



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

(11) PI 0701919-0 B1

(22) Data do Depósito: 23/05/2007

(45) Data de Concessão: 11/10/2016



(54) Título: PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ÍNDIO METÁLICO PURO A PARTIR DE ÓXIDO DE ZINCO E/OU SOLUÇÃO CONTENDO O METAL

(51) Int.Cl.: C22B 58/00; C25C 1/22

(73) Titular(es): VOTORANTIM METAIS ZINCO S.A.

(72) Inventor(es): ADELSON DIAS DE SOUZA, Engenheiro(a)

PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ÍNDIO METÁLICO PURO A PARTIR DE ÓXIDO DE ZINCO E/OU SOLUÇÃO CONTENDO O METAL

5 A presente invenção tem por fim fornecer um processo inovador de produção de índio metálico puro, utilizando concentrados sulfetados de zinco e chumbo como fontes do metal. Algumas patentes já foram desenvolvidas para recuperar índio de fontes de zinco, mas em geral, de custos elevados e processos muito complexos. A patente CN1664131 referencia um processo
10 para retirar índio de minérios sulfetados de zinco, utilizando uma lixiviação sob elevadas pressões. A patente RU2238994 trata de extração de índio em solução de zinco, mas não informa como chegar a essa solução e utiliza reagente organofosforoso para tal. A patente JP3075223 indica o ácido oxálico e/ou oxalate para extrair índio de solução aquosa por ajustes de pH.
15 A patente US4292284 referencia apenas a extração por solvente de índio de solução aquosa usando um solvente orgânico contendo ácidos monoalquilfosfórico, dialquilfosfórico e trialquilfosfórico. A patente RU2275438 trata apenas de extração por solvente de índio de soluções residuais utilizando um solvente orgânico que contém uma mistura de tert-
20 butilfenol em ácido octanóico.

 A Requerente desenvolveu um processo pioneiro e completo para recuperação de índio de concentrados sulfetados de zinco, usualmente consumidos em plantas de zinco de todo o mundo. Em geral, os concentrados sulfetados são ustulados para produzir óxido de zinco, que é
25 então lixiviado em pH de 2,0 a 4,0, em processo denominado Lixiviação Neutra. A polpa produzida é espessada. O underflow do espessador, também chamado de underflow neutro, contendo ferritas de zinco e índio, passa por nova lixiviação branda e novamente espessado. O underflow desta lixiviação branda contém índio e alimenta o processo de fuming (isto é,
30 processo de produção de fumos de óxido de zinco), para produção de óxido de zinco. O overflow da lixiviação branda também contém índio em menor proporção e pode ou não fazer parte do processo global de recuperação de índio.

A presente invenção é adequada a ambas as situações, onde se processa os fumos de óxido de zinco e/ou fumos de óxido e overflow de lixiviação branda, caracterizado pelo fato de compreender as seguintes etapas:

5

a) Produção de Pré-concentrado de Índio;
 b) Produção de Cimento de Índio compreendendo por sua vez ao menos uma lixiviação branda e ao menos uma lixiviação forte do produto cimento de índio obtido na lixiviação redutora;

10

c) Produção de Solução de Índio;
 d) Extração por Solvente Orgânico do Índio;
 e) Eletrólise do Índio;
 f) Fusão, Purificação e Lingotamento do Metal;
 g) eletrólise de índio para obtenção de produto de alta pureza, superior a
 15 99,995%.

20

O fundamento da nova tecnologia está no fato da extração do Índio de forma simples e econômica a partir de traços de metal contidos nos concentrados de zinco. Quando utilizado somente o óxido de zinco, o processo é mais compacto porque o elemento ferro já foi extraído na etapa de fumíng (ou no processo de produção de fumos de óxido de zinco). Quando utilizado o processo completo, com a contribuição do conteúdo de metal proveniente de Lixiviação Ácida Branda há um passo a mais no processo, para remoção do ferro, porém maiores quantidades de índio são
 25 recuperadas por este processo.

Em anexo, encontram-se as seguintes figuras:

Figura 1: trata de um fluxograma de lixiviação de fumos de óxidos Waelz;

Figura 2: trata de um fluxograma de produção de índio;

30

Figura 3: trata de um fluxograma de recuperação de índio com lixiviação ácida fraca do underflow neutro;

Anexo 1: apresenta o balanço de massas de recuperação de índio;

Anexo 2: apresenta os resultados para processo sem inclusão de overflow da lixiviação branda.

(a) Produção de pré-concentrado:

5

A etapa de produção de pré-concentrado de índio compreende três processamentos básicos: Lixiviação do Óxido de Zinco Waelz ou fuming (ou no processo de produção de fumos de óxido de zinco); Pré-Neutralização da polpa obtida e Precipitação do Índio juntamente com paragoetita ou um composto com ferro.

10

Caso o processo inclua a parte líquida da Lixiviação Ácida Fraca do Underflow Neutro, os líquidos se encontram na etapa de Precipitação de Índio com Paragoetita ou composto de ferro, conforme ilustrado no fluxograma da Figura 3.

15

A Figura 1 ilustra o fluxograma da etapa de produção de Pré-concentrado (a).

A lixiviação do óxido de zinco Waelz ocorre em temperaturas da ordem de 70-80°C, com uma acidez livre da ordem de 50-70g/L de ácido sulfúrico, durante 2 a 4 horas. A polpa produzida é decantada ou filtrada. O índio se encontra na parte líquida, que então alimenta a etapa de Pré-Neutralização. A pré-neutralização ocorre a temperaturas da ordem de 60 a 80°C, por cerca de 1 hora de tempo de residência, devendo a acidez final ficar em torno de 10 a 15 g/L de ácido sulfúrico. Daí se procede à decantação ou filtração.

20

25

A acidez de 10 a 15g/L não é suficiente para remover Índio. Por isso, o metal se encontra também na parte líquida, que alimenta a etapa de Precipitação do Índio com Paragoetita. Essa precipitação deve ocorrer em temperaturas da ordem de 70 a 80°C, utilizando uma polpa de cal, calcário, o próprio óxido de zinco Waelz ou outro neutralizante, com tempo de residência ao redor de 1 hora. A polpa é decantada ou filtrada. Agora, o sólido é que contém o Índio, ao que chamamos de pré-concentrado de Índio e Ferro. O teor de índio neste pré-concentrado pode atingir cerca de 0,2 a

30

cerca de 0,5 %, dependendo o teor de índio inicial do concentrado e da eficiência de fuming. O fluxograma da etapa de produção de Pré-concentrado se encontra na Figura 1.

5 (b) Produção de cimento de Índio:

A produção do cimento de Índio se inicia pela Lixiviação do Pré-concentrado de Índio e Ferro, que se faz com solução ácida, com cerca de 400g/L de ácido sulfúrico, em temperaturas da ordem de 60 a 90°C, durante
10 um tempo de aproximadamente 3 horas. O fluxograma da Figura 2 mostra o circuito completo de produção do cimento. A acidez final deve ser controlada para cerca de 50g/L de ácido sulfúrico. A polpa é então filtrada ou espessada. A parte sólida do espessamento ou filtração é um concentrado de sulfato de chumbo (com teores acima de 50% de Pb). O filtrado ou líquido
15 contém Índio e Ferro que deve seguir para a etapa seguinte de Pré-Neutralização.

A pré-neutralização se dá com um reagente alcalino ou básico, podendo ser usado cal, calcário ou o próprio óxido de zinco Waelz. As condições operacionais são de temperaturas da ordem de 60 a 70°C, tempo
20 de retenção de mais ou menos 1 hora, mantendo-se a acidez final em 15 a 20g/l de ácido sulfúrico. A polpa é novamente decantada ou filtrada. A parte líquida contém Índio e Ferro Férrico, que segue para a Lixiviação Redutora, cujo princípio está na oxi-redução de ferro férrico a ferro ferroso.

A Lixiviação Redutora ocorre a temperaturas da ordem de 90 a 95°C,
25 durante um tempo de retenção de 2 horas. O agente redutor é o próprio concentrado de sulfetos de zinco e chumbo. No final da reação, a acidez livre deve ainda ser mantida em 10 a 15 g/l de ácido sulfúrico. A polpa é então filtrada ou decantada. A parte líquida segue para etapa de cementação do índio com zinco sucata e pó de zinco. As condições
30 operacionais são de temperatura da ordem de 60 a 70°C, tempo de retenção de mais ou menos duas horas e, com pH final em 4,0 a 4,2. Esse agente de precipitação do Índio pode também ser Óxido de Zinco, a pH cerca de 4 a cerca de 4,2. A polpa é filtrada seguida de lavagem com água. O líquido

obtido é uma solução obtida de zinco e ferro ferroso, que deve ser encaminhada para o circuito do zinco para a devida precipitação do ferro. A parte sólida contém o cimento de Índio, cujo teor do metal pode atingir até 3%.

- 5 O Cimento de Índio é então submetido a duas ou mais lixiviações. Uma fraca e outra forte em contra-correntes. A lixiviação fraca do cimento se dá em temperaturas da ordem de 90°C, durante cerca de 3 horas, com uma solução ácida de forma a obter acidez final de 10 a 20g/L de ácido sulfúrico. A polpa obtida é então filtrada ou decantada. A parte sólida segue
- 10 para a Lixiviação Ácida Forte. Esta etapa ocorre a temperaturas da ordem de 90°C, durante 4 horas, mantendo-se uma acidez final de 100g/L de ácido sulfúrico. A polpa é filtrada ou decantada. A parte sólida obtida é um concentrado de cobre. A parte líquida, rica em ácido sulfúrico, é usada para fazer a lixiviação ácida fraca (em contra-corrente). A parte líquida da
- 15 Lixiviação Ácida Fraca, rica em Índio, segue para a etapa de Precipitação de Índio com Cal, calcário, soda ou outro agente neutralizante. O efeito da Extração por Solvente é de concentração do Índio. Assim, a etapa de Precipitação de Índio com Cal, calcário, soda ou outro agente neutralizante pode ser eliminada, em alguns casos, se utilizar a Extração por Solvente
- 20 para a solução diluída numa relação O/A acima de 3. Neste caso, a solução obtida estará pronta para alimentar a Etapa de Extração por Solvente Orgânico.

- 25 A precipitação de Índio se dá em pH de cerca de 4 a cerca de 4,5, durante cerca de 2 horas, onde a acidez inicial de cerca de 15 a 20 g/L é neutralizada com os agentes indicados. A polpa é então filtrada. O filtrado pobre em zinco e outros elementos segue para tratamento de efluentes. A parte sólida segue para Lixiviação do Concentrado de Índio. Aqui se inicia a produção da solução de índio para a Extração por Solvente Orgânico.

- 30 (c) Produção de solução de Índio:

A produção da solução de índio, com teores finais da ordem de 1,5 a 5,0 g/L do metal, ocorre durante a lixiviação do concentrado a temperaturas

de 60 a 80°C, um tempo de retenção de cerca de 2 horas. A polpa obtida é filtrada e lavada com água. A solução de Índio deve conter no mínimo 1,5 g/L do metal. Essa é uma boa condição para alimentar a Unidade de Extração por Solvente Orgânico.

5

(d) Extração por solvente orgânico de Índio:

A extração do índio contido no licor é realizada em células de FRP (Fibre-reinforced plastic, material compósito feito em matriz de polímero reforçada com fibras) que dispõem de Pump Mixers (agitadores com bombeamento simultâneo), onde o índio presente na fase aquosa é transferido para a fase orgânica.

O processo utiliza fase orgânica contendo ácido mono-, ou di-, ou tri-
alquil fosfórico, em solvente orgânico, como por exemplo, solução contendo
15 25% DEPA - hexil ácido fosfórico - em querosene, para a extração seletiva do índio na relação de vazões $O/A = 1 / 7,5$ (O/A relação fase orgânica para fase aquosa). A fase orgânica carregada em índio alimenta a etapa de "stripping" ou re-extração, que também é realizada em 3 ou mais células, preferencialmente idênticas na relação de vazões $O/A = 3 / 1$.

20 O agente de "stripping" ou re-extração é preferencialmente o ácido clorídrico, como por exemplo em solução 6M de HCL que permite a obtenção de solução de cloreto de índio.

O agente de "stripping" é solução 6M de HCL que permite a obtenção de solução de cloreto de índio com a seguinte composição aproximada,
25 conforme indicado na TABELA 1 abaixo:

In (g/l)	Cu (mg/l)	Pb (mg/l)	Fe (mg/l)	Zn (mg/l)
80-100	35	60	6 - 8	10 - 15

TABELA 1

Posteriormente a solução pode ser submetida ao processo de
30 purificação através da adição de H₂S, se necessário.

A solução purificada apresenta a seguinte composição aproximada conforme indicado na TABELA 2 abaixo:

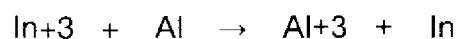
In (g/l)	Cu (mg/l)	Pb (mg/l)	Fe (mg/l)	Zn (mg/l)
80-100	0,01	0,01	1,5	1 - 5

TABELA 2

5

(e) Cementação de Índio:

A tecnologia adotada para a obtenção de índio é o processo de cementação, durante 24 horas ou até atingir 0,02 g/L de In, empregando
10 placas de alumínio, segundo a reação abaixo:



(f) Fusão, Purificação e Lingotamento do Metal:

15

Os cimentos produzidos são lavados com água e prensados (2Kg) para a formação de briquetes com diâmetro e espessura de 5 cm

A fusão do briquete é realizada em forno na temperatura de 2600°C, tendo soda cáustica com agente escorificante.

20 O índio é refinado em outro forno, pela adição cloreto de amônio, com forte agitação. Esse refino pode também ser feito no mesmo forno de fusão e a adição de cloreto de amônio é opcional para a purificação do metal.

A escória formada é retirada por escumadeira e o metal vazado manualmente em lingotes de 100 OZ (aproximadamente 3,1 kg), embalado
25 em caixas de madeira com 10 lingotes.

O produto apresenta no mínimo 99,99% de índio, tendo como impurezas o máximo de 100 ppm. Um produto com no mínimo 97% de pureza pode também ser obtido se os teores de impurezas da solução e da purificação do metal forem mantidos em níveis mais elevados. Neste caso, a
30 purificação eletrolítica poderá garantir uma pureza muito mais elevada, superior a 99.995%.

O lingote de Índio de In 99,9910% e tem a seguinte composição aproximada de impurezas, conforme indicado na TABELA 3 abaixo:

Ag (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Fe (ppm)	Zn (ppm)
1	15	30	1	40

TABELA 3 – Composição aproximada de impurezas no Lingote de Índio

5 99,99%

(g) Produção de Índio Eletrolítico de pureza mínima 99,995%:

10 A produção do Índio eletrolítico de pureza mínima 99,995% de Índio se dá através dos subprocessos a seguir:

(g-1) Produção do Anodo de Índio

(g-2) Eletrólise Ativa

(g-3) Fusão dos anodos e Purificação

15 (g-4) Lingotamento do índio fundido

(g-1) Produção do Anodo de Índio:

O lingote de Índio com pureza superior a 97% é fundido com soda (NaOH) ou outro fundente a 260°C para formar um anodo impuro de Índio.

20

(g-2) Eletrólise Ativa:

A eletrólise de Índio consiste em uma célula eletrolítica com um anodo de índio de pureza superior ou igual a 97% e um catodo de titânio. As condições de operação da eletrólise são: densidade de corrente elétrica de 25 0,02 a 0,03 A/m²; solução de cloreto de índio com no mínimo 100g/L de teor do metal dissolvido; gelatina em concentração aproximada de 0,1 g/L. A superfície dos anodos fundidos não deve ter inclusão de óxidos, isto é, polida e brilhante. No catodo de Titânio, é então depositado o Índio de Alta Pureza, sendo o depósito retirado em períodos determinados (24, 32 ou 48 30 horas).

O catodo de índio obtido deve ser lavado com água ácida, depois com água e então secado a cerca de 50-60°C.

(g-3) Fusão dos anodos e Purificação:

- 5 A fusão do catodo de índio se dá a 260°C com soda ou outro fundente, podendo-se usar o cloreto de amônio como purificante se necessário.

(g-4) Lingotamento do índio fundido:

- 10 O líquido fundido é vertido em lingoteiras para produzir lingotes de 1 a 3Kg. A composição máxima de impurezas no lingote de Índio 99,995% será em ppm: Cd max 2; Cobre max 10; Estanho max 2; Ferro max 5; Níquel máx 5; prata menor 0,1; chumbo max 10; tálio max 2, bismuto max 2 e zinco max 5, de modo que a soma de tais impurezas sejam inferiores a 50 ppm.
- 15 Seguem exemplos com o objetivo de melhor elucidar a invenção, não devendo por este motivo serem tomados para efeito limitativo da mesma.

EXEMPLO 1:

- 20 PROCESSO INDIO INCLUINDO CONTRIBUIÇÃO DA LIXIVIAÇÃO BRANDA DO UNDERFLOW NEUTRO – FLUXOGRAMA FIGURA 3 E RESULTADOS ANEXO 1:

Teor de Índio no Óxido de Zinco Waelz : 0,0510

- 25 Teor de Índio na Parte Líquida da Lixiviação Branda do Underflow Neutro: 15 mg/L

Solução de Índio Produzida – Teor de Índio 1,85g/L

Solução após Extração por Solvente – Teor de Índio 93 g/L

- 30 Metal produzido – Índio 99,992%

Recuperação Total – 77%

EXEMPLO 2:

PROCESSO DE RECUPERAÇÃO DE ÍNDIO SEM INCLUSÃO DA CONTRIBUIÇÃO DE OVERFLOW DE LIXIVIAÇÃO BRANDA DE UNDERFLOW NEUTRO

5

Teor de Índio no Óxido de Zinco Waelz: 0,03800

Teor de Índio na Parte Líquida da Lixiviação Branda do Underflow Neutro:
não considerado

- 10 Solução de Índio Produzida – Teor de Índio 1,85g/L
Solução após Extração por Solvente – Teor de Índio 97g/L
Metal produzido – Índio 99,993%
Recuperação Total – 78%

15 EXEMPLO 3:

Extração por solvente orgânico de Índio:

- 20 A extração do índio contido no licor foi realizada em células de FRP, que
dispõem de Pump Mixers, onde o índio presente na fase aquosa foi
transferido para a fase orgânica.

- 25 O processo utiliza fase orgânica contendo 25% DEPA (hexil ácido
fosfórico), em querosene para a extração seletiva do índio na relação de
vazões O/A = 1/7,5. A fase orgânica carregada em índio alimentou a etapa
de “stripping” ou re-extração, que também foi realizada em 4 células
idênticas na relação de vazões O/A = 3/1.

O agente de “stripping” ou re- extração empregada, foi solução 6M de
HCL que permitiu a obtenção de solução de cloreto de índio com a seguinte
composição aproximada, conforme indicado na TABELA 4 abaixo:

30

In (g/l)	Cu (mg/l)	Pb (mg/l)	Fe (mg/l)	Zn (mg/l)
80-100	35	60	6-8	10-15

TABELA 4

A solução purificada apresentou a seguinte composição aproximada, conforme indicado na TABELA 5 abaixo:

In (g/l)	Cu (mg/l)	Pb (mg/l)	Fe (mg/l)	Zn (mg/l)
80-100	0,01	0,01	1,5	1 - 5

5

TABELA 5 – composição aproximada da solução purificada

	Lixiviação ácida		Pre-neutralização I		Lixiviação Ácida Fraca	Precipitação de Índio como Paragoetita		Lixiviação Pre-Concentrado de Índio			Pre-Neutralização II	
	Óxido Waelz	Concentrado de Pb	Óxido Waelz	Rejeito de Pb	Solução LA fraca	Óxido Waelz	PH 7,0	Pré conc. de Índio	Lixiviação Pré-conc. Índio	Rejeito do pré-conc.	Ustulado	
Massa Kg/hora	7333	602	3062	33	**	1865	4910	5257		2380	670	427
H2O %	38,5	0	38,5		***	38,5	60	52,84		51,8	0	45
kg/hora (Bs)	4510	602	1893,1	33	***	1147,0	1964	2479		1151,92	670	234,85
Vazão (m3/hora)					36		4214		13,3		13,3	
Índio %	0,061	0,015	0,051	0,0288		0,061		0,181		0,0171		0,042
Índio g/l					0,018				0,322		0,235	
Índio (kg)	2,3000	0,0903	0,9604	0,0095	0,6480	0,5850		4,4874	4,2826	0,1970	3,126	0,0986
Índio Total (kg)						4,4933						
Rendimento %		97,99								95,62		

	Lixiviação Redutora		Cementação de Índio		Lixiviação Cimento de Índio		Lixiviação ácida Forte	Neutralização pH 4,0		Lixiviação do concentrado de Índio	
	Lixiviação Redutora	Rejeito da Redutora ZnS	Cimento de Índio	Solução Ferrosa	Resíduo Cu/As	Solução de Índio	Rejeito Cu/As	Solução secundária	Conc. de Índio	Solução de Índio	Rejeito de CaSO4
Massa Kg/hora	793	1281	540						747		784
H2O %	9	25	45,2						46		47,63
kg/hora (Bs)	721,63	960,8	295,9		82,1		42		403,38		409,0
Vazão (m3/hora)	13,9			14,37		4,48		5,32		2,22	
Índio %		0,0351	1,51		0,425		0,3378		1,02		0,121
Índio g/l	0,322			0,0052		0,92		0,0053		1,85	
Índio (kg)	4,4758	0,3372	4,468	0,0747	0,349	4,122	0,1419	0,02820	4,11	4,107	0,495
Rendimento %				91,94			88,79				77,14

ANEXO 1

Simulação do Fluxo Industrial - Balanço massa e vazão/hora Outubro/2006

		Massa kg (Bu)	H2O %	Massa kg (Bs)	Líquido (m3)	Índio %	índio g/l	Índio (kg)	Índio Total (kg)	Rendimento %
Lixiviação ácida	Oxido Waelz	7589	36%	4857,0		0,04		1,9428	1,9428	
	Concentrado de Pb	1038	0%	1038,4		0,0062		0,0644		96,69
Pre-Neutralização I	óxido Waelz	2731	36%	1747,8		0,04		0,6991	2,6419	
	Solução				44,1		0,06	2,6478		
	Rejeito de Pb	95,02	0%	95,0		0,0123		0,0117		
Precipitação de Índio como Paragoetita	Oxido Waelz	892	36,00%	570,9		0,04		0,2284	2,8703	
	PH 7,0	843,3	0%	843,3	5,19					
	Solução ZnSO ₄				45,0		0,0024	0,108		
	Pré conc. de Índio	2434,9	52,04%	1167,8		0,23		2,6659		93,58
Lixiviação Pre-Concentrado. de Índio	Solução				8,31		0,329	2,7329		
	Rejeito do pré-conc.	860,6	0%	860,6		0,0073		0,0628		91,40
Pre-Neutralização II + LX Redutora	Oxido Waelz	254	36%	162,6		0,04		0,065	2,9353	
	Concentrado ZnS	605,7	9%	551,2		0,015		0,0827		
	Solução				8,57		0,328	2,519		
	Rejeito Pb/ZnS	874,9	27,40%	635,1		0,0121		0,0769		85,82
Cementação de Índio	Sucata Zinco	108	0	25,0						
	Pó de Zinco	78	0	16,0						
	Cimento de Índio	377,1	30%	264,0		0,97			2,5603	87,23
	Solução Ferrosa				8,709		0,016	0,1393		
Lixiviação Cimento de Índio	Solução de Índio				3,03		0,713	2,159		
	Resíduo cimento	58,8	0%	58,8		0,494		0,291		83,00
Neutralização pH 4,0	Polpa Ácida				1,73		0,16	0,277		
	Rejeito Cu/As	20,3	0%	20,3		0,091		0,019		
	Cal	99,5	0%	99,5						
	Solução				4,24		0,005	0,02120		
	Conc. de Índio	549	56%	241,8		0,85		2,0550		79,443
Lixiviação do concentrado de Índio	Solução de Índio				1,12		1,74	1,957	1,957295	
	Rejeito de CaSO ₄	454	56%	199,9		0,05		0,0999		76,11

ANEXO 2

REIVINDICAÇÕES

1. Processo de produção de índio metálico puro a partir de óxido de zinco e/ou solução contendo o metal, **caracterizado** pelo fato de compreender as seguintes etapas:
 - 5 a) Produção de pré-concentrado de índio;
 - b) Produção de cemento de índio: compreendendo, por sua vez, ao menos uma lixiviação branda e ao menos uma lixiviação forte do produto cemento de índio obtido na lixiviação redutora;
 - c) Produção de solução de índio;
 - 10 d) Extração do índio por solvente orgânico;
 - e) Eletrólise do índio;
 - f) Fusão, purificação e lingotamento do metal;
 - g) Eletrólise de índio para obtenção de produto com pureza superior a 99,995%.
- 15 2. Processo de produção de índio metálico puro a partir de óxido de zinco e/ou solução contendo o metal, segundo reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de empregar concentrados sulfetados de zinco e chumbo como fontes de metal.
3. Processo de produção de índio metálico puro a partir de óxido de zinco e/ou solução contendo o metal, segundo reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato da
 - 20 solução ou do óxido de zinco conter ferro.
4. Processo de produção de índio metálico puro a partir de óxido de zinco e/ou solução contendo o metal, segundo reivindicação 3, **caracterizado** pelo fato de em havendo ferro, o mesmo ser extraído previamente na etapa de produção de fumos de óxido de zinco.
- 25 5. Processo de produção de índio metálico puro a partir de óxido de zinco e/ou solução contendo o metal, segundo reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato da etapa (a) ser composta de lixiviação ácida do óxido de zinco, pré-neutralização da polpa obtida e precipitação do índio.
6. Processo de produção de índio metálico puro a partir de óxido de zinco e/ou
 - 30 solução contendo o metal, segundo reivindicação 5, **caracterizado** pelo fato da parte líquida contendo índio, obtida através da lixiviação, passar para a etapa de pré-neutralização.
7. Processo de produção de índio metálico puro a partir de óxido de zinco e/ou solução contendo o metal, segundo reivindicação 5 ou 6, **caracterizado** pelo fato

da pré-neutralização ocorrer em condições de temperatura e acidez mais brandas que as da lixiviação.

8. Processo de produção de índio metálico puro a partir de óxido de zinco e/ou solução contendo o metal, segundo reivindicação 5, **caracterizado** pelo fato de que a alimentação da etapa de lixiviação do pré-concentrado de índio, ocorrer empregando parte sólida ou líquida, obtida após filtração ou decantação do óxido pré-neutralizado.

9. Processo de produção de índio metálico puro a partir de óxido de zinco e/ou solução contendo o metal, segundo reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de na etapa (a) a precipitação de ferro ocorrer juntamente com paragoetita, ou um composto com ferro.

10. Processo de produção de índio metálico puro a partir de óxido de zinco e/ou solução contendo o metal, segundo reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato da etapa (b) ser composta de lixiviação do pré-concentrado de índio, pré-neutralização, lixiviação redutora e cementação de índio.

11. Processo de produção de índio metálico puro a partir de óxido de zinco e/ou solução contendo o metal, segundo reivindicação 10, **caracterizado** pelo fato de obter-se por espessamento e filtração do produto da lixiviação do pré-concentrado uma parte sólida compreendendo sulfato de chumbo, sendo que o filtrado ou a parte líquida seguem para a etapa de pré-neutralização.

12. Processo de produção de índio metálico puro a partir de óxido de zinco e/ou solução contendo o metal, segundo reivindicação 10, **caracterizado** pelo fato da pré-neutralização ocorrer em presença de agente alcalinizante ou básico, sendo o produto decantado ou filtrado e a parte líquida encaminhada para a etapa de lixiviação redutora.

13. Processo de produção de índio metálico puro a partir de óxido de zinco e/ou solução contendo o metal, segundo reivindicação 10 ou 11, **caracterizado** pelo fato da redução de ferro férrico a ferro ferroso ocorrer na etapa de lixiviação redutora.

14. Processo de produção de índio metálico puro a partir de óxido de zinco e/ou solução contendo o metal, segundo reivindicação 10, **caracterizado** pelo fato do agente redutor ser o próprio concentrado de sulfetos de zinco e chumbo.

15. Processo de produção de índio metálico puro a partir de óxido de zinco e/ou solução contendo o metal, segundo reivindicação 10, **caracterizado** pelo fato da polpa ou produto da lixiviação redutora ser decantado ou filtrado, sendo a parte líquida contendo zinco e ferro ferroso encaminhada para o circuito de zinco, e a

parte sólida contendo o cimento de índio passar para a etapa de cementação do índio.

16. Processo de produção de índio metálico puro a partir de óxido de zinco e/ou solução contendo o metal, segundo reivindicação 15, **caracterizado** pelo fato do cimento de índio ser submetido a duas ou mais lixiviações, sendo ao menos uma lixiviação branda e outra forte, em contra-corrente.

17. Processo de produção de índio metálico puro a partir de óxido de zinco e/ou solução contendo o metal, segundo reivindicação 16, **caracterizado** pelo fato do underflow obtido através da lixiviação forte ser reciclado para a parte líquida da etapa de lixiviação branda.

18. Processo de produção de índio metálico puro a partir de óxido de zinco e/ou solução contendo o metal, segundo reivindicação 15 ou 16, **caracterizado** pelo fato da parte líquida da lixiviação fraca, que contém índio, seguir para a etapa de precipitação de índio com agente neutralizante.

19. Processo de produção de índio metálico puro a partir de óxido de zinco e/ou solução contendo o metal, segundo reivindicação 18, **caracterizado** pelo fato do produto sólido obtido por filtração ou decantação da lixiviação do concentrado de índio, seguir para a etapa de produção da solução de índio.

20. Processo de produção de índio metálico puro a partir de óxido de zinco e/ou solução contendo o metal, segundo reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato da etapa (c) consistir na produção de solução de índio, através da lixiviação do concentrado obtido na etapa anterior, passando ao final por filtração e lavagem com água.

21. Processo de produção de índio metálico puro a partir de óxido de zinco e/ou solução contendo o metal, segundo reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato da solução obtida na etapa (c) passar para a etapa (d) que trata da extração do índio por solvente orgânico.

22. Processo de produção de índio metálico puro a partir de óxido de zinco e/ou solução contendo o metal, segundo reivindicação 21, **caracterizado** pelo fato de empregar-se como fase orgânica, ácido mono-, ou di-, ou tri-álquil fosfórico, em solvente orgânico.

23. Processo de produção de índio metálico puro a partir de óxido de zinco e/ou solução contendo o metal, segundo reivindicação 21, **caracterizado** pelo fato do agente de extração ser o ácido clorídrico.

24. Processo de produção de índio metálico puro a partir de óxido de zinco e/ou solução contendo o metal, segundo reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato do índio metálico ser obtido por eletrólise (etapa e), empregando placas de alumínio.
25. Processo de produção de índio metálico puro a partir de óxido de zinco e/ou
5 solução contendo o metal, segundo reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que na formação de briquete (etapa f), se empregar soda cáustica como agente escorificante e na refinação do índio, se empregar cloreto de amônio.
26. Processo de produção de índio metálico puro a partir de óxido de zinco e/ou
10 solução contendo o metal, segundo reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato da etapa (g) ou de produção de índio eletrolítico de alta pureza, ocorrer por qualquer um dos subprocessos abaixo indicados:
- (g-1) Produção do Ânodo de Índio, ou;
 - (g-2) Eletrólise Ativa, ou;
 - (g-3) Fusão dos Ânodos e Purificação, ou;
 - 15 (g-4) Lingotamento do índio fundido.

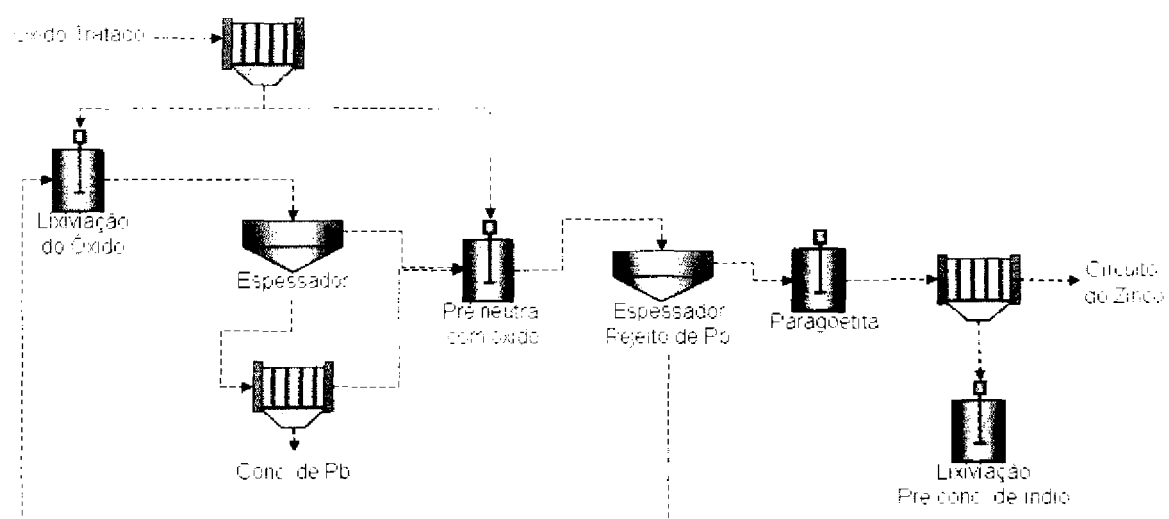


FIGURA 1

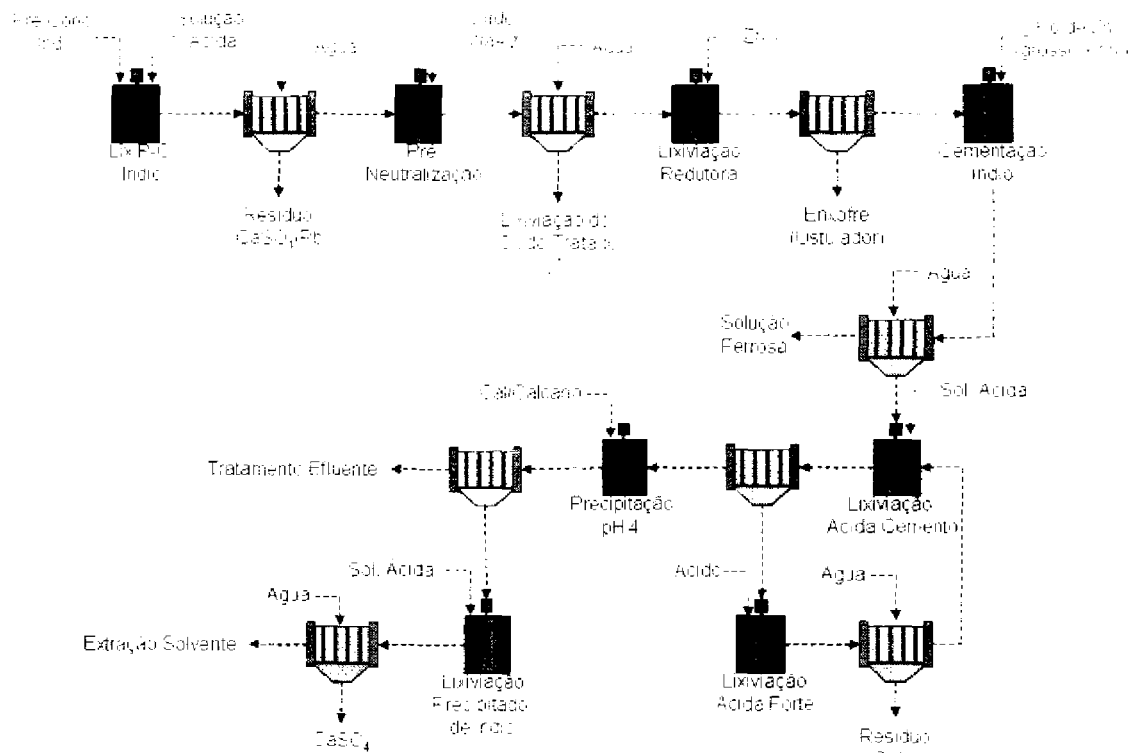


FIGURA 2

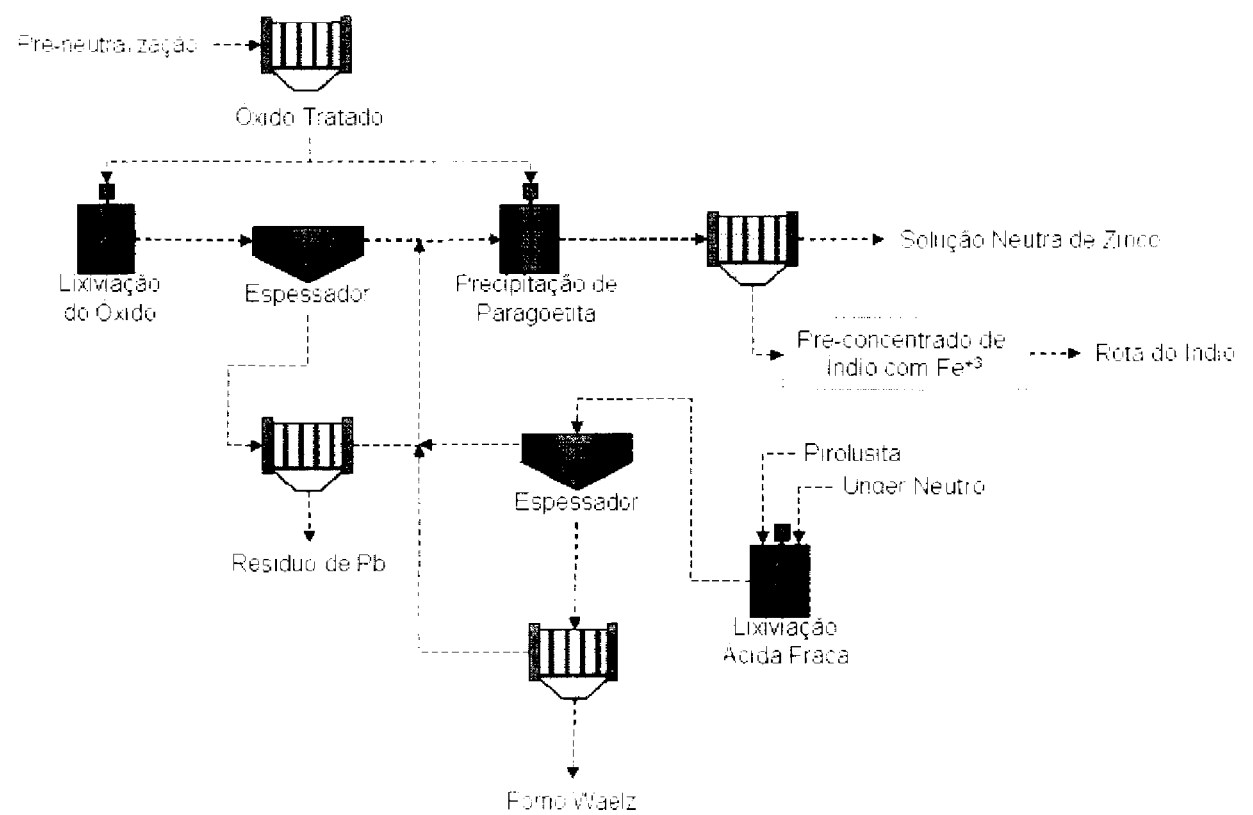


FIGURA 3