



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

**(11) BR 112015027156-1 B1**



**(22) Data do Depósito: 29/04/2014**

**(45) Data de Concessão: 05/01/2021**

---

**(54) Título:** MÉTODO PARA PREPARAR UMA SOLUÇÃO CONTENDO OURO A PARTIR DE MATÉRIAS-PRIMAS AURÍFERAS E DISPOSIÇÃO DE PROCESSO PARA RECUPERAÇÃO DE OURO E PRATA A PARTIR DE MATÉRIA-PRIMA CONTENDO OURO

**(51) Int.Cl.:** C22B 11/06; C22B 3/10; C22B 3/26.

**(30) Prioridade Unionista:** 30/04/2013 FI 20135448.

**(73) Titular(es):** OUTOTEC (FINLAND) OY.

**(72) Inventor(es):** VILLE MIETTINEN; RIINA AHTIAINEN; KARI VALKAMA; ERKKI PAATERO; KARI HIETALA; MIKA HAAPALAINEN.

**(86) Pedido PCT:** PCT FI2014050309 de 29/04/2014

**(87) Publicação PCT:** WO 2014/177765 de 06/11/2014

**(85) Data do Início da Fase Nacional:** 26/10/2015

**(57) Resumo:** MÉTODO DE PREPARAÇÃO DE UMA SOLUÇÃO CONTENDO OURO E DISPOSIÇÃO DE PROCESSO PARA RECUPERAÇÃO DE OURO E PRATA A invenção refere-se a um método de preparação de uma solução contendo ouro, por meio de lixiviação com cloreto, a partir de matérias-primas auríferas. Um adicional objetivo da invenção é proporcionar um método para recuperação de ouro e, opcionalmente, de prata, a partir da solução preparada contendo ouro. A invenção refere-se ainda a uma disposição de processo para recuperação de ouro e, opcionalmente, de prata.

**“MÉTODO PARA PREPARAR UMA SOLUÇÃO CONTENDO OURO A PARTIR DE MATÉRIAS-PRIMAS AURÍFERAS E DISPOSIÇÃO DE PROCESSO PARA RECUPERAÇÃO DE OURO E PRATA A PARTIR DE MATÉRIA-PRIMA CONTENDO OURO”**

**CAMPO DA INVENÇÃO**

[0001] A presente invenção está correlacionada a um método para preparação de uma solução contendo ouro através de lixiviação com cloreto, a partir de matérias-primas auríferas. Um adicional objetivo da invenção é proporcionar um método para recuperação de ouro e, opcionalmente, prata, a partir da preparada solução contendo ouro. A invenção também refere-se a uma disposição de processo para recuperação de ouro e, opcionalmente, prata.

**ANTECEDENTES DA INVENÇÃO**

[0002] Atualmente, a lixiviação com cianeto é considerada a melhor opção para lixiviação de minérios ou concentrados auríferos. Outra opção é a lixiviação com cloreto, porém, embora o uso de cloreto para a lixiviação do ouro seja conhecido há bastante tempo, esse uso não tem sido intensamente aplicado na prática comercial. A lixiviação com cloreto tem sido considerada demasiadamente cara devido ao consumo relativamente alto de reagente (oxidante). A recuperação do ouro de soluções de lixívia de cloreto tem sido também considerada um desafio e o rendimento da recuperação tem sido mais baixo que na lixiviação com cianeto. Além disso, ocorrem problemas de corrosão, devido às altas concentrações de cloreto das soluções de lixiviação.

[0003] A Patente U.S. No. 4.551.213 divulga um método de recuperação de frações de ouro de misturas de minérios contendo enxofre, através da lixiviação com

cloretos (cloreto de metal alcalino e/ou cloreto de metal alcalino terroso), agente oxidante (cloro gasoso) e cloreto cúprico ou férrico. É indicado que a concentração de cloreto na lixiviação pode ser de 12 a 47% em peso, e a concentração de cloreto cúprico ou férrico de 3,5 a 27% em peso. Uma temperatura de cerca de 20 a 106°C, preferivelmente, de cerca de 40 a 80°C, é divulgada. Nos exemplos, a lixiviação é realizada a uma temperatura de 60 a 65°C. O minério contendo enxofre usado como material de partida pode ser obtido, por exemplo, a partir de processamento hidrometalúrgico de cobre. O ouro pode ser recuperado da solução de lixívia eletroliticamente, ou mediante adsorção em carbono.

[0004] O documento de patente EP 1 583 848 B1 divulga um processo de recuperação de metais preciosos, como, por exemplo, ouro, de materiais sulfídicos, mediante lixiviação com uma mistura contendo halogenetos e compostos metálicos multivalentes, selecionados de cobre, ferro, cobalto, manganês e vanádio. Materiais típicos de partida para o processo são concentrados refratários de ouro, como, por exemplo, arsenopirita (opcionalmente, com pirita e/ou carbono). A mistura de halogenetos na lixiviação, preferivelmente, compreende cloreto e brometo. O metal multivalente na solução de lixiviação com halogeneto de metal, tipicamente, é cobre ( $\text{Cu}^{2+}$ ). A lixiviação pode ser realizada a uma temperatura de 90-105°C. Os valores de pH da lixiviação se dispõem na faixa inferior a 1, porém, valores superiores a 0,2 são divulgados. O metal precioso pode ser recuperado da solução de lixívia mediante adsorção em carbono (carbono ativado) ou através de troca de íons, extração por

solvente, etc. Do estágio de recuperação, a solução é tipicamente reciclada para o estágio de lixiviação.

[0005] De acordo com os Exemplos 1-3 do documento de patente EP 1 583 848 B1, o ouro foi recuperado de um único concentrado refratário de Au, mediante um processo de lixiviação de duas etapas ou de etapa única, a uma temperatura de 105°C, com uma solução de lixívia compreendendo NaCl, CaCl<sub>2</sub>, Cu (de CuCl<sub>2</sub>) e HCl.

[0006] O documento de patente do Canadá, CA 2.599.174, divulga um método de lixiviação de ouro a partir de minérios de sulfeto de cobre, onde o minério de sulfeto é primeiramente submetido à lixiviação de cobre, seguido da lixiviação de ouro a partir do resíduo de lixívia, com um licor de lixívia contendo íons cloreto e íons férrico e ferroso. É também indicado que a velocidade da reação de lixiviação do ouro pode ser aumentada mediante a presença de cobre ou de íon brometo, ou ambos, no licor de lixívia. Uma temperatura de lixiviação de 80°C ou superior é divulgada. De acordo com o Exemplo 6, o cobre é primeiramente lixiviado de um concentrado de sulfeto de cobre, após o que o ouro é extraído do resíduo de lixívia com um licor de lixívia contendo Cu, Cl e Br, a uma temperatura de 85°C.

[0007] Outros processos para recuperação de ouro foram divulgados no livro texto "*The Chemistry of Gold Extraction*", J. Marsden e Iain House, Society for Mining, Metallurgy and Exploration Inc., 2006, página 275. Esses processos incluem um processo de lixiviação comercial de um material contendo prata, à temperatura de 75°C, com uma solução quase saturada de cloreto de sódio, com ácido clorídrico (pH 0,3), e 15 g/L de íon férrico como oxidante.

Um adicional processo compreende um processo de lixiviação à pressão atmosférica, usando NaCl e NaOCl em pH 7, a partir de minérios de ouro contendo cobre solúvel em cianeto. Ainda um outro processo, consiste da oxidação sob pressão em alta temperatura (200 a 225°C), em um meio de sulfato, contendo 5 a 20 g/L de NaCl, especificamente proposto para materiais de partida contendo ouro, além de conter subprodutos, tais como, cobre, níquel e metais do grupo da platina.

[0008] O documento de patente WO 2011/154603 A1 (15/12/2011), divulga um método de recuperação de ouro mediante extração por solvente, a partir de uma solução acídica aquosa contendo cloreto, ou a partir de uma suspensão contendo sólidos contendo ouro. O processo de extração por solvente é realizado com um agente de extração contendo um diéster de 2,2,4-trialquil-1,3-pentanodiol. A solução orgânica contendo ouro obtida da extração é purificada com uma solução acídica aquosa, após o que o ouro é extraído com água, de onde é reduzido para formar ouro puro.

#### **BREVE DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO**

[0009] Um objetivo da presente invenção é proporcionar um aperfeiçoado método para preparação de uma solução contendo ouro, através de lixiviação com cloreto, a partir de matérias-primas auríferas. Um adicional objetivo da invenção é proporcionar um método de recuperação de ouro da solução preparada contendo ouro, mediante extração do tipo líquido-líquido. Os objetivos da invenção são alcançados mediante um método e disposição de processo, que são caracterizados pela descrição apresentada nas reivindicações independentes. As modalidades preferidas da invenção são divulgadas nas reivindicações dependentes. Um

adicional objetivo da invenção é proporcionar uma disposição de processo para recuperação de ouro e prata.

[0010] A invenção é fundamentada na seleção de uma adequada solução de lixiviação à base de cloreto, e de adequadas condições de lixiviação para dissolução do ouro das matérias-primas auríferas, com satisfatório rendimento. Mais especificamente, a invenção é fundamentada na aplicação de uma solução de lixiviação à base de um cloreto específico e em otimizadas condições de lixiviação, para dissolução do ouro das matérias-primas auríferas, com satisfatório rendimento. O método da invenção pode ser combinado com uma eficiente circulação da solução de lixiviação à base de cloreto. O ouro pode ser convenientemente recuperado da solução de lixiviação contendo ouro através de diferentes métodos, como, por exemplo, extração do tipo líquido-líquido.

[0011] O método da invenção proporciona uma maneira econômica e eficiente de resuperação de ouro através da lixiviação à base de cloreto, a partir de uma ampla variedade de matérias-primas auríferas, tais como, minérios e concentrados de ouro, contrariamente aos atuais inconvenientes que ocorrem nesse campo de aplicação, de processos à base de cloreto para lixiviação de ouro. Além do ouro, a prata pode ser convenientemente recuperada no mesmo processo.

[0012] O presente método e disposição de processo são adequados para uma ampla variedade de materiais de partida. Isso é obtido mediante execução de uma etapa de evaporação e de uma etapa de circulação, pelo que, não se torna necessário a introdução de adicionais íons de cobre ao

processo. Isso possibilita ainda o uso de uma ampla variedade de materiais de partida em um modo bastante sustentável, pelo fato de nenhuma nova quantidade de cobre ser adicionada (ou necessária de estar presente no material de partida) e, portanto, nenhuma drenagem contendo cobre para o ambiente é formada. Além disso, a circulação de agentes químicos no processo é maximizada, o que resulta em economia de custos, assim como, em pequeno consumo de agentes químicos.

#### **BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS**

[0013] A invenção será agora descrita em maiores detalhes por meio de modalidades preferidas, fazendo-se referência aos desenhos anexos, cuja descrição resumida dos mesmos é feita a seguir.

[0014] A Figura 1 é um diagrama em bloco de uma modalidade exemplificativa da invenção, mostrando também a recuperação da prata.

[0015] A figura 2 ilustra o efeito da concentração de cobre com relação à concentração de ouro, na solução de lixívia do teste 3 do Exemplo 1.

[0016] A figura 3 ilustra o efeito da concentração de brometo com relação à concentração de ouro, na solução de lixívia do teste 4 do Exemplo 1.

[0017] A Figura 4 ilustra o efeito do tempo de lixiviação com relação à concentração de ouro, na solução de lixívia do teste 1 do Exemplo 2.

[0018] A figura 5 ilustra o efeito da concentração de cobre com relação à concentração de ouro, na solução de lixívia do teste 3 do Exemplo 2.

[0019] A figura 6 ilustra o efeito da concentração de brometo com relação à concentração de ouro, na solução de lixívia do teste 4 do Exemplo 2.

[0020] A figura 6 ilustra o efeito da concentração de cloreto com relação à concentração de ouro, na solução de lixívia do teste 5 do Exemplo 2.

[0021] A Figura 8 ilustra a concentração de ouro na solução de lixívia vs. o tempo de lixiviação no teste comparativo de cianeto do Exemplo 3.

[0022] A Figura 9 ilustra o efeito do tempo de lixiviação com relação à concentração de ouro, na solução de lixívia dos testes 1 e 2 do Exemplo 3.

[0023] A Figura 10 é uma modalidade exemplificativa da disposição de processo.

#### **DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO**

[0024] A invenção refere-se a um método de preparação de uma solução contendo ouro, a partir de matérias-primas auríferas, em que o método compreende:

(a) uma etapa de lixiviação de ouro, em que a matéria-prima contendo ouro é submetida à lixiviação oxidante com cloreto em um licor aquoso de lixiviação, nas seguintes condições:

(i) o licor aquoso de lixiviação contém íons cúpricos ( $\text{Cu}^{2+}$ ), cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) e brometo ( $\text{Br}^-$ ) dissolvidos;

(ii) o pH está dentro de uma faixa em que o íon cúprico não se precipita;

(iii) o potencial de oxidação é de pelo menos 450 mV Pt vs. Ag/AgCl, de modo a proporcionar uma solução contendo ouro e, opcionalmente, ainda contendo prata;

(b) uma etapa de separação tipo líquido/sólido, em que a solução contendo ouro é separada do material sólido não dissolvido;

(c) uma etapa de recuperação de ouro, em que o ouro é recuperado da solução contendo ouro da etapa (b) para obter uma solução orgânica contendo ouro e uma solução de lixívia exaurida de ouro, contendo  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Br}^-$ ; e

(c') uma etapa de evaporação, em que a solução de lixívia exaurida de ouro da etapa (c) contendo  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Br}^-$  é evaporada para remoção do excesso de água; e

(d) uma etapa de circulação, em que a solução de lixívia exaurida de ouro obtida da etapa de evaporação contendo  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Br}^-$  é circulada para a etapa de lixiviação (a).

#### **MATERIAIS DE PARTIDA**

[0025] As matérias-primas auríferas para o método da invenção podem ser selecionadas de minérios, concentrados, sucatas, materiais reciclados, resíduos de lixívia, frações residuais, tais como, frações residuais de flotação, e materiais refratários de ouro, cujos materiais refratários de ouro foram previamente tratados mediante oxidação sob pressão, calcinação e/ou lixiviação bacteriana. As matérias-primas auríferas usadas como material de partida na presente invenção podem também conter prata.

[0026] Tipicamente, os materiais de partida para o método da invenção podem ser selecionados de minérios/concentrados de ouro isentos de moagem, e concentrados refratários de ouro pré-tratados.

[0027] Os minérios/concentrados de ouro isentos de moagem referem-se a materiais a partir dos quais o ouro pode ser recuperado usando lixiviação com cianeto ou métodos

físicos de separação. Os materiais isentos de moagem podem ser minérios sulfídicos ou oxídicos. Os principais minerais de minérios sulfídicos são a pirita e a pirrotita. Os minérios oxídicos contêm principalmente silicatos e óxidos férrico/ferroso.

[0028] Os concentrados refratários de ouro referem-se a materiais em que a recuperação do ouro em convencionais processos de lixiviação com cianeto é inferior a 80%. Na maioria dos materiais concentrados refratários de ouro, o ouro é associado a minerais de sulfeto, na forma de inclusões bastante finas ou na forma de ouro invisível na treliça do mineral. A decomposição dos minerais contendo ouro é exigida para a liberação do ouro. Exemplos de concentrados refratários de ouro são os minérios à base de arsenopirita, pirita e/ou silicato.

[0029] O pretratamento dos concentrados refratários de ouro usados como material de partida pode ser realizado mediante um método selecionado de oxidação sob pressão, biolixiviação e calcinação, preferivelmente, oxidação sob pressão.

[0030] Em uma modalidade da invenção, as matérias-primas contendo ouro usadas como material de partida são selecionadas de concentrados refratários de ouro, que foram previamente tratados por oxidação sob pressão.

#### **MÉTODO**

[0031] Na etapa (a) de lixiviação de ouro, a matéria-prima contendo ouro é submetida à lixiviação oxidante com cloreto em um licor aquoso de lixiviação, de acordo com as seguintes condições:

(i) o licor aquoso de lixiviação contém íons cúpricos ( $\text{Cu}^{2+}$ ), cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) e brometo ( $\text{Br}^-$ ) dissolvidos;

(ii) o pH está dentro de uma faixa em que o íon cúprico não se precipita;

(iii) o potencial de oxidação é de pelo menos 450 mV Pt vs. Ag/AgCl, de modo a proporcionar uma solução contendo ouro.

[0032] Na etapa de lixiviação, também a prata pode ser lixiviada e, portanto, a solução contendo ouro pode, opcionalmente, ainda conter prata.

[0033] O método compreende ainda:

(b) uma etapa de separação tipo líquido/sólido, em que a solução contendo ouro é separada do material sólido não dissolvido;

(c) uma etapa de recuperação de ouro, em que o ouro é recuperado da solução contendo ouro da etapa (b) para obter uma solução orgânica contendo ouro e uma solução de lixívia exaurida de ouro, contendo  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Br}^-$ ; e

(c') uma etapa de evaporação, em que a solução de lixívia exaurida de ouro da etapa (c) contendo  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Br}^-$  é evaporada para remoção do excesso de água; e

(d) uma etapa de circulação, em que a solução de lixívia exaurida de ouro obtida da etapa de evaporação contendo  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Br}^-$  é circulada para a etapa de lixiviação (a).

[0034] A lixiviação oxidante com cloreto é tipicamente realizada à pressão atmosférica. Além disso, a lixiviação oxidante com cloreto é tipicamente realizada à temperatura de pelo menos 50°C, mais tipicamente, à temperatura de 88-100°C.

[0035] Na lixiviação oxidante com cloreto, o valor de pH, isto é, a faixa em que o íon cúprico não se precipita é inferior a 2,6, tipicamente, inferior a 2,2.

[0036] A lixiviação oxidante com cloreto é tipicamente realizada mediante provisão de uma fonte oxidante dentro do licor de lixiviação com cloreto. Tipicamente, a fonte oxidante é uma alimentação de oxigênio, uma alimentação de ar enriquecido de oxigênio, ou uma alimentação de ar para a solução. A finalidade da fonte oxidante é permitir ao cobre na solução se manter numa forma de íon ( $2^+$ ).

[0037] O potencial de oxidação é tipicamente de 450-800 mV Pt vs. Ag/AgCl, tipicamente, 450-700 mV Pt vs. Ag/AgCl.

[0038] Na etapa de lixiviação, o minério/concentrado de ouro é introduzido dentro do licor de lixiviação, o qual contém  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Br}^-$ , tipicamente, nas seguintes concentrações: 10-110 g/L de  $\text{Cu}^{2+}$ , 50-300 g/L de  $\text{Cl}^-$  e 1-100 g/L de Br (expresso como NaBr). Tipicamente, o licor de lixiviação é aquoso. Além disso, o licor de lixiviação, de maneira geral, contém ácido, numa concentração típica de 5-20 g/L de HCl. Tipicamente, o oxigênio é alimentado dentro do licor de lixiviação. O cobre ( $\text{Cu}^{2+}$ ) é exigido para proporcionar um pó altamente oxidante, a fim de que o ouro possa ser oxidado juntamente com a alimentação de oxigênio. O cloreto e o brometo ( $\text{Cl}^-$  e  $\text{Br}^-$ ) formam complexos aquosos com o ouro, de modo que o ouro é dissolvido na solução de lixiviação. A presença de  $\text{Br}^-$  no licor de lixiviação possibilita manter o ouro numa forma estável no licor, em outras palavras, a presença de  $\text{Br}^-$  possibilita a formação de um complexo de ouro mais estável, se comparado somente com  $\text{Cl}^-$  estando presente. O pH do licor de lixiviação é mantido em um nível em que o íon

cúprico não se precipita. Tipicamente, o pH do licor de lixiviação é inferior a 2,6, mais tipicamente, inferior a 2,2. Em uma modalidade da invenção, o pH é inferior a 2,2, porém, superior a 1,5. Foi ainda descoberto que apenas cerca de meia hora pode ser suficiente para dissolução do ouro, por exemplo, a partir de materiais à base de óxido isentos de moagem, e a partir de concentrados refratários previamente tratados por oxidação sob pressão.

[0039] Em uma típica modalidade da invenção, o licor de lixiviação contendo  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Br}^-$  é circulado exaurido de ouro e, opcionalmente, da solução de lixívia exaurida de prata obtida das subseqüentes etapas do método, após a recuperação do ouro e após opcional recuperação da prata. Antes de introduzir a solução de lixiviação circulada dentro da etapa de lixiviação, a solução, de maneira geral, é submetida à evaporação para remoção do excesso de água. Também, é possível alimentar apenas uma parte da solução à etapa de evaporação. Outra solução é alimentar toda a solução para a etapa de evaporação. A porção da solução a ser evaporada pode variar em uma ampla faixa, dependendo do tipo de matéria-prima, da umidade e dos regulamentos ambientais. Em uma modalidade típica da invenção, 5-99%, preferivelmente, 20-70%, mais preferivelmente, 40-60% da solução de lixiviação é alimentada à etapa de evaporação, após a etapa de recuperação de ouro. O calor para a etapa de evaporação, tipicamente, é proporcionado por vapor, condensado de vapor vivo, tipicamente, retornando à temperatura de 90-100°C. A quantidade de evaporação depende da composição química e mineralógica da matéria-prima. Em uma aplicação (calculada por HSC, Sim 7.1), 200 t/h de

evaporação foram necessárias para neutralizar 300 t/h de alimentação de minério isento de moagem dentro do processo. A solução de lixiviação evaporada pode ser introduzida na lixiviação como tal, ou, se necessário, após uma opcional regeneração. Na etapa de regeneração, a solução de lixiviação circulada é suplementada com agentes químicos frescos de lixiviação (agentes químicos de reposição) contendo  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Br}^-$ . A adição dos agentes químicos de reposição é adequadamente realizada em conexão com a lixiviação.

[0040] O presente método e disposição de processo são adequados para uma ampla variedade de materiais de partida. Ao executar uma etapa de evaporação (c'), em que parte ou toda a solução de lixívia exaurida de ouro da etapa (c), contendo  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Br}^-$  é evaporada para remoção do excesso de água, e uma etapa de circulação (d), em que a solução de lixívia exaurida de ouro obtida da etapa de evaporação, contendo  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Br}^-$  é circulada para a etapa de lixiviação (a), não haverá a necessidade de se introduzir adicionais íons de cobre ao processo. Isso possibilita ainda o uso de uma ampla variedade de materiais de partida de uma maneira bastante sustentável, pelo fato de que nenhuma nova quantidade de cobre é adicionada (ou necessária de estar presente no material de partida) e, portanto, nenhuma drenagem contendo cobre para o ambiente é formada. Além disso, a circulação de agentes químicos no processo é maximizada, o que resulta em economia de custos, assim como, em pequeno consumo de agentes químicos. Para ser capaz de recuperar e reciclar o cloreto/brometo, a água precisa ser removida a fim de manter o seu equilíbrio. Altas concentrações de cloreto não podem ser sustentavelmente

descarregadas para o ambiente, e mesmo que isso possa ser possível, o custo da adição de cloreto de reposição irá tornar o processo antieconômico.

[0041] A lixiviação proporciona uma solução contendo ouro com um rendimento de ouro superior a 70%, preferivelmente, superior a 85%, ainda mais preferivelmente, superior a 95% e ainda superior a 98%, sendo preferível de até 99,7%, com base em análise de sólidos. Além do ouro, a solução de lixívia, de maneira geral, contém prata e outros componentes, tais como, por exemplo, arsênico, alumínio, ferro, cobalto, níquel e magnésio.

[0042] Na etapa (b) de separação tipo líquido-sólido, a solução contendo ouro é separada do material sólido. A separação tipo sólido/líquido pode ser realizada, por exemplo, mediante filtração, sedimentação de sólido/líquido, evaporação ou centrifugação.

[0043] A solução contendo ouro é introduzida dentro da etapa (c) de recuperação de ouro, após opcional lavagem.

[0044] A etapa (c) de recuperação de ouro pode ser executada por meio de extração do tipo líquido-líquido (também conhecida como extração por solvente). A extração tipo líquido-líquido é executada mediante uso de um agente de extração, que é seletivo para ouro. Tipicamente, o agente de extração contém um diéster de 2,2,4-trialquil-1,3-pentanodiol ou 2-etil-hexanol, ou ambos. Em uma modalidade da invenção, a extração tipo líquido-líquido é realizada mediante uso de um diéster de 2,2,4-trialquil-1,3-pentanodiol, como agente de extração. Em outra modalidade da invenção, a extração tipo líquido-líquido foi realizada

usando um diéster de 2,2,4-trialquil-1,3-pentanodiol misturado com 2-etil-hexanol como agente de extração. A extração pode ser realizada usando o método divulgado no documento de patente WO 2011/154603 A1. Foi encontrado que até 99,9% de recuperação de ouro foi obtida.

[0045] O ouro pode ser extraído da solução orgânica contendo ouro obtida na etapa (c) para se obter uma solução aquosa contendo ouro. Água ou uma solução aquosa de sal pode ser usada como agente de extração.

[0046] Além disso, o método pode compreender uma adicional etapa de recuperação de ouro, em que o ouro é recuperado da solução aquosa contendo ouro obtida acima, ou ainda diretamente da solução orgânica contendo ouro obtida na etapa (c). A adicional etapa de recuperação de ouro pode ser realizada por um método selecionado dentre redução de ácido oxálico, ácido ascórbico ou glicose, adsorção em carbono ativado, cementação e queima direta do reagente orgânico contendo ouro. Em uma modalidade da invenção, a redução de ouro é realizada com ácido oxálico.

[0047] Na etapa (d) de circulação, a solução de lixívia exaurida de ouro da etapa (c), contendo  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Br}^-$  é circulada para a etapa (a) de lixiviação, após opcional regeneração e/ou após evaporação para remoção do excesso de água. Devido à eficiente circulação e opcional regeneração da solução de lixívia exaurida de ouro, o acúmulo de impurezas que prejudica a dissolução do ouro é evitado. Tipicamente, a solução é reciclada na sua integridade.

[0048] Em uma modalidade da invenção, o método compreende ainda uma etapa de recuperação de prata, em que a prata é recuperada de pelo menos parte da solução de

lixívia exaurida de ouro obtida da etapa (c) de recuperação de ouro. Naturalmente, a etapa de recuperação de prata não será necessária se a prata não estiver presente no material de partida. A recuperação de prata pode ser realizada por um método selecionado dentre extração tipo líquido-líquido e precipitação. Em uma modalidade da invenção, a recuperação de prata compreende o procedimento de extração tipo líquido-líquido com Cyanex 471X (um reagente comercial de extração tipo líquido-líquido, onde o componente ativo é sulfeto de triisobutilfosfina), fazendo a absorção com uma solução aquosa de sal de tiosulfato, tal como, solução de tiosulfato de sódio, e cementação com pó metálico, como, por exemplo, pó de cobre (Cu). Para a extração tipo líquido-líquido, Cyanex 471X é tipicamente usado, na forma de uma solução 0,1-0,7 mol/L, em um solvente de hidrocarboneto. A solução pode também conter um agente modificador. A recuperação de prata pode ser também realizada através de precipitação de sulfeto. Tipicamente, a prata é recuperada com um rendimento superior a 70%.

[0049] Em uma modalidade da invenção, a solução de lixívia exaurida de ouro da etapa (c) é circulada para a etapa (a) de lixiviação, após a etapa de recuperação de prata.

[0050] A seguir, a invenção é ilustrada fazendo-se referência à Figura 1, que é uma modalidade exemplificativa da invenção, em que a lixiviação do ouro é combinada com a recuperação de ouro e ainda com a recuperação de prata. A modalidade exemplificativa, de nenhum modo, significa restringir a invenção. Naturalmente, se a prata não estiver presente no material de partida, a etapa de

recuperação da prata não será necessária. Deve ser observado que somente uma parte da solução pode ser submetida à evaporação. Um concentrado de ouro (concentrado de ouro (5)) é introduzido dentro da etapa de lixiviação (10), junto com a alimentação de oxigênio (7) e uma solução de lixiviação contendo  $\text{Cu}$  ( $\text{Cu}^{2+}$ ),  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Br}^-$ . Na etapa de lixiviação (10), o ouro é solubilizado formando uma solução contendo ouro. A lixiviação é seguida de uma etapa de separação tipo sólido-líquido (separação S/L (20)), onde a solução contendo ouro é separada do material sólido não dissolvido (resíduo de lixívia (105)). A solução contendo ouro obtida da etapa de lixiviação é introduzida dentro da etapa de extração de ouro (extração de ouro (30)), que produz uma solução orgânica contendo ouro e uma solução de lixívia exaurida de ouro contendo  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Br}^-$ . A solução orgânica contendo ouro é ainda introduzida dentro da etapa de extração de ouro (extração de ouro (40)), em que o ouro é extraído com água da solução orgânica contendo ouro, para obter uma solução aquosa contendo ouro. O ouro é finalmente recuperado na forma de ouro elementar da solução aquosa contendo ouro, mediante redução com oxalato de sódio (oxalato de Na (45)), introduzindo a solução aquosa contendo ouro na etapa de redução (redução de Au (50)). O produto da redução é submetido à etapa de separação tipo sólido-líquido (separação S/L (60)), da qual o ouro é recuperado como um produto sólido (produto de Au (65)). O produto líquido proveniente da etapa de separação sólido-líquido contém algumas impurezas, tais como, ferro e cobre. As impurezas são removidas da solução (tratamento do efluente (70)) mediante precipitação de hidróxido. A suspensão proveniente

do tratamento de efluente é introduzida dentro da etapa de separação tipo sólido-líquido (separação S/L (80)), a partir da qual são obtidos um precipitado de hidróxido (85) e uma drenagem da solução (90).

[0051] A solução exaurida de ouro contendo  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Br}^-$  proveniente da etapa de extração de ouro (30) é introduzida na etapa de recuperação de prata, compreendendo extração da prata (extração de prata (100)), absorção da prata (absorção de prata (110)), cementação da prata com pó de cobre (125) (cementação de Ag (120)), e separação tipo sólido-líquido (separação S/L (130)), a partir da qual um produto de prata sólido (produto de Ag (135)) é obtido. O produto líquido da etapa de separação sólido-líquido (130) é introduzido dentro do tratamento de efluente (70) (juntamente com o produto líquido proveniente da etapa de recuperação do ouro).

[0052] Parte da solução de lixiviação contendo  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Br}^-$  proveniente da etapa de extração de prata (100) é introduzida dentro da etapa de evaporação (160), para remover o excesso de água na forma de vapor (165). Após evaporação para se obter uma adequada consistência, a solução restante (170) contendo  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Br}^-$  é circulada para a etapa de lixiviação (10).

[0053] Uma pequena parte da solução proveniente da etapa de extração da prata é introduzida dentro da etapa de tratamento de efluente (140), onde algumas impurezas de metal, tais como, zinco e chumbo, são removidas por meio de precipitação de hidróxido. O tratamento de efluente é seguido de separação tipo sólido-líquido (separação S/L (150)). O produto líquido proveniente da etapa de separação tipo

sólido-líquido é introduzido dentro da etapa de evaporação (160). O produto sólido proveniente da etapa de separação tipo sólido-líquido é recuperado na forma de um precipitado de Cu-Zn (155).

[0054] A invenção refere-se também a uma disposição de processo para recuperação de ouro e, opcionalmente, prata, de matéria-prima aurífera, em que a disposição compreende:

(a) uma unidade de lixiviação de ouro, adaptada para submeter a matéria-prima contendo ouro à lixiviação oxidante com cloreto, em um licor de lixiviação contendo íons cúpricos ( $\text{Cu}^{2+}$ ), cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) e brometo ( $\text{Br}^-$ ), para dissolução do ouro e, opcionalmente, da prata;

(b) uma unidade de separação tipo líquido/sólido, adaptada para separar a solução contendo ouro e opcionalmente prata, do material sólido não dissolvido;

(c1) uma unidade de recuperação de ouro, adaptada para recuperar o ouro da solução contendo ouro e opcionalmente prata da unidade da etapa (b), de modo a obter uma solução orgânica contendo ouro e uma solução de lixívia exaurida de ouro;

(c2) opcionalmente, uma unidade de extração de prata, adaptada para recuperação de prata da solução de lixívia exaurida de ouro;

(c3) uma unidade de evaporação, adaptada para evaporar o excesso de água e, opcionalmente, uma unidade de tratamento de efluente para tratamento do líquido obtido da unidade de extração de prata; e

(d) uma unidade de circulação (d), adaptada para circular a solução de lixívia exaurida de ouro, contendo  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Br}^-$ , para a unidade de lixiviação da etapa (a).

[0055] É possível submeter somente uma parte da solução ou toda a solução à unidade de evaporação.

[0056] A unidade de separação tipo líquido-sólido pode ser selecionada, por exemplo, dentre uma unidade de filtro, decantador tipo sólido-líquido, evaporador ou centrífuga.

#### **EXEMPLOS**

[0057] Os Exemplos seguintes ilustram a invenção sem qualquer limitação para a mesma.

[0058] Nos Exemplos 1-3 seguintes, foram realizados testes de lixiviação com diferentes concentrados de ouro, a fim de se observar a possibilidade de obter uma alta extração de ouro mediante lixiviação com cloreto, como a obtida com lixiviação com cianeto.

#### **Exemplo 1**

[0059] Recuperação de ouro a partir de um concentrado sulfídico de ouro.

[0060] O concentrado sulfídico de ouro usado como material de partida foi um concentrado isento de moagem. No concentrado, a maior parte do ouro existe como metal puro, podendo ser dissolvida diretamente com cianeto. A quantidade de ouro liberada no material é de 80,85%. O material também contém ouro bloqueado.

[0061] A composição química do concentrado sulfídico é apresentada na Tabela 1

Tabela 1 - Composição Química do Concentrado Sulfídico

	Concentrado Sulfídico
Ag, ppm	35,90
Au, ppm	114,60
Cu, %	0,94
Fe, %	41,70
S, %	46,60
SiO <sub>2</sub> , %	7,84

[0062] As condições do teste de lixiviação de cloreto-brometo são apresentadas na Tabela 2. O potencial redox variou entre 550-676 mV Pt vs. Ag/AgCl.

Tabela 2 - Condições dos Testes de Lixiviação com Cloreto-Brometo

	Conc. Sólido (g/L)	Temp. (°C)	[Cl]aq. (g/L)	[NaBr]aq. (g/L)	[Cu <sup>2+</sup> ]aq. (g/L)	pH	Conc. Ácido (g/L)
Teste 1	400	98	225	100	100	1,7	-
Teste 2	200	98	225	100	100	-	10
Teste 3	200	98	225	100	50-100	-	10
Teste 4	200	98	225	10-100	100	-	10

[0063] Os resultados são apresentados, a seguir, na Tabela 3.

Tabela 3 - Extrações de Ouro e Prata

	Au, %	Ag, %
Teste 1	76,4	87,1

Teste 2	83,9	97,4
Teste 3	78,4	96,5
Teste 4	74,4	94,0

[0064] Além disso, o efeito da concentração do cobre com relação à dissolução do ouro foi estudado no teste 3. Durante o teste, a concentração de cobre foi aumentada gradualmente. As concentrações de cobre usadas foram de 50 g/L, 67 g/L, 83 g/L, e 100 g/L. A adição de cobre foi feita a cada duas horas.

[0065] A concentração do cobre afetou a dissolução do ouro. Assim, 50 g/L de cobre dissolveram parte do ouro em meia hora (ver a Figura 2). Concentrações superiores de cobre aumentaram a dissolução do ouro.

[0066] Além disso, o efeito da concentração de brometo com relação à dissolução do ouro foi estudado no teste 4. A concentração do brometo de sódio foi modificada a cada duas horas. A concentração do brometo de sódio afetou a dissolução do ouro (ver a Figura 3). A cinética da dissolução do ouro foi mais rápida com concentrações mais altas de brometo.

[0067] Extrações relativamente satisfatórias de ouro (83,9%) foram obtidas através da lixiviação com cloreto-brometo. A cinética foi rápida.

### **Exemplo 2**

[0068] Recuperação de ouro a partir de um minério de ouro à base de silicato.

[0069] O minério de ouro à base de silicato usado como material de partida foi também um minério isento de moagem.

[0070] O concentrado sulfídico de ouro usado como material de partida foi um concentrado isento de moagem. A análise química do minério é apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 - Análise Química do Minério de Ouro Usado

	Minério à base de Silicato
Al, %	5,61
Au, ppm	5,054
Cu, %	0,025
Fe, %	0,851
SiO <sub>2</sub> , %	51,3

[0071] As condições do teste de lixiviação com cloreto-brometo são apresentadas na Tabela 5. O potencial redox variou entre 450-682 mV Pt vs. Ag/AgCl.

Tabela 5 - Condições dos Testes de Lixiviação com Cloreto-Brometo

	Conc. Sólido (g/L)	Temp. (°C)	[Cl]aq. (g/L)	[NaBr]aq. (g/L)	[Cu <sup>2+</sup> ]aq. (g/L)	pH	Conc. Ácido (g/L)
Teste 1	200	98	225	100	100	1,7	-
Teste 2	400	98	225	100	100	1,7	-
Teste 3	400	98	133-197	100	0-75	1,7	-
Teste 4	400	98	225	1-60	100	1,7	-

Teste 5	400	98	26-225	15	50	1,7	-
Teste 6	400	90	150	8	15	-	10

[0072] Um teste de lixiviação com cianeto foi realizado para fins de comparação, de acordo com as seguintes condições: concentração do material sólido, 33% em peso; pH, 11; alimentação de ar, 500 mL/min; concentração de NaCN, 3 g/L; e tempo de lixiviação, 24 horas.

[0073] Os resultados de todos os testes são apresentados, a seguir, na Tabela 6.

Tabela 6 - Extrações de Ouro em Testes de Lixiviação com Cloreto-Brometo e Teste de Lixiviação com Cianeto

	Au, %
Teste 1	98,6
Teste 2	98,4
Teste 3	91,0
Teste 4	97,0
Teste 5	100,0
Teste 6	95,1
Cianeto	98,0

[0074] Além disso, a concentração de ouro da solução vs. tempo de lixiviação é apresentada na Figura 4.

[0075] No teste 3, o efeito da concentração de cobre foi também estudado. Durante a lixiviação, a concentração de cobre teve ser alta, de modo que o potencial redox se situou acima de 450 mV Pt vs. Ag/AgCl. A concentração de cobre foi aumentada gradualmente, de 0 g/L

para 75 g/L durante o teste. As concentrações usadas foram de 0, 1, 10, 30, 60, e 75 g/L. Parece que 10 g/L de cobre foi uma concentração suficientemente alta para a dissolução do ouro (Figura 5). A concentração exigida de cobre depende da mineralogia do material de alimentação.

[0076] Além disso, o efeito da concentração de brometo de sódio com relação à dissolução do ouro foi estudado no teste 4 (Figura 6). As concentrações de brometo de sódio usadas foram de 0, 1, 5, 10, 40, e 60 g/L.

[0077] Também, o efeito da concentração de cloreto com relação à dissolução do ouro foi estudado (Figura 7). A concentração de cloreto de 100 g/L aumentou a dissolução do ouro. Uma concentração de 25 g/L de cloreto dissolveu alguma quantidade de ouro, mas a maior parte do ouro permaneceu sólida. A lixiviação do ouro precisou de concentrações de cloreto bastante altas. De acordo com o teste 5, uma adequada concentração de cloreto seria de pelo menos 125 g/L para esse material. A extração do ouro teve um rendimento de 99,98%.

[0078] Os resultados do teste de lixiviação com cianeto são apresentados na Figura 8. A extração do ouro foi de 98,0% para o minério de ouro usado à base de silicato.

[0079] Durante os testes de lixiviação, foi descoberto que a composição mineral do material, assim como, de cobre, brometo, cloreto e concentrações de ácido afetaram a lixiviação de ouro. Extrações de ouro relativamente satisfatórias (acima de 95%, Tabela 6) foram obtidas mediante lixiviação com cloreto-brometo. A cinética foi rápida na lixiviação com cloreto-brometo. Na lixiviação com cianeto,

o tempo de retenção foi de 24 horas. Depois de 25 horas, a extração de ouro foi de 98%.

[0080] A lixiviação com cloreto foi possível com baixas concentrações de cobre e brometo de sódio. A temperatura precisa ser de pelo menos 90°C.

### **Exemplo 3**

[0081] Recuperação de ouro a partir de concentrado refratário de ouro pré-tratado.

[0082] No concentrado usado, a maior parte do ouro consiste de minerais internos de sulfeto. A composição química do concentrado refratário de ouro usado antes do pretratamento é apresentada na Tabela 7. O ouro, na sua maior parte, é bloqueado em pirita.

Tabela 7 - Composição Química do Concentrado Refratário Usado

	Material de Teste
Ag, ppm	19,6
Au, ppm	29,4
As, %	6,9
Cu, %	0,062
Fe, %	31,3
S, %	32,7
SiO <sub>2</sub> , %	12,7

[0083] As condições do teste de lixiviação com cloreto-brometo são apresentadas na Tabela 8. O potencial redox variou entre 568-681 mV Pt vs. Ag/AgCl. Nos testes 1-2, o material foi pré-tratado com POX (oxidação sob pressão). Os tratamentos com POX foram feitos nas seguintes condições:

concentração de sólido foi de 150-300 g/L, temperatura de 210°C, e sobrepressão de oxigênio de 6 bar (pressão total de cerca de 26 bar). Após o tratamento com POX, um tratamento de cura a quente foi feito. A temperatura foi diminuída para 90°C e a sobrepressão foi aliviada (para a pressão atmosférica).

Tabela 8 - Condições dos testes de lixiviação com cloreto-brometo

	Conc. Sólido (g/L)	Temp. (°C)	[Cl]aq. (g/L)	[NaBr]aq. (g/L)	[Cu <sup>2+</sup> ]aq. (g/L)	pH	Conc. Ácido (g/L)
Teste 1	50	98	225	100	100	1,7	-
Teste 2	315	98	150	8-100	20	-	10

[0084] Os resultados da lixiviação com cloreto-brometo são apresentados, a seguir, na Tabela 9.

Tabela 9 - Extrações de ouro e prata na lixiviação com cloreto-brometo

	Au, %	Ag, %
Teste 1	99,5	-
Teste 2	99,7	97,3

[0085] Extrações de ouro relativamente satisfatórias (acima de 99%) e de prata (cerca de 97%) foram obtidas mediante lixiviação com cloreto-brometo para o material tratado por meio de oxidação sob pressão (POX). No teste 2 (Figura 9), o efeito da concentração de brometo de sódio foi também estudado. A concentração de brometo de sódio

não afetou a extração de ouro na faixa de concentração de brometo de sódio usada nesse caso. Na Figura 9, pode ser observado que a concentração de ouro da solução variou amplamente, dependendo da concentração de sólidos e da quantidade de sólidos.

#### **Exemplo 4**

[0086] A lixiviação de ouro foi configurada usando o programa de simulação de processo HSC SIM 7.1, para minério isento de moagem, com 300 t/h de alimentação de minério dentro da lixiviação com cloreto-brometo. Parâmetros de processo similares aos dos Exemplos do Pedido de Patente foram usados.

[0087] Uma característica de processos de lixiviação de ouro à base de cloreto é que a concentração de cloreto-brometo é mantida alta. Isso é necessário para se manter o ouro estável na solução.

[0088] Conseqüentemente, para recuperar e reciclar a solução de cloreto-brometo a água precisa ser removida, a fim de manter o equilíbrio de água. Altas concentrações de cloreto, normalmente, não podem ser sustentavelmente descarregadas para o ambiente, mas caso isso fosse possível, o custo da adição de reposição de cloreto tornaria o processo não econômico. Por essa razão, a evaporação e o equilíbrio de água representam uma essencial característica inovadora do processo, o que torna o dito processo ambiental e economicamente sustentável.

[0089] Foi observado que com 300 t/h de alimentação de minério, 203 t/h de água foram acumuladas no processo, por exemplo, sem o estágio de evaporação >200 m<sup>3</sup>/h de solução, tendo altas concentrações de cloreto e brometo, que

deveriam ser drenadas do processo. Isso não seria ambientalmente sustentável. O estágio de evaporação (evaporação de 203 t/h de água) permite aos agentes químicos, como, por exemplo, Cl, Br e também Cu, serem reciclados e reutilizados no processo. Assim, somente água pura (vapor) é liberada, podendo ser usada no processo, se necessário.

[0090] Será óbvio para um especialista versado na técnica que na medida em que a tecnologia avança, o conceito inventivo poderá ser implementado de diversas maneiras. A invenção e suas modalidades não são limitadas aos exemplos acima descritos, podendo variar dentro do escopo das reivindicações anexas.

**REIVINDICAÇÕES**

1. Método para preparar uma solução contendo ouro a partir de matérias-primas auríferas, em que o método compreende:

(a) uma etapa de lixiviação de ouro, em que a matéria-prima aurífera é submetida à lixiviação oxidativa com cloreto em um licor aquoso de lixiviação, nas seguintes condições:

(i) o licor aquoso de lixiviação contém íons cúpricos dissolvidos ( $\text{Cu}^{2+}$ ), cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) e brometo ( $\text{Br}^-$ );

(ii) o pH está dentro de uma faixa em que o íon cúprico não se precipita;

(iii) o potencial de oxidação é de pelo menos 450 mV Pt vs. Ag/AgCl, de modo a fornecer uma solução contendo ouro e, opcionalmente, contendo adicionalmente prata;

(b) uma etapa de separação líquido/sólido, em que a solução contendo ouro é separada do material sólido não dissolvido;

(c) uma etapa de recuperação de ouro, em que o ouro é recuperado da solução contendo ouro da etapa (b) para obter uma solução orgânica contendo ouro e uma solução de lixívia exaurida de ouro, contendo  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Br}^-$ ;

**caracterizado** pelo método compreender adicionalmente:

(c') uma etapa de evaporação, em que a solução de lixívia exaurida de ouro da etapa (c) contendo  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Br}^-$  é evaporada para remover o excesso de água; e

(d) uma etapa de circulação, em que a solução de lixívia exaurida de ouro obtida da etapa de evaporação contendo  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Br}^-$  é circulada para a etapa de lixiviação (a).

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pela matéria-prima contendo ouro ser

selecionada a partir de minérios, concentrados, sucatas, resíduos de lixiviação de materiais reciclados, resíduos, tais como resíduos de flotação, e materiais refratários de ouro, cujos materiais refratários de ouro foram previamente tratados mediante oxidação sob pressão, calcinação e/ou lixiviação bacteriana.

3. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 2, **caracterizado** por minérios/concentrados de ouro isentos de moagem e concentrados refratários de ouro pré-tratados serem usados como matéria-prima, tendo sido selecionados a partir de materiais sulfídicos e oxídicos.

4. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado** pela matéria-prima contendo ouro ser selecionada a partir de concentrados refratários de ouro e pelo pré-tratamento dos concentrados refratários de ouro usados como matéria-prima ser executado por um método selecionado a partir de oxidação sob pressão, biolixiviação e calcinação, preferivelmente, oxidação sob pressão.

5. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado** pela matéria-prima contendo ouro ser selecionada a partir de concentrados refratários de ouro que foram pré-tratados por oxidação sob pressão.

6. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado** pela lixiviação oxidante com cloreto ser realizada sob pressão atmosférica.

7. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado** pela lixiviação oxidativa com cloreto ser realizada à temperatura de pelo menos 50°C, tipicamente, à temperatura de 88°C a 100°C.

8. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo valor do pH em

que o íon cúprico não se precipita ser inferior a 2,6, preferivelmente, inferior a 2,2.

9. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado** pela lixiviação oxidativa com cloreto ser realizada mediante fornecimento de uma fonte oxidante.

10. Método, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado** pela fonte oxidante ser uma fonte de oxigênio, uma fonte de ar enriquecido de oxigênio ou uma fonte de ar para a solução.

11. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo potencial de oxidação ser de 450 a 800 mV Pt vs. Ag/AgCl, preferivelmente, de 450 a 700 mV Pt vs. Ag/AgCl.

12. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado** pelas concentrações de  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Br}^-$  no licor de lixiviação ser de 10 a 110 g/L de  $\text{Cu}^{2+}$ , 50 a 300 g/L de  $\text{Cl}^-$  e de 1 a 100 g/L de  $\text{Br}^-$  (expresso como NaBr).

13. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado** pela concentração de ácido do licor de lixiviação ser de 5 a 20 g/L de HCl.

14. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado** pela etapa (c) de recuperação de ouro ser realizada mediante extração líquido-líquido.

15. Método, de acordo com a reivindicação 14, **caracterizado** pelo agente de extração conter um diéster de 2,2,4-trialquil-1,3-pentanodiol ou 2-etil-hexanol, ou ambos.

16. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo método compreender adicionalmente uma etapa de extração de ouro, em que o ouro é extraído da solução orgânica contendo ouro

obtida na etapa (c), para obter uma solução aquosa contendo ouro.

17. Método, conforme reivindicado em qualquer uma das reivindicações anteriores, em que o método compreende uma adicional etapa de recuperação de ouro, em que o ouro é recuperado da solução orgânica contendo ouro obtida da etapa (c), conforme descrito na reivindicação 1, ou da solução aquosa contendo ouro descrita na reivindicação 16.

18. Método, de acordo com a reivindicação 17, **caracterizado** pela dita etapa adicional de recuperação de ouro ser realizada por meio de um método selecionado a partir de redução com ácido oxálico, ácido ascórbico ou glicose, adsorção em carbono ativado, cementação e queima direta do reagente orgânico contendo ouro.

19. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado** por uma parte da solução de lixiviação ser alimentada à etapa de evaporação ou por toda a solução de lixiviação ser alimentada à etapa de evaporação.

20. Método, de acordo com a reivindicação 19, **caraterizado** por de 5 a 99%, preferivelmente, de 20 a 70%, mais preferivelmente, de 40 a 60% da solução de lixiviação ser alimentada à etapa de evaporação, após a etapa de recuperação de ouro.

21. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo método compreender adicionalmente uma etapa de recuperação de prata, em que a prata é recuperada a partir de pelo menos uma parte da solução de lixívia exaurida de ouro obtida da etapa de recuperação de ouro (c).

22. Método, de acordo com a reivindicação 21, **caracterizado** pela etapa de recuperação de prata compreender um método selecionado a partir de extração líquido-líquido e precipitação.

23. Método, de acordo com a reivindicação 22, **caracterizado** pela etapa de recuperação de prata compreender extração líquido-líquido com Cyanex 471X (sulfeto de triisobutilfosfina), extração com uma solução aquosa de sal de tiosulfato e cementação de prata a partir da solução de tiosulfato com um pó metálico.

24. Método, de acordo com a reivindicação 22, **caracterizado** pela etapa de recuperação de prata compreender precipitação por sulfeto.

25. Método, de acordo com a reivindicação 21, **caracterizado** pela solução de lixiviação exaurida de ouro da etapa (c) ser retornada para a etapa de lixiviação (a) após a etapa de recuperação da prata.

26. Disposição de processo para recuperação de ouro e prata a partir de matéria-prima contendo ouro, de acordo com o método conforme definido na reivindicação 1, em que a disposição compreende:

(a) uma unidade de lixiviação de ouro, adaptada para submeter a matéria-prima contendo ouro à lixiviação oxidativa com cloreto em um licor aquoso de lixiviação contendo íons cúpricos ( $\text{Cu}^{2+}$ ), cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) e brometo ( $\text{Br}^-$ ) dissolvidos, em um pH em uma faixa em que o íon cúprico não se precipita e em um potencial de oxidação de pelo menos 450 mV Pt vs. Ag/AgCl, para dissolver ouro e prata;

(b) uma unidade de separação líquido/sólido, adaptada para separar a solução contendo ouro e prata do material sólido não dissolvido;

(c1) uma unidade de recuperação de ouro, adaptada para recuperar o ouro da solução contendo ouro e prata da unidade da etapa (b), de modo a obter uma solução orgânica contendo ouro e uma solução de lixiviação exaurida de ouro contendo  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Br}^-$ ;

(c2) opcionalmente, uma unidade de extração de prata adaptada para recuperar a prata da solução de lixiviação exaurida de ouro;

**caracterizada** por compreender adicionalmente:

(c3) uma unidade de evaporação adaptada para evaporar o excesso de água de toda ou parte da solução de lixiviação exaurida de ouro contendo  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Br}^-$  e, opcionalmente, uma unidade de tratamento de efluente para tratar o líquido obtido da unidade de extração de prata; e

(d) uma unidade de circulação adaptada para circular a solução de lixiviação exaurida de ouro, contendo  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Br}^-$ , obtida a partir da unidade de evaporação, para a unidade de lixiviação da etapa (a).

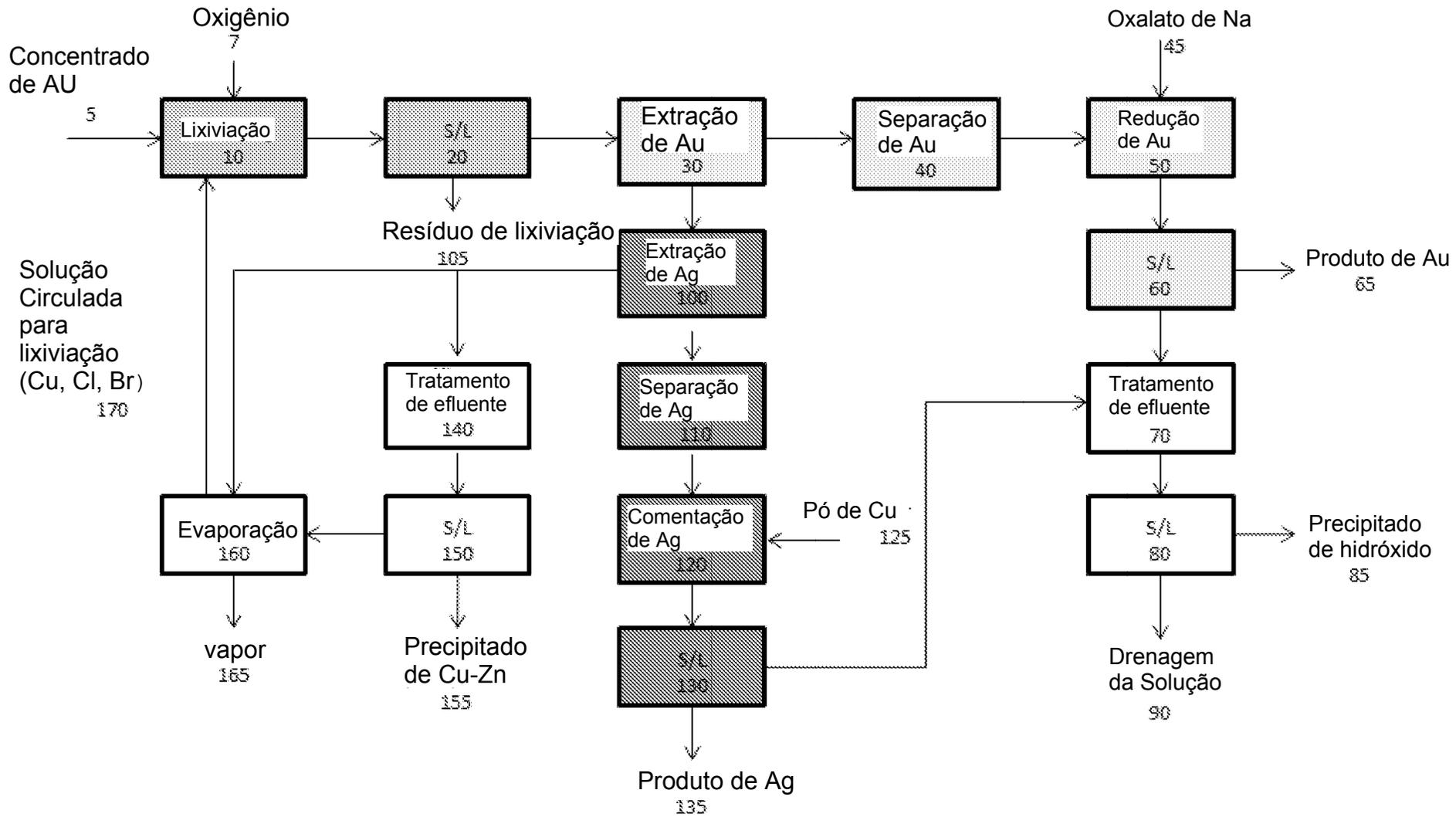
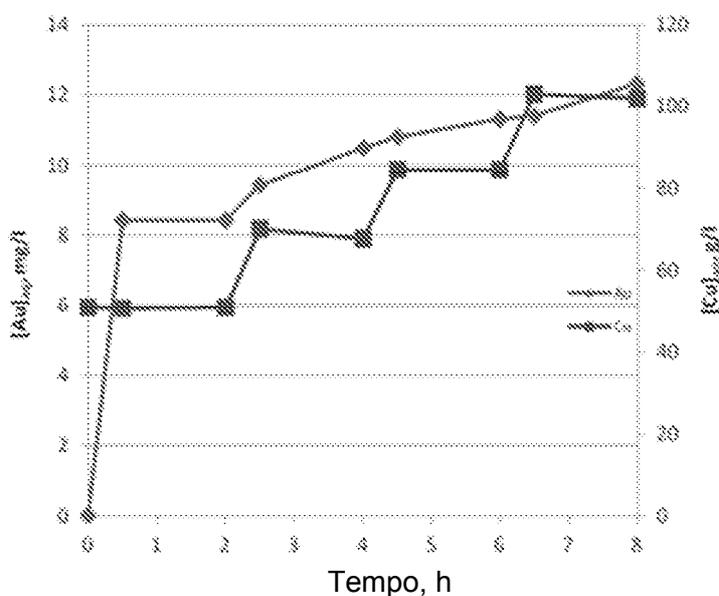
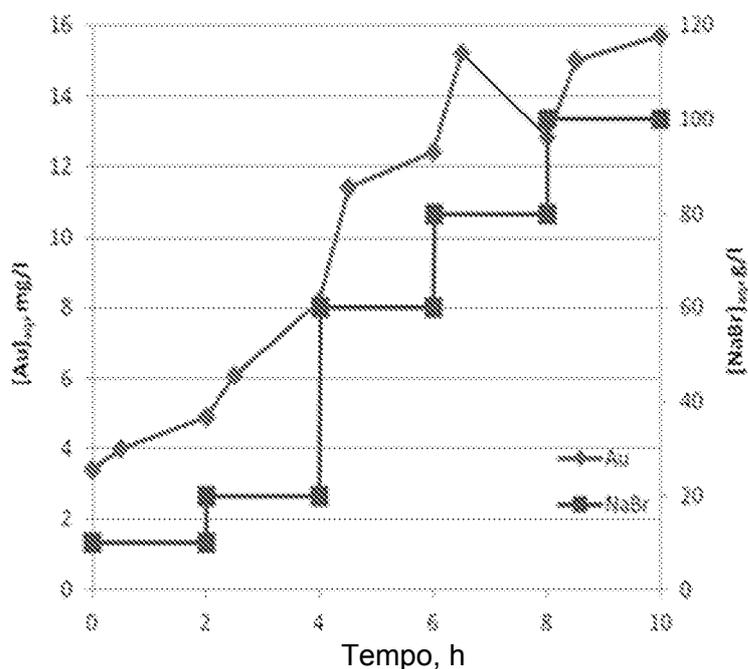


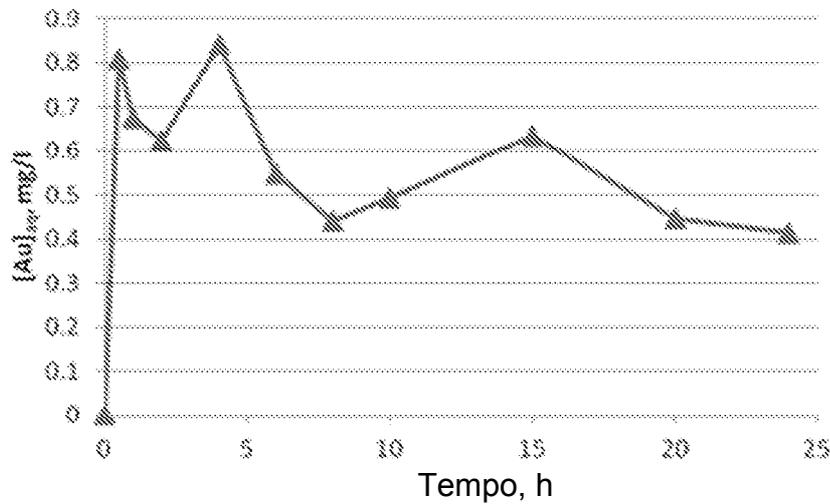
Figura 1



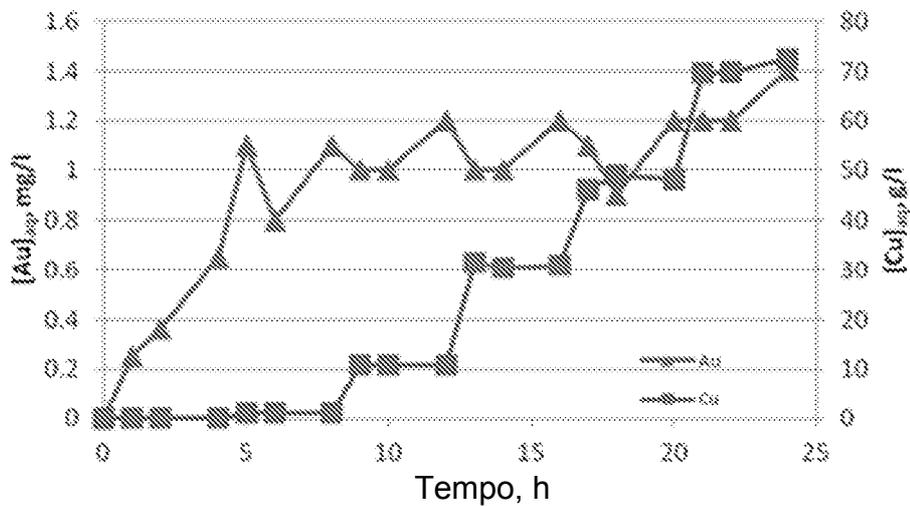
**Figura 2:** Concentração de ouro da solução vs. concentração de cobre no teste 3 do Exemplo 1:  $[Cu]_{aq} = 50-100$  g/L;  $[NaBr]_{aq.0} = 100$  g/L;  $[CaCl_2]_{aq.0} = 177$  g/L; concentração de ácido  $>10$  g/L (HCl);  $T = 98^\circ C$ ; alimentação de oxigênio, 500-2000 mL/min; e concentração de sólido, 200 g/L.



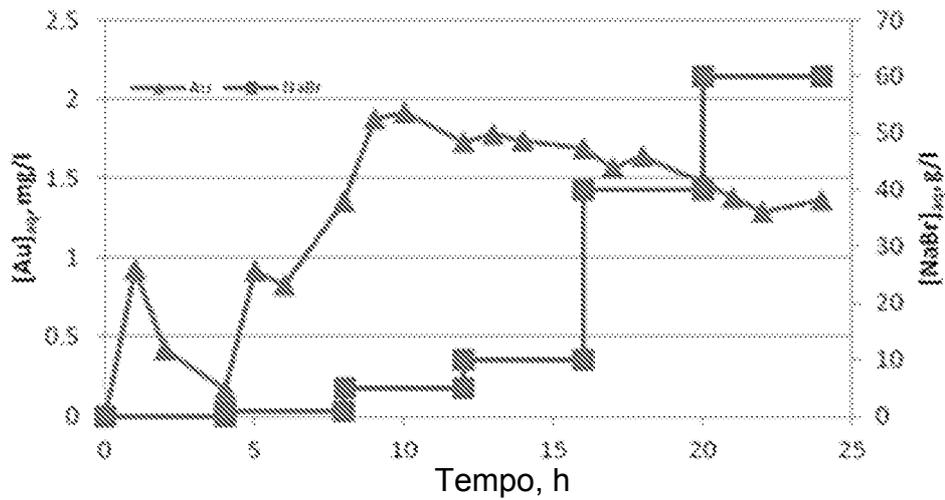
**Figura 3:** Concentração de ouro da solução vs. concentração de brometo no teste 4 do Exemplo 1:  $[Cu]_{aq.0} = 100$  g/L;  $[NaBr]_{aq} = 10-100$  g/L;  $[CaCl_2]_{aq.0} = 177$  g/L; concentração de ácido  $>10$  g/L (HCl);  $T = 98^\circ C$ ; alimentação de oxigênio, 220 mL/min; e concentração de sólido, 200 g/L.



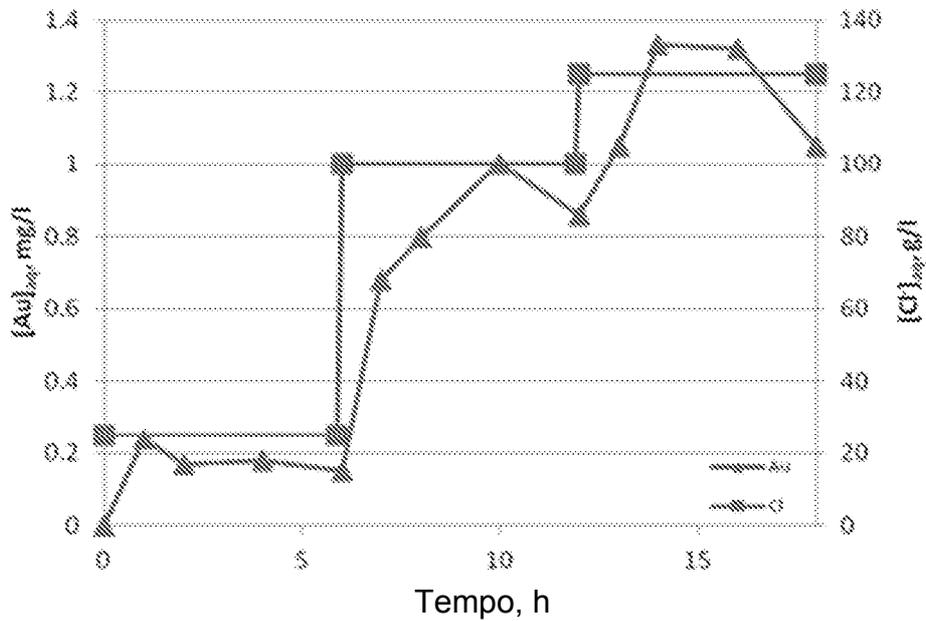
**Figura 4:** Concentração de ouro da solução vs. tempo de lixiviação no teste 1 do Exemplo 2:  $[Cu]_{aq.0} = 100 \text{ g/L}$ ;  $[NaBr]_{aq} = 10\text{-}100 \text{ g/L}$ ;  $[CaCl_2]_{aq.0} = 177 \text{ g/L}$ ;  $pH=1,7$ ;  $T = 98^\circ\text{C}$ ; alimentação de oxigênio, 2 L/min; e concentração de sólido, 200 g/L.



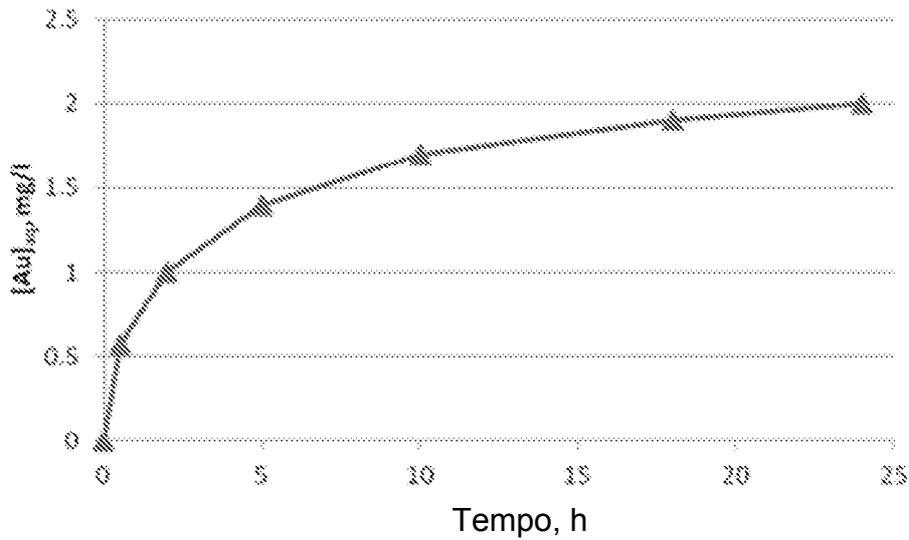
**Figura 5:** Concentração de ouro da solução vs. concentração de cobre no teste 3 do Exemplo 2:  $[Cu]_{aq.0} = 0\text{-}75 \text{ g/L}$ ;  $[NaBr]_{aq} = 100 \text{ g/L}$ ;  $[CaCl_2]_{aq.0} = 177 \text{ g/L}$ ;  $pH=1,7$ ;  $T = 98^\circ\text{C}$ ; alimentação de oxigênio, 2 L/min; e concentração de sólido, 400 g/L.



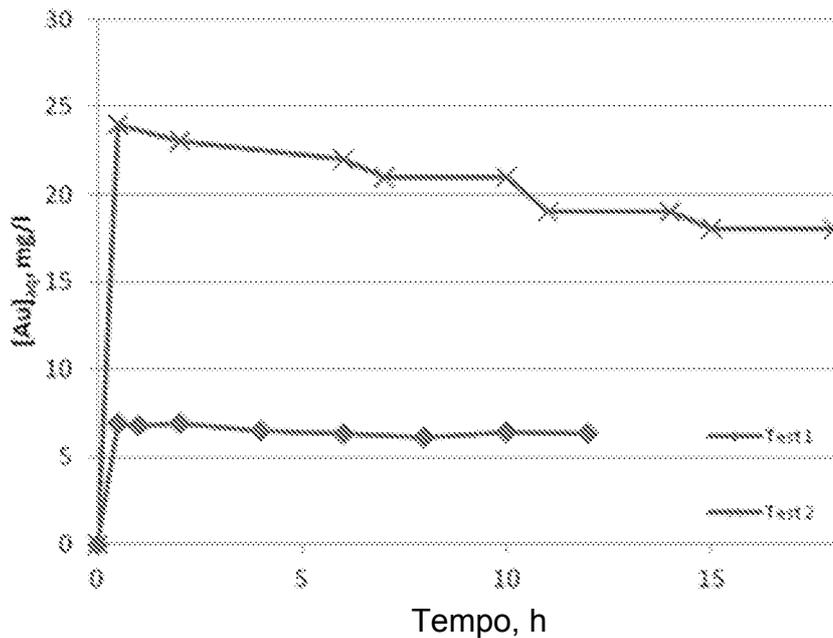
**Figura 6:** Concentração de ouro da solução vs. concentração de brometo no teste 4 do Exemplo 2:  $[Cu]_{aq,0} = 100 \text{ g/L}$ ;  $[NaBr]_{aq} = 0-60 \text{ g/L}$ ;  $[CaCl_2]_{aq,0} = 177 \text{ g/L}$ ;  $pH=1,7$ ;  $T = 98^\circ\text{C}$ ; alimentação de oxigênio, 2 L/min; e concentração de sólido, 400 g/L.



**Figura 7:** Concentração de ouro da solução vs. concentração de cloreto no teste 5 do Exemplo 2.



**Figura 8:** Concentração de ouro da solução no teste de lixiviação com cianeto no Exemplo 3:  $[\text{NaCN}]_{\text{aq}} = 3 \text{ g/L}$ ;  $\text{pH}=11$ ;  $T = 25^\circ\text{C}$ ; concentração de sólido, 33% em peso; e alimentação de ar, 0,5 mL/min.



**Figura 9:** Concentrações de ouro vs. tempo de lixiviação nos testes 1 e 2 do Exemplo 3. Teste 1:  $[\text{Cu}^{2+}]_{\text{aq},0} = 100 \text{ g/L}$ ;  $[\text{NaBr}]_{\text{aq},0} = 100 \text{ g/L}$ ;  $[\text{Cl}^-]_{\text{aq},0} = 225 \text{ g/L}$ ;  $[\text{sólido}]_0 = 50 \text{ g/L}$ ;  $\text{pH}=1,7$ ;  $T = 98^\circ\text{C}$ ; alimentação de oxigênio, 2 L/min; e material do teste 1 de oxidação sob pressão (POX).

Figura 10

