

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS**  
**Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais**  
**Curso de Especialização em Engenharia de Recursos Minerais**

**MONOGRAFIA**

**Revisão sobre a utilização de misturadores no processo de pelotização do minério  
de ferro**

**Aluno: Juliano Augusto Drumond Américo**

**Orientador: Prof. Paulo Roberto de Magalhães Viana**

**Julho 2012**

**DEDICATÓRIA**

*À minha bela esposa,  
companheira em todos os momentos,  
a qual será sempre a razão  
de tudo que realizo nesta vida.*

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer ao meu orientador, que com muita compreensão e sabedoria contribuiu para que esta etapa se concretizasse.

Ao pessoal da Semco e da Eirich, que possibilitaram a obtenção de informações preciosas a este trabalho.

Aos meus pais, sempre, por toda a vida.

A todos que de alguma maneira contribuíram para este trabalho.

Muito Obrigado.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	09
<b>2. OBJETIVO E RELEVÂNCIA</b> .....	10
<b>3. DESENVOLVIMENTO</b> .....	11
3.1. Minérios de ferro utilizados em pelotizações.....	11
3.2. Mistura .....	15
3.3. Definição e determinação de uma mistura de substâncias .....	18
3.4. Uso de misturadores na pelotização de minério de ferro .....	18
3.5. Vantagens apresentadas por fornecedores .....	20
3.6. Estudo de caso .....	23
3.6.1. Lodige .....	23
3.6.2 Torex .....	24
<b>4. CONCLUSÕES</b> .....	27
<b>5. BIBLIOGRAFIA</b> .....	28

## ÍNDICE DAS FIGURAS

Figura 3.1 – MEV de partículas de hematita especular presentes no concentrado de minério de ferro .....	12
Figura 3.2 – MEV de partículas de hematita porosa ou martita presentes no concentrado de minério de ferro .....	12
Figura 3.3 – MEV de partículas de magnetita presentes no concentrado de minério de ferro .....	14
Figura 3.4 – Fotos ilustrativas da Goethita (Costa, 2008) .....	15
Figura 3.5 – Desenho com a locação esquemática da etapa de mistura de uma pelotização .....	16
Figura 3.6 – Desenho esquemático de um misturador contínuo Semco .....	20
Figura 3.7 – Desenho esquemático de um misturador vertical com princípio de mistura Eirich e fotografia interna do misturador (Eirich) .....	22
Figura 3.8 – Parte interna do misturador (CSA/Outotec) .....	22
Figura 3.9 – Elementos misturadores (CSA/Outotec) .....	23

**ÍNDICE DAS TABELAS**

Tabela 3.1 - Comparação da qualidade da mistura atingida por diferentes tipos de sistemas de mistura ..... 24

Tabela 3.2 - Determinação do erro dos resultados consolidados ..... 25

Tabela 3.3 - Resultados computacionais do grau de uniformidade (%) ..... 27

## **RESUMO**

No presente trabalho foi feito inicialmente uma pequena revisão sobre os principais óxidos de ferro presentes nos minérios de ferro mais comumente encontrados no Brasil.

Foram apresentados também os principais insumos que são misturados ao minério de ferro para se obter as qualidades físicas e químicas básicas necessárias para as pelotas de minério de ferro e os efeitos de cada insumo nestas pelotas, durante o processo de endurecimento.

Em seguida foram apresentados os tipos de misturadores mais comuns, utilizados nas usinas de pelotização no Brasil e algumas de suas características, assim como vantagens e desvantagens.

Para finalizar, foram avaliados os resultados obtidos em testes comparativos entre os misturadores horizontais e verticais.

Esta análise não foi suficiente para determinar com precisão qual equipamento é o mais indicado ao processo de mistura e homogeneização dos insumos da pelotização, sendo que para se obter esta informação, estudos específicos mais detalhados deveriam ser realizados.

## **ABSTRACT**

The current study reviews initially the most common iron oxides presented in the Brazilian iron ores.

It was also presented the main binders usually mixed with the iron ore to meet the physical and chemical qualities necessary for the production of iron ore pellets and the effect of the binders during the pelletizing enduring process.

It was presented the most common types of mixers in the Brazilian pellet plants in and some of its main characteristics, advantages and disadvantages.

Finally, it was evaluated the results obtained in comparative tests between the horizontal and vertical mixers.

This analysis was not sufficient to accurately determine which equipment is the most adequate for the mixing and homogenization of the pellet binders. Much more detailed studies should be done for achieving this information.

## 1. INTRODUÇÃO

O processo de pelletização é definido pela transformação de finos de minério de ferro em aglomerados de formato esférico denominados por pelotas. A adição de pelotas aos altos fornos e fornos de redução direta como insumo básico para a obtenção do aço durante o processo siderúrgico produzem inúmeros benefícios a este processo.

O processo de pelletização, após o beneficiamento do minério de ferro, pode ser dividido em várias etapas: homogeneização da polpa, moagem, filtragem, moagem em prensa de rolos, mistura, pelletamento, peneiramento e seleção, endurecimento, peneiramento do produto, manuseio e estocagem.

A etapa da mistura se caracteriza pela adição e homogeneização dos insumos que darão às pelotas, durante os processos de formação e endurecimento, as características finais de sua composição química e dureza necessária para o seu transporte e utilização no processo siderúrgico.

Esta etapa do processo é muito relevante, pois, com uma maior homogeneização da mistura pode-se reduzir a quantidade de aditivos utilizados no processo, melhorando as propriedades químicas das pelotas, principalmente em relação ao quartzo proveniente do aglomerante bentonita e também diminuição do custo operacional do processo de pelletização.

Atualmente existem no mercado dois tipos de misturadores que são utilizados para esta finalidade que são os misturadores verticais e misturadores horizontais. Cada um destes misturadores apresenta características distintas as quais podem gerar resultados diferentes nas propriedades das pelotas de minério de ferro.

## **2. OBJETIVO**

Este trabalho tem o objetivo de fazer uma breve revisão sobre misturadores utilizados em plantas de pelotização no Brasil descrevendo suas características principais.

A relevância desta etapa do processo de pelotização é devida à possibilidade da melhoria da qualidade das pelotas e redução dos custos operacionais do produto através da redução da quantidade de insumos utilizados que pode ocorrer devido a uma boa homogeneização da mistura.

### **3. DESENVOLVIMENTO**

#### **3.1. Minérios de ferro utilizados em usinas de pelotização no Brasil**

Em várias unidades industriais atualmente, o concentrado produzido após o beneficiamento do minério de ferro é obtido a partir de um minério de baixo teor de ferro. O beneficiamento se inicia através da britagem e moagem, realizadas para se obter o tamanho e grau de liberação, adequados aos processos de concentração que fazem a separação seletiva dos silicatos, principalmente quartzo. Os principais métodos de concentração utilizados são a separação magnética e a flotação convencional ou flotação com colunas. O produto final é constituído de um material de granulometria muito fina, normalmente abaixo de 0,15 mm, com teores de ferro acima de 66%.

Entre os principais minerais utilizados como matéria prima para a produção de ferro fundido e aço destaca-se a magnetita, a hematita e a goethita (limonita), que por sua vez também são os principais minerais na composição do concentrado para a produção de pelotas de minério de ferro.

Os principais óxidos de ferro que compõem os minérios de ferro brasileiros são descritos a seguir.

#### **HEMATITA**

É o mineral de ferro mais comum e ocorre em grandes quantidades. De acordo com sua gênese, está disponível em cristais usualmente tabulares entre espessos e delgados. Os principais minérios associados à presença de hematita podem ser descritos como minérios especularíticos quando apresentam grande quantidade de hematita especular com fina estrutura cristalina ou minérios comuns com hematitas porosas, tabulares ou terrosas, figura 3.1.

A hematita apresenta cristais usualmente tabulares, também botrioidais, e reniformes em estrutura radiada. A sua densidade relativa varia de 4,9 a 5,3 g/cm<sup>3</sup>. Apresenta brilho metálico nos cristais e opaco nas variedades terrosas.

Ocorre em várias rochas como granitos, sienitos, traquitos, andesitos, oriundas da cristalização magmática; em pegmatitos ou granitos pegmatóides, devido a processos pneumolíticos. Ocorre em rochas metamórficas como quartzitos em camadas com grande espessura. Forma também massas irregulares, por concentração devido ao intemperismo de rochas ricas em ferro. O principal tipo de rocha portadora de hematita que é lavrada como minério de ferro no quadrilátero ferrífero em Minas Gerais é o itabirito.

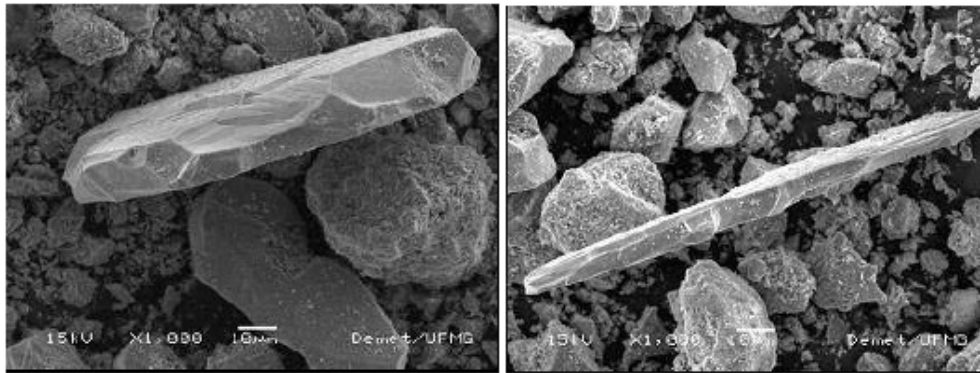


Figura 3.1 – MEV de partículas de hematita especular presentes no concentrado de minério de ferro.

A formação do mineral secundário conhecido como hematita porosa ou Martita, figura 3.2, ocorre devido ao intemperismo de magnetitas primárias (Morris, 1983). No curso destas alterações a forma cúbica é freqüentemente mantida e como consequência deste empacotamento molecular, em condições de pressão e temperatura de superfície ou próximas, surge uma microporosidade peculiar (Morris, 1983).

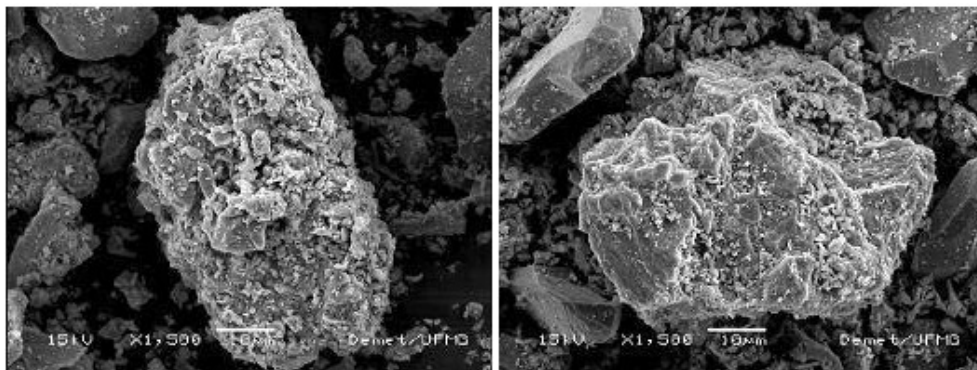


Figura 3.2 – MEV de partículas de hematita porosa ou martita presentes no concentrado de minério de ferro.

Sua fórmula química é  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e apresenta conteúdo em ferro de 70,0%. A hematita é também o estágio final de oxidação das pelotas endurecidas. Do ponto de vista cristalográfico, pertence ao grupo do coríndon e cristaliza-se no sistema hexagonal com um grande número de formas em diferentes combinações até a escala micéica.

## MAGNETITA

É um constituinte comum de rochas magmáticas, podendo formar camadas devido a processos de diferenciação magmática. Presente também em rochas metamórficas originadas de metamorfismo de contato ou regionais. Ocorre em meteoritos e também em areias de praia. Comumente formada pela alteração de minérios que contêm óxido de ferro. O conteúdo em ferro dos minérios de ferro varia de 20 a 50% para itabiritos até 65% em alguns depósitos específicos (Meyer, 1980).

A fórmula química da magnetita  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , ou  $\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ , com o conteúdo teórico em ferro de 72,4% (31%  $\text{FeO}$  e 69% de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Sua densidade relativa é da ordem de 4,9 a 5,2  $\text{g}/\text{cm}^3$  e apresenta cor negra ou amarela, com brilho semi-metálico e opaco, figura 3.3.

Como o próprio nome diz, é um material com alta susceptibilidade magnética. A magnetita é um membro do grupo do espinélio que tem a fórmula padrão  $\text{A}(\text{B})_2\text{O}_4$ . O A e o B representam os íons diferentes do metal que ocupam locais específicos na estrutura de cristal. Na fórmula da magnetita,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , o cátion metálico A é  $\text{Fe}^{+2}$  e o cátion B é o  $\text{Fe}^{+3}$ ; dois íons diferentes do metal em dois locais específicos. Este arranjo causa transferência de elétrons entre os ferros diferentes em um trajeto estruturado, o que gera um campo magnético.

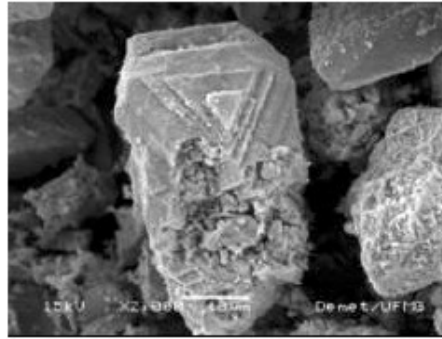


Figura 3.3 – MEV de partículas de magnetita presentes no concentrado de minério de ferro.

Em minérios magnetíticos podemos citar como contaminantes indesejáveis o titânio, principalmente em forma de ilmenita lamelar dentro de cristais de magnetita e o pentóxido de vanádio incorporado dentro da estrutura cristalina da magnetita em mineralizações (Meyer, 1980). A apatita e os sulfetos metálicos são outros minerais que acompanham os minérios magnetíticos.

Durante a queima das pelotas de minérios magnetíticos, a magnetita se oxida para hematita liberando cerca de 500 kJ por quilo de magnetita, energia esta que pode influenciar positivamente no processo de endurecimento das pelotas (Meyer, 1980). Durante a reação de oxidação da magnetita a densidade do material diminui e a massa da amostra aumenta devido à incorporação do oxigênio:



Devido à reação exotérmica de oxidação, o centro da pelota é aquecido a temperaturas mais elevadas do que a superfície, o que leva a um risco de uma sinterização muito intensa ou mesmo o derretimento do núcleo ou parte central da pelota. Devido ao encolhimento ou contração pode ocorrer sua separação do corpo da pelota, resultando em um dano considerável na qualidade da pelota. Este efeito é minimizado adaptando a velocidade de oxidação em função da velocidade de queima de pelotas com teores elevados de magnetita (Meyer, 1980).

## GOETHITA

Os minérios goethíticos podem ser considerados como típicos exemplos de minérios intemperizados, figura 3.4. Ocorrem associados ao quartzo, por alteração de sulfetos como pirita, em inclusões na hematita, limonita e micas. Nos depósitos de itabirito originais, a goethita ocorre junto com a hematita especular e martita.

Mineralogicamente, a goethita possui a fórmula estrutural  $\text{FeO}(\text{OH})$  ou  $\text{Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$ , com 90,0% de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e cerca de 10,0% de  $\text{H}_2\text{O}$ . Sua densidade relativa é da ordem de 3,3 a 4,3  $\text{g/cm}^3$ . Seu nome é uma homenagem ao poeta alemão Goethe. O hidróxido de ferro ocorre em quase todos os depósitos sedimentares bem como nos metamórficos (Meyer, 1980).

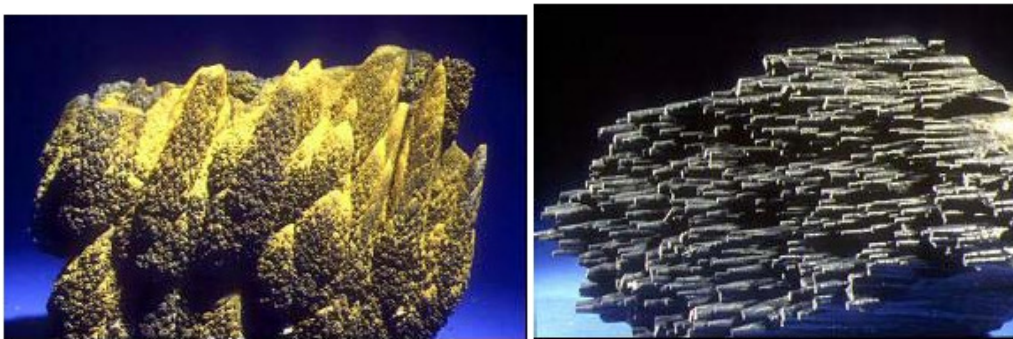


Figura 3.4 – Fotos ilustrativas da Goethita (Costa, 2008).

Durante o processo de queima da pelota a goethita é convertida em hematita, que é o estágio final da oxidação após a queima. Este processo é endotérmico e, portanto, aumenta o consumo de energia. Depois da secagem e preaquecimento, a goethita deixa uma estrutura porosa, o que exige maiores tempos e temperaturas mais elevadas para o endurecimento (Meyer, 1980). A presença de fósforo neste tipo de mineral é comum podendo exigir nos processos posteriores de fabricação de aço uma etapa de desfosforação uma vez que a separação do fósforo por meio de métodos convencionais de tratamento de minérios é muito difícil.

### 3.2. Mistura

Após as etapas de concentração, moagem, filtragem e eventualmente moagem via prensas de rolos, tem-se o produto que alimenta a pelotização denominado por pellet feed.

Na etapa da mistura este produto, pellet feed, recebe a adição de insumos essenciais para que as pelotas adquiram as características físicas, químicas e metalúrgicas necessárias a sua utilização nos processos subseqüentes ao processo de pelotização. A seqüência das etapas do processo de pelotização pode ser observada na figura 3.5. Os principais insumos utilizados são:

- Carvões minerais;
- Calcários;
- Aglomerantes.

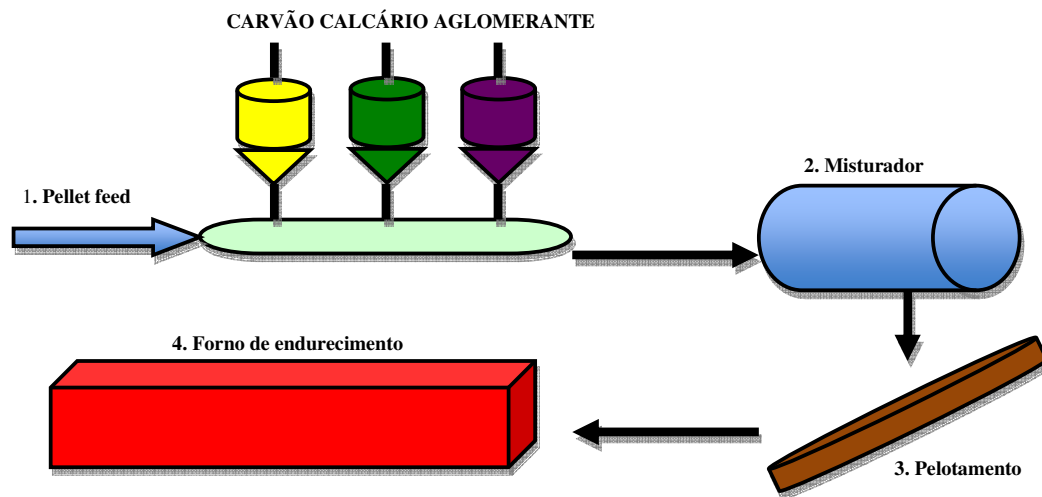


Figura 3.5 – Desenho com a locação esquemática da etapa de mistura de uma pelotização.

Estes insumos são adicionados ao *pellet feed* em proporções adequadas, constantemente dosados, e posteriormente misturados objetivando uma perfeita homogeneização do material a ser alimentado nos discos pelotizadores.

Os principais objetivos da utilização destes insumos são descritos a seguir.

#### Carvão Mineral

A principal finalidade da adição de carvão é a introdução de energia térmica no processo de endurecimento da pelota, resultando em uma redução parcial do consumo de óleo combustível do forno. Além de ser um importante fator energético, o carvão proporciona uma perfeita distribuição de calor na pelota durante a etapa de queima, contribuindo para uma melhoria na qualidade física da pelota, assim como aumento da produtividade do processo.

#### Calcário

Fornece o óxido de cálcio (CaO) e de magnésio (MgO) necessários ao processo de endurecimento da pelota. O CaO é fundamental no processo físico-químico de formação de compostos químicos que irão levar a geração de uma ganga ácida a temperaturas mais baixas, fortalecendo a ligação entre os grãos dos minerais. O MgO atuará melhorando as propriedades das pelotas durante o processo de redução, pela formação de gangas com ponto de fusão mais elevados. A utilização do calcário é fundamental para que a pelota queimada adquira resistência mecânica e características metalúrgicas adequadas aos processos posteriores.

#### Aglomerantes/ligantes

No processo de pelletização o aglomerante mais utilizado é a bentonita que é de origem inorgânica.

Bentonita é o nome genérico da argila composta predominantemente pelo argilo-mineral montmorilonita (55-70%), do grupo das esmectitas, independente de sua origem ou ocorrência. As bentonitas possuem como características industriais principais, alto poder de absorção de água, aglomeração, inchamento e formação de gel. Estas características conferem às bentonitas propriedades bastante especiais, que possibilitam uma vasta gama de aplicações nos mais diversos segmentos industriais (Luz, 2005).

A bentonita que é aplicada como aglomerante na produção de pelotas de minério de ferro, tem a função de promover a aglomeração dos finos e ultrafinos de hematita, conferindo à pelota crua a resistência mecânica necessária para o transporte, secagem e pré-aquecimento. Aumenta a taxa de crescimento da pelota e reduz a perda por atrito no manuseio de pelotas queimadas

Este insumo, devido principalmente aos elevados teores de quartzo, leva à redução do teor de ferro das pelotas. No entanto, outros aglomerantes podem ser utilizados, de forma a evitar este efeito no produto final. Este tópico não será abordado neste trabalho.

### **3.3. Definição e determinação de uma mistura de substâncias**

Podemos definir mistura como uma matéria constituída por diferentes moléculas. Por sua vez, às matérias formadas por moléculas que forem todas iguais dá-se-lhes o nome de composto químico ou substância quimicamente pura.

Numa mistura, não se produzem modificações químicas. Porém, as propriedades químicas podem diferir consoante os diferentes constituintes. Em geral, as misturas podem ser separadas (isto é, isolados os seus constituintes) por meio de métodos mecânicos.

Pode-se dizer que a mistura consiste na agregação ou incorporação de várias substâncias ou corpos que não têm qualquer ação química entre si.

Para a pelotização, o objetivo da etapa da mistura é justamente o de que os componentes estejam mais uniformemente distribuídos, proporcionando uma igualdade em toda a amostra.

### **3.4. Uso de misturadores nas usinas de pelotização de minério de ferro**

A Mistura é um processo de operação baseado na tecnologia de engenharia química. O processo de mistura, operação inversa do processo de separação, é a agregação sistemática de pelo menos dois materiais diferentes sendo convertidos em uma mistura de preferência homogênea. O estado de agregação das matérias-primas pode variar entre

gasoso, líquido e sólido. A operação de mistura é um processo realizado de forma gradual. A aferição da qualidade de uma mistura é definida pela obtenção de amostras e por uma avaliação analítica. Deve-se considerar o fato que uma condição ótima de mistura pode ser obtida, mas, esta condição ótima, pode ser alterada durante o tempo de processamento.

Quanto aos equipamentos usados para a mistura, pode-se distinguir entre misturadores estáticos e dinâmicos. Misturadores estáticos são sistemas estacionários através do qual o material flui. O efeito de mistura é exclusivamente alcançado em vórtice do fluxo com o auxílio de elementos integrantes. Condição prévia para a aplicação de misturadores estáticos é a capacidade de bombeamento dos materiais originais. Contrariamente aos misturadores estáticos, misturadores dinâmicos promovem um movimento mútuo dos componentes individuais. Estes misturadores possuem partes móveis, girantes, que promovem a movimentação dos materiais através de seu interior.

Um dos pontos mais importantes da etapa de mistura é a garantia da dispersão homogênea da bentonita. Este aglomerante, por ter um alto teor de quartzo em sua composição, pode alterar drasticamente a composição química final da pelota.

Nas usinas de pelotização são utilizados os misturadores contínuos devido à característica do processo de endurecimento das pelotas. Este ciclo deve ser ininterrupto, pois a sua parada implicaria em um grande consumo de energia para um reaquecimento do forno de endurecimento e conseqüentemente de toda a planta.

Na maioria das plantas brasileiras atuais, são utilizados os misturadores horizontais, por terem características similares aos tambores de pelotamento. O misturador é constituído de um tambor fixo e um eixo interno, sustentado por mancais e rolamentos, onde são fixados os elementos misturadores. Estes componentes promovem a dispersão dos aglomerantes e aditivos essenciais ao processo de aglomeração e formação das pelotas.

Recentemente foi introduzida a tecnologia dos misturadores verticais na pelotização, porém, não foram encontradas publicações na literatura, por parte dos usuários, quanto à sua eficiência em relação aos misturadores horizontais. Este aspecto deve-se

provavelmente ao fato de se tratar de um equipamento recente no mercado e aspectos relacionados à proteção de propriedade industrial.

Atualmente eles podem ser encontrados em funcionamento nas usinas de sinterização da CSA, Usiminas e CBMM. Um novo equipamento será instalado na Usina 8 de pelotização da CST.

### 3.5. Vantagens apresentadas por fornecedores

#### Semco/Lodige – Misturador horizontal com leito fluidizado

Este fornecedor apresenta o misturador contínuo modelo KM, constituído por tanques horizontais, projetados para receber um eixo maciço, montado sobre caixas de rolamentos selecionados para serviços pesados.

A potência para operação é fornecida por um motor elétrico acoplado a um redutor através de um acoplamento hidrodinâmico. O redutor é acoplado ao eixo do misturador através de um acoplamento flexível. O minério concentrado e seus aditivos são carregados continuamente no bocal de alimentação do misturador localizado em uma das extremidades da porção superior do tanque de mistura. Os materiais são misturados e bombeados para a extremidade oposta a da alimentação, onde são descarregados através de uma abertura nesta lateral do tanque. O desenho esquemático deste misturador pode ser observado na figura 3.6.

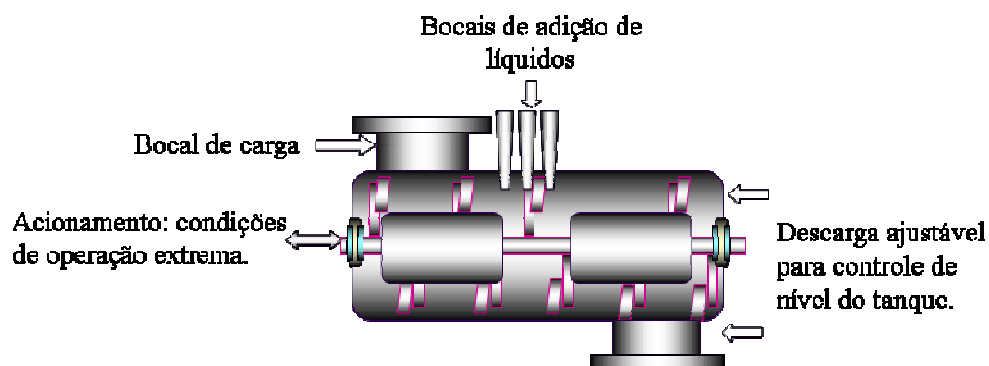


Figura 3.6 – Desenho esquemático de um misturador contínuo Semco.

Para este equipamento, o fornecedor informa que os elementos de mistura operam a uma alta rotação dentro da câmara cilíndrica do misturador, proporcionando um intenso movimento do material. Cada partícula é movimentada vigorosamente, criando uma mistura turbulenta do produto. Esta ação turbulenta expõe as partículas do minério à bentonita, finos de calcário e água resultando em uma precisa dispersão de todos os aditivos bem como uma perfeita absorção da água.

O fornecedor apresenta como vantagens uma profunda distribuição da bentonita proporcionando uma significativa economia deste aditivo. Tempo de Residência menor que um minuto, proporcionando um produto homogêneo com um grau de umidade uniforme. Conteúdo de água garantido, dentro de uma faixa específica, sem grumos ou distribuição desuniforme. Máximo controle da aglomeração durante o processo no disco pelletizador. Obtenção de um pellet verde de consistência e qualidade uniformes. Minimização da reciclagem de pellets verdes

### **Eirich – Misturador vertical**

Este tipo de equipamento teve o início de utilização nas usinas de pelletização bem mais recente que os misturadores horizontais. Este fato é evidenciado por existir atualmente no Brasil somente em usinas de sinterização e terá o primeiro equipamento previsto para operação em uma planta de pelletização no Brasil no ano de 2013, com o “start up” da oitava usina de pelletização da CST em Vitória-ES. Devido a este fato, os testes comparativos que serão apresentados neste trabalho foram realizados em plantas fora do Brasil. O seu princípio de funcionamento se caracteriza pela alimentação do material em um tambor vertical rotativo, que gira em sentido contrário aos eixos onde estão fixados os elementos misturadores. Estes eixos são suspensos e atuam juntamente com a aspersão de água para adequar a umidade da mistura. O movimento de giro alternado entre as partes do misturador promove uma grande homogeneização da mistura. Na figura 3.7 pode ser observado um desenho esquemático de um misturador vertical com a indicação do giro das partes internas.

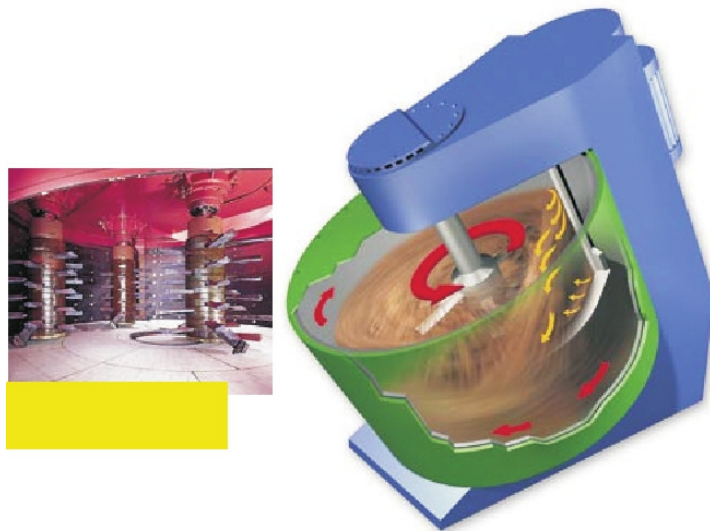


Figura 3.7 – Desenho esquemático de um misturador vertical com princípio de mistura Eirich e fotografia interna do misturador (Eirich).

Nas figuras 3.8 e 3.9 podem ser observadas as partes internas do misturador utilizado na planta de sinterização da CSA-RJ, tiradas durante período de manutenção.



Figura 3.8 – Parte interna do misturador (CSA/Outotec)



Figura 3.9 – Elementos misturadores (CSA/Outotec)

O fornecedor apresenta como vantagens para as plantas de pelotização o baixo consumo de ligantes, redução do consumo energético, maior resistência das pelotas verdes com baixa taxa de retorno, material com alta estabilidade e homogeneidade e alta confiabilidade com baixa manutenção.

Para as plantas de sinterização são apresentadas como vantagens, distribuição homogênea de todos os fundentes, alta capacidade da planta de sinterização, consumo de energia reduzido, sinter de alta qualidade, menor retorno de material, alta disponibilidade e permeabilidade constante na correia de sinter.

### **3.6. Estudo de caso**

#### **3.6.1. Lodige**

Na tabela 3.1 pode ser visto o resultado de um estudo realizado pela Lodige (fabricante de misturador horizontal) comparando misturadores verticais e horizontais. Nesta tabela

estão apresentados os resultados de uniformidade, onde pode ser verificada uma maior homogeneização no sistema horizontal.

Tabela 3.1 – Comparação da qualidade da mistura atingida por diferentes tipos de sistemas de mistura.

	Alimentação de concentrado de minério de ferro (t/h)	
	140	160
Vertical (uniformidade da mistura)	83.3%	87.1%
Horizontal (uniformidade da mistura)	98.1%	97.3%

Dentre os fatores informados pelo fornecedor Loedige para justificar a eficiência do seu equipamento, pode-se destacar que o projeto mais complexo do misturador vertical faz com que este sistema seja mais suscetível a falhas, em comparação com o sistema contínuo horizontal. Isto implica que, para o misturador horizontal é atingido um baixo índice de manutenção e conseqüente maior disponibilidade do equipamento.

### 3.6.2. Torex

É apresentado a seguir um teste realizado pela Torex (Rússia), um instituto científico independente, que trata de um comparativo de 3 linhas de pelotização, as quais possuem diferentes equipamentos e diferentes doses de mistura, a fim de determinar seus valores técnicos característicos.

#### **Testes comparativos realizados com diferentes amostras e equipamentos de mistura para determinar seus valores técnicos característicos**

Como um primeiro valor de referência uma tentativa foi feita para determinar os valores de funcionamento característicos dos dispositivos de alimentação, nas 3 linhas de produção em estudo, bem como a capacidade de mistura de seus misturadores.

Para ser capaz de avaliar a qualidade da mistura dos misturadores nas 3 linhas de produção, amostras foram tomadas após o misturador e analisadas em relação às suas características químicas. A capacidade de mistura foi determinada com base na variação da quantidade dos componentes (Fe, CaO) e o grau de uniformidade.

### **Avaliação do equipamento de alimentação das 3 linhas de produção**

O principal objetivo deste passo do estudo é verificar se a dosagem é estável e precisa. Isto é atingido através de uma operação eficiente de uma das etapas mais importantes que é o sistema de alimentação.

Para a avaliação da estabilidade de alimentação dos alimentadores das linhas de produção, o material foi pesado a partir dos transportadores de alimentação. A velocidade do transportador também foi devidamente medida. Os testes foram realizados nos seguintes alimentadores: "Ros Agro Export", "Schenk" e "Altausführung".

Na tabela 3.2 podem ser verificados os resultados consolidados da determinação de erro.

Tabela 3.2 Determinação do erro dos resultados consolidados

Linha/Alimentador	Taxa da Alimentação (t/h)		Desvio (%relativa)
	Instrumento de medição	Real	
1- RosAgroExport	140	146	4,3
2- Schenk	120	121	0,8
3- Altausführung	160	127	20,6

Os dados da tabela 3.2 mostram que o sistema de dosagem da alimentação na linha com o alimentador Schenk proporciona a operação mais estável. As leituras exibidas nos instrumentos de medição mostram a menor variação em relação ao material efetivamente alimentado. O sistema de dosagem da linha com o alimentador Altausführung mostra os mais elevados desvios. Portanto, o equipamento da Schenck foi considerado como o mais eficiente, com base nos testes realizados.

### **Ensaio comparativo dos misturadores das 3 linhas: Eirich, Loedige e SSch-120**

O misturador SSch-120 é um equipamento de fabricação russa, o qual utiliza duplo eixo misturador. Ressalta-se novamente que o processo de mistura dos insumos é uma das operações mais importantes para a pelotização. Apenas uma operação homogênea permite alcançar uma seqüência de pelotização estável e obter pelotas verdes de densidade e tamanho uniforme.

Neste estudo, um lote é considerado como sendo uma mistura de partículas, as quais possuem diferentes granulometrias, características mineralógicas e composição química. Mesmo quando misturado completamente, áreas com diferentes propriedades podem ser encontradas no lote. A falta de uniformidade de propriedades em áreas individuais dos lotes é devido a fatores naturais e tecnológicos. O efeito dos fatores tecnológicos pode ser amenizado principalmente pela melhoria da qualidade da dosagem e da mistura, condição que é ditada principalmente pelos equipamentos em uso. Uma diferenciação é feita entre micro-heterogeneidade do lote (não homogeneidade em uma escala pequena, uma massa de vários gramas) e macro heterogeneidade (falta de homogeneidade em grande escala, em uma massa de várias centenas de quilos). Neste ponto, deve-se avaliar a micro-homogeneidade com relação à qualidade da mistura e os misturadores existentes. Tanto a extensão do desvio padrão da taxa de alimentação e o grau de uniformidade podem servir como um valor de referência para a homogeneidade. Para definir o grau de homogeneidade dos componentes do lote como concentrado (pellet feed), calcário e bentonita, nos misturadores das 3 linhas, amostras dos lotes foram tomadas na descarga dos misturadores para análise química. Estas amostras foram tomadas em intervalos de 10 segundos.

Durante os testes, tabela 3.3, observou-se que as amostras apresentaram uma distinta mudança na faixa de seus componentes. Isto, no entanto, é especialmente notável na linha do misturador Eirich como um resultado da mistura pobre. A composição química mais estável foi encontrada na linha do misturador Loedige. A qualidade da mistura na linha do misturador SSch-120 aproximou-se da linha Eirich. Foi notado também que o desvio padrão máximo permaneceu constante, tanto com uma alimentação de concentrado de 140 t/h quanto com uma alimentação de concentrado de 160 t/h.

## Resultados obtidos pela Associação Torex

Na tabela 3.3 podem ser observados os resultados dos cálculos do grau de uniformidade para as 3 linhas de operação.

Tabela 3.3 - Resultados computacionais do grau de uniformidade (%)

Linha/Misturador	Alimentação de concentrado (t/h)	
	140 t/h	160 t/h
1- Eirich	83,3%	87,1%
2- Lodige	98,1%	97,3%
3- SSch-120	95,2%	96,3%

O exame das características de qualidade de pelotas verde, secas e tratadas termicamente como um grau indireto da qualidade da mistura não foi determinado a tempo para a publicação dos resultados. Para concluir, pode ser resumido que o misturador Eirich não conseguiu fornecer a mistura com a qualidade requerida. No entanto, esta conclusão não foi considerada como decisiva.

## 4. CONCLUSÕES

Após a análise dos dados dos trabalhos obtidos, pode-se observar que os testes comparativos entre os misturadores horizontais e verticais não podem ser considerados totalmente conclusivos.

Devido ao grande número de parâmetros envolvidos na análise destes equipamentos e destes processos como as várias condições de alimentação, inúmeras características físico-químicas dos componentes que compõem a mistura e de poucos dados disponíveis na literatura sobre este assunto, considera-se que somente um acompanhamento em longo prazo, em plantas semelhantes com misturadores diferentes, poderia levar a uma avaliação consistente sobre as eventuais vantagens de um equipamento sobre o outro.

## 5. BIBLIOGRAFIA

COSTA A. G. D., ROCHA J. M., BONFIOLI L., VIEIRA C. B. *Qualidade dos concentrados e pelotas de minério de ferro da Samarco Mineração S.A.* - Anais do XIV Seminário de Redução e Matérias Primas da ABM, Belo Horizonte, MG, 545-553, 1998.

COSTA, R. V. P. *Otimização da resistência à compressão de pelotas de minério de Ferro para redução direta pela aplicação de projeto robusto.* – Dissertação de mestrado – UFOP – Abril/2008.

Eirich – *Tecnologias de preparação de materiais para metalurgia* – Catálogo Técnico do fornecedor do equipamento, sem data.

Lodige – *Mixing and Processing Technology – Iron Ore Mixers* – References. Catálogo Técnico do fornecedor do equipamento, sem data.

LUZ, A. B, Oloveira, C.H. *Bentonita – Capítulo 10 – Rochas e Minerais Industriais: Usos e Especificações* – Rio de Janeiro – Novembro/2005.

MORRIS, R. C. *Supergene alteration of banded iron formation.* - In: Iron formation: Facts and problems. Amsterdam: Elseviers Science Publishers, 513-534, 1983.

MEYER, K. *Pelletizing of Iron Ores* - Springer - Verlag Berlin, Heidelberg, and Verlag Stahleissen mbH, Düsseldorf, Germany, 21-205, 1980.

TOREX – Independent Scientist Institute - *Execution of comprehensive comparative tests on pelletiser lines OM-2, which, amongst others, are fitted with various dosing and mixing equipment in order to determine their technical characteristic values.* – Russian Federation, Jekaterinburg, 2007.