

# CO-PRODUTOS (RESÍDUOS) DA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA E MINERAÇÃO: CONDICIONAMENTO PARA RECICLAGEM<sup>1</sup>

Uriel Vargas<sup>2</sup>  
Eduardo Cabral<sup>3</sup>

## Resumo

Preservação do meio ambiente e imagem positiva perante a sociedade, entre outros motivos, têm levado as indústrias de mineração e de siderurgia a uma gestão ambiental responsável, com ações de política sustentável no trato dos co-produtos. Em consequência, escórias e lamas da mineração, lamas de aciaria, pós da sinterização, calcinação, coqueria, carepas e outros resíduos da siderúrgica estão sendo economicamente reaproveitados quando adequadamente tratados. Neste trabalho são demonstradas plantas industriais para o tratamento de co-produtos através do processo de umectação e aglomeração a frio, ou através de processos de mistura semi plástica para conformação de briquetes, blocos ou extrudados. Finalizando, são relatadas as atividades dos Centros de Testes Eirich e algumas experiências e ensaios realizadas em estreita colaboração com algumas indústrias, gerando tecnologia e conhecimento, que resultaram em instalações industriais.

**Palavras-chave:** Co-produtos; Resíduos; Misturador vertical intensivo; Aglomeração.

## CO-PRODUCTS (RESIDUES) OF THE METALLURGICAL INDUSTRY AND MINING: CONDITIONING FOR RECYCLING

### Abstract

Preservation of the environment and positive image for the society have been taking the metallurgy and mining industries to a responsible environmental administration, with actions for the treatment of the residues. In consequence, sludge, powders and other residues from mining and steel plants, have been economically reused when properly treated. In this work, it will be demonstrated some industrial plants for the treatment of co-products through the process of moisturizing and cold agglomeration, or through a semi plastic mixture for briquetting, blocks or extruded bodies. Concluding, it will be shown some activities of the Eirich Test Center and some experiences in accomplished tests with a close collaboration with some industries, generating technology and know-how, that resulted in some industrial plants.

**Key words:** Co-products; Residues; Intensive vertical mixer; Agglomeration.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 40º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 11º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 19 a 22 de setembro de 2010, Belo Horizonte, MG.

<sup>2</sup> Sócio da ABM, Consultor Sênior – Engenharia de Vendas da Eirich Industrial Ltda., Jandira/SP – Brasil (apresentador)

<sup>3</sup> Engenheiro de Aplicações – Engenharia de Vendas e Aplicações da Eirich Industrial Ltda., Jandira/SP – Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

A conscientização sobre as questões do meio ambiente tem aumentado consideravelmente e, em consequência, a importância de novas e inovadoras tecnologias para o tratamento de resíduos ou co-produtos.

Pesquisar, desenvolver e implementar novas tecnologias tem sido o foco das empresas.

O desenvolvimento do processo e a forma de tratamento dos materiais são fatores decisivos que contribuem para o sucesso do empreendimento e a prosperidade da planta industrial.

A maioria dos resíduos apresenta características e propriedades individuais totalmente opostas entre si e que diferem consideravelmente,<sup>(1)</sup> como por exemplo:

- distribuição granulométrica, desde finos a grânulos ou lamelas;
- secos, úmidos, plásticos e pastosos em blocos ou torrões compactos;
- densidades em massa e pesos específicos;
- escoabilidade com grandes variações; e
- abrasivos, corrosivos, contaminantes, reativos.

São, entretanto materiais potencialmente possíveis de reaproveitamento econômico segundo seu conteúdo metalúrgico ou carbonífero residual, ou passível de tratamento para a redução nos custos de descarte.

São possíveis de serem reaproveitados muitos resíduos ferríticos e carboquímicos,<sup>(2)</sup> como por exemplo:

- pós do despoeiramento da sinterização, alto-forno, aciaria, conversor, forno elétrico;
- lama de alto-forno, aciaria LD, aciaria elétrica;
- metal recuperado da escoria de alto-forno e aciaria;
- carepa, escamas e limalhas de laminação;
- óxidos do processo de decapagem;
- finos de coque e de cal;
- lamas, barros e lodos de tanques ou bacias de decantação; e
- tortas de filtros prensas.

Para os resíduos descartáveis por não terem teores que justifiquem o reaproveitamento com a reciclagem, é possível o tratamento para o descarte controlado, com redução de volume ou com a neutralização, o que leva a redução de classe com menos dispêndio no custo descarte como, por exemplo:

- lamas, barros e lodos de tanques ou bacias de decantação;
- ácidos ou soluções de decapagem;
- polpas ou tortas de filtros prensas de pilhas de lixiviação;
- resíduos de pirita e escoria de hulha;
- tortas ou bolos de filtros prensas;
- cinzas de lignito e de centrais térmicas; e
- lodo de clarificação.

## 2 CONDICIONAMENTO PARA A UTILIZAÇÃO DOS CO PRODUTOS

Em uma instalação de preparação há sempre um processo de mistura, que deve assegurar uma homogeneidade favorável de todos os materiais que se caracterizam por diferentes propriedades químicas e físicas.

Não é nenhuma tarefa fácil - os materiais são muito diferentes e muitas das vezes os aditivos ou ligantes são usados em uma concentração muito baixa.

Somente através de um misturador apropriado pode ser garantido uma composição com homogeneidade otimizada, assim assegurando as propriedades mecânicas e metalúrgicas máximas da mistura.

Os co produtos na forma de pós ou lamas necessitam ser tratados para uma condição que permita transporte e manuseio

Algumas das formas consagradas de alcançar este propósito viabilizando a aplicabilidade do material reciclado são:

- aglomerados;
- micro pelotas ou granulados;
- briquetes; e
- blocos sextavados prensados.

Em qualquer das alternativas de processo, a etapa de preparação é de grande importância.

A unidade de mistura deve necessariamente combinar todos os componentes da composição em uma massa absolutamente homogênea, onde a mistura final tenha características uniforme e constante, sem levar em conta as frações da formulação e outras características específicas.

Se os constituintes da receita (co-produtos ou as matérias primas) estiverem insuficientemente misturados, não são alcançadas propriedades de produto esperadas, e a qualidade varia.

O sistema de mistura vertical em contra corrente para operação por bateladas ou contínua, tem na pratica provado e demonstrado ser excepcionalmente apropriado e, além disso, ser o mais eficiente para esta difícil tarefa.

### 3 CENTRO DE TESTES

Tecnologia de processos significa qualidade comprovada e segurança para a instalação de produção industrial.

Para obter a solução ótima para cada tarefa, são realizados nos Centros de Testes da Eirich simulações de produção sob as mais rigorosas condições, seguidas de provas e ensaios com as matérias primas ou co produtos (resíduos) recebidos do próprio cliente.

Os testes e ensaios para o desenvolvimento e otimização dos processos operacionais são realizados por experientes técnicos com controles visualizados e registrados, desde misturas em escala de laboratório até a escala industrial – Figuras 1 e 2.



**Figura 1.** Misturadores do Centro de Testes Eirich. 10 litros para testes de bancada.



**Figura 2.** Misturadores do Centro de Testes Eirich. 75 litros para testes semi industrial.



**Figura 3.** Produtos finais preparados com misturador vertical;

Para atender vários segmentos industriais (Figura 3) é determinante a realização de testes e ensaios para garantir desde o início a segurança do processo, tendo nos resultados apurados a base para a melhor solução técnica com a seleção da máquina isolada e informações para a elaboração do projeto da instalação completa. Graças à estreita colaboração entre seus centros tecnológicos, e a extensiva cooperação com as instituições de pesquisa, a Eirich participa em todo o mundo das experiências práticas e conhecimentos teóricos para o desenvolvimento de produtos e processos inovadores para alcançar soluções de maior produtividade e correto comportamento ambiental.

## 4 APLICAÇÕES

No II Workshop de Sustentabilidade na siderurgia, realizado pela ABM em São Paulo (março 2008), através de algumas das apresentações ficou evidenciado a alta relevância da etapa de preparação dos co-produtos.

Dos 14 trabalhos, seis das apresentações relatam experiências com misturadores verticais, sendo seis no Brasil e dois no exterior.

Serão relatados a seguir algumas destas instalações em que os primeiros passos aconteceram com pré testes em escala de bancada em Centros de Testes Eirich no exterior ou no Brasil, seguido em algumas das vezes de montagem de plantas semi industrial na planta do cliente para certificação do processo.

### 4.1 Bus Zinkrecycling - Processo Waelz® - Recuperação de Zinco

A quantidade crescente de metais galvanizados disponibilizado no mercado levou ao desenvolvimento do processo Waelz<sup>®</sup> de extração do zinco, permitindo assim sua utilização como carga na forma de sucata.

Em 1992, a empresa alemã BUS Zinkrecycling Freiberg GmbH construiu a primeira planta de reciclagem do zinco na cidade de Freiberg, estado da Saxônia na Alemanha, utilizando um forno rotativo para a transformação do conteúdo de resíduo do zinco em óxidos.<sup>(2)</sup>

Em 1997 o sistema de intensivo de mistura e aglomeração (Figura 4) foi instalado, no que resultou em um aumento na capacidade do forno próximo a 20%.



Figura 4. Planta de reciclagem do zinco.

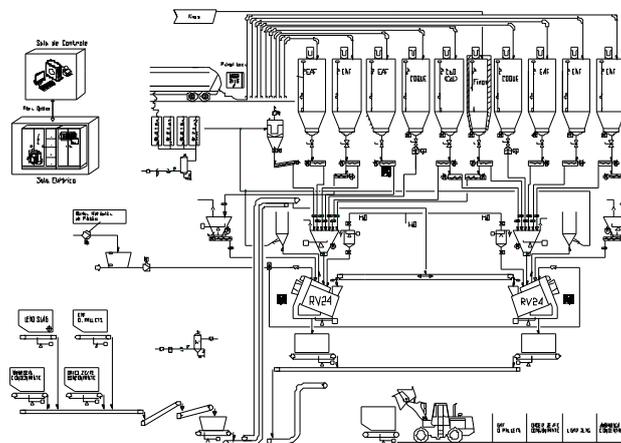


Figura 5. Fluxograma da instalação.

Diferentes subprodutos são combinados de acordo com seu índice do zinco, misturados e umedecidos homogeneamente de forma contínua para o abastecimento do forno rotativo subsequente, configurado no fluxograma (Figura 5). No Brasil o Projeto do Forno Waelz<sup>(3)</sup> foi iniciado em junho 2007 para implantação na Votorantim, planta metalúrgica em Juiz de Fora/MG, precedendo testes e ensaios com os co produtos da própria Votorantim Metais Zinco.

Os testes foram realizados em janeiro de 2007 no Centro de Testes Eirich em Jandira/SP, supervisionado pela Gerencia de Tecnologia de Processos do Centro de Testes da Eirich / Alemanha.

Em sequência com suporte da Gerencia de Engenharia de Projetos da Eirich / Alemanha, o projeto foi realizado e finalizando com a implantação da planta.

#### 4.2 Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) - Umidificação / Umectação de Pós

Com misturador intensivo semi-industrial disponível no Centro de Pesquisas e Desenvolvimento, desde 1987 foram e continuam sendo desenvolvidos trabalhos focando o tratamento de subprodutos gerados na usina de Volta Redonda/RJ. Inúmeras instalações com misturadores verticais intensivos estão em operação na CSN, montadas em conexão com sistemas de despoeiramento, para a umidificação/aglomeração de pós destinados às sinterizações.

A experiência na umidificação ou umectação de particulados extremamente finos coletados em sistemas de despoeiramento através filtros de mangas ou precipitadores eletrostáticos tiveram como base a instalação na Hüttenwerke-Krupp-Mannesmann (HKM) em Duisburg Huckingen, Alemanha.<sup>(4)</sup>

Extensivos testes foram conduzidos por institutos independentes contratados pela HKM usando diferentes tipos de misturadores.

Os estudos indicaram que o misturador intensivo executou melhor praticamente todos os critérios requeridos, particularmente as exigências de qualidade dos grânulos, distribuição granulométrica controlada, absorção de água, destruição das protuberâncias, auto-limpeza, baixo desgaste.

O sistema iniciou a operação em 2002 (Figura 6).



Figura 6. Sistema de aglomeração de pós.

#### 4.3 Vale - Briquetagem

Em dezembro de 2009 a Vale anuncia sua participação no empreendimento da Tecno Logos que originou o processo TecnoRed<sup>®</sup> para produção de gusa a partir de subprodutos na forma de pelotas ou briquetes auto redutores de cura a frio, com custos operacionais e de investimentos inferiores aos de processos tradicionais.<sup>(5)</sup>

O forno de auto-redução TecnoRed é carregado por briquetes ou por pelotas (Figura 7) produzidas a partir de subprodutos oriundos das minerações e das siderúrgicas como matéria prima.

Instalada em 1985 em Joinville/SC a usina piloto TecnoRed destinada à testes e desenvolvimento, desde o primeiro momento iniciou as operações com o misturador

vertical intensivo, que demonstrou ser especialmente adequado para o processamento de generalizada classe de subprodutos, de ampla e diversificada características.

Em Pindamonhangaba/SP na planta da Gerdau (ex Aços Villares) está instalada a Usipar, a primeira planta industrial, com um completo sistema de fornecimento Eirich (Figura 8) para a preparação de aglomerados destinados à produção de briquetes.

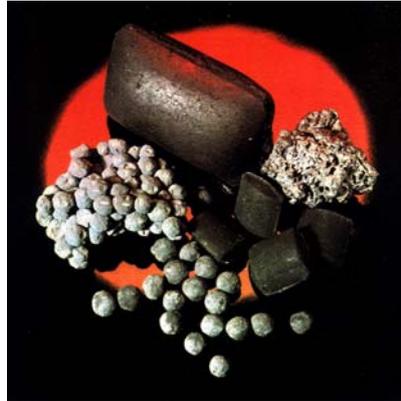


Figura 7. Briquete ou pelota para carga no forno.

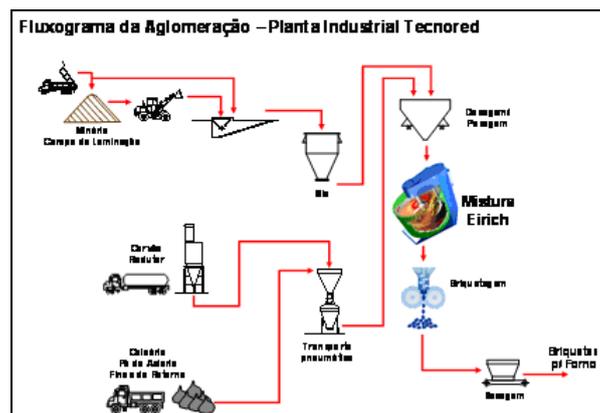


Figura 8. Fluxograma da Instalação de Preparação.

#### 4.4 ArcelorMittal Brasil S.A. - Briquetagem

Briquetes constituídos de subprodutos metálicos e carbônicos são produzidos em larga escala desde longo tempo.

Para os processos de redução direta ou forno a arco, os materiais são preparados no misturador vertical intensivo para posterior formação dos briquetes de ferro esponja conformados em prensas de rolos.

No Brasil a primeira unidade industrial na siderurgia iniciou a operação em 1994 em Serra/ES, na atual Arcelor Mittal Brasil antiga CST, com o objetivo de aproveitar a lama de aciaria por possuírem carga metalizada em um nível de ferro total (70% – 75%) superiores aos das pelotas (65% – 66%) e do sinter (58%), portanto competitiva como matéria prima para carga do alto-forno.<sup>(6)</sup>

Testes e ensaios levaram pela opção do misturador intensivo, satisfazendo a necessidade da melhor mistura com repetibilidade, em se tratando de ligantes viscosos com materiais altamente abrasivos.

#### 4.5 Silifértil Ambiental Ltda. - Granulação de Escória Siderúrgica

A Silifértil operando na Usina Barreiro em Belo Horizonte/MG terminou com todo passivo das escórias da V&M do Brasil gerando produtos sustentáveis. Através de uma instalação com misturador granulador intensivo (Figura 9) são produzidos a partir de resíduos siderúrgicos, produtos granulados para a utilização agrônômica, como corretivo de solos e fonte de micronutrientes minerais para os cultivos agrários de interesse econômico.<sup>(7)</sup>



Figura 9. Misturador Granulador.

Fertilizantes granulados produzidos a partir de escórias siderúrgicas criaram novos horizontes para o meio agrícola, possibilitando os agricultores aplicarem práticas agrícolas com menores usos de insumos agrícolas, praticando uma agricultura mais sustentável, gerando aumento de produtividade e alimentos com maior qualidade e durabilidade (Figura 10).



Figura 10. Silício granulado.

O silicato de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) também é colocado como fonte de silício (Si) para as culturas agrícolas, aplicado diretamente no solo ou misturado ao fertilizante, proporcionando boas respostas em diversas culturas agrícolas.

#### 4.6 Paul Wurth S.A. - Lamas e Pós

O processo Primus<sup>®</sup> desenvolvido pela Paul Wurth, é um processo econômico para a reciclagem de subprodutos sidero - metalúrgicos e finos de minério, obtendo-se um pré-reduzido (DRI) com alto grau de metalização.

A Paul Wurth instalou, em cooperação com a ProfilARBED Esch-Belval, a planta piloto para a capacidade de 1 t/h a 2 t/h, operando com ótimos resultados desde abril de 1999.

Após testes pilotos de sucesso, iniciou em 2003 a operação da primeira instalação industrial utilizando o novo processo para a reciclagem de co-produtos em um forno vertical baseado em “células de múltiplo aquecimento” (Figura 11) para a redução direta com a utilização de carvão.



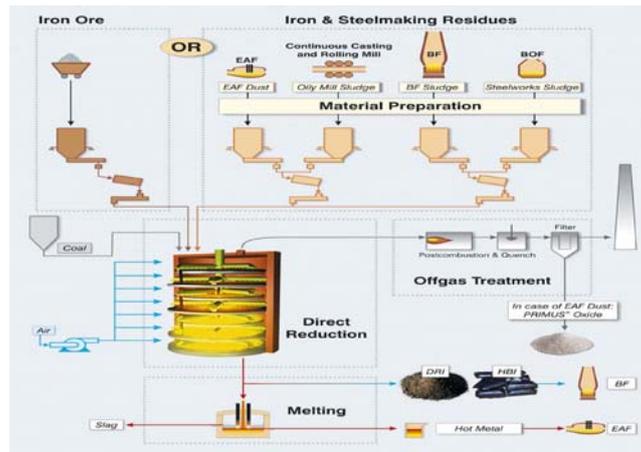
Figura 11. Soleira e braços rotativos.

A planta instalada (Figura 12) foi concebida para a reciclagem de todos os materiais gerados na siderúrgica, incluindo poeiras de altos-fornos, fornos elétricos e aciaria, lamas de alto-forno e aciaria, carepas contendo óleo das linhas de laminação.



Figura 12. Instalação.

Os diferentes subprodutos são processados em um misturador intensivo, onde através de um sistema de medição da umidade instalado dentro do próprio misturador, a umidade final da mistura pode ser ajustada durante no processo de preparação, conforme os variados índices de umidade dos materiais básicos (Figura 13).



**Figura 13.** Diagrama do processo.

Uma característica marcante deste processo é a possibilidade de tratamento dos diversos materiais, sem necessidade de um tratamento prévio (secagem, remoção de óleos, pelotização etc.) e separação e/ou recuperação de elementos tais como zinco e chumbo, com elevados graus de pureza.

## 5 TECNOLOGIA DE MISTURA

Teoricamente, a qualidade mistura preparada é determinada pelo menor grau de variações nas propriedades do produto final.

A prática demonstra que qualidade da mistura é freqüentemente determinada através de métodos simples, como por exemplo, análise visual da mistura esparramada em bandeja atento a concentração pontual, ou determinação da umidade, permeabilidade e outros parâmetros.

Uma discussão sobre qualidade de mistura deve levar em consideração que o misturador deve produzir simultaneamente ótimas e uniformes misturas de todas as matérias-primas.<sup>(2)</sup>

### 5.1 O Que É uma Mistura Ótima?

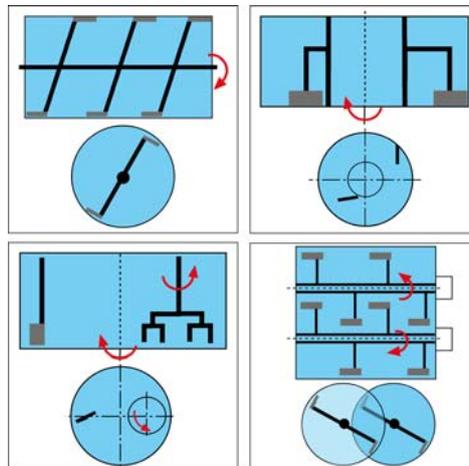
Por exemplo, se o misturador misturou 50 g de aditivos em 1 tonelada de uma mistura seca de concreto refratário de um modo totalmente uniforme, uma mistura homogênea ótima é obtida, ou uma outra mistura está ótima se 1 g de aroma for homogeneamente misturado em 1 tonelada de ração animal (correspondendo a 1 ppm).

### 5.2 O Que É uma Mistura Uniforme?

Por exemplo, um tijolo refratário produzido em qualquer determinado dia deve estar exatamente igual ao tijolo produzido o dia antes ou vários meses atrás. Características e propriedades como compressão a verde deve ser constantemente uniforme, além de permanecer constantes e inalteradas suas características físicas. A combinação de "ótimo + uniforme" faz um misturador realmente bom.

### 5.3 Evolução

Os misturadores disponíveis no mercado derivaram basicamente dos quatro tipos – Figura 14.



**Figura 14.** Tipos básicos de misturadores: Tambor horizontal de um eixo (esquerda); Circulação forçada (direita); Planetário (esquerda); Tambor horizontal de dois eixos (direita).

Enquanto os tipos de “misturadores simples” muito pouco avançaram desde há quase 100 anos até hoje, o misturador vertical intensivo sofreu várias fases de desenvolvimento e atualmente a 5ª geração está em operação.

A diferença essencial entre os “misturadores simples” e os misturadores verticais intensivos hoje, é que neste tipo de mistura o transporte do material está separado do processo de mistura.

Esta separação entre transporte de material e processo de mistura permite que a velocidade da ferramenta de mistura (e assim a energia específica de mistura) pode ser ajustada dentro de amplos limites.

**Tabela 1.** Velocidade típica da ferramenta – velocidade periférica

Misturador de circulação forçada e misturador planetário	até 4 m/s
Misturador horizontal de um e misturador de dois eixos	até 6 m/s
Misturador intensivo contra corrente	2 m/s a 25 m/s

Em 1903 a Companhia Eirich desenvolveu e construiu os primeiros misturadores de circulação forçada (Figura 15) dedicado à emergente indústria de concreto.



**Figura 15.** Misturador Eirich de aço forçada – 1903.



**Figura 16.** Misturador Eirich planetário – 1906.

Em 1906, inventou o misturador planetário (Figura 16) que alcançaram largo sucesso pela primeira vez na produção de misturas com qualidade superior, de acordo com os padrões daquele tempo.

Ainda hoje muitos fabricantes continuam construindo misturadores de ação forçada e planetário mantendo os mesmos princípios dos misturadores Eirich de 1903 e 1906.

### Misturador intensivo contra corrente

Em 1924, a Eirich desenvolveu o primeiro misturador caracterizado com uma cuba (panela) de mistura rotativa (Figura 17) inovando com princípio único e sem similaridade de mistura em contra corrente.



**Figura 17.** Misturador Eirich contra corrente – 1924.

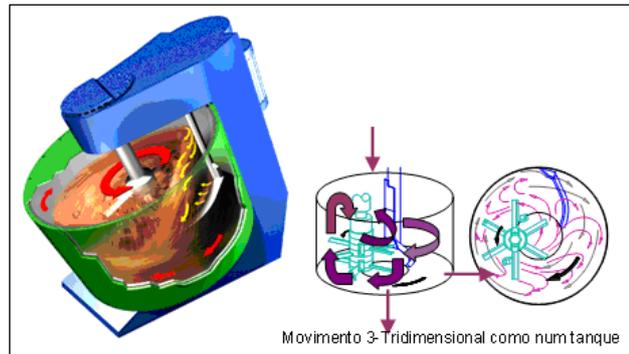
## 5.4 Misturadores Intensivos Verticais

Os misturadores intensivos verticais ou simplesmente "Misturador Eirich" de 1924 foram continuamente otimizados chegando ao tipo atual da 5ª geração (Figura 18).

Neste misturador o sistema de mistura é baseado no seguinte princípio:

- a cuba de mistura gira em sentido horário transportando o material para as ferramentas (agitador) de mistura intensiva;
- agitador intensivo instalado em posição excêntrica a cuba de mistura girando em sentido contrário na direção anti-horária;

- o agitador intensivo de alta velocidade também pode servir simultaneamente para destorroar blocos ou torrões; e
- raspador fixo na parede que desvia e direciona o fluxo do material para o agitador, agregado ao raspador fixo de fundo para descarga, funcionando ambos para evitar a aderência de material na parede e no fundo da cuba.



**Figura 18.** Diagrama de fluxo do material em sentido a favor e contra corrente.

A ação das ferramentas de mistura promove um fluxo em corrente tridimensional, onde cada partícula da composição é forçada a mudar de posição em larga escala no sentido horizontal e vertical (Figura 19).



**Figura 19.** Fluxo de movimentação do material no interior do misturador.

Graças a combinação dos vários elementos moveis de mistura, resulta que nos misturadores intensivos verticais se obtém a excelência em qualidade de mistura decorrente de:

- livre de quaisquer “zonas mortas”;
- as ferramentas de mistura “varrem” várias vezes a área de fundo da cuba entre 5 a 10 segundos durante uma única rotação;
- todo o material da composição é movimentado pela cuba e lançado em contra fluxo para o agitador em seqüência rápida e intensiva;
- toda partícula do produto é forçada a freqüentemente a mudar de posição horizontal e verticalmente devido o fluxo promovido pela movimentação da cuba;
- poucas ferramentas para manter a mistura constantemente em movimentação;
- agitadores de martelos montados em diferentes níveis favorecem e asseguram alto desempenho na mistura;

- raspador de parede estacionário e raspadores de fundo forçam todas as partículas da composição a participar no processo de mistura.
- os movimentos da macro mistura pela cuba, e da micro mistura através do agitador se somam.
- agitador, raspador e cuba auto limpante devido a macro movimentação da composição;
- uso muito flexível para atender com propriedade grande variedade de resíduos; e
- intensa força de cisalhamento provoca a ampla dispersão de agentes ligantes.

## 6 CONCLUSÕES

Estar junto ao cliente é a chave para o sucesso em desenvolver soluções inovadoras de alta qualidade e confiáveis, com um diálogo próximo desde o início, do estágio de desenvolvimento até a implantação, treinamento e partida assistida.

A este respeito, é de particular importância o fato de que a tecnologia de preparação com os misturadores verticais é amplamente utilizada em uma grande variedade de indústrias em todo o mundo.

Esta particularidade proporciona sinergias com troca de experiências consagradas em determinado ramo para outro,

O mercado se beneficia desta parceria e cooperação - mundialmente aberta – mantendo, entretanto a absoluta confidencialidade em termos de conhecimento específico do processo do cliente.

## REFERÊNCIAS

- 1 RIES, HANS. Mixing and Pelletising Process for Ores for Use in Smelting and Secondary Raw Materials for Recycling, Publicação Maschinenfabrik Gustav Eirich, Hardhein, 1986
- 2 BLATZ, J., MICZAJKA P., BOYSEN D. Mixing Technology in the Steel Industry, I Simpósio Internacional de Minério de Ferro – ABM Vitória, 2004
- 3 TEIXEIRA, M. A. A. O Projeto do Forno Waelz na Votorantim Metais para Tratamento de Pó de Aciaria, II Workshop de Sustentabilidade – ABM São Paulo 2008
- 4 VARGAS, U., CABRAL E., BLATZ J., BOYSEN D.: Processos de Mistura na Mineração e na Siderurgia, VIII Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro – ABM Salvador 2007
- 5 CONTRUCCI, M. A.: CARPITELLI COSTA P. H., CAMARGO L. M. A., MARCHEZE E. S., JACOMINI N., GONZALES E. L., TAKANO C., D'ABREU J. C., Produção de ferro gusa pelo processo TecnoRed, Revista ABM Metalurgia e Materiais edição maio 1993
- 6 DUARTE, J. C.: Briquetes de lama de aciaria em substituição à sucata, Revista ABM Metalurgia e Materiais edição junho 1996
- 7 PIAU, W. O Agregado Siderúrgico como Corretivo de Solo / Fertilizantes, II Workshop de Sustentabilidade – ABM São Paulo 2008