As espécies do metal de interesse com pouca dissociação são recuperadas a partir dos sólidos de baixa solubilidade usando as resinas de troca iônica em uma mistura de polpa (conhecida como mistura de resina na lixiviação) simultaneamente contendo o minério e a resina. Os traços dos íons tornados solúveis a partir do metal de interesse são removidos da solução pela resina. Isso perturba o equilíbrio na dissociação de sólido/líquido. A dissolução adicional de sólido assim torna-se necessária (Lei Lê Chatelier) para restaurar a concentração de equilíbrio das espécies de níquel na solução, que são novamente removidas pela reação na troca com a resina. A dissolução total de sólido e liberação total das espécies de interesse ocorre através do deslocamento contínuo do equilíbrio de sólido/líquido, resultante da adição da resina excessiva. O deslocamento de equilíbrio é claramente o mecanismo principal para recuperar as espécies de metal a partir de sólidos poucos solúveis nas misturas de resina na lixiviação.

O equilíbrio de dissociação existe entre os íons dissolvidos na solução e partículas sólidas de minério. Esse equilíbrio é perturbado quando os metais nessa solução, em diferentes etapas de lixiviação, são removidos. A solução é então reestabilizada através de dissolução subsequente de sólido, conforme a Lei Lê Chatelier. As espécies solúveis de interesse podem ser recuperadas usando as resinas de troca iônica em uma mistura de polpa contendo o minério e resina (ambos sólidos) via RIL. O metal de interesse é removido da solução pela reação de troca iônica, assim perturbando o equilíbrio de dissociação de sólido/líquido. A dissolução subsequente de sólido ocorre e restaura a concentração de equilíbrio do metal na solução, que é novamente removida da solução através da reação de troca iônica. As condições variáveis de equilíbrio é o mecanismo principal para recuperar as espécies no processo RIL.

Em princípio, a troca iônica é um processo regido pelas interações eletrostáticas entre as diferentes espécies e ocorrentes entre a solução interna e externa da resina. Para garantir a neutralidade elétrica de ambas as etapas, a

reação de troca iônica deve transferir uma quantidade equivalente das espécies estequiométricas carregadas de forma semelhante (encher).

A literatura descreve as diferentes abordagens para resolver os problemas que a presente invenção tem o objetivo de evitar.

5 US 3,998,924 "Recuperação de Metais Não Ferrosos dos Fluidos Acidíferos com uma Resina de Troca de Quelato na Presença de Ferro (III)" de K. Jones, et al. revela um processo RIP compreendendo o contato de (1) um fluido acidífero de lixiviação hidrometalúrgica contendo os valores de ferro férrico e metal de transição não ferroso em um pH cerca de 1,0 a 5,0 com (2) uma resina
10 de quelato 2-picolamina insolúvel na água na presença de (3) pelo menos cerca de 0,3 mol por ferro férrico de mol de um agente de redução solúvel em água para reduzir de forma simultânea o ferro férrico e extrair os valores de metal de transição não ferroso; e após isso regenerar a resina de quelato carregada para recuperar um produto aquoso enriquecido contendo pelo menos 20 partes de
15 metal de transição não ferroso por ferro parcial.

GB 2291870A "Recuperando Níquel de um Concentrado de Sulfeto de Níquel" de T. Tunley revela um processo RIP para produzir o ferro-níquel, caracterizado pelo fato de que uma solução do sulfato de níquel e sulfato de ferro é produzida por lixiviação de um concentrado de sulfeto de níquel. A solução é
20 submetida a uma etapa de troca de íon, após a qual o ferro-níquel é extraído eletricamente de uma solução de eluato do níquel. As etapas essenciais do referido processo incluem: lixiviação do concentrado de pasta fluida contendo o sulfeto de níquel, tratamento da solução de sulfato assim formada com a extração de solvente ou com reagente de troca de íon seletivo de níquel ou ferro ferroso,
25 em que o níquel é separado do ferro como uma solução de eluato, que é então submetida à extração elétrica para produzir o ferro-níquel.

US 5.785.736 "Recuperação de Ouro a partir de Minérios Carbonáceos Refratários por Oxidação de Pressão, Lixiviação de Tiossulfato e Adsorção de Resina na Polpa" de K. Thomas et al. revela um processo RIP para tratamento de
30 minérios de metal precioso em que o ouro é lixiviado a partir de uma pasta fluida de minério oxidizado usando um lixiviante de sal de tiossulfato e catalisador de cobre. O ouro e cobre são subsequentemente carregados em uma resina de

troca de íon. O cobre é recuperado da resina por eluição com uma solução de tiosulfato; o ouro é recuperado da resina por eluição com uma solução tiocianato. O ouro é recuperado do eluato por precipitação, extração elétrica ou cimentação.

5 US 6.350.420 "Método de Resina na Polpa para Recuperação do Níquel e Cobalto" de W. Duyvesteyn, et al. refere-se ao processamento hidrometalúrgico dos minérios niquelíferos ou cobaltíferos e, especificamente, para a recuperação direta do níquel e cobalto a partir de uma pasta fluida de lixiviação de laterita por extração com a resina de troca de íon, que é então fisicamente separada da
10 pasta fluida de lixiviação. Embora o referido documento relate brevemente o uso prévio da resina nos processos de lixiviação para outros minérios, o objeto e a revelação correspondente são restritos a um processo RIP, caracterizado pelo fato de que uma resina de troca de íon relativamente grossa é adicionada à pasta fluida de lixiviação, que contém as partículas de minério muito menores do que as
15 gotas da resina de troca de íon. O(s) metal(is) desejado(s) é(são) extraído(s) na resina e então a resina é separada da pasta fluida exaurida de lixiviação por triagem ou outras técnicas adequadas. Portanto, o referido documento fornece um processo RIP para a recuperação de metal da pasta fluida de lixiviação de laterita de ácido. Embora esse processo também elimine o circuito custoso de
20 CCD e forneça a extração seletiva do níquel e cobalto dos minérios de laterita, conforme na presente invenção, não é um processo RIL e, portanto, não fornece as vantagens de RIL acima relatadas.

WO 07/087698 "Processo Híbrido Usando as Resinas de Troca de Íons na Recuperação Seletiva do Níquel e Cobalto a partir dos Efluentes de Lixiviação"
25 (co-inventado pelo presente inventor) revela um processo compreendendo as etapas de processamento (1) minério de laterita (M), sendo posteriormente tratado para lixiviação (2) (atmosférica ou pressurizada) e incluindo a opção de tratar a solução a partir da separação de sólido/líquido nas plantas existentes (2), o referido processo sendo caracterizado pela inclusão de um circuito híbrido de
30 resina catiônica ou quelante, a primeira etapa (3) da troca de íon com as resinas exibindo as condições específicas de seletividade para a remoção do ferro,

alumínio e cobre e o aumento do pH, e a segunda etapa (4) da troca de íon com as resinas tornando possível remover o níquel e cobalto.

Outros documentos descrevendo o estado da técnica incluem:

1. O Uso de Resinas de Troca de Íon para a Recuperação das Espécies Valiosas a partir de Pastas Fluidas de Sólidos Solúveis de Forma Econômica - Engenharia de Minerais, Volume 10, Edição 9, Setembro de 1997, Páginas 929 a 945, P. G. R. De Villiersa, J. S. J. Van Deventerb e L. Lorenzenb.

2. Modificação e Preparação das Adsorventes Poliméricos para Extração de Metal Precioso nos Processos Hidrometalúrgicos - Polímeros Reativos e Funcionais, Volume 36, Edição 2, Março de 1998, Páginas 149 a 165, J. L. Cortina, E. Meinhardt, O. Roijals e V. Marti.

3. "Lixiviação de Cloro do Concentrado de Sulfeto Contendo Ouro e sua Calcinação" - Hidrometalurgia, Volume 29, Edições 1 a 3, Junho de 1992, Páginas 205 a 215, Li Ximing, Ke Jiajun, Meng Xinhui e Li Bin.

4. "Tratamento de Minérios de Ouro Refratários Carbonáceos" - Engenharia de Minerais, Volume 4, Edições 7 a 11, 1991, Páginas 1043 a 1055, P. M. Afenya.

Objetivos e breve descrição da invenção

É um objetivo da invenção prover um processo alternativo e melhorado para recuperar o níquel e/ou cobalto das polpas de lixiviação de minério.

É outro objetivo da invenção prover um processo em que a polpa é simultaneamente lixiviada pela adição de um ácido ou base, para dissolver os metais de interesse, com adsorção dos metais tornados solúveis na resina de troca iônica, através de um processo de resina na lixiviação.

É outro objetivo da invenção prover um processo de extração mais seletivo para as espécies de interesse, bem como minimizar o tamanho das unidades de purificação e refinação. Ainda outro objetivo da invenção é prover um processo em que se pode reduzir as espécies de impureza solúvel ou o uso das técnicas de cimentação/complexação para evitar a adsorção na resina.

Em uma concretização da invenção, a referida resina de troca de íon é selecionada a partir do grupo compreendendo: picolamina; bis (2 picolil) amina; n-metil-2 picolamina; n (2 hidroxietil) 2 picolamina; n (2 hidroxipropil) 2 picolamina; e combinações dos mesmos.

- 5 Esses e outros objetivos da invenção serão apreciados e tornar-se-ão mais evidentes com a descrição detalhada da invenção.

Descrição resumida dos desenhos

A presente invenção será, a seguir, mais detalhadamente descrita com base em um exemplo de execução representado no desenho.

- 10 Figura 1 - ilustra uma representação esquemática da invenção.

Descrição detalhada das figuras

- 15 A presente invenção é um processo para diretamente recuperar o níquel e cobalto dos minérios, bem como a polpa contendo esses minérios. O minério contendo níquel pode ser óxido, laterítico ou uma mistura de ambos. A lixiviação de minério ou lixiviação do concentrado contendo níquel pode ocorrer de diversas formas, porém preferivelmente sob as condições atmosféricas e em tonéis misturados. O minério é lixiviado com qualquer tipo de ácido (sulfúrico, clorídrico, nítrico) que torna os metais solúveis.

- 20 O processo objeto da invenção é um processo hidrometalúrgico aplicável a uma polpa resultante do minério laterítico, oxidato de níquel, oxidato de cobalto ou uma mistura contendo o níquel e cobalto como metais de interesse, com outros metais secundários. No processo da invenção (Figura 1), a polpa é simultaneamente lixiviada pela adição de um ácido ou base, para dissolver os metais de interesse, com a adsorção dos metais tornados solúveis na resina de troca iônica, através de um processo conhecido como lixiviação em resina (RIL). Preferivelmente, o pH é ajustado pela adição do ácido ou base, como hidróxidos, óxidos e/ou carbonatos, de modo a melhor ajustar-se ao desempenho de solubilização/precipitação de metal, enquanto fornece o carregamento ideal e seletivo (encher) do níquel e cobalto na resina.

- 30 Resinas comerciais, como, Dowex M4195®, Amberlite IRC748®, TP 207®, Ionac SR-5® e Purolite S930® podem ser consideradas como representativas

das resinas poliméricas de troca iônica para fins hidrometalúrgicos indicados no tratamento das soluções aquosas de ácido dos sulfatos de níquel e cobalto. As resinas quelantes são os exemplos de trocadores iônicos que são muito eficazes na remoção seletiva dos metais pesados (como, níquel e cobalto), se comparado aos outros trocadores. Esses trocadores são copolímeros com grupos funcionais ligados de forma covalente. Eles contêm um ou mais átomos doadores (base Lewis) que podem formar as ligações coordenadas à maioria dos íons de metal (ácido Lewis). Embora as interações coulômbicas e hidrofóbicas também estejam presentes, sua contribuição na alta seletividade de íon de metal é um pouco pequena, se comparado às interações com base em ácido de Lewis. Essas resinas podem ser normalmente regeneradas com as soluções de ácido (ácido sulfúrico ou clorídrico) e a alta eficiência é garantida. Por outro lado, os trocadores quelantes, como, a resina Dowex M4195® (grupo funcional de bis-picolamina com átomos doadores de nitrogênio) exibem algumas propriedades incomuns com relação à recuperação de íon de metal na condição aquosa. A capacidade de remoção de metal permanece quase inalterada em baixos valores de pH, por exemplo, pH=1. Os cátions e ânions de metal podem ser removidos simultaneamente da solução. Finalmente, a regeneração do íon de metal ou dessorção com amônia é muito eficiente, enquanto a regeneração de ácido é menos eficiente. As características como aquelas mencionadas acima indicam essa resina para os fins da presente invenção.

Exceto se de outro modo indicado, o advérbio "cerca de" antes de uma série de valores será aplicável a cada valor na série.

A abordagem da presente invenção refere-se ao uso do processo da resina na lixiviação na recuperação do níquel e cobalto, que é mais eficiente e econômico do que um circuito convencional de CCD. Com relação a isso, algumas resinas comercialmente disponíveis devem ser capazes de extrair o níquel e cobalto com seletividade razoável, para carregar (encher) e recuperar o metal, de modo que a resina carregada não seja fortemente dominada por outro elemento. A cinética de adsorção e eluição e características seletivas de carregamento em algumas resinas quelantes comerciais são regidas pelas concentrações na solução do metal de interesse e seus competidores. Esse tipo

de resina tende a ter melhor desempenho para os metais de transição em relação ao trocadores orgânicos comuns. Da mesma forma, já que os metais alcalinos e alcalino-terrosos não formam complexos estáveis com esse tipo de resina, seu uso não é recomendado para esse objetivo. Em uma concretização preferida da invenção, as resinas a serem usadas exibem o grupo funcional do tipo 2 apresentando picolamina, bis (2 picolil) Amina, n-metil-2 picolamina, n (2 hidroxietil) 2 picolamina, n (2 hidroxipropil) 2 picolamina.

O processo da invenção também fornece a redução das espécies de impureza solúvel ou uso de técnicas de cimentação/complexação para evitar a adsorção na resina. A peneiração separar a resina carregada (enchida) da polpa. Os metais secundários do processo da invenção são o cobre, ferro, cromo, alumínio, magnésio, manganês, cálcio. O ácido preferido atuando como o agente de lixiviação é selecionado a partir do grupo compreendendo o tipo sulfúrico, cloreto ou nítrico.

O processo da invenção é aplicável para lixiviação de um concentrado com o níquel e cobalto, minério laterítico, óxido de níquel ou óxido de cobalto, sob a pressão atmosférica e temperatura abaixo de 80°C, a principal característica do processo consistindo no uso de uma resina polimérica de troca iônica, durante a etapa de lixiviação, conhecida como lixiviação em resina.

As impurezas, como, ferro e cobre trivalente podem ser eliminadas da solução através de técnicas de cimentação/complexação, com a adição de ferro, alumínio ou magnésio metálico. Os agentes de redução (como sulfuretos de modo geral) podem ser adicionados, para reduzir as impurezas, como, ferro trivalente ao bivalente, assim evitando sua adsorção. As impurezas, como cobre, podem ser precipitadas pela adição dos sulfuretos, como H_2S , $NaHS$, Na_2S . Em uma concretização preferida da invenção, o cromo hexavalente é eliminado da solução através da adição de um agente de redução, assim impedindo a oxidação da resina.

Na etapa combinada de lixiviação/adsorção do processo da invenção, a polpa entra em contato com a resina de troca iônica sob as condições atmosféricas. Esse processo é conhecido como lixiviação em resina. Assim que tornados solúveis, o níquel e cobalto são adsorvidos de forma imediata e seletiva

pela resina. As resinas quelantes, preferivelmente contendo grupos de 2-picolamina, podem ser usadas para atender os objetivos do processo. A resina M4195 da Dow Chemical, que contém o grupo de bis (2 picolyl) amina, é sugerida. Outras resinas quelantes da Rohm & Haas e Lanxess também podem ser usadas. Esse grupo exibe alta seletividade para níquel e cobalto, se comparado aos outros metais, como manganês, magnésio, alumínio e cálcio.

Durante a lixiviação, o pH pode ser ajustado com o auxílio de um ácido ou base, de modo a melhor ajustar-se ao desempenho de solubilização/precipitação dos metais, ao mesmo tempo, garante o carregamento ideal e seletivo do níquel e cobalto na resina. Normalmente, o pH no processo RIL deve ser mantido em cerca de 0 a 5 e preferivelmente em cerca de 1 a 3. Durante o processo de lixiviação em resina, o potencial de redução é ajustado pela adição de um agente de redução (ferro metálico ou sulfuretos em geral) de modo a reduzir o ferro trivalente em sua forma divalente, assim impedindo que ele seja adsorvido pela resina. Um agente de complexação também pode ser adicionado, para impedir que o ferro seja adsorvido na resina.

Se existir qualquer cobre ou ferro na solução, eles também serão absorvidos pela resina. Se isso for indesejável, os metais devem ser removidos da solução assim que se tornarem solúveis, porém antes de serem adsorvidos pela resina. Uma solução é um uso dos métodos como cimentação com os metais, como, ferro, alumínio, magnésio. Entretanto, se esses metais são adsorvidos na resina, eles podem ser posteriormente removidos através da eluição seletiva.

O cromo hexavalente é capaz de oxidizar irreversivelmente a resina de troca iônica. Isso limita seu uso em muitos ciclos. Neste caso, deve ser reduzido assim que tornado solúvel, para evitar seu contato com a resina.

A lixiviação ocorre em um sistema de tonéis misturados, com base contínua ou em lote. Em um modo contínuo, o sistema de tonel misturado compreende quatro a doze etapas reorganizadas em tandem. Os tonéis misturados podem ser mecanicamente agitados ou submetidos à agitação por ar (tipo pachuca), com uma parte inferior em formato de cone e um recipiente de mistura de sólido/líquido, no qual o ar é injetado a partir da parte inferior com

formato de cone. Menor a degradação física da resina e melhor a dispersão das partículas de resina na polpa, se comparado à mistura mecânica, são vantagens do sistema Pachuca. A polpa flui e cai em cascata, a partir do tonel, por gravidade. A lixiviação ocorre através da adição de um agente de lixiviação, seja ácido (sulfúrico, cloreto) ou básico (amônia). A polpa fluindo através dos tonéis de lixiviação contém entre 25% e 45% de sólidos, preferivelmente 35%. O RIL deve ocorrer em uma temperatura adequada, coerente com o limite de estabilidade térmica da resina (cerca de 80°C). A taxa de reação normalmente aumenta com a temperatura. A temperatura de lixiviação é entre cerca de 25°C e 80°C, preferivelmente entre cerca de 45°C e 70°C, de modo a impulsionar a dissolução do níquel imediata, como sulfato de níquel solúvel. As temperaturas mais altas aceleram a lixiviação. A temperatura deve ser mantida abaixo de 80°C, para evitar a degradação dos reagentes e, especialmente, a degradação de resina. O tempo de residência da polpa pode ser de até doze horas (30 a 60 minutos por etapa) e é influenciado pelo tamanho das partículas de material de alimentação. Em uma menor medida, outras condições de lixiviação (pH, temperatura, concentração de reagente, etc.) também podem afetar o tempo de residência. O volume da resina em cada etapa é aproximadamente 10% a 30% do volume da polpa no tonel. A resina avança no fluxo contracorrente de etapa a etapa, através de bombeamento ou arrasto pneumático da polpa e da resina à próxima etapa de adsorção. A resina carregada (enchida) sai da primeira etapa de adsorção e é bombeada em uma peneira estática ou vibratória horizontal, para separação e lavagem da resina e polpa. A resina preferivelmente compreende o grupo funcional de bis-picolamina.

Assim que os metais são carregados (enchidos) na resina, essa resina é fisicamente separada da polpa em peneiras, que classificam as resinas de diâmetro maior da polpa de particulado fino. Saindo da primeira etapa de adsorção, a resina passa através de uma peneira de separação e é então lavada. Agora lavada, úmida e drenada, a resina entra no circuito de eluição, para a dessorção de níquel e cobalto. A eluição pode ser inicialmente realizada com água acidífera de pH 2, para remover o ferro adsorvido na resina. O sal de amônia (sulfato de amônia ou hidróxido) é então usado, para remoção de cobre. Por último, o ácido é usado (concentração de 0,5 - 4M, preferivelmente 1M) para

eluição do níquel e cobalto. Se necessário e após a eluição, a resina pode ser regenerada e os íons, como Na^+ , Ca^{2+} , podem ser incluídos como íons móveis.

Em uma concretização preferencial da invenção, a eluição de metal pode ocorrer seletivamente e em etapas. Preferivelmente, a eluição é conduzida com
5 água acidífera de cerca de pH 2 para remoção do ferro adsorvido na resina.

Em uma concretização preferencial da invenção, o ácido sulfúrico, clorídrico e/ou nítrico é usado para a eluição de níquel e cobalto, a concentração preferida sendo 0,5 a 4M, mais preferivelmente 1M. Quando necessário e após a eluição, a resina pode ser regenerada e os íons, como Na^+ , Ca^{2+} , podem ser
10 incluídos como íons móveis.

Em uma realização preferida da invenção, o sal de amônia (sulfato de amônia ou hidróxido) é depois usado para a remoção de cobre.

Após a eluição, a purificação do níquel e cobalto presentes no eluato pode ser recuperada por métodos convencionais, como precipitação, extração por
15 solventes e membranas. A resina regenerada volta ao circuito, para uso adicional.

Aqueles com habilidade na técnica prontamente apreciarão os ensinamentos no presente revelados. As concretizações selecionadas aqui apresentadas não são consideradas como limitantes ao espírito da invenção e/ou escopo das reivindicações anexas.

REIVINDICAÇÕES

1. Um processo hidrometalúrgico para recuperar o níquel e/ou cobalto nas polpas de lixiviação de minério, compreendendo:

a) uma etapa combinada de lixiviação e adsorção, na qual uma polpa aquosa compreendendo minério de laterita, óxido níquelífero ou óxido cobaltífero, ou uma combinação dos mesmos contendo um primeiro metal selecionado do grupo consistindo em níquel, cobalto e combinações dos mesmos, junto com um segundo metal diferente do primeiro metal, e água, é simultaneamente lixiviado e adsorvido, a referida lixiviação ocorrendo pela adição de um ácido mineral para dissolver os metais contidos, e a referida adsorção ocorrendo imediatamente pela presença de uma resina de troca iônica mesclada com a polpa; e

b) pelo menos uma etapa adicional para eluição de metal sob condições acidíferas.

2. Processo hidrometalúrgico, de acordo com a reivindicação 1, compreendendo o ajuste de pH em qualquer das etapas (a) e/ou (b) de modo a melhor ajustar-se ao desempenho de solubilização/precipitação de metal, enquanto fornece o carregamento ideal e seletivo do níquel e cobalto na resina.

3. Processo hidrometalúrgico, de acordo com a reivindicação 1, compreendendo o ajuste do pH do processo entre cerca de 0 e 5.

4. Processo hidrometalúrgico, de acordo com a reivindicação 3, compreendendo o ajuste do pH do processo entre cerca de 1 e 3.

5. Processo hidrometalúrgico, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o agente de lixiviação é selecionado de pelo menos um do grupo consistindo em ácido sulfúrico, ácido clorídrico e ácido nítrico.

6. Processo hidrometalúrgico, de acordo com a reivindicação 1, compreendendo a operação do processo em pressão atmosférica e temperatura abaixo de cerca de 80°C.

7. Processo hidrometalúrgico, de acordo com a reivindicação 1, compreendendo adição de pelo menos um do grupo consistindo em ferro,

alumínio e magnésio metálico na etapa combinada de lixiviação e adsorção, eliminando assim as impurezas como ferro e cobre trivalentes.

8. Processo hidrometalúrgico, de acordo com a reivindicação 1, compreendendo adição de um agente de redução à etapa combinada de lixiviação e adsorção, reduzindo assim as impurezas e evitando sua adsorção.

9. Processo hidrometalúrgico, de acordo com a reivindicação 1, compreendendo adição dos sulfuretos selecionados a partir de pelo menos um do grupo consistindo em H_2S , $NaHS$ e Na_2S , precipitando assim as impurezas.

10. Processo hidrometalúrgico, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a referida resina de troca iônica é selecionada a partir de pelo menos um do grupo consistindo em picolamina; bis (2 picolil) amina, n-metil-2 picolamina, n (2 hidroxietil) 2 picolamina e n (2 hidroxipropil) 2 picolamina.

11. Processo hidrometalúrgico, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a referida eluição de metal ocorre de forma seletiva em etapas múltiplas.

12. Processo hidrometalúrgico, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a eluição do ferro a partir da resina é realizada pela adição da água acidífera com um pH de cerca de 2.

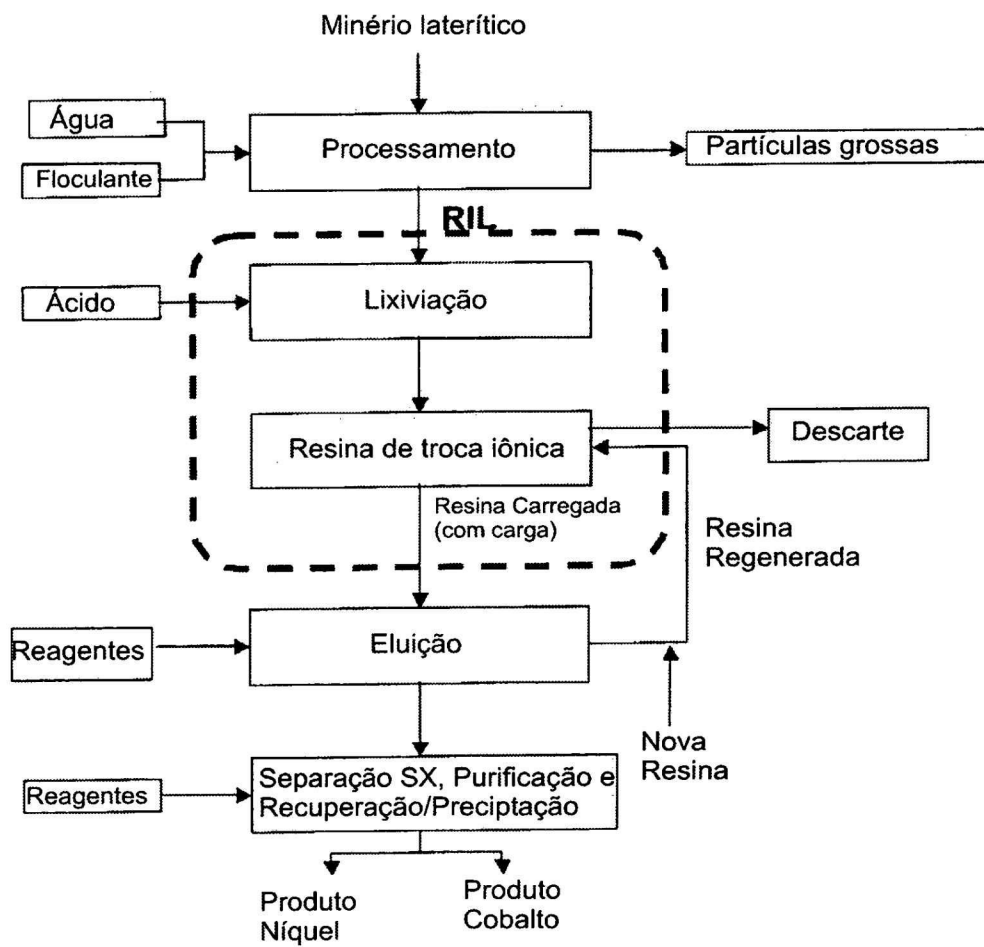
13. Processo hidrometalúrgico, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a eluição do cobre a partir da resina é realizada pela adição de sal de amônia selecionado a partir do grupo consistindo em sulfato de amônia e hidróxido de amônia.

14. Processo hidrometalúrgico, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a eluição do níquel e/ou cobalto é realizada na presença de um ácido selecionado a partir de pelo menos um do grupo consistindo em ácido sulfúrico, ácido clorídrico e ácido nítrico.

15. Processo hidrometalúrgico, de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que o referido ácido está em uma concentração de cerca de 0,5 a 4M.

16. Processo hidrometalúrgico, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a resina é regenerada após a eluição.

17. Processo hidrometalúrgico, de acordo com a reivindicação 16, caracterizado pelo fato de que os íons de Na^+ e Ca^{2+} são ainda incluídos como
5 íons móveis.

**FIG. 1**

RESUMO**“PROCESSO DE LIXIVIAÇÃO EM RESINA PARA RECUPERAR NÍQUEL E/OU COBALTO
EM LIXIVIAÇÃO EM POLPAS DE MINÉRIO”**

Processo hidrometalúrgico utilizando resina em lixiviação (Resin-In-Leach - RIL) para a recuperação direta de níquel e/ou cobalto. A lixiviação simultânea da polpa por meio da adição de um ácido ou uma base dissolve os metais de interesse com a adsorção dos metais tornados solúveis na resina de troca iônica. Após a eluição da resina alterada, a purificação do níquel e cobalto presentes no eluato pode ocorrer por métodos convencionais, como precipitação, extração por solventes e membranas. A resina regenerada é recirculada para uso posterior