

Beneficiamento de Poeiras e Lodos da Indústria de Ferro e Aço com Hidrociclones

Franz-Josef Wellenkamp *

Resumo

A produção de ferro e aço é obrigatoriamente associada à acumulação de grandes quantidades de produtos não desejados como escórias, poeiras, lodos e meios auxiliares usados. Uma grande parte destes materiais pode ser reciclada na própria planta aplicando-se o processo de aglomeração térmica. As tecnologias para uma reciclagem de resíduos não evitáveis como escórias são amplamente conhecidas. A reutilização de poeiras e lodos, contudo, é até hoje problemática. As dificuldades são as quantidades crescentes dos mesmos por causa das exigências cada vez mais rígidas da purificação do ar e os seus teores elevados de metais não ferrosos. Os grãos dos lodos de gás de alto forno possuem diâmetros médios entre 15-50 μm e podem, por isto, ser preparados com hidrociclones. A hidrociclonagem permite, dependendo do tipo do lodo, separar um produto enriquecido em metais não ferrosos e obter maior quantidade do lodo com teores reduzidos daqueles metais. Através disso a necessidade de depósito para este resíduo pode ser reduzida em até 75 m.-%.

Palavras chave: Hidrociclone, lodo-de-gás-de-alto-forno, resíduos.

* Trabalho a ser apresentado no 1. Congresso de Minério de Ferro, São Paulo, outubro 1996

O autor é consultor autônomo

1. Introdução

A produção de ferro e aço é obrigatoriamente associada à acumulação de grandes quantidades de produtos não desejados como escórias e meios auxiliares usados. Isto se trata em parte de matérias recicláveis que são beneficiadas antes de uma outra utilização ou de matérias que tem que ser descartadas evitando impactos ao meio ambiente. Portanto, o gerenciamento de resíduos na indústria de ferro e aço é, em primeiro lugar, uma questão das quantidades de massa que se faz nos locais das fábricas.

Na indústria de ferro e aço a redução das quantidades de resíduos é aspirada há dezenas de anos. Até pouco tempo as medidas necessárias técnicas e organizatórias foram preponderantemente tomadas sob aspectos econômicos. Entretanto, elas são definidas cada vez mais por exigências da conservação do meio ambiente e paisagismo bem como pela necessidade da preservação dos recursos primários.

2. Acumulação de resíduos na produção de ferro e aço

As mudanças realizadas na indústria europeia de ferro e aço nos últimos anos, podem ser vistas considerando a acumulação específica de resíduos. Na produção de uma tonelada de aço cru (Ac) tinham que ser depositados, ainda há 30 anos, cerca de 1.200 t de resíduos sólidos, há 20 anos foram ainda 570 kg/t Ac e atualmente o são 480 kg/t Ac numa siderurgia integrada, onde por volta de 90 % são reutilizados. Isso pode ser resumido tanto numa implantação de técnicas pobres em acumulação de resíduos como numa reciclagem reforçada /1, 2/.

3. Posição de reciclagem no esquema de fluxo de matéria

Figura 1 mostra um esquema simplificado da reciclagem que abrange tanto reciclagem na mesma usina como utilização em vários graus de processo. Na figura mostrada percebe-se as seguintes possibilidades de reciclagem:

- utilização múltipla da mesma matéria no mesmo grau da produção,
- utilização múltipla de matéria usada através da utilização em vários graus de processo na mesma planta ou para aplicações externas.

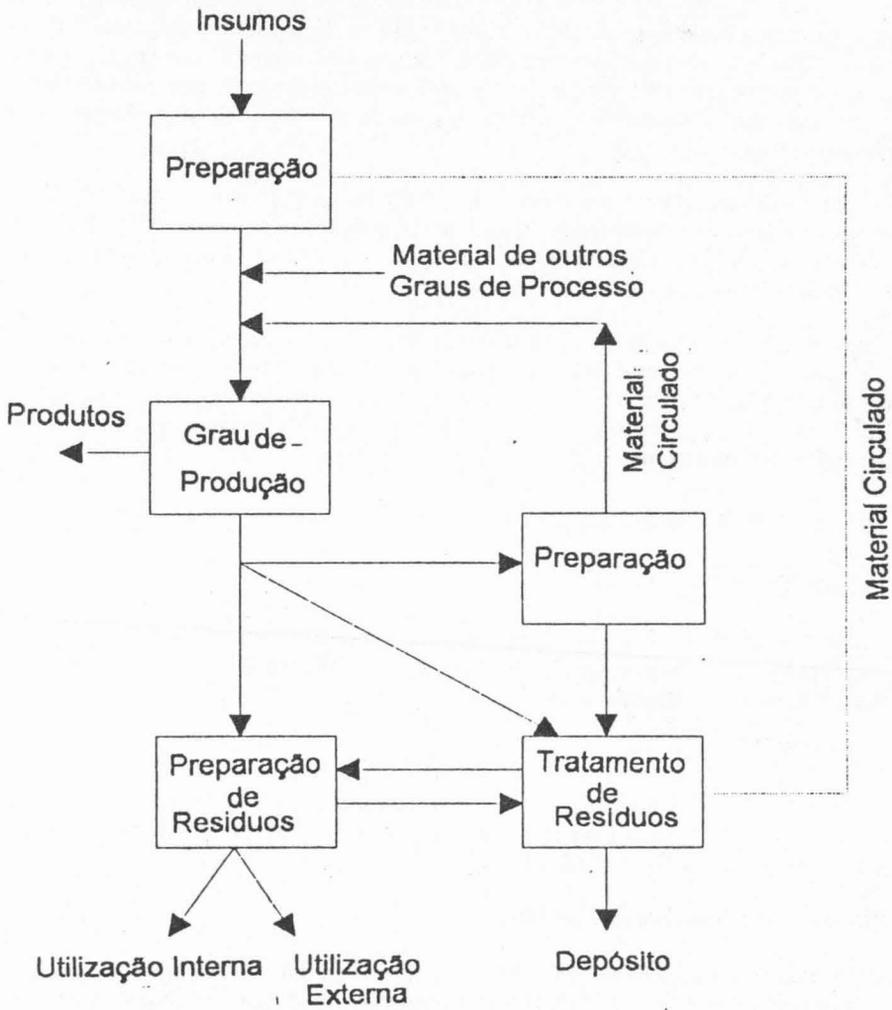


Fig. 1: Esquema da utilização múltipla

A utilização múltipla significa para os resíduos sua recondução aos processos metalúrgicos ou uma outra aplicação dentro do âmbito da mesma empresa ou uma aplicação externa a fim que tenham que ser depositados ainda só fluxos de matéria bem reduzidos. Através disso os insumos são reduzidos, o espaço no aterro é conservado e com isso o uso e a preparação de terra para os aterros que seria necessário é evitado. Além disso, pela recondução de matéria valiosa ao giro de matérias em uma siderurgia, a mesma seria economizada.

Provaram-se favoráveis para a reciclagem dos resíduos da indústria de ferro e aço, as grandes quantidades de massa produzidas, e as propriedades físico-químicas para algumas aplicações, como a capacidade de absorção de mercado para os produtos produzidos a base de resíduos.

Mesmo que as cargas ambientais ligadas à reciclagem sejam menores que as que podem ser esperadas no descarte dos resíduos, uma reciclagem seria mais favorável de qualquer forma. Mas existem obstáculos que se dão na concorrência internacional, e em razão disso a indústria é obrigada a integrar as conseqüências econômicas, e antes de tudo as energéticas, em suas decisões /3, 4/.

4. Resíduos da produção de ferro e aço

4.1. Produção de coque

Coque é utilizado no alto forno principalmente como meio de redução, como combustível e retículo de suporte. O coque necessário é produzido no local da siderurgia ou recebido de fábricas externas de coque.

Poeiras da produção de coque que se consistem em carvão ou coque precipitado com processos úmidos, secos ou combinados (ciclones com despoeiradoras de funcionamento molhado) são reconduzidos ou queimados. A acumulação de poeira pode ser avaliada em 1 até 3 % da produção de coque, dependendo da fábrica e da espécie das medidas tomadas para que seja evitada.

4.2. Plantas de aglomeração térmica

O desenvolvimento alcançado nos últimas décadas para o alto forno moderno esteve ligado a uma aplicação maior de plantas de aglomeração térmica. Ao invés da antiga carregação do alto forno com minério grosso e minério preparado, há melhorias através da carregação com material aglomerado: como a passagem é mais uniforme, aumenta-se a redução de ferro, se reduz o insumo de coque e além disso a parte fina é completamente aproveitável.

Adicionalmente uma grande quantidade dos lodos e poeiras que são separados na limpeza do ar e purificação dos afluentes podem ser tratados no processo de aglomeração. As matérias reconduzidas à planta de aglomeração térmica fornecem a parte essencial das matérias circuladas numa siderurgia.

As poeiras no processo de aglomeração podem, conforme a sua procedência, ser divididas da seguinte maneira:

- poeiras do gás expelido da máquina aglomeração térmica e
- poeiras do tratamento mecânico; do transporte da carga e dos aglomerados prontos.

A composição das poeiras no processo de aglomeração depende em grande parte da composição da mistura da carga. As poeiras se compõem principalmente de óxidos de ferro, silício e cálcio além de carbono; e também podem ser encontrados zinco e chumbo.

4.3. Produção de ferro cru e aço

Durante a produção de ferro no alto forno pela redução de minério de ferro com coque e durante a refinação seguinte, nos conversores se acumulam entre outros os resíduos seguintes sólidos:

- escória do alto forno e da refinação,
- poeiras e lodos de despoeirização primária,
- poeiras da despoeirização secundária e
- material resistente ao calor usado.

4.3.1. Escórias de alto forno

A acumulação e a composição das escórias de alto forno são principalmente definidas pela ganga. No uso de minérios com conteúdos de metal valioso no alto forno pode se supor uma quota de acúmulo de 260 kg/t de ferro cru. Depois da preparação e/ou processamento, os caminhos seguintes são viáveis para uma reciclagem de escória de alto forno:

- material de construção em construções subterrâneas
- na forma moída como melhorado de solos
- na forma jateada como material de isolamento,
- consolidado amorfo como adição na produção de cimento.

4.3.2. Escórias de refinação

A maior parte dos resíduos na produção de aço são as escórias de refinação. Entretanto, as grandes quantidades de escórias de alto forno são devidas à ganga de minério. São escoriadas na produção de aço os elementos que acompanham o ferro, impuridades de sucata e também ferro. No processo, a quota de acúmulo das escórias pode variar entre 60 a 250 kg/t de aço cru, dependendo do processo tecnológico aplicado e a relação ferro/sucata em grandes limites.

Em comparação às escórias de alto forno as possibilidades para o reciclagem das escórias da refinação são significativamente mais limitadas. Em razão de valores de fósforo elevados elas não podem ser colocadas na máquina de aglomeração térmica e a produção anteriormente normal de um adubo fosfórico é recessivo com transição pelos conversores e processamento de minérios pobres em fósforo. A aplicação mais importante para as escórias de refinação se encontra, por isto, na área de paisagismo e cons-

trução fluvial. No ultimo se dão vantagens por causa da densidade relativamente alta das escórias de refinação, em comparação à matéria natural de construção, como areia e cascalho. O pressuposto para isto, contudo, é uma estabilidade suficiente no ambiente da intencionada aplicação.

4.3.3. Poeiras e lodos

4.3.3.1. Produção de ferro

O gás saindo do alto forno é purificado com separadores gravitacionais e com lavadores de gás de pressão baixa - em alto fornos modernos para isto também são usados separadores gravitacionais e lavadores de gás com alta pressão. Os sólidos transportados com o gás são precipitados com filtros secos e molhados e se acumulam, por isto, na forma seca como poeira e na forma úmida como lodo.

Até o ano 1960 calculava-se uma quota de acúmulo de poeira acima de 100 kg/t de ferro cru. A quota de acúmulo tem, hoje, em razão do melhoramento da preparação do carregamento do alto forno, um valor só de 5 á 40 kg/t. A tabela 1 mostra os resultados de análises de poeiras e lodos de alto forno que dependem em grande quantidade da composição de carregamento de alto forno e do material adicional. As poeiras separadas nos purificadores de ar das máquinas de aglomeração térmica são reciclados.

conteúdo		poeira de alto forno	lodo de gas de alto forno
Fe (total)	%	5...55	3..55
C (total)	%	9...40	6...40
Zn	%	0.1...3	0.4...25
Pb	%	0,02...1	0,1...7
SiO ₂	%	3...16	0,2...16.5
Al ₂ O ₃	%	1...10	2...11
CaO	%	1...25	1...25
MgO	%	0,1...10	0,1...10

Tab. 1: Composição química de poeiras e lodos de purificação do ar de alto forno

4.3.3.2. Produção de aço

Os gases expelidos dos conversores são purificados com lavadores de duas fases ou pelo menos com filtros elétricos de dois campos, no qual o acúmulo de poeira na produção de aço com conversores de oxigênio fica entre 12 e 20 kg/t de aço cru, e na produção com fornos elétricos alcança de 2 até 12 kg/t.

A Tabela 2 dá uma visão sobre a composição de poeiras típicas da despoeirização de siderurgias de aço de oxigênio. Especialmente tem que ser mencionados os conteúdos de chumbo e zinco que limitam uma recondução para o processo de aglomeração térmica, já que a entrada máxima no alto forno se dá mais ou menos com 100 g/t.

conteúdo		poeira de conversores
Fe (total)	%	43...66
Zn	%	0,25...7
Pb	%	< 4
SiO ₂	%	0,3...4,1
Al ₂ O ₃	%	0,1...0,4
CaO	%	3,5...16
MgO	%	0,2...0,75
S	%	0,1...0,5

Tab. 2: Composição química de poeiras e lodos na despoeirização dos conversores de oxigênio

No lodo de alto forno, em comparação às poeiras dos conversores, são encontrados maiores valores de carbono mas menores valores de ferro, zinco e chumbo. Os resíduos constituem um sistema material com várias fases mineralógicas. O lodo de alto forno contém, em sua maior parte, Hematita Fe₂O₃ e Magnetita Fe₃O₄, mais Carbono. Zinco está presente principalmente como Zincita ZnO ou Willemita Zn₂SiO₄. Na poeira dos conversores se apresenta como Wüstita FeO, em forma metálica e como Magnetita Fe₃O₄.

A Figura 2 mostra os tamanhos das partículas médias de lodos e poeiras de alto forno e siderurgia de aço. A poeira do conversor elétrico tem o grão mais fino com um diâmetro de 0,5 até 1 mm. A poeira dos conversores de oxigênio tem, com um diâmetro médio entre 1 até 5 mm um grão um pouco mais grosso. O grão mais grosso tem o lodo de alto forno, onde o diâmetro médio se apresenta entre 15 até 50 µm.

Resíduo	fases mineralógicas
Lodo de gás de alto forno	Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , C ZnO , Zn_2SiO_4 , ZnFe_2O_4 , ZnS
Poeira de conversor de oxigênio	FeO , Fe, Fe_3O_4 , ZnFe_2O_4 , Zn_2SiO_4 , ZnO

Tab. 3: Fases mineralógicas

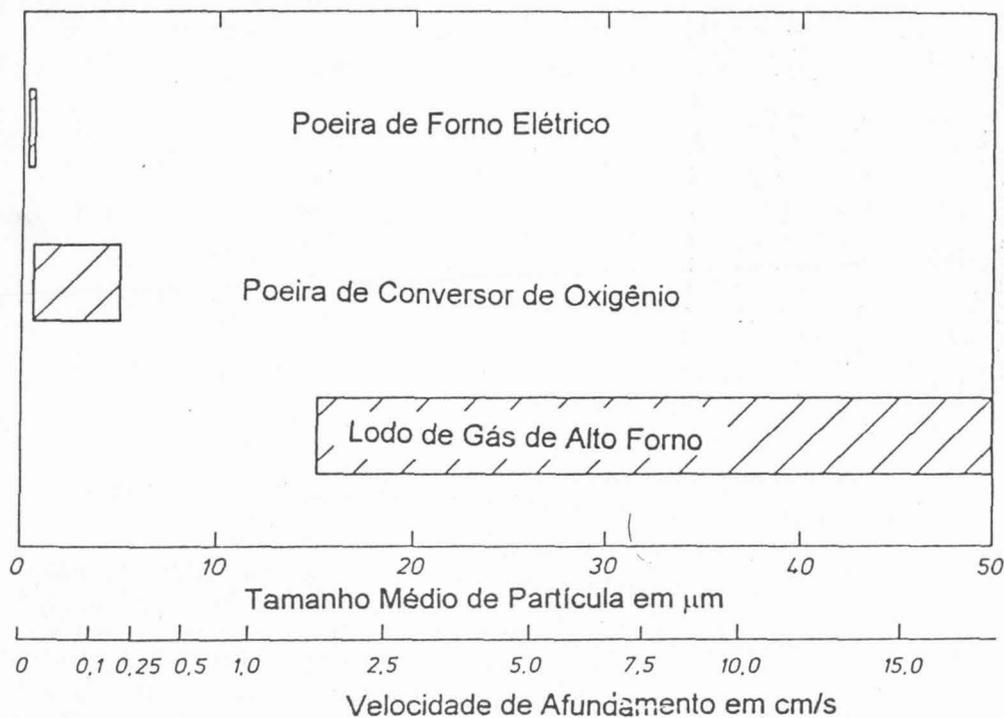


Fig. 2: Diâmetro médio

Poeiras e lodos com baixos valores de metais não ferrosos podem ser reconduzidos à máquina de aglomeração térmica e aqueles com valores suficientemente elevados de metais não ferrosos podem servir como insumos para a extração dos próprios metais.

Mas muitas poeiras e lodos apresentam uma zona de concentração que inibe estas duas possibilidades de aplicação. Por esta razão foram desenvolvidos processos de preparação física dos quais a hidrociclonagem alcançou maior importância.

5. Classificação úmida de grão fino com ciclones

Hidrociclones são aplicados na área de matéria prima mineral e também como classificadores de grão fino. O hidrociclone se trata de um classificador no campo de fluxo centrifugo, que pode, na operação adequada, também servir como espessador ou aparelho de seleção.

O modo de funcionamento é visível na figura 3. A suspensão se faz no ciclone com um tubo sob pré-pressão com uma velocidade de cerca de 5 m/s. Com isto se forma um potencial de redemoinho levemente direcionado para baixo. Já que o afluente é estrangulado para baixo, o fluido flue sob criação de um redemoinho em direção contrária ao centro e para cima, onde sai do agregado pelo tubo mergulhador.

A zona de separação é localizada no lado interior do redemoinho já que aqui são maiores a aceleração centrifugal e as forças de repuxo. As partículas maiores sedimentam-se à parede, e as mais finas são carregadas junto ao fluido para o tubo mergulhador. A descarga do material grosso do ciclone acontece como suspensão espessa com normalmente cerca de 70 M.-% sólida.

O diâmetro do ciclone é o parâmetro principal do limite de separação, no sentido que, para separações muito finas tem que ser usados ciclones com pequenos diâmetros. Para alcançar fluxo de massa suficiente têm que ser utilizados vários ciclones pequenos. A área de aplicação do hidrociclone se apresenta normalmente com uma área de tamanho de grão de 20-500 mm /5, 6, 7/.

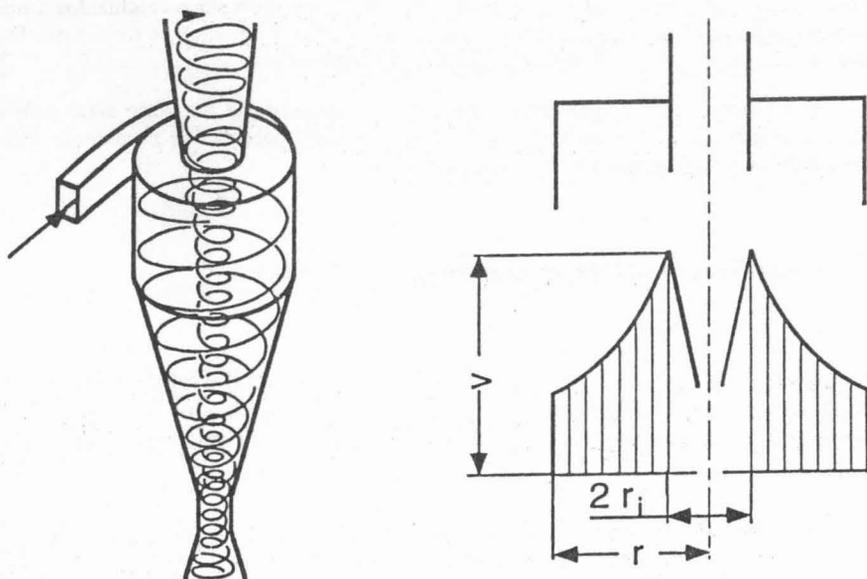


Fig. 3: Hidrociclone

6. Ciclonagem de lodos de alto forno

Processos de hidrociclonagem de lodos de alto forno foram pesquisados em vários países. Na Holanda, por exemplo, na Cia. Hoogovens em Ijmuiden; na Cia. AKW na Alemanha e no Japão também /7, 8, 9, 10/. Nestes estudos mostraram que a possibilidade de preparação destes resíduos é ligada à sua granulometria dos grãos e à distribuição dos elementos não ferrosos.

O diâmetro médio dos grãos dos lodos de alto forno se encontra entre 15 e 50 μm . Isto é a área operacional dos hidrociclones. As outras poeiras - de conversor de oxigênio e forno elétrico - são bem mais finas do que se poderia preparar com ciclones.

Os metais incômodos (chumbo e zinco) não são uniformemente distribuídos sobre as classes granulométricas. Eles são distribuídos de forma que com o tamanho de grãos crescentes, os valores dos metais não ferrosos decrescem.

Análises mais próximas das partículas sólidas nos permitem perceber nas superfícies sedimentações de zinco. Estas foram criadas posteriormente à reoxidação de vapor de zinco no alto forno. Em razão do tamanho pequeno do grão estas partículas estão carregadas de gás de forno. Por isto o lodo de alto forno pode ser selecionado através de uma classificação simples, de cerca de 20 μm , em uma fração rica em zinco e em uma fração pobre em zinco.

Na figura 4 é mostrado o esquema de preparação. Pode-se ver que o lodo suspenso em água (conteúdo sólido 250 g/l) com uma pressão de 2 bar é carregado no hidrociclone. O superfluxo que contém o grão fino apresenta a fração rica em zinco. Esta tem que ser desaguada numa prensa de filtro. O hipofluxo é carregado num segundo ciclone que possui um diâmetro menor. Para esta separação, que serve para a repurificação da fração grossa, o conteúdo sólido da suspensão é reduzido a 50-90 g/l.

Com o processo mostrado na figura 4 são obtidos produtos se a carga se consistir em um lodo de alto forno com 0,8 % Zn; 0,2 5 Pb; 35 % Fe; 31 % C,
75 M.-% lodo desaguado pobre em zinco com 0.4 % Zn; 0,08 % Pb; 15-20 % H₂O e
25 M.-% lodo desaguado rico em zinco com 2,7 % Zn; 0,7 % Pb; 45 % H₂O

Com a aplicação de 3 hidrociclones melhora-se a classificação e possivelmente o enriquecimento ou, aliás, o empobrecimento dos metais não ferrosos será otimizado.

O lodo pobre em zinco é reconduzido à planta de aglomeração térmica. O teor de lodo rico em zinco, contudo, é pouco demais para que uma separação de zinco numa siderurgia não ferrosa seja rentável.

Através da preparação de lodos com hidrociclones a necessidade de depósito pode ser reduzida bastante com a qual estão ligados custos específicos de cerca de 7 \$/t.

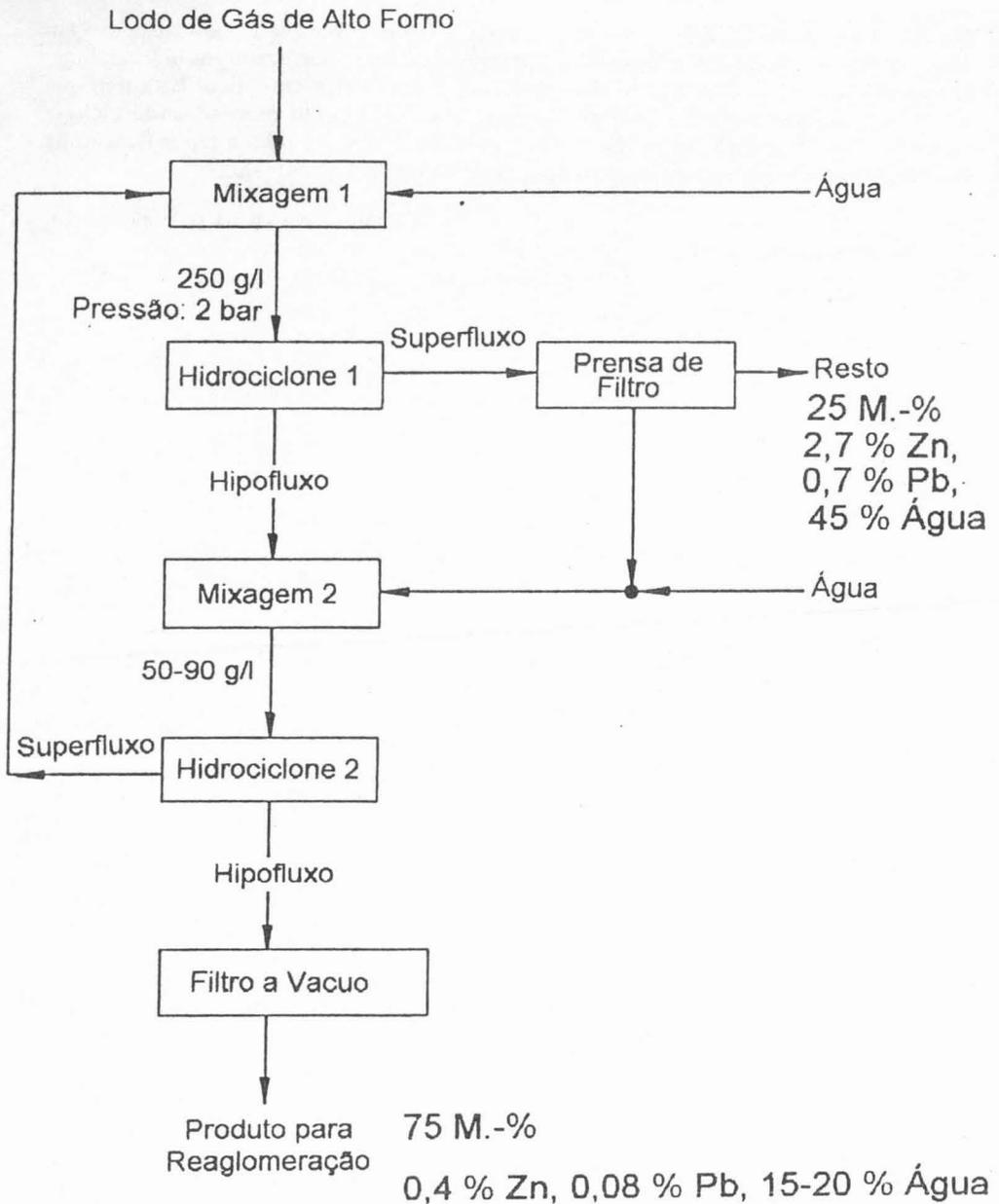


Fig. 4: Esquema da preparação com hidrociclones

7. Literatura

- 1 Preprints 3. Duisburger Recyclingtage, Duisburg 11./12. 2. 1988
- 2 Preprints 3. Duisburger Recyclingtage, Duisburg 11./12. 2. 1988
- 3 Fosnacht, D. R.: Recycling of ferrous steel plant fines - state of the art. Iron and Steel Manuf. (1981), Nr. 4, S. 22/26
- 4 Görden, R., Theobald, W. Recycling in der Stahlindustrie der Bundesrepublik Deutschland. Stahl und Eisen 97 (1977), Nr. 14, S. 657/64
- 5 Preprint 2./3. GVC-Dezembertagung 1993, Köln
- 6 Schubert Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe Band 2, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig/Berlin
- 7 Heijwegen, C. P. Kat, W.: Beneficiation of blast furnace sludge. Hoogovens Ijmuiden
- 8 Fuhrmann, J.: Untersuchung über Verfahren und Möglichkeiten zur Aufbereitung von Stäuben und Schlämmen aus der Eisen- und Stahlindustrie. (1981)
- 9 Toda, H. Futamura, E., Furutaku, H. Kitazawa, T., Takahashi, K.: Separation of nonferrous metals from blast furnace flue dust by hydrocyclone. Nippon Steel Techn. Rep. 13 (1979) Nr. 6, S. 73/79
- 10 Uno, S., Umetsu, Y., Ohmizu, M., Munakata, S.: Dezincing equipment and operation based on wet classification of wet-cleaned BF dust. Nippon Steel Techn. Rep. 13 (1979) Nr. 6, S. 80/85

