

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**FABRÍCIO ALVARENGA DA SILVA**

**JADER JÚNIOR NÓBREGA DA SILVEIRA**

**ESTUDO COMPARATIVO DE BRITADORES DE MINÉRIO DE  
FERRO: DE MANDÍBULAS, DE MARTELOS E DE ROLOS**

Volta Redonda, 2019

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA**  
**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**  
**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**ESTUDO COMPARATIVO DE BRITADORES DE MINÉRIO DE  
FERRO: MANDÍBULA, MARTELO E ROLO**

Trabalho de conclusão de curso apresentada ao curso de engenharia mecânica do Unifoa como requisito parcial a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Alunos: Fabrício Alvarenga da Silva

Jader Júnior Nóbrega da  
Silveira

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Fernandes Habibe

Coorientador: Prof. Dr. Alexandre Alvarenga  
Palmeira

Volta Redonda, 2019

FOLHA DE  
APROVAÇÃO

Alunos

Fabício Alvarenga da Silva

Jader Júnior Nóbrega da Silveira

**ESTUDO COMPARATIVO DE BRITADORES DE MINÉRIO DE  
FERRO: DE MANDÍBULAS, DE MARTELOS E DE ROLOS**

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Fernandes Habibe

Coorientador: Prof. Dr. Alexandre Alvarenga Palmeira

Banca Examinadora

---

Prof. Dr. Alexandre Fernandes Habibe

---

Prof. Dr. Alexandre Alvarenga Palmeira

---

Prof. Esp. Antônio de Pádua Sobreira Leal

## Dedicatória

Dedicamos esse trabalho aos nossos familiares por todo suporte nos momentos de adversidade durante esses anos de curso.

## Agradecimentos

Primeiramente a Deus, que nos deu forças e energia para mais essa conquista. Aos nossos familiares, que sempre nos deram suporte para caminhar adiante. A todos que fizeram parte direta ou indiretamente da nossa formação, nossos mais sinceros agradecimentos. A secretária Cleidmar Araújo e aos professores Alexandre Fernandes Habibe, Alexandre Alvarenga Palmeira e Antônio de Pádua Sobreira Leal, por toda paciência, compreensão e boa vontade em nos auxiliar. A todos os professores que compartilharam experiências nessa longa caminhada.

## RESUMO

A área da mineração, beneficiamento de minério, britagem e moagem de minério de ferro são áreas muito estudadas pela engenharia. O presente trabalho busca comparar três tipos de britadores de minério para aplicação na britagem de minério de ferro, que são eles: o britador de rolo, o britador de martelo e o britador de mandíbula. Para cada britador analisado, existe um tipo de aplicação diferente, assim como o seu funcionamento varia de um modelo para outro. Foram selecionados, para cada um desses tipos de britadores alguns modelos específicos, e diante disso, foi feita uma análise em cada um desses modelos coletando dados como vida útil, facilidade de manutenção, aplicações, funcionamento e qualidade do produto final obtido. Terminado o estudo de cada tipo e modelo, foi selecionado como modelo comparativo um desses três tipos de britadores, que foi o britador de rolo da linha Metso modelo HCR800. Com o modelo comparativo analisado e escolhido, foi realizado um estudo mais aprofundado como o consumo de energia, custo de implantação, produto, custo de manutenção, desgaste e as principais vantagens e fragilidades.

Palavras chaves: mineração, beneficiamento, britadores.

## **ABSTRACT**

The area of mining, ore beneficiation, crushing and grinding of iron ore are areas much studied by engineering. The present work seeks to compare three types of ore crushers for application in iron ore crushing, which are: the roller crusher, the hammer crusher and the jaw crusher. For each crusher analyzed, there is a different type of application, as well as its operation varies from one model to another. For each of these types of crusher, specific models were selected, and an analysis was made on each of these models, collecting data such as useful life, ease of maintenance, applications, operation and quality of the final product obtained. After the study of each type and model, one of these three types of crushers was selected as the comparative model, which was the roller crusher of the Metso line model HCR800. With the comparative model analyzed and chosen, a more in-depth study was carried out, such as energy consumption, implantation cost, product, maintenance cost, wear and tear and the main advantages and weaknesses.

Keywords: mining, beneficiation, crushers.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	12
2 OBJETIVO .....	12
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	14
3.1 História da Mineração .....	14
3.1.1 Mineração no Brasil .....	15
3.1.2 Empresas mineradoras brasileiras.....	16
3.2 Métodos de Descoberta .....	17
3.3 Mineração do Minério de Ferro .....	18
3.3.1 Planejamento e desenvolvimento.....	18
3.3.2 Mineração aberta .....	19
3.3.3 Mineração subterrânea .....	22
3.3.4 Classificação dos resíduos de ferro .....	23
3.4 Beneficiamento do Minério de Ferro .....	24
3.5 Trituração, Peneiramento e Mistura .....	25
3.5.1 Trituração e peneiramento.....	25
3.5.2 Mistura .....	26
3.6 Processos de Concentração.....	27
3.6.1 Lavagem .....	27
3.6.2 Escavação .....	28
3.6.3 Flotação .....	29
3.6.4 Separação magnética.....	30
3.7 Processos de Aglomeração .....	32
3.7.1 Sinterização.....	34
3.7.2 Pelotização.....	38
3.7.3 Nodulização.....	44
3.7.4 Briquetagem.....	45
3.8 Britadores de Minério de Ferro.....	47
3.8.1 Britador de mandíbulas .....	47
3.8.2 Britador de martelos.....	49
3.8.3 Britadores de rolos .....	50
4 METODOLOGIA.....	522

	8
4.1 Levantamento de Dados .....	522
4.1.1 Britador de mandíbulas .....	522
4.1.2 Britador de rolos .....	522
4.1.3 Britador de martelos.....	522
4.2 Avaliação dos Modelos Construtivos .....	522
4.2.1 Britador de mandíbulas .....	522
4.2.2 Britador de rolos .....	533
4.2.3 Britador de martelos.....	533
4.3 Avaliação dos Sistemas de Produção/Aplicação .....	53
4.3.1 Britador de mandíbulas .....	53
4.3.2 Britador de rolos .....	544
4.3.3 Britador de martelos.....	544
4.4 Tabulamento de Características .....	54
4.5 Modelo Comparativo .....	555
5 ESTUDO DE CASO/MODELO COMPARATIVO.....	566
5.1 Energia .....	566
5.2 Custo de Implantação .....	566
5.3 Produto.....	566
5.4 Custo de Manutenção.....	566
5.5 Desgaste .....	577
5.6 Principais Vantagens e Fragilidades .....	577
6 CONCLUSÃO .....	588
BIBLIOGRAFIA.....	599

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mina de minério de ferro a céu aberto .....	19
Figura 2 - Pá de energia elétrica .....	20
Figura 3 - Pá de energia elétrica manipulando minério bruto de concentração.....	20
Figura 4 - Operação em mina subterrânea.....	22
Figura 5 - Ilustração do processo de beneficiamento do minério de ferro.....	25
Figura 6 - Sistema de lavagem de minério em uma peneira vibratória .....	28
Figura 7 - Escavação de minério de ferro industrial .....	29
Figura 8 - Processo de flotação de minerais .....	30
Figura 9 - Separação magnética do minério.....	31
Figura 10 - Processo de sinterização .....	34
Figura 11 - Refrigeradores de sinterização rotativos.....	36
Figura 12 - Diagrama esquemático do resfriador de sinterização do tipo eixo .....	37
Figura 13 - Diagrama de fluxo simplificado do processo de pelotização usando um método de grade de deslocamento.....	38
Figura 14 - Diagrama de fluxo esquemático do processo contínuo de sinterização do minério de ferro .....	41
Figura 15 - Diagrama esquemático do sistema de grelha de transporte para a produção de pelotas.....	42
Figura 16 - Diagrama esquemático do sistema de forno de eixo para a produção de pelotas.....	43
Figura 17 - Diagrama esquemático do sistema de grelha para a produção de pelotas .....	44
Figura 18 - Quatro tipos de aglomerados de minério de ferro .....	44
Figura 19 - Linha de briquetagem .....	45
Figura 20 - Diagrama esquemático do processo de briquetagem de minério quente.....	46
Figura 21 - Britador mandíbula.....	48
Figura 22 - Britador martelo.....	50
Figura 23 - Britador rolo .....	51

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Principais reservas potenciais de minério de ferro .....	15
Tabela 2 - Teor de alguns elementos encontrados no minério de ferro .....	24
Tabela 3 - Tabulamento de características dos britadores.....	54

**LISTA DE ABREVIATURAS**

ROM – *Run of Mine*

ASTM – *American Society for Testing and Materials*

## 1 INTRODUÇÃO

Desde a era dos primeiros homens, o ferro é utilizado como ferramentas de trabalho, caça entre outras funções, mas, obviamente, não era nem de longe o ferro que conhecemos hoje em dia. Com o decorrer do tempo esse material se tornou cada vez mais importante a cada ano que se passava tornando-se, inclusive, moeda de troca.

Com o início da revolução industrial, a demanda de minério de ferro bem como de novas tecnologias de extração e de enriquecimento da qualidade do mesmo alavancou de uma forma exorbitante e isso fez com que o mundo olhasse a importância desse material com cada vez mais carinho.

Os minérios de ferro são rochas a partir das quais pode ser obtido ferro metálico de maneira economicamente viável e é encontrado na natureza geralmente sob a forma de óxidos, como a magnetita e a hematita ou ainda como um carbonato, a siderita.

O processo de transformação desses minérios em ferro consiste na colocação de minério de ferro, carvão e calcário (carbonato de cálcio) no alto-forno elevando-o até sua temperatura de fusão porém, o minério virgem conforme é encontrado na natureza não é o correto para o processo, fazendo com que seja necessária a britagem do minério até que o mesmo se encontre em condições de trabalho.

Existem vários tipos de britadores sendo cada um deles específico para uma etapa do processo de britagem, dependendo do tamanho do grão do minério entre outros aspectos.

## 2 OBJETIVO

Esse trabalho de conclusão de curso tem por objetivo a comparação bem como a análise de britadores e de seus processos de britagem de minério de ferro, onde foram analisados três tipos de britadores, sendo eles o britador de mandíbulas, o britador de martelos e o britador de rolos. Serão comparados os métodos de produção, suas variáveis, as aplicações e os seus dados de processo para cada um desses modelos de britadores.

As comparações são para definir qual britador será usado para uma

granulometria de minério um pouco maior, mas ao mesmo tempo analisando as condições de operação do britador visando escolher um modelo com menor custo de manutenção e instalação e com alta produtividade.

## **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 História da Mineração**

Um material que sempre foi considerado de extrema importância tanto na era dos homens primitivos, quanto nos dias atuais, é o minério de ferro, sendo ele cada vez mais importante atualmente, pois, a maioria das coisas, para sua construção e fabricação, possui em sua composição o minério de ferro. É de se perder de vista sua vasta utilização, mas podemos dar como exemplo, sua grande utilização nas siderurgias para fabricação do aço que é utilizado na fabricação de estruturas de casas, na fabricação dos automóveis, nos talheres, objetos utilizados por nós no dia à dia para nossa alimentação, alguns móveis residenciais, eletrodomésticos, etc.

Desde os primórdios, provavelmente, na era dos homens primitivos, usava-se pedaços de meteoritos, recolhidos pelas tribos seminômades dos desertos da Ásia menor, para serem utilizados na fabricação de seus artefatos, como por exemplo, na Groenlândia, foram descobertas facas primitivas feitas de pedaços de meteorito. Não é possível saber exatamente a origem da mineração do minério de ferro embora tudo indique que foi por volta de 6000 à 4000 A.C, quando, possivelmente, o primeiro ferro reduzido a partir do minério tenha sido obtido acidentalmente ao se fundir cobre com excesso de carvão de. Com o passar do tempo, o ferro começou a ser utilizado com mais frequência, descobrindo-se uma forma de extraí-lo, sendo aquecido em fornos primitivos. Em torno de 1500 a.C. a exploração de jazidas começou a ser mais regular no Oriente Médio onde o material teria sido importado por assírios e fenícios (Manual de Siderurgia, Luiz Antonio de Araujo, 2ª Edição Vol 01).

Devido á necessidade de se produzir em uma escala um pouco maior e ao avanço da tecnologia na Idade do Ferro, os utensílios e armas fabricados com bronze foram substituídos pelo ferro por volta de 1200 a.C. na Europa e no Oriente Médio, já na China, essa substituição ocorreu por volta de 600 a.C. A utilização do ferro promoveu drásticas mudanças na sociedade como na agricultura que pôde ser desenvolvida com maior rapidez devido aos novos utensílios e equipamentos fabricados e na produção de armas mais sofisticadas o que possibilitou a expansão territorial de diversos povos (Manual de Siderurgia, Luiz Antonio de Araujo 2ª Edição Vol 01).

Os maiores produtores mundiais que se destacam na produção do minério de ferro (dados de 2006) são a China, Brasil, Austrália, Índia, Rússia, Ucrânia, África do Sul, Irã, Canadá e Estados Unidos, o Reino Unido na época das duas primeiras Revoluções Industriais, era um dos maiores produtores do minério de ferro, mas as jazidas aos poucos vem se esgotando, porém não antes da Década de 1960. O crescimento do consumo do minério de ferro subiu cerca de 11% a cada ano, e os consumidores que mais se destacam são a China, Japão, Coreia, Estados Unidos e a União Européia.

De acordo com Chiaverini (1986), na tabela 1 temos as maiores reservas conhecidas e potenciais de minério de ferro:

Tabela 1 - Principais reservas potenciais de minério de ferro

País	Reservas conhecidas		Reservas potenciais	
	milhões de t	teor de Fe, %	milhões de t	teor de Fe, %
EUA	4.925	22-60	73.940	22-57
Canadá	10.997	30-65	19.030	30-38
Brasil	37.757	54-70	15.557	53-70
Venezuela	2.000	63-68	—	—
França	8.017	30-42	—	—
Alemanha	1.500	27	1.660	27
Espanha	1.240	48-53	1.223	48-53
Suécia	3.370	32-61	—	—
Inglaterra	3.162	20-56	—	—
África do Sul	8.600	40-60	grandes	40-60
Índia	7.239	39-69	2.130	29-69
Austrália	1.000	62-64	—	—

Fonte: Chiaverini (1986)

### 3.1.1 Mineração no Brasil

Por volta do século XVI, logo após a chegada e consequentemente colonização dos portugueses do território brasileiro se deu o início das primeiras extrações do minério de ferro do Brasil. Os primeiros minérios extraídos pelos portugueses foram o ouro, diamante, a prata e o ferro, que foi uma atividade

extremamente lucrativa para os portugueses com isso fez com que essa atividade tivesse diversos investimentos de empresas estrangeiras para aprimorar os métodos de mineração e fazer com que haja uma exploração melhor do minério de ferro.

No Brasil, o minério de ferro é extraído principalmente em três áreas, que são elas:

- Quadrilátero Central, conhecido também como Ferrífero, localizada no Estado de Minas Gerais que é responsável pela extração e produção em grande parte, do manganês e do minério de ferro. Esta região também é conhecida por produzir bauxita e cassiterita em quantidades não tão expressivas;
- Maciço do Urucum, localizada no Estado do Mato Grosso do Sul, as margens do rio Paraguai, no Pantanal, que produz minério de ferro e manganês;
- Serra dos Carajás, localizada no Estado do Pará. Carajás se tornou destaque na década de 60 quando foi descoberto e considerado o maior território mineral do planeta, com uma grande abundância de minério de ferro e de outros minerais como cobre, estanho, níquel e ouro. Considerado o minério de melhor qualidade de todo o mundo tendo início em 1985.

Com o fruto desta jazida de minério de ferro o Brasil se tornou um dos principais extratores do mundo alternando seu posicionamento com a China e com a Austrália, porém, a qualidade do minério de ferro destes países são inferiores a do Brasil.

### **3.1.2 Empresas mineradoras brasileiras**

A mineração tem um importante papel na economia e no desenvolvimento do Brasil. Ela é responsável por levantar a economia nacional, as empresas que trabalham no setor da mineração no Brasil empregam milhares de cidadãos.

As maiores empresas que extraem e produzem o minério de ferro no Brasil são:

- Vale – Responsável por mais de 80% da produção nacional;
- Samarco – Com pouco mais de 6%;
- CSN – Com pouco mais de 5%;
- MMX – Com aproximados 2%;

- Usiminas – Com menos de 2%.

### 3.2 Métodos de Descoberta

Apresentar técnicas geofísicas e instrumentação; métodos de amostragem; procedimentos de perfuração; e alguns métodos de investigação geológica serão discutidos aqui, mas apenas quando se aplicam à busca de minério de ferro.

A exploração do minério de ferro vem a ter uma integralização com a ciência da geofísica sendo consideravelmente um dispositivo que viabiliza informações utilizadas por mapeamento geológico, tendo perfuração, estudos petrográficos, avaliação de análise minério e testes de tratamento.

Depósitos significativos emergiram, podendo ser citado como exemplo os localizados em regiões do Lago Superior apontados nas imediações entre Negaunee, Michigan, a reconhecimento de minério e formação de ferro facilitou a atenção, servindo para inúmeras faixas de ferro. Aqueles que não eram emergentes, enterrados, ao ter levantamentos de solo servido para identificar alternâncias de campos magnéticos da Terra, utilizando agulha de imersão simples ou “Super Mergulho”, ambas competentes na achada de depósitos compondo-se de minério de ferro contendo magnetita. A Cordilheira de Cuyuna, vem a ter seu minério de ferro reprimido sob a deriva glacial sendo assim, não houveram excessos, onde somente ocorreu a descoberta por pesquisa com agulhas de mergulho, sendo um importante exemplo.

A maior sensibilidade e conveniência de operação dos magnetômetros modernos praticamente retiraram a agulha de imersão do emprego prático na exploração de minério de ferro. A operação dos magnetômetros modernos com esta finalidade transpôs por diversos períodos de desenvolvimento ocorrendo em forma conhecida como magnetômetros, sendo balanceado, tipo torção e fluxo de porta, chamados de “sofisticados”, projetado e elaborado no ramo da física atômica, onde vem a ser vapor de rubídio e de precessão de prótons.

Os magnetômetros supracitados, especificam a força do campo magnético da terra ou, em estabelecido local, seu componente vertical. A terra possui um campo muito fraco, contendo variações entre 0,7 nos pólos magnéticos á 0,25 oersted em certos pontos do equador magnético. Apontada em estudos geomagnéticos, esta força é mensurada em uma unidade muito menor que a aplicada, sendo a gama

0,00001. A terra não dispõe de um campo magnético uniforme, manifesta irregularidades regionais em grandes proporções devido a variações de formação da crosta terrestre e manto superior. Sendo ocasionados em pequenas proporções resultam em distúrbios magnéticos por acúmulo de material magnético estando adjunta a superfície fazendo com que estas sejam a busca do minério.

### **3.3 Mineração do Minério de Ferro**

#### **3.3.1 Planejamento e desenvolvimento**

Ao passar pela fase de exploração que fôra supracitada, podemos definir o tamanho, ocorrência geral e forma que o minério de ferro é depositado. À partir do progresso de uma mina poderá se ter o conhecimento com um maior detalhamento e com estes sendo consideráveis, terá a posição e natureza das estruturas geológicas afetando a distribuição e disponibilidade do minério. Presentemente, depósitos com um insignificante teor de ferro vem a ser beneficiados com a exploração sendo produzido um produto de embarque aceitável. São feitos testes com amostras de perfuração, agregando com resultados da planta piloto, empregados para estipular a economia do tratamento de minério.

Posteriormente ao detalhamento das informações sendo eficazes, contêm planos operacionais sendo pesquisados e estudados com ajuda de mapas e seções preparadas para este propósito. Indicam a forma do corpo do minério e tamanho, composições de minério bruto e resultados do teste laboratorial. Após gráficos, uma extensa variedade de minérios e resíduos são estabelecidas por aplicação de elementos de ponderação volumétrica. Para a preparação de deduções de tonelagem e planos detalhados são usados frequentemente sistemas computacionais. Com o uso deste mecanismo são realizadas avaliações comparando inúmeros métodos para a mineração e para planos que podem ser realizados, determinando o plano mais suscetível para depósitos particulares e programando a mineração do depósito.

A forma como será feita a extração de um corpo de minério, podendo ocorrer por métodos subterrâneos ou a céu aberto, decorre da posição em relação à superfície, altitude e forma. Habitualmente aqueles corpos com maior fundura que

vem a necessitar de uma mineração subterrânea, são apresentados somente de forma limitada pela perfuração da superfície.

Sendo assim, a perfuração superficial deverá constatar uma economia operacional que seja favorável, então poços são afundados tendo uma maior precisão na perfuração de galerias subterrâneas ou desvios.

### 3.3.2 Mineração aberta

A mineração a céu aberto proporciona uma operação com custos de menor valor, sendo aplicada em relação de sobrecarga, sendo consolidada ou não, fazendo com que não exceda um limite econômico. A maioria das minas de grande porte pelo mundo, com a exceção da Europa Ocidental, utiliza a captação pelo método a céu aberto. As figuras 1, 2 e 3 mostram exemplos de mineração a céu aberto da Cordilheira Mesabi.



Figura 1 - Mina de minério de ferro a céu aberto (Fonte: USS - United States Steel)



Figura 2 - Pá de energia elétrica (Fonte: USS - United States Steel)



Figura 3 - Pá de energia elétrica manipulando minério bruto de concentração (Fonte: USS - United States Steel)

O limite de profundidade que pode realizar a mineração a céu aberto submete-se a natureza da sobrecarga, tendo também a taxa de extração e quantidade de sobrecarga para manejar cada unidade de minério a ser retirado. Existindo uma variação econômica na taxa de extração, contendo variações entre

minas e distritos, o valor chegando a 6 ou 7 para 1, ao mesmo tempo que, com o taconito, uma taxa de decapegem de menos,  $\frac{1}{2}$  a 1 pode ser necessária.

Sobrecarga ou decapegem pode vir a ser baseado em material incolidado, rocha ou material de minério magro. No processo a céu aberto, a sobrecarga poderá ser retirada durante muito tempo, isso se dá através da retirada da parede da cava que vem a ser aprofundada e com isso tem uma recuperação do minério que esta localizado no fundo. As escavações de materiais não consolidados são executadas por pás mecânicas, *draglines*, raspadores de energia, sendo hidráulica ou por material hidráulico, relevando condições da região, e normalmente a escavação é realizada por pás mecânicas.

Precisam de serem operados por equipamentos de mineração e instalações de beneficiamento e com isso esta divisão é desempenhada com perfuração e detonação, sendo feito assim há uma soltura de bancos de minérios que estão à frente de pás elétricas e desse modo ocorre um aumento da efetividade do carregamento.

O minério de ferro é carregado por pás elétricas equipadas com baldes com capacidade de um metro cúbico a dez metros cúbicos. Sendo transportado para fora do poço por vagões ferroviários, caminhões, caminhões-reboques, transportadores de correia, talhas, ou combinações destes, para uma doca de carregamento para transportar para uma planta de britagem precisando de uma redução de tamanho, logo após irá ser levado a uma usina de peneiramento para dimensionamento ou a uma instalação concentradora para tratamento por lavagem (classificação de tamanho úmido e rejeição de rejeito) ou por concentração de gravidade.

A mineração de taconito por ser relevantemente dura evidencia certos problemas de modo especial e com isso requer uma detonação e perfuração com utensílios capacitados e fortes, daqueles que são utilizados em minérios mais oxidados. Além de que, seu teor de ferro é bem baixo, sendo assim, precisa da extração de duas a quatro vezes mais para se atingir o teor mineral de outros depósitos com valores elevados.

A água na maioria dos casos não vem a ser bem-vinda na mineração, somente em casos raros, como por exemplo, quando ocorrer uma mineração no pico de uma colina ou em casos que não se tenha água, sendo em casos de desertos, sendo assim, a coleta deverá ser feita em poços e com isso deverá ter o

bombeamento para o lado externo da mina. Essa drenagem tem a função de repor a água em operações de concentração.

### 3.3.3 Mineração subterrânea

A taxa de decapagem pode chegar a valores salientes, ocorrendo isso, poderá ocorrer uma troca na mineração a céu aberto e passando para a subterrânea. Na maior parte, os acessos a minas subterrâneas se dão através de poços verticais que já são afundados e adjacentes ao depósito, porém, relativamente, à distância segura, para que evite efeitos de subsidências resultantes das operações. Aqueles poços inclinados estão sendo utilizados ainda e minérios ainda são retirados através de adições conduzidas de bancos e encostas ao ar livre. A imagem 4 ilustra esse tipo de mineração.



Figura 4 - Operação em mina subterrânea (Fonte: adaptado de [www.minacaraiba.com](http://www.minacaraiba.com))

Os investimentos de capital em minerações subterrâneas reivindicam um

maior investimento do que a mineração a céu aberto, pois, depende de uma estrutura de túneis e poços que são caros, precisa-se também de transportes subterrâneos e de trabalho de desenvolvimento e instalações de bombeamento elaboradas. Com tudo isso, em apenas um dia de mineração é somente uma fração que se tem com a mineração a céu aberto, a mesmo tempo que, os custos de utensílios utilizados são bastante elevado.

Nas operações em minerações subterrâneas, são inclusos diversos mecanismos a serem utilizados, dentre eles, temos alguns mais comuns que estão em ordem progressiva de valores, como por exemplo, cavitação de bloco, parada de nível inferior, desmoronamento de nível inferior, fatiamento superior e por fim, modificações ou combinações. Os supracitados utilizam os mesmos procedimentos que são eles, o início com a perfuração, jateamento, locomoções no interior da mina feito por ferrovias, transportes feitos por carros sem trilhos, raspadores ou esteiras transportadoras, fazendo com que sejam içados para o exterior. Ao chegar a parte superior da mina, esse minério poderá a ser triturado, dimensionado ou concentrado antes do traslado.

Normalmente, com o valor mais elevado originado da mineração subterrânea tem uma limitação a minérios que exigem apenas britagem ou dimensionamento, minérios especiais como minério granulado de forno aberto ou minérios de baixa qualidade, estão em localidades que não elevam os custos com o deslocamento.

### **3.3.4 Classificação dos resíduos de ferro**

A abrangente variedade de práticas de fornos, para a fabricação de ferro tem a necessidade que seja uma mistura de minérios naturais fazendo com que se tenha especificações físicas e químicas.

Aqueles lugares em que tem produção de minério de ferro, esses são classificados precisando atenderem demandas do forno em composição e estrutura química particular e uniforme.

A uniformidade é tão importante que em certos pontos para a produção e consumo foram implantadas instalações para a mistura do minério, contendo camadas sistemáticas em estoques tendo também a recuperação para embarque ou consumo através de corte transversal das camadas que vem a ser conhecido como

“empilhamento e recuperação”.

Elementos de classificação de minérios vem a ser o teor de ferro, teor de sílica, fósforo, manganês e o alumínio. Minérios que estão com um teor de calcário grande se auto-fundem.

A seguir na tabela 2 encontram-se alguns dados dos rejeitos encontrados no minério de ferro.

Tabela 2 - Teor de alguns elementos encontrados no minério de ferro

Tamanho (µm)	% S	Teores (%)									Distribuição (%)	
		Fe	SiO <sub>2</sub>	P	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	PPC	Fe	SiO <sub>2</sub>
105	34,9	29,78	57,3	0,01	0,24	0,02	0,029	0,007	0,036	0,22	30,0	40,78
-31	27,9	32,12	53,8	0,01	0,33	0,02	0,032	0,012	0,028	0,31	25,9	30,61
-36	20,9	37,98	44,5	0,02	0,74	0,07	0,042	0,025	0,111	0,53	22,9	18,97
-38	16,3	45,19	29,04	0,04	3,66	0,10	0,053	0,075	0,255	1,92	21,3	9,65
Total recalculado		35,34	48,02	0,02	0,95	0,04	0,040	0,02	0,080	0,61	100,0	100,0

Fonte: adaptado de [www.scielo.br](http://www.scielo.br)

Enxofre, cobre, níquel, titânio e outros elementos precisam de atenção e monitoramento de perto pelas áreas produtoras. Normalmente, precificam olhando o teor de ferro natural, que nada mais é que uma antecipação antes que aquela umidade ali contida seja removida. Podendo ter práticas diferentes em cada mercado espalhado pelo mundo.

### 3.4 Beneficiamento do Minério de Ferro

“Beneficiamento” seriam todos os itens utilizados com o intuito de melhorar todas as suas características químicas ou físicas, com a intuição de levá-lo ao alto forno. Dispositivos esses em que estão inclusos a trituração, triagem, mistura, moagem, concentração, classificação e aglomeração.

Com tudo isso existe diferença de um minério ao outro, com relação a estrutura, sendo assim, esses métodos são variados a cada diferença. Deste modo, precisa se de descrição breve de beneficiamento de tipos de minérios e não se deve generalizar.



Figura 5 - Ilustração do processo de beneficiamento do minério de ferro (Fonte: adaptado de slideplayer.com.br)

### 3.5 Trituração, Peneiramento e Mistura

#### 3.5.1 Trituração e peneiramento

O minério de ferro que está em minas com produção a céu aberto pode ter seu manuseio dificultado quando estiver em blocos avantajados, visto que, para cima de certos tamanhos tem uma limitação para passagem do calor, sendo reduzidos bem lentamente no processo do alto-forno, levando a problemas operacionais. Sendo assim, para a comercialização esses minérios são selecionados em uma tela de escalpelamento anterior ao embarque. O minério que está com uma grande proporção de umidade, o material subdimensionado das telas de escalpelamento podendo ser seco antes do embarque ou, podendo ser sinterizado, que serve para a retirada de umidade também servindo para melhorar estrutura do elemento.

O minério granulado, conhecido como minério *run-of-mine* (ROM), sendo ele

peneirado, inclusive várias vezes, fazendo a divisão do minério em frações de tamanhos, muitas, sendo separadas podem ser enviadas como tal ou aglomeradas antes do embarque.

O minério de lavagem complexo, é um minério de beneficiamento, que vem a ser tratado; após extraído passa por uma peneira de escalpelamento onde remove aquela rocha grosseira que está pobre em ferro que é descartada. Esse material que saiu subdimensionado passa pela tela de lavagem, e com o tamanho da tela grande porém o tritura fazendo com que tenha a liberação do material silicioso que é incrustado em pedaços ou que fica mantido entre o minério antes de uma segunda lavagem em tela.

Tem um classificador mecânico que trata um tamanho menor, saindo o rejeito fino ou subdimensionado sendo descartado. Logo após tem a junção entre a lavagem da segunda tela e do classificador mecânico devendo ser enviado, o nome dado é *oversize*.

### **3.5.2 Mistura**

A mistura nada mais é que um programa em minas individuais que necessitam de uma configuração precisando de uma produção uniforme.

Há momentos que é interessante misturar minérios com tamanhos e composições diferentes, essa operação pode vir a ser realizada no manuseio, no transporte até o ponto para a aplicação, ou podendo ter instalações empregadas com misturas especiais.

As diferentes características e composições do minério de ferro tem a possibilidade de serem misturadas se tornando uma composição mais uniforme, e dá-se o nome de empilhamento e recuperação; o sistema Robbins-Messiter exemplifica, ao ser conduzido da fábrica, o minério vem pela estação ferroviária, uma máquina faz o empilhamento do mesmo e chama-se empilhadeira, este processo tem a consequência em “camadas”, sendo assim, em cada camada o minério poderá diferir tanto no tamanho quanto em composição química de camadas em conjunto. A pilha de minério precisa de altura limitada.

Para a recuperação do minério, tem um ancinho inclinado conduzido de um lado a outro, horizontalmente, em oposição a face de uma extremidade da pilha, em

contato com o leito do minério. Os 'dentes' do ancinho despregam o minério fazendo com que seja transportado de maneira transversal do tipo raspador, sendo localizado abaixo do ancinho.

O raspador é aquele que transfere o minério para o transportador de correia deslocando o minério recuperado para o processo de peneiramento.

A operação de recuperação feita pelo ancinho é contínua. Esta operação possui uma resultância de quantidade pequena, vindo a ser misturada, ocorrendo o declínio do material solto, transposto em cruz e despejado no transportador de jateamento.

## **3.6 Processos de Concentração**

### **3.6.1 Lavagem**

Lavar é uma forma de concentração que utiliza as diferenças na gravidade específica dos valiosos minerais de ferro e ganga para separar os dois. Numerosos tipos de arruelas são empregadas na concentração de minérios de ferro, elas podem ser divididas em arruelas de triagem e arruelas de classificação. Aplicada aos minérios de ferro, a lavagem remove a argila e a areia finas suspendendo esses materiais indesejáveis em uma corrente de água que os transporta para fora da lavadora, enquanto os minerais de ferro mais pesados afundam no fundo do vaso separador e são removidos como um concentrado. As lavadoras de toras têm sido as máquinas mais comuns usadas para lavar minérios de ferro contendo uma quantidade mínima de ganga de argila pegajosa. Os classificadores de assentamento impedido de vários tipos também têm sido utilizados vantajosamente para a lavagem de minérios de ferro de tamanhos mais finos, que são alimentações normais para lavadoras de toras e classificadores de ancinho ou espiral. Lavadoras de corrente vertical e lavadoras turbo também foram empregadas. A figura 6 ilustra este processo.



Figura 6 - Sistema de lavagem de minério em uma peneira vibratória (Fonte: adaptado de [www.fluidjet.com.br](http://www.fluidjet.com.br))

### 3.6.2 Escavação

A escavação é uma forma mais complexa de beneficiamento do que lavagem simples, e envolve a estratificação de partículas de minério e ganga, submetendo o minério bruto a alternar para cima e para baixo com pulsações de água. A ganga transborda o gabarito, enquanto as partículas de minério são removidas como um produto de baixo fluxo, periodicamente ou continuamente, demonstrada na figura 7.



Figura 7 - Escavação de minério de ferro industrial (Fonte: adaptado de br.depositphotos.com)

### 3.6.3 Flotação

Os processos de flotação operam com base no princípio de que adições de suspensões de partículas finas de minerais de ferro e suspensões líquidas de partículas finas de minérios de ferro e ganga processados pela moagem do minério de ferro causarão uma classe de minerais ou outro exibindo uma afinidade pelo ar, conforme demonstrado na figura 8. Os minerais que possuem esta afinidade, portanto, aderem às bolhas produzidas pela passagem de ar através da suspensão, e são removidos como um produto de espuma. As substâncias adicionadas para promover a afinidade preferencial dos minerais por bolhas são chamadas de coletores, que são substâncias adicionadas para promover formação de espuma (para estabilizar bolhas), espumantes claurados. Outras substâncias adicionadas para fins de controle são chamadas de modificadores.



Figura 8 - Processo de flotação de minerais (Fonte: adaptado de [www.minasjr.com.br](http://www.minasjr.com.br))

Os processos de flotação se dividem em dois tipos: aniônico e catiônico. Dos processos catiônicos para o beneficiamento do minério de ferro, não houve nenhum relato com relação a sua aplicação.

O tipo de processo aniônico utiliza coletores que ionizam em solução para produzir um íon coletor que é carregado negativamente; alguns exemplos são ácidos graxos, ácidos de resina, sabões, sulfatos de alquilo ou sulfonatos. Plantas comerciais concentrando hematita specular empregam reagentes do tipo sabão em soluções alcalinas para flotação.

#### **3.6.4 Separação magnética**

Em princípio, esse é um dos mais simples de todos os métodos de beneficiamento; no entanto, uma combinação de problemas técnicos e práticos se combina para adicionar complexidade às instalações de separação magnética. Partículas finas de magnetita quando expostas a um campo magnético forte tendem a se tornar fortemente floculadas e quando a magnetita fina está sendo separada magneticamente de partículas finas de resíduos, alguns resíduos inevitavelmente ficam fisicamente presos em flocos de magnetita. Para eliminar este lixo retido, a

magnetita deve ser desmagnetizada e a separação repetida. Esta prática é aceitável, no entanto, porque a separação magnética é um processo barato comparado às operações de britagem e moagem que a precedem. Além disso, geralmente é preferível prever a eliminação de partículas residuais após a menor quantidade possível de moagem e, assim, quase todas as folhas mostram folhas de separação e de floculação reaquecidas em qualquer densidade específica, e duas ou mais dessas etapas separadas por moagem e classificação de operações. Este processo é ilustrado na figura 9.



Figura 9 - Separação magnética do minério (Fonte: adaptado de [www.italpro.com.br](http://www.italpro.com.br))

A maioria das plantas contemporâneas emprega separadores magnéticos para separar a magnetita natural de uma variedade de minerais menos magnéticos ou não magnéticos, e as separações são geralmente feitas em suspensões de água. O equipamento usado pode ser amplamente definido como separadores úmidos de baixa intensidade, como o dispositivo de tambor. Neste tipo de máquina, as partículas de magnetita são atraídas e mantidas contra a superfície do tambor rotativo até serem retidas no campo magnético. A magnetita é então transferida da superfície do tambor para um receptor concentrado apropriado. Às vezes, dois

tambores são empregados em série na mesma máquina. Em outros dispositivos essencialmente os mesmos princípios são aplicados, mas com aparelhos diferentes. Por exemplo, uma correia de borracha pode ser usada no lugar do tambor, os ímãs permanentes podem substituir os eletroímãs (e de fato estão se tornando mais populares à medida que novos e mais fortes ímãs são desenvolvidos), e diferentes sistemas de alimentação e descarga podem ser usados.

Os sistemas secos de separação de baixa intensidade não têm sido tão amplamente aplicados como sistemas úmidos, principalmente porque a presença de água é altamente vantajosa como um agente para liberar partículas não-magnéticas finas para fora do campo magnético. Recentemente, no entanto, foram desenvolvidos separadores a seco nos quais as partículas magnéticas são mantidas em um campo magnético alternado. Sob essas condições, as partículas individuais de magnetita giram independentemente em resposta à alternância de campo, e partículas finas não magnéticas têm uma grande oportunidade de se soltar e se separar. Como com os separadores úmidos, numerosos separadores a seco estão disponíveis, suas diferenças estão, em grande parte, em características como os mecanismos usados para transportar as partículas magnéticas, os tipos de ímãs e arranjos empregados, e variações nas posições dos vários estágios de separação empregados. Máquinas deste tipo podem encontrar maior uso em clima desértico ou subtropical, onde existem problemas de abastecimento de água e congelamento.

Separadores magnéticos de alta intensidade também foram desenvolvidos recentemente para separar hematita de minerais de baixa suscetibilidade magnética. Ambos os dispositivos secos e molhados foram desenvolvidos, mas até agora apenas as unidades secas foram aplicadas comercialmente e estas apenas de forma limitada. Nestas máquinas a hematita permanece em um campo magnético intenso criado por eletroímãs. Estes dispositivos têm inúmeras desvantagens, no entanto, incluindo alto custo e baixa capacidade em comparação com outros métodos de recuperação de hematita.

### **3.7 Processos de Aglomeração**

O alto-forno vem a ser um reator sólido-gás que em contra corrente, materiais de peso sólidos movimentam-se para baixo em contrapartida, os gases redutores

quentes fluem da parte inferior para a parte superior.

O contato entre os sólidos e o gás de redução alcançado por uma carga permeável concedendo uma alta taxa de fluxo de gás, ademais, um fluxo uniforme de gás com um mínimo de canalização do gás.

A função da aglomeração deve ser aprimorada com a permeabilidade da carga e o contato do gás-sólido, desse modo, existe uma redução nas taxas de coque do alto-forno e um aumento de taxa de redução. A segunda ponderação é o acolhimento de material fino soprado do alto forno para o sistema de recuperação de gás. Os materiais aglomerados, que estão em fornos siderúrgicos que detêm a composição química adequada, substituem minérios granulados que são utilizados como carga e minérios de alimentação.

O aglomerado com execução no alto-forno precisa de 60% de ferro ou mais, um mínimo de material com menos de 0,00635 m de tamanho e um mínimo de material maior que 0,0127 m.

A substância mencionada é fundamental que tenha suporte e seja resistente a degradação a acumulação, até sua chegada ao forno, com aproximadamente 85 a 90% de mais material de 0,00635 m. Ademais, precisa suportar elevação de temperatura e degradação no interior do forno, sem decair ou desfazer, devendo ser redutível para que tenha uma taxa elevada de redução no alto-forno.

Os aglomerados têm propriedades, porém não são expressamente estipulados como a forma preferida, tamanho mais adequado dentro da faixa de 0,00635 a 0,0254 m; força mínima exigida; e estrutura mineralógica mais desejável.

Houve o desenvolvimento em quatro processos vitais, sendo eles, sinterização, pelletização, briquetagem e nodulização. Conhecidos por seus produtos individuais como: sinter, pelotas, briquetes e nódulos. Por causa das características especiais possuídas pelos dois primeiros processos, parece haver um lugar definido para cada um.

Hoje em dia, existem diversos recursos para a aglomerar minérios finos, concentrados e outros materiais, necessitando de uma avaliação anterior e estudado o caso para identificar se comportará a todos os materiais.

Extrusão e nodulização são dois processos que não foram aceitos no ramo, apesar disso, minérios finos vieram a serem aglomerados por extrusão e também por métodos de redução direta em leitos fluidizados.

### 3.7.1 Sinterização

Nada mais é que o processo de queimar um combustível com alta proporção de cinzas estando sob controle, conforme demonstrado na figura 10. Existindo uma flexibilidade e permitindo conversão de diversos materiais, dentre eles minérios naturalmente finos e finos de minério, operações de peneiramento, poeira de combustão, minério concentrado e outros materiais contendo ferro de tamanho de partícula extremamente pequeno em uma forma granular relativamente grossa que é bem adequado para uso no alto-forno.

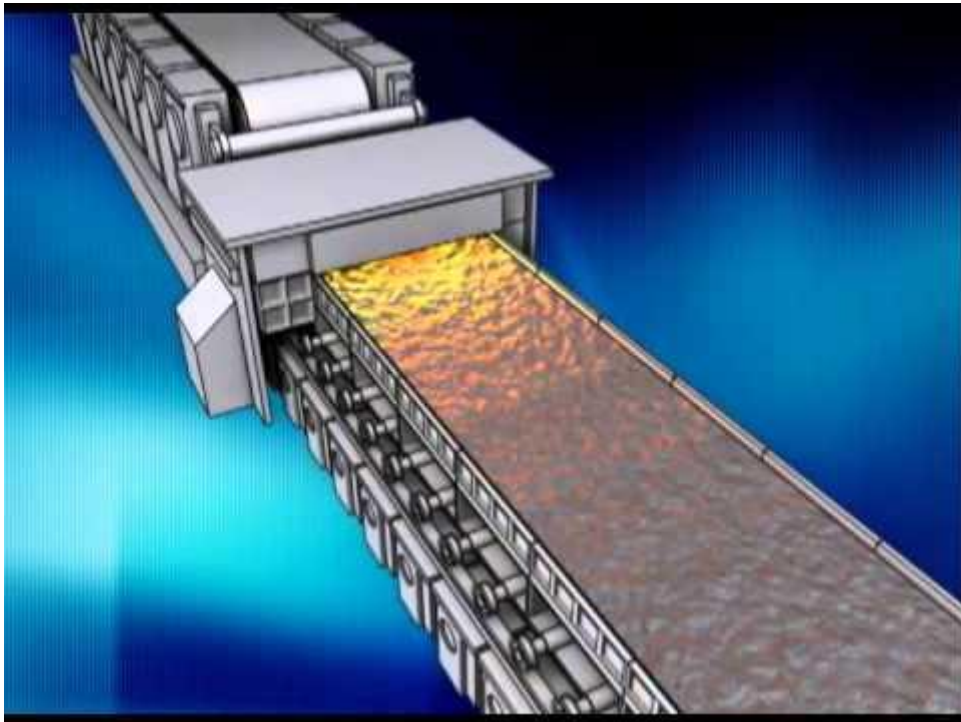


Figura 10 - Processo de sinterização (Fonte: adaptado de telecurso 2000)

Este processo é feito em uma grade móvel que transmite um leito de finos de minério ou de algum outro elemento do ferro, sendo juntado com 5% de combustível que é finamente dividido, parecido como a brisa de coque ou antracito.

A parte da extremidade é incendiada por gás queimadores fazendo com que ao momento que a mistura move-se na grade, o ar é puxado para baixo decorrente da queima do combustível fazendo com que tenha a combustão. As grelhas a partir

do momento que estão em um movimento contínuo sobre as caixas de vento para a descarga do fio, logo a frente a combustão no leito movem-se sucessivamente para baixo, criando calor e uma alta temperatura (aproximadamente 1315 a 1482°C) houve uma sintetização de partículas finas de minério agregadas em pedaços porosos que encontram-se no decorrer da grade móvel sendo a frente de combustão tocando o fundo da cama chamada de ponto queimado.

Contudo, o leito percorre no decorrer do fio a frente da combustão, uma onda que vai da extremidade de alimentação à extremidade de descarga.

Usinas de sinterização demandam que fatores valorosos sejam visualizados com um olhar diferenciado e com isso tenham um desempenho ideal.

Fusões de materiais são os mais importantes, os misturadores de tambor de bala ou de peletizador de disco são utilizados para obter essas bolas do tamanho de arroz que melhoram significativamente a permeabilidade do leito no procedimento. A permeabilidade agiliza a sinterização deixando uniforme também.

O tempo preciso para cada elemento varia, para minérios de hematita pegajosa pode ser de um minuto, e minérios difíceis de enrolar podendo chegar até quatro minutos.

A deslocação do misturador de bolas para a grelha da máquina, exige um cuidado com a alimentação do material para que venha a ser um leito uniforme e homogêneo evitando compactação de leito.

As calhas necessitam de uma projeção evitando uma queda retilínea na alimentação da grelha, a mistura é compactada ou segregada no período do manuseamento e carregamento, caso não ocorrer do jeito que deve ser, pode ocorrer a perda.

A ignição no processo do leito de sinterização é de suma importância. Quando a ignição é fraca, ocorre queimação irregular podendo ocorrer a não-sinterização sobre a superfície da cama. Em contradição, se for intensa poderá ocorrer em escorregamento da cama e redução em taxas de sinterização. Precisa de um forno de ignição de capa radiante para o fornecimento da boa ignição. A troca de uma parte do combustível sólido por combustível gasoso dá seguimento em uma sinterização com força e redutibilidade melhores e não afetando a taxa. “Fogo misto” ocorre com a falta de combustível sólido, e o que está disponível é um gás, o aumento de combustível gasoso deve ser desejável.

O resfriamento do sinter é importante para o manuseio. Na Figura 11, tem o exemplo presente, sendo o tipo rotativo, exigindo até 2,268 kg de ar em cada pote de resfriamento ocorrendo que o ar de exaustão está com uma temperatura baixa dificultando a recuperação econômica do calor. Já na figura 12 é mostrado o resfriador tipo eixo, esse resfriador poderia diminuir requisitos de ar até 0,68 kg em cada tonelada fazendo assim a recirculação do ar de exaustão quente com a visão de recuperação do calor.

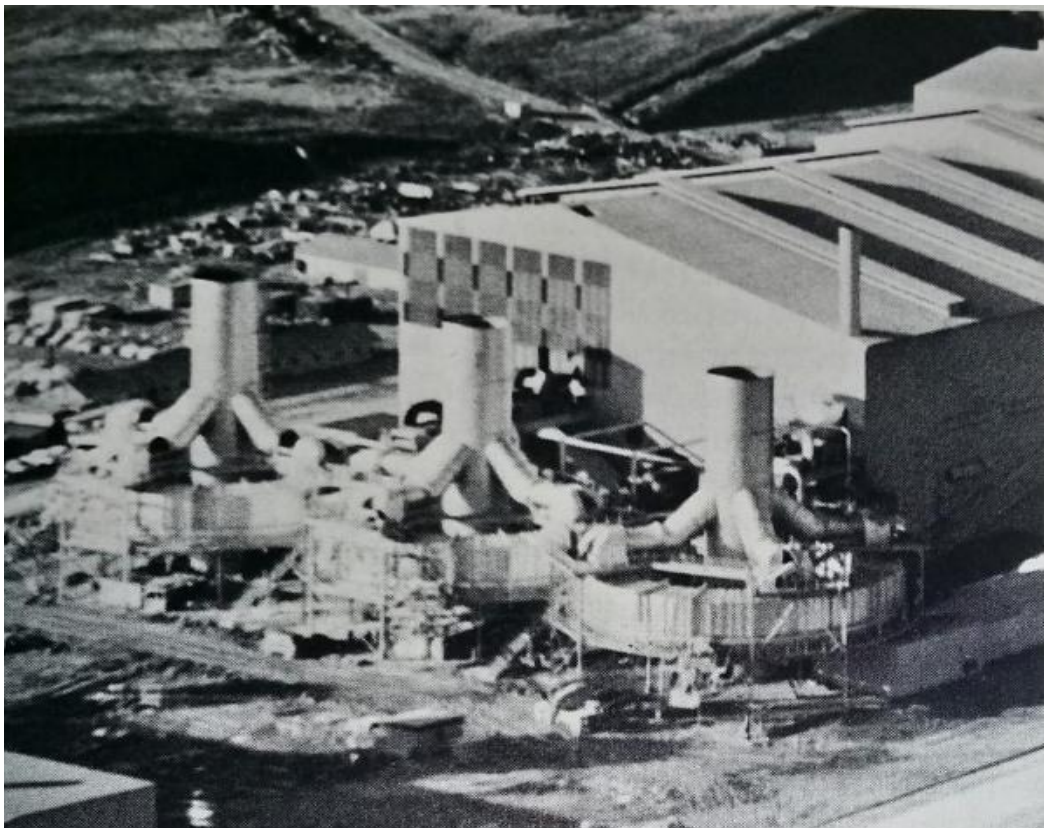


Figura 11 - Refrigeradores de sinterização rotativos (Fonte: USS - United States Steel)

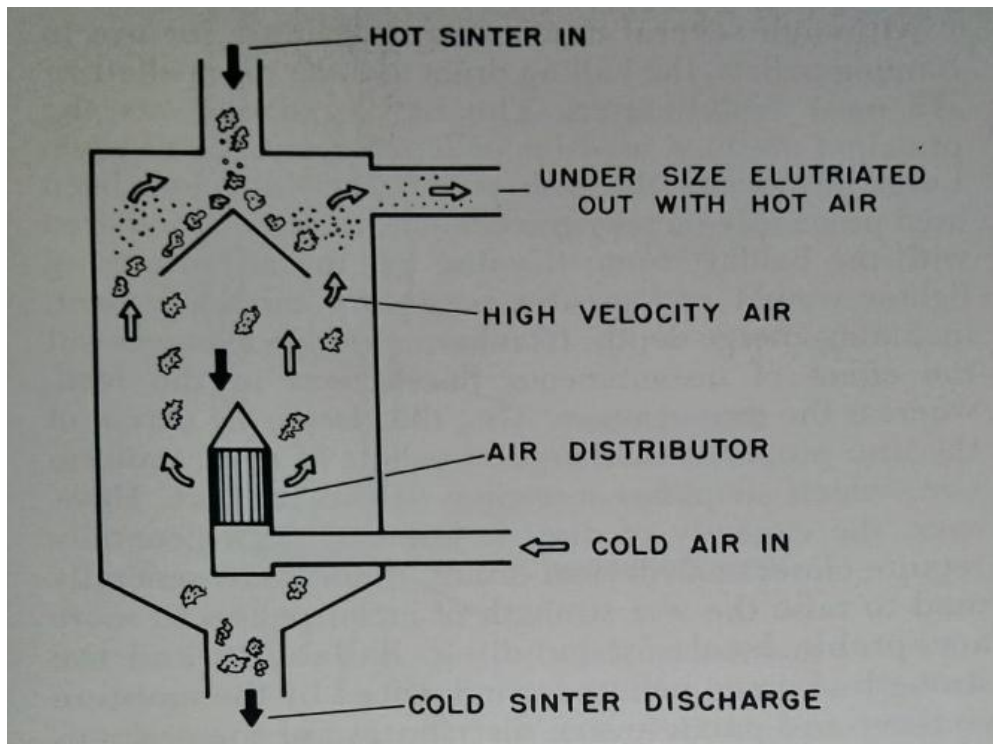


Figura 12 - Diagrama esquemático do resfriador de sinterização do tipo eixo (Fonte: USS - United States Steel)

O sinter resulta em significativas melhoras no alto-forno. Sinterizações de fluxo, por vezes chamado de sinterização automática, mostram que para cada tonelada líquida de calcário removida da carga e levada a usina de sinterização, cerca de 181,44 kg economizados no alto forno.

Para se ter um bom resultado na economia de coque, deve-se executar a calcinação do calcário na grelha e não no alto-forno. Os “finos fluxantes” são um tipo de calcário que passou pela trituração e peneiramento, e devido a esses métodos, ele atende os tamanhos com exatidão.

Certos testes foram realizados em plantas, e estes, demonstram que sucederam aumentos em produções de ferros como seguimento da peneiração de material de tamanho pequeno previamente de carregada no forno. Outros testes também expõem que sinterizado de tamanho, que contém 85 a 90% de 0,0254 m por material de 0,00635, em comparação a 60% em sinter padrão, sua permeabilidade com maior funcionalidade do que sinterização padrão, com a utilização de menos 0,0254 m de tamanho tem a produção de sinter mais estável, sendo assim, frações menores são mais resistentes à deterioração.

### 3.7.2 Pelotização

Processo dentre os mais novos, distinto de sinterização quando uma pelota ou bola “verde” por vezes conhecido como *glomerule* é feito sendo rígido por aquecimento como demonstrado na Figura 13.

EW Davis com associados há alguns anos atrás, pesquisaram na Universidade de Minnesota, quando minérios de baixo teor que estão em concentração e aglomeração provável ou pelletizar concentrado de magnetita em um tambor e se as bolas forem disparadas em temperatura bastante alta, uma pelota sólida, ajustada para a utilização no alto-forno, pode ser feita.

Elencado vários proveitos do sínter, ultimamente o interesse pelo processo de pelotização vem crescendo com as demonstrações do desempenho que estão sendo alcançados fazendo assim a extensão de operações com pelotas como principal material de adição de ferro na carga do alto-forno.

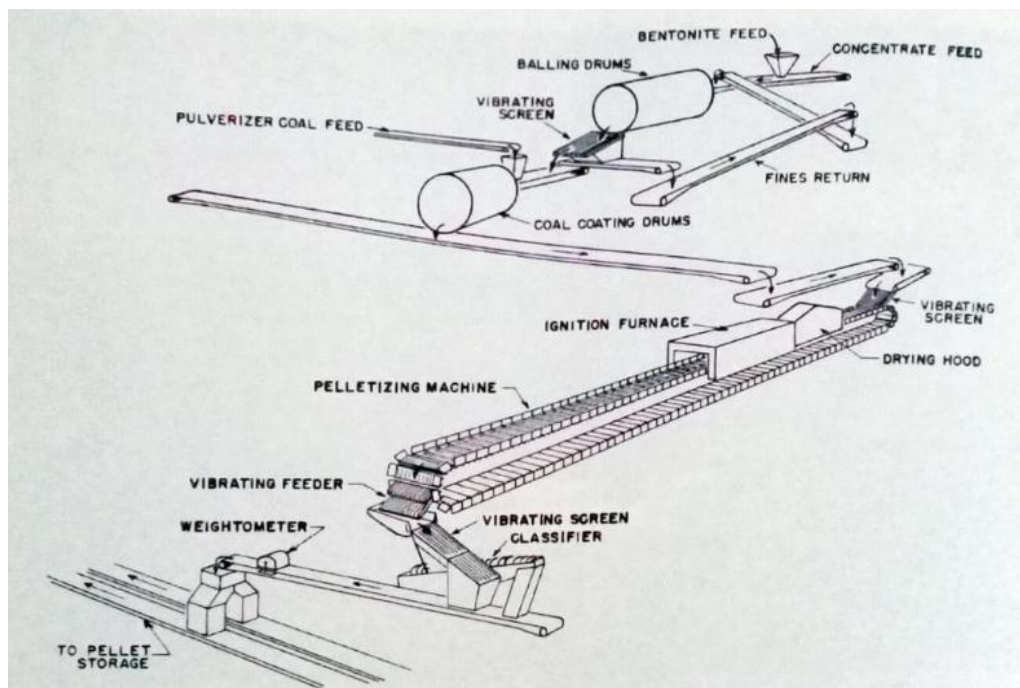


Figura 13 - Diagrama de fluxo simplificado do processo de pelotização usando um método de grade de deslocamento (Fonte: United States Steel)

O processo de pelotização é almejado no processo de aglomeração de concentrados finamente divididos, pois, costumeiramente são com um fino tamanho

ou podendo ser reafiados ao tamanho desejado, vindo a formar uma pelota verde sem dificuldades. Em contraversão quando minúsculos de 0,00635 m, precisam ser moídos para uma pelota verde apropriada. A pelotização tem sua distinção pelo tamanho de partículas e tratamentos subsequentes, com isso, a mesma vem a ser uma preparação grande de partículas (cerca de 0,009525 m a 0,0254 m) para consecutivo fortalecimento podendo ser por diversos sistemas, usando esferas para o aumento de tamanho do médio de partícula da carga, fazendo com que tenha uma melhora no cordão de sinterização.

O tambor de esferas e granulador de disco são aqueles instrumentos com maior utilização, foi uma máquina utilizada até 1949 em pelotização, foi então que Lurgi implementou o granulador de disco, que quando comparada com tambor de esferas, o granulador possui vantagens sendo elas pouco peso e mais ajustes, além da profundidade de carga.

Para a simplificação, na triagem, o disco proporciona descargas de pelotas de tamanho em ação classificadora. Porém, tem uma capacidade de menor pontecial e depende de um maior controle que o tambor.

Os aglutinantes, são utilizados como instrumentos para o melhoramento e elevação da força úmida de pelotas verdes em manuseio.

O teor de grãos verdes e capacidade de escoamento estão diretamente ligados à umidade e ao tamanho das partículas de aditivos e concentrados. Pelo que é dito, dá para perceber o quanto a umidade é importante nesse processo, o balanceamento, um tanto independente da composição química, com tudo, ainda é bastante afetado por propriedades físicas.

A queda e resistência à compressão de pelotas secas são consideradas mais importantes que as de pelotas verdes, são importantes também, claro, porém, as secas não tem a necessidade de suportar muito o manuseio, sendo assim entende-se a maior importância. Além dessas, pelotas secas com a sua força vem a ser importante na minimização à degradação em quebra e abrasão no momento do que acontece o manuseio e deslocamento, e ao chegar no alto-forno, sua força normalmente é estabelecida por testes de compressão e rotação.

A ligação de escória favorece um fortalecimento breve a temperaturas de queima, levemente menor, já a pelota possui uma resistência menor, em particular, a resistência ao choque térmico.

Consta uma variação em resistências para pelotas individuais sendo entre 113,4 a cerca de 2540,12 kg sendo levada em conta a composição de propriedades físicas de concentrados, aditivos usados, método de formação de bola, tamanho do pallet, técnica de queima, temperatura e também procedimento de teste.

Forças compressivas de pelotas normalmente aceitáveis no ramo comercial são mínimas de 136,08 kg para pelotas de 0,00635 m e de 362,87 a 680,39 kg para pelotas de 0,0254 m. No teste de copo 11,4 ou 22,7 kg ou mais pelotas de 0,009525 m são rebobinados por 200 rotações a 25 rpm em um tambor tumbler (ASTMD-294-50) e então selecionados. Para ser considerado satisfatório o sedimento não pode ter 6% de finos negativos de 28 mesh, 85% maior do tamanho *plus* 0,009525 m, após o teste do copo, desejando o mínimo de pellets quebrados.

Consideram que porosidade, densidade aparente e redutibilidade sejam alimentações de alto-forno importantes, dependendo do concentrado, pode variar entre alguns limites.

Demonstra-se na Figura 14 a presunção do fluxograma do processo ao processo de sinterização, havendo semelhança também em recursos e instalações ao manejo de materiais aos de plantas de sinterização.

A pelletização possui menor taxa por metro quadrado de recuperador do que sinterização.

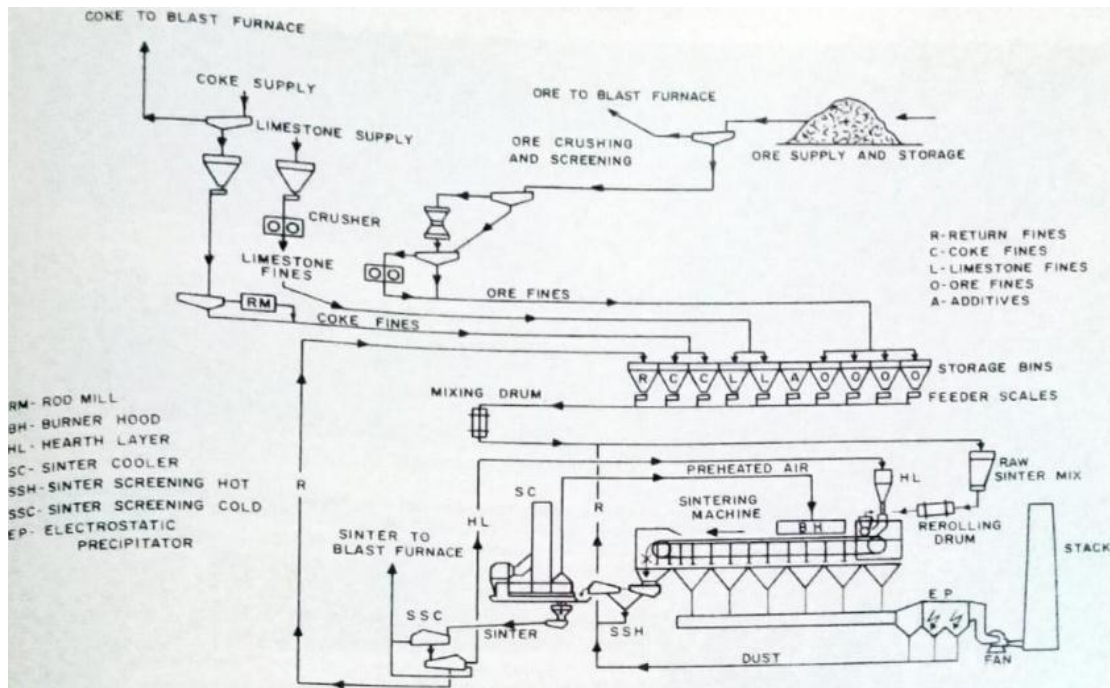


Figura 14 - Diagrama de fluxo esquemático do processo contínuo de sinterização do minério de ferro (Fonte: USS - United States Steel)

Gerando a pelletização, reduzida a parcela de combustível, o sólido fino poderá ter uma contribuição e implantado à paleta ou revestindo palotas fornece calor, elencado na Figura 15. Quando um concentrado de magnetita pelletizado em hematita oxida no decurso da queima, proporciona um calor no processo.

Uma boa umidade no processo subordina-se a finura do concentrado e utilização de aditivos, oscilam entre 9,5 a 12%. O principal aditivo nos andamentos comerciais e a bentonita sendo de  $\frac{1}{2}$  a  $\frac{3}{4}$  de 1% é agregado ao concentrado. De vez em quando aditivos como calcário, dolomita ou carbonato de sódio são utilizados para o melhoramento da resistência da pelota. Outros aglutinantes que não a bentonita estão sendo estudados na esperança de novas reduções no teor de sílica do produto final. A produção de pelotas auto-fluxantes e pré-furadas ainda está em fase experimental. Pré-processos de pelletização estão sendo aprimorados constantemente.

A pelletização é complementada por processos de suma importância, dentre eles, elencamos três com maior importância, sendo eles o sistema de forno de grelha, sistema de grade móvel (subida e/ou descida) e o sistema de eixo-forno.

A produção de pelotas utilizando como base um concentrado de magnetita, está em um sistema de grade móvel e tem a obtenção por taconito demonstrado na Figura 8 basicamente uma modificação de processo. Aquelas pastilhas “verdes” que estão revestidas com tambor de esferas por meio de uma fina camada de combustível estão em constante alimentação por uma grade móvel. A caixa primária de vento, utiliza-se para secar (subir/descer) e também pré-aquecer as pastilhas que estão úmidas com ar quente que é recuperado da zona de resfriamento, quando ocorre a pelotização da condensação da umidade no leito pode ocasionar danos que composição de fluxos de ar quente precisando solucionar o problema.

Posteriormente a ignição da cama, a corrente de ar ininterrompida, precisa consumir todo o combustível e a magnetita oxidada para hematita, ocorre a impregnação de uma corrente de ar para o resfriamento das pelotas.

Uma redução de combustível passou para 600.000 Btu por tonelada longa, porém, necessita de um calor de 1 milhão de Btu, sendo 700.000 de combustível e 300.000 de oxidação de magnetita, sendo associada a 2 milhões de Btu por tonelada na sinterização.

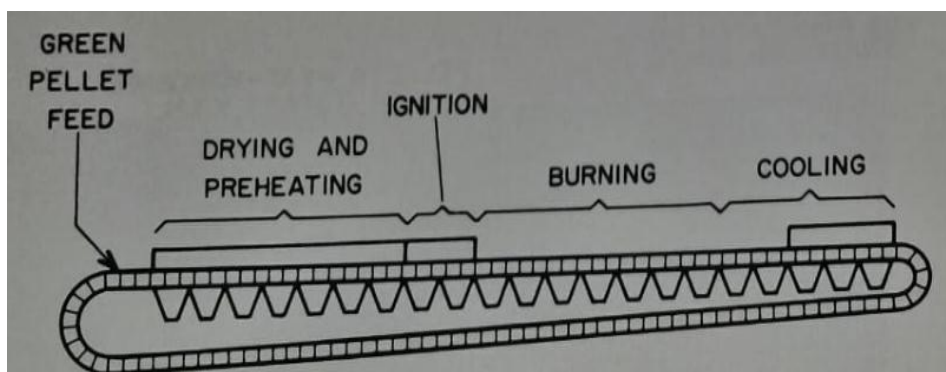


Figura 15 - Diagrama esquemático do sistema de grade de transporte para a produção de pellets (Fonte: USS - United States Steel)

A Figura 16 demonstra o sistema de forno de eixo, o que acontece nesse caso é que o combustível é agrupado dentro da pelota e não é aplicado ao lado de fora como um revestimento, como aconteceria no processo de grade móvel.

As pelotas verdes passam por uma correia transportadora em movimento, a noção que atravessam o poço, são secos e aquecidos até a temperatura de 1315°C, nessa ordem ao percorrer esse caminho em diante até o fundo do forno, passa uma

corrente de ar crescente e com isso acontece um resfriamento, na parte baixa do poço, são descarregados por um *chunk breaker*.

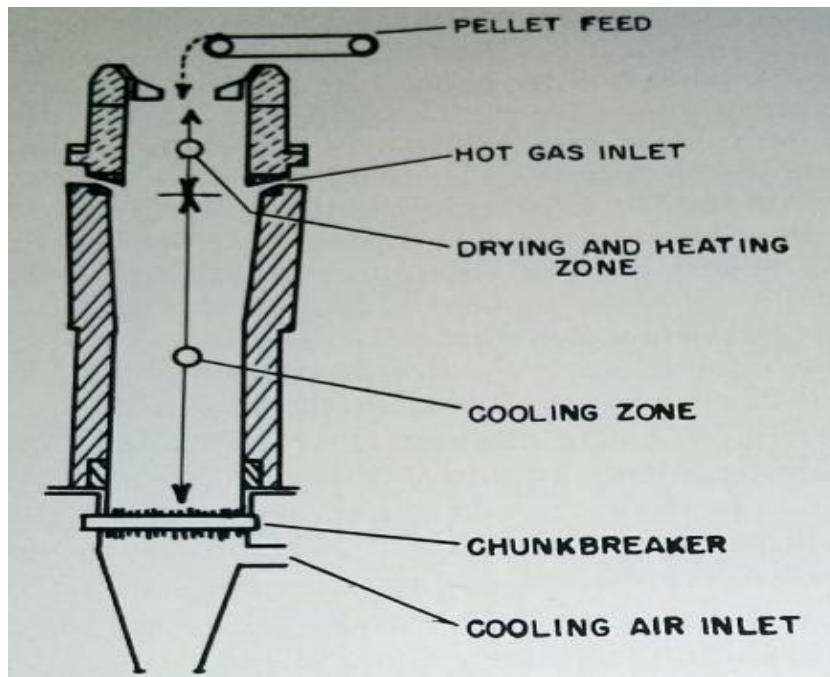


Figura 16 - Diagrama esquemático do sistema de forno de eixo para a produção de pellets (Fonte: USS - United States Steel)

O obstáculo que deve ser vencido pelo forno de poço é manter uma zona de combustão uniforme, as vezes, ocorre que em alguns pontos quentes esses pellets afundam em grandes massas, gerando problemas de descarga. Esse forno tem uma boa vantagem que é um projeto simples e uma recuperação de calor elevada. O forno mencionado se adapta bem a pelotização de magnetitas, porém, não é muito adaptado as hematitas, ainda mais por suas “dobradiças” e colagem.

O sistema de forno de grelha, que a Figura 17 demonstra, é um tanto novo tem uma combinação entre vantagens do forno rotativo e grelha móvel, aqui são secos e depois pré-aquecidos na grade móvel utiliza-se gases quentes descarregados nessas seções, sempre com um enorme controle nas etapas, só assim são endurecidos em aquecimentos a uma temperatura elevada em um forno rotativo.

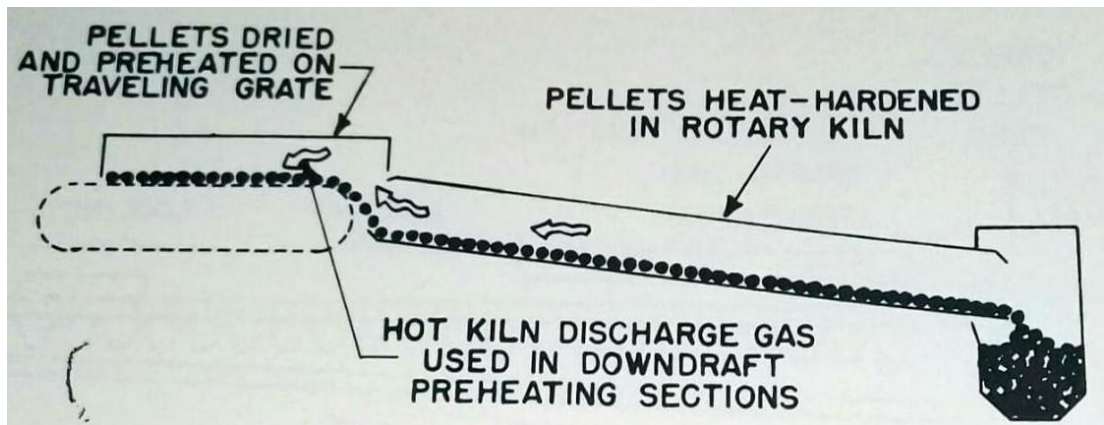


Figura 17 - Diagrama esquemático do sistema de grelha para a produção de pellets (Fonte: USS - United States Steel)

### 3.7.3 Nodulização

Materiais finos que possuem ferro que são movidos por intermédio de um forno rotativo são formados por nódulos ou grumos, mostrado na Figura 18, por rolamento da carga aquecida pela temperatura de fusão inicial. Utilizados em diversas partes do mundo.



Figura 18 - Quatro tipos de aglomerados de minério de ferro (Fonte: USS - United States Steel)

Durante a Segunda Guerra Mundial, diversas operações de nodulização foram implementadas em fábricas de cimento, uma tentativa para amenizar a falta de minério de carga de forno aberto, com tudo, as plantas não foram precisamente ativas para o minério de ferro. Uma vantagem é que o tamanho de partícula e umidade de alimentação não demanda tanto como na pelletização. Entretanto, um grande malefício seria o relevante consumo de combustível, com variações entre 2 a 4 milhões de Btu a cada tonelada, formações de grandes bolas e anéis vêm gerando impasses em instalações e determinados momentos, ocorrendo desligamento por consequência.

Esses nódulos possuem uma aparência de ser bons para uso, só que não são aceitos e não possuem bom desempenho no alto-forno, na maioria das vezes por não serem uniformes e redutibilidade inferior.

### 3.7.4 Briquetagem

Um processo arcaico empregado para aglomerar, formar pequenos ou grandes pedaços sendo contínuos devido a uma ampla variedade de matérias, composto de coque, carvão, madeira, lignita, pó de combustão e por fim minério.



Figura 19 - Linha de briquetagem (Fonte: adaptado de [www.lippel.com.br](http://www.lippel.com.br))

Prensas de furador e rolo já foram ou são utilizados. Lá para os anos 1900, existia uma teoria que quando eram feitos os briquetes de minério fino, em prensas de punção, queda, queimados em temperaturas de aumento anteriormente a sua levada para o alto-forno, tendo então um aumento na potência do forno e diminuindo então, o coque. Todavia, o processo de material frio, não foi bem sucedido. A sua formação, normalmente depende de algum aglutinante, por exemplo, resíduos de enxofre, cimento, cal, entre outros, fazendo com que não criem resistência a quente ou frio devido a altas temperaturas. Aqueles briquetes “frios” desenvolvidos no alto-forno constataram perdas de pó em combustão, não obtendo uma melhora, efeito decorrido da decrepitação do briquetes.

Em controversa, temos o processo “quente” que vem se expressando da melhor forma possível e uma boa produção de minério de carga e um aglomerado exemplar para a utilização no alto-forno.

A briquetagem de minério quente exemplificada na Figura 20, menor espessura que hematita 0,00635 m aquecido aproximadamente por 871° a 1038°C enquanto quentes são briquetados por uma prensa com rolos duplos com volumes de 50 a 60 toneladas. Sua resistência e densidade aumentam junto à temperatura.

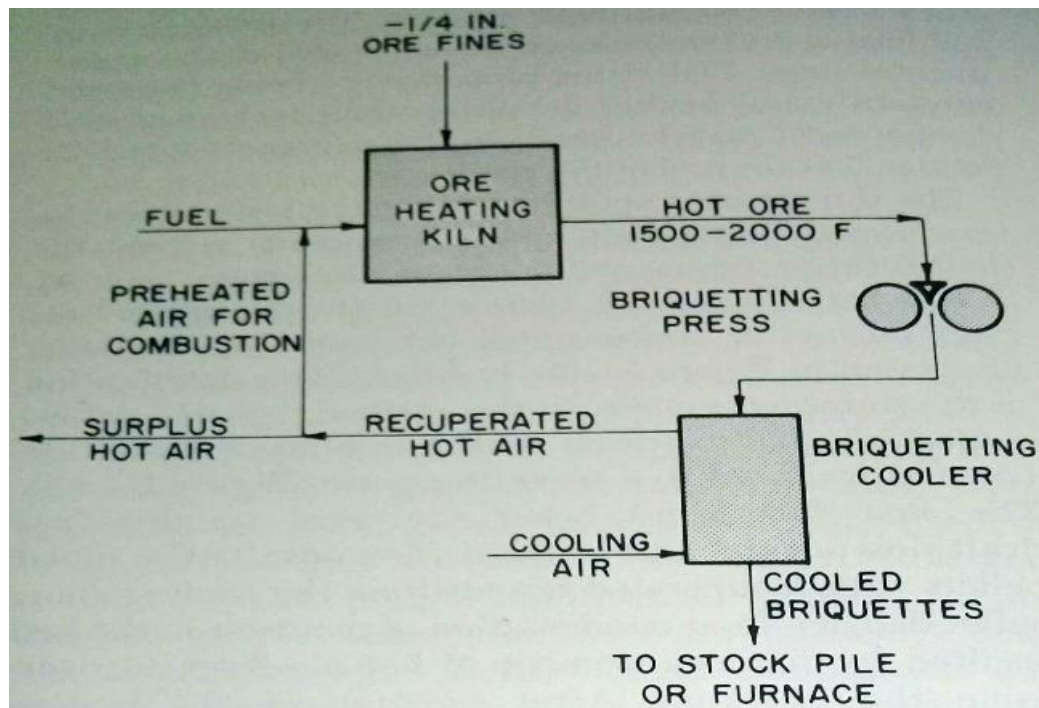


Figura 20 - Diagrama esquemático do processo de briquetagem de minério quente (Fonte: USS - United States Steel)

Testes provam que briquetes de minério quente possuem uma resistência de qualidade a frio e também a quente, condições aparente ao alto-forno, mostram também características admissíveis, testes com congelamento e descongelamento apontam que é preciso primorosa resistência ao intemperismo ao ser conservado.

É um processo que depende apenas de metade do combustível por cada tonelada de produto para a sinterização e dependendo para a pelotização. Sua sensibilidade é menor à alterações na alimentação diferindo da pelotização, requisitando pouquíssima moagem na produção aceitável. Concluindo então que a briquetagem quente é uma possibilidade significativa à sinterização e pelotização e uma aglomeração de finos e concentrados em procedimentos de aço e ferro.

No leste do Canadá, no ano de 1962, estabeleceu uma fábrica de briquetagem de minério quente, em caráter experimental, com reator de leito fluidizado para operações de aquecimento da carga, sendo para a poeira de combustão do alto forno de briquete, sua operação está agradavelmente boa.

### **3.8 Britadores de Minério de Ferro**

Os britadores de minério de ferro são máquinas utilizadas fragmentar rochas de um modo grosseiro em porções menores. Neste tipo de operação são realizados esforços de mecânicos de caráter de impacto, cisalhamento ou compressão.

#### **3.8.1 Britador de mandíbulas**

O britador de mandíbulas é um britador de britagem primária e seu funcionamento consiste em as paredes das mandíbulas fazerem o esforço de compressão entre as faces das paredes das mandíbulas e o minério, reduzindo assim a espessura do minério.

O britador de mandíbulas de um eixo é um dos equipamentos mais comumente empregados em britagem primária. Seu uso se estende desde materiais de baixa dureza até os mais duros e abrasivos, tantos em pequenas e grandes pedreiras, como em minerações e inúmeras outras instalações de britagem.

Nenhuma linha de britadores de mandíbulas de um eixo responde tão bem a tantas exigências como a linha FAÇO/Allis-Chalmers.

Os britadores de mandíbula são compostos, conforme a figura 21 dos seguintes componentes:

- 1- Mandíbula móvel;
- 2- Mandíbula fixa;
- 3- Cunha lateral;
- 4- Dispositivo para deslocamento do queixo;
- 5- Queixo;
- 6- Calhas;
- 7- Abanadeira;
- 8- Contracunha;
- 9- Cunha;
- 10-Tirantes;
- 11-Carcaça;
- 12-Parafuso regulador;
- 13-Eixo;
- 14-Rolamento do eixo;
- 15-Volante.

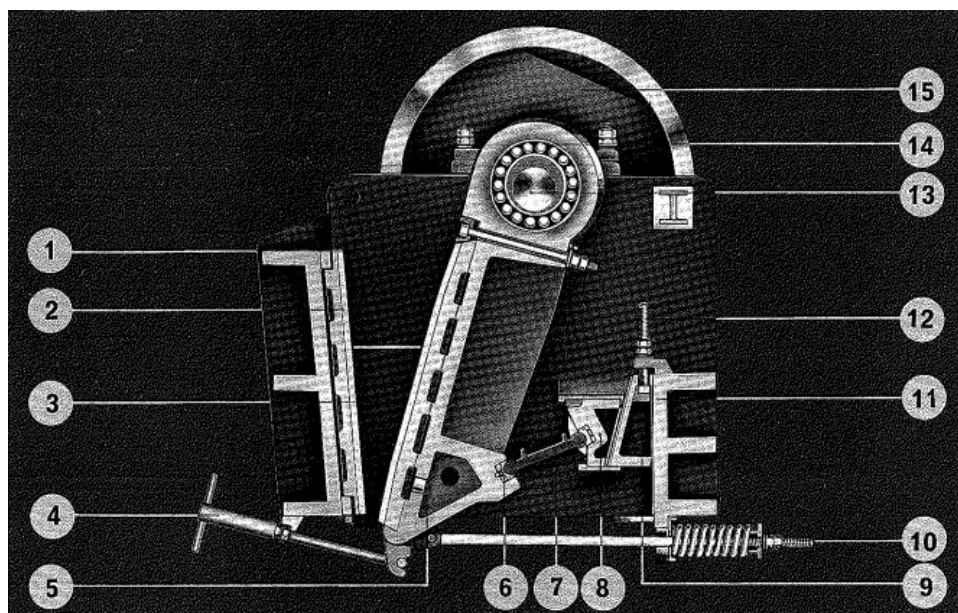


Figura 21 - Britador de mandíbula (Fonte: Manual FAÇO/Metso)

### 3.8.2 Britador de martelos

Esse britador possui uma câmara onde acontece a britagem do material através do choque de martelos fixados pelo rotor e pelo choque com placas fixas. Fornece uma melhor distribuição granulométrica do agregado reciclado para ser utilizado em sub-bases e bases de rodovias, e são menos passíveis a materiais que não podem ser britados como barras de aço que são encontradas nas estruturas de concreto armado, entretanto, seu custo de manutenção é mais elevado e os agregados graúdos reciclados são de qualidade inferior se forem comparados com os agregados produzidos pelo britador de mandíbula.

Os britadores de martelo, conforme a figura 22 são compostos por:

- Bica de alimentação;
- Parachoque;
- Martelo;
- Rotor;
- Pino de martelo;
- Eixo;
- Grelha.

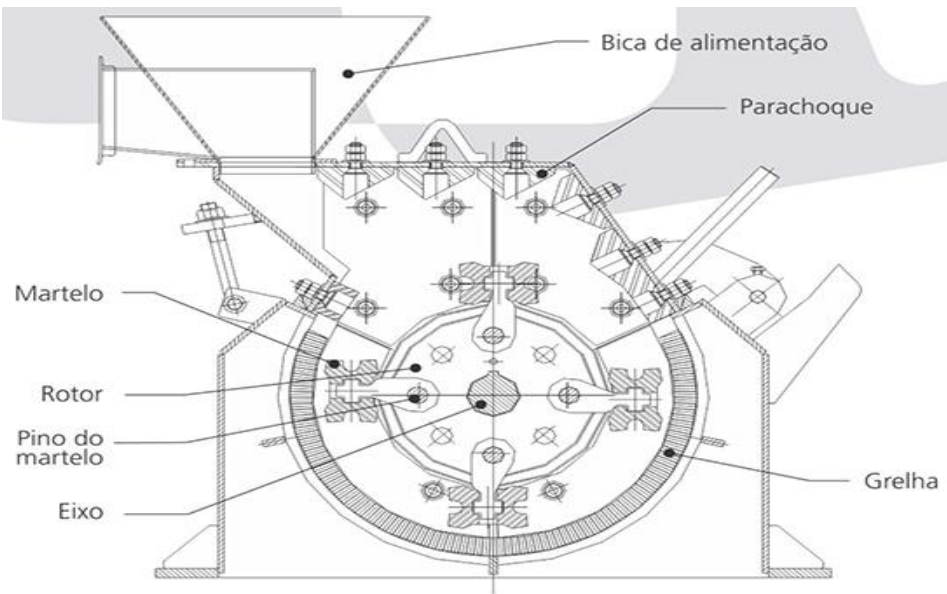


Figura 22 - Britador de martelo (Fonte: adaptado de [www.promateq.com.br](http://www.promateq.com.br))

### 3.8.3 Britadores de rolos

Os britadores de rolos Metso, graças às suas características, são máquinas especialmente destinadas à obtenção de produtos de tamanho médio a fino e ao mesmo tempo limita a geração desses finos.

Britam sem problemas mesmo os materiais difíceis para outros tipos de rebitadores, como materiais contendo finos e úmidos.

Estes britadores, conforme a figura 23 são constituídos por:

- Motor de rolo fixo;
- Rolo Fixo;
- Polia do rolo fixo;
- Tremonha;
- Motor de rolo móvel;
- Rolo móvel;
- Mola;
- Chassi;
- Polia de rolo móvel;
- Mancal fixo;
- Mancal móvel;



## **4 METODOLOGIA**

### **4.1 Levantamento de Dados**

#### **4.1.1 Britador de mandíbulas**

Modelo: Faço/Allis-Chalmers 3020C;

Peso: 1850 (kg)

Potência: 15 (HP)

Rotação: 350 (Rpm)

Dimensões: 1350 x 1400 x 680 (mm)

Tamanho da boca: 300 x 200 (mm)

#### **4.1.2 Britador de rolos**

Modelo: Metso/Faço 4040<sup>a</sup>

Peso: 1800 (kg)

Volume: 1,7 (m<sup>3</sup>)

Potência: 15 – 25 (HP)

#### **4.1.3 Britador de martelos**

Modelo: Furlan MM16F

Rotação: 1650 (Rpm)

Tamanho da boca: 75 (mm)

Dimensões: 1290 x 1120 x 1130 (mm)

Peso: 1200 (Kg)

Potência: 40 (HP)

### **4.2 Avaliação dos Modelos Construtivos**

#### **4.2.1 Britador de mandíbulas**

Suas peças são construídas de aço-liga e apresentam elevada vida útil, fator que diminui a necessidade de manutenção contínua do equipamento que, por sua

vez, é bem simples e com boa reposição de peças no mercado.

#### **4.2.2 Britador de rolos**

Este britador possui um sistema de ajuste da sua boca de acordo com sua alimentação que funciona automaticamente. Este britador é de fácil operação, possui elevada eficiência energética e com baixa emissão de ruídos e de poeira durante a operação.

Por se tratar de um britador um pouco mais tecnológico e avançado, sua manutenção não é tão barata, porém, bem simples de ser feita.

#### **4.2.3 Britador de martelos**

Este modelo de britador de martelos possui um menor custo operacional por possuir uma manutenção bem simples, com suas peças de desgaste encontradas facilmente para reposição no mercado.

São projetados de aço liga especial criteriosamente dimensionados, fator que reduz significativamente a necessidade de troca de suas peças por desgaste.

### **4.3 Avaliação dos Sistemas de Produção/Aplicação**

#### **4.3.1 Britador de mandíbulas**

É um britador muito utilizado em britagem primária estendendo-se desde britagem de materiais de baixa dureza até os mais duros e abrasivos em diversas áreas da mineração.

É adequado para britagem inicial de rochas e minérios com a finalidade de reduzir a seção do minério através de um esforço de compressão que as superfícies das mandíbulas exercem sobre o material britado. Como qualquer outro britador de mandíbulas, possui uma mandíbula móvel e outra fixa; a mandíbula móvel se movimenta em direção a mandíbula fixa ocasionando a britagem.

### 4.3.2 Britador de rolos

É um britador que trabalha basicamente pelo princípio da compressão de seus rolos que giram em sentidos opostos, sendo eles um fixo e um móvel que esmagam e trituram o minério. A rotação do rolo atrai as partículas a serem esmagadas na abertura. O rolo pode ser ajustado através do rolo móvel dependendo do tamanho da granulometria do minério que se deseja obter.

É utilizado na mineração em geral em estágios de britagem terciária e quaternária em operações de circuito aberto ou fechado.

### 4.3.3 Britador de martelos

Este britador trabalha com o princípio de impacto de seus rotores equipados com martelos que através dos golpes realizados cortam e socam o minério em tamanhos pequenos devido a alta velocidade dos martelos. Na parte inferior do britador existe uma espécie de peneira que garante que o minério esteja com a granulometria desejada.

Os moinhos de martelos, são empregados na moagem de pequena abrasividade e permitem obter uma granulometria reduzida em uma só operação.

## 4.4 Tabulamento de Características

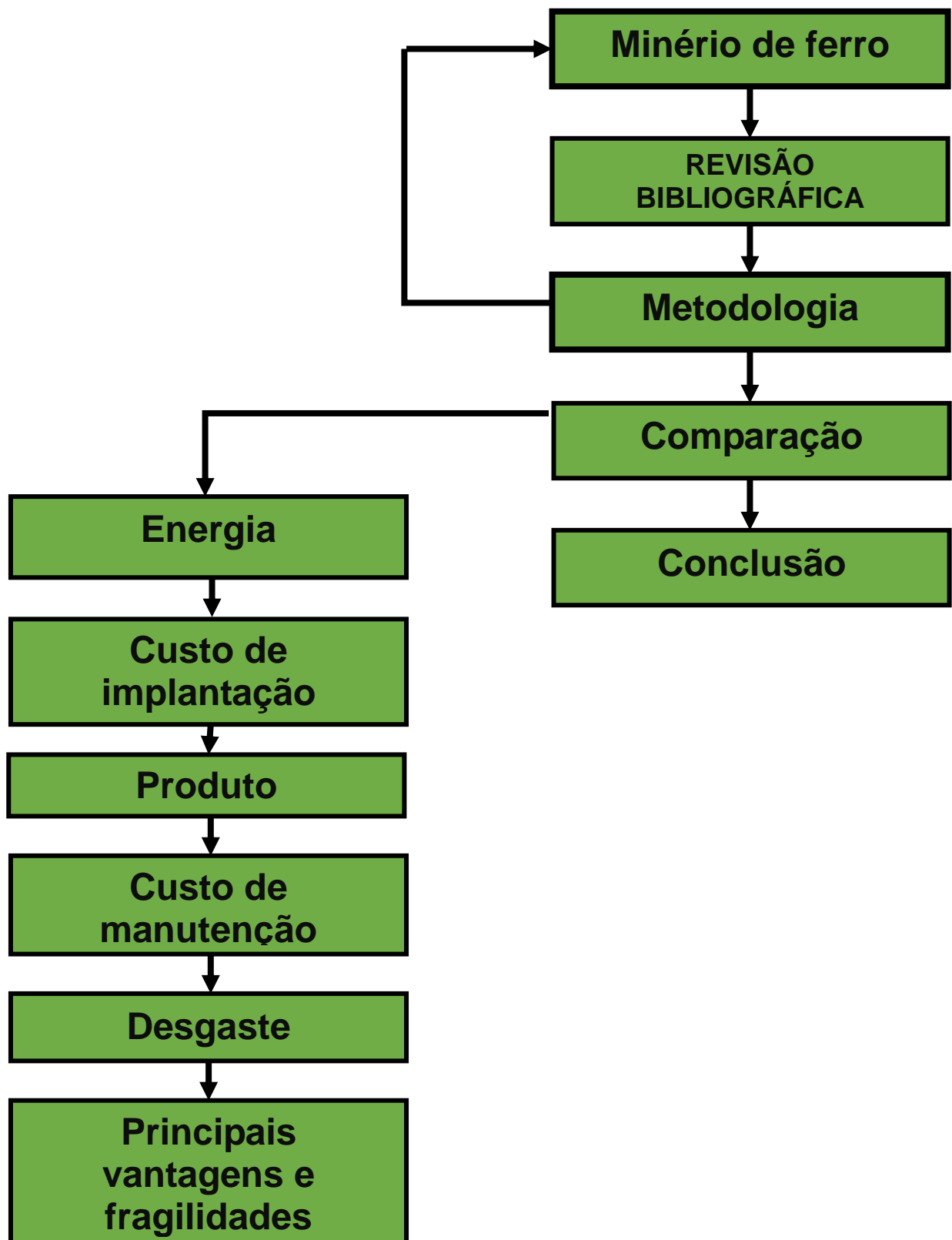
Tabela 3 - Tabulamento de características dos britadores

TIPO	MODELO	DIMENSÕES (mm)	TAM. DA BOCA ALIMENTAÇÃO (mm)	APLICAÇÃO
Mandíbula	<u>Faço/Allis-Chalmers</u> 3020 C	1350 x 1400 x 680	300 x 200	Britagem Primária
Rolo	<u>Metso</u> HCR 800	2647 x 4000 x 2400	32	Britagem Terciária e Quaternária
Martelo	Furlan MM16F	1290 x 1120 x 1130	75	Britagem Primária e Secundária

Fonte: Manual FAÇO/Metso

#### 4.5 Modelo Comparativo

Foi escolhido o britador de rolo modelo HCR 800 da linha Metso, pois possui design simples, possibilitando o aumento da disponibilidade, maior vida útil dos componentes, fácil manutenção, maior capacidade do circuito e segurança.



## **5 ESTUDO DE CASO/MODELO COMPARATIVO**

Neste tópico iremos estudar alguns aspectos relacionados ao britador e sua operação, como, energia, custo de implantação, produto, custo de manutenção e principais vantagens e desvantagens.

### **5.1 Energia**

Estudos técnicos e aplicações práticas em todo o mundo têm comprovado que a utilização de alta pressão de britagem de materiais é a forma mais eficiente de obter a cominuição ideal, garantindo alta taxa de redução. A nova linha de britadores Metso HRC™ é construído com base nesse princípio, com baixo consumo energético, baixa carga circulante e desgaste reduzido do revestimento (ambos contribuindo muito para reduzir o custo operacional).

### **5.2 Custo de Implantação**

De acordo com um estudo realizado pelo Prof. Mullar, o custo de implantação deste britador de rolo da linha Metso, modelo HRC 800, está diretamente ligado ao valor de compra do equipamento, tendo um custo de 17 a 25% do valor deste britador.

### **5.3 Produto**

De extrema relevância principalmente para o mercado de agregados, a forma final do material influencia diretamente na resistência do produto final em suas diversas aplicações como o asfalto. Com um simples ajuste na densidade de alimentação do HRC™ pode-se melhorar ainda mais a forma do produto final.

### **5.4 Custo de Manutenção**

O manual de britagem Metso fornece fatores para o cálculo do investimento e custo operacional, com diferentes capacidades produtivas. Analisando esses dados, observa-se que dentro dos custos operacionais, há um custo de consumo + manutenção, com capacidade de produção de 200 t/h pode chegar a 13% do valor

inicial do equipamento. Com capacidade de produção de 500 t/h, o custo pode chegar a 32% do valor. E por fim, com uma capacidade de produção de 1000 t/h, o valor pode chegar a 28% do custo inicial do equipamento.

## 5.5 Desgaste

Para fazer com que o desgaste do equipamento seja mínimo deve-se impedir que o material desvie dos rolos, mantendo uma pressão uniforme ao longo de toda a largura do rolo. Graças a essa distribuição mais uniforme da pressão, a vida útil do rolo é maximizada por evitar o surgimento do “efeito banheira”, em que o centro do rolo se desgasta mais rapidamente do que suas bordas.

## 5.6 Principais Vantagens e Fragilidades

Algumas das vantagens da utilização deste tipo de britador são:

- Flexibilidade de aplicação;
- Fácil operação;
- Eficiência energética;
- Produto com formato cúbico;
- Baixa emissão de ruído e poeira durante a operação.

Já em relação a fragilidade, deve-se estar sempre atento na operação de britagem para que seja evitado um desvio de material no processo, fazendo com que sempre haja uma fiscalização no processo para checar as condições de operação.

## 6 CONCLUSÃO

O britador tipo rolo foi escolhido por possuir peças de alta qualidade, por ter uma estrutura simples, fazendo com que sua manutenção seja feita de maneira prática e fácil, e também por visar uma aplicação em processos terciários de mineração.

Após reunir todos os dados para a comparação final, pudemos notar que é um processo que deve ser analisado, desde o início quando é feito um estudo do local que será minerado, assim como analisar o tipo de operação que irá ser efetuada naquele local, sendo uma mineração a céu aberto ou uma mineração subterrânea, e também analisar os resíduos de outros elementos que estarão contidos no minério após sua extração. Feito isso, deve-se realizar uma série de processos para remoção desse resíduos, conseqüentemente, acarretando num beneficiamento do minério, utilizando processos de concentração, como, a flotação e a separação magnética, e também utilizando processos de aglomeração, como, sinterização, pelotização, briquetagem e nodulização.

## BIBLIOGRAFIA

ANDRADE, E.P., **Estudo da carga circulante elevada na britagem terciária na Planta de IB3 na Mina de Alegria (VALE)**, Monografia, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, 30 p., 2010.

ARAÚJO, L. A., **Manual de Siderurgia, Arte & Ciência**, v. 3, 2ª Edição, 2005.

ARAÚJO, M.L., **Avaliação de oportunidades de conservação de energia e circuitos de britagem de minério de ferro**, Monografia, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, 47 p., 2010.

BOEHRINGER, P. Stein und Erden - aufbereiten und verwerten. **Schluetersche Vaerlaganstalt und Druckerei GmbH & Co**, Hannover, 327p., 1987.

BUDKE, R., LIMA, M.P, NUNES, D.S., MOURA, L.S., **Efeito do tratamento térmico no índice de trabalho (WI) de amostras de quartzo**, Anais XXIV Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e metalurgia Extrativa, Salvador-BA-Brasil, 2011.

CABRAL, A.S. e PERES, A.E.C., **Concentração magnética aplicada a minérios goethíticos**, Anais XXIV Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e metalurgia Extrativa, Salvador-BA-Brasil, 2011.

CARVALHO, R.M., **Desenvolvimento de modelo matemático generalizado da cominuição**, Dissertação (mestrado), Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 118 p., 2009.

CHIAVERINI, V., **Tecnologia Mecânica, Processos de Fabricação e Tratamento**, McGraw-Hill Ltda., v. 3, 2ª Edição, São Paulo, 1986.

CNI, 2012, **The Steel Industry in Brazil**, Confederação Nacional da Indústria e Instituto Aço Brasil, Brasília, 50 p., 2012.

EPA, Taconite Ore Processing, AP 42 - V.I - C.11, **Mineral Products Industry**, 5a Ed., 19p., 1995.

FERREIRA, D.H.O., **Principais Etapas do Tratamento de Minérios Itabiríticos do Quadrilátero Ferrífero**, Monografia, Curso de Especialização em Engenharia de Recursos Minerais, Universidade Federal de Minas Gerais, 50 p., 2011.

FIGUEIRA, H.V.O., ALMEIDA, S.L. M., LUZ, A.B., **Cominuição**, CT2004-182-00, CETEM, Rio de Janeiro, p. 113-194, 2004.

HAROLD, E. M., **The Making, Shaping and Treating of Steel**, United States Steel, Ninth Edition, Minnesota, 1971.

JESUS, C.A.G., **Sumário Mineral 2012**, DNPM, Minas Gerais, 2 p., 2012.

JONES, A., FALCO, M.B., MEREGUETTI, M., Stern, C. **A mineração brasileira**, Global Business Reports/Engineering & Mining Journal, 47 p., 2011.

LAGE, E.A., **Separadores magnéticos: experiência em minério de ferro na Herculano mineração**, Monografia, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, 20p., 2010.

MMD, SIZER, **Tackles High Clay Iron Ore**, acesso a página da internet: <http://www.mmdsizers.com/news/articles/press/index.php>, em 16 de fevereiro 2019.

MUCKERMANN, J. **Optimized Crusher Selection for the Cement Industry**, APCAC, XXVI Technical Congress, Bogota – Colombia, 9 p., 2009.

QUARESMA, L.F., **Sumário Mineral 2002**, DNPM, Minas Gerais, p. 64-65, 2002.

REUTERS, **“China's iron ore miners cut output as prices fall”**, acesso a página da

internet: <http://in.reuters.com/article/2012/09/11/china-ironore-cuts-idINL4E8JL1LK20120911>, em 10 de abril 2019.

SAMPAIO, J.A, JULIANELLI, K.M, PENNA, M.T., **Ferro – Mina N5 – Carajás/CVRD**, CT2002-159-00, CETEM, Rio de Janeiro, 11 p. , 2002.

SCHUBERT, H. **Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe**. Band I, 4. Ed., VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 363 p., 1989.

SILVA, J.M. e LUZ, J.A.M., **Britagem em minas subterrâneas**, Anais XXIV Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e metalurgia Extrativa, Salvador-BA-Brasil, 2011.

SOUZA, N.A.F, **Análise crítica de rotas de processamento de minério de ferro itabiríticos**, Trabalho de conclusão de curso, Escola Politécnica-UFRJ, 107 p., 2010.

THYSSENKRUPP, **Lista de referência de britagens móveis e semi-móveis**, 8 p., 2012.

THYSSENKRUPP, **Sistema de manuseio de estéril - Mina de Carajás-Vale**, Relatório interno de projeto, 2009.

VARELA, J.J. **Britadores aplicados ao processamento de minérios de ferro brasileiros**, Relatório interno de projeto ThyssenKrupp, 2012.

VARELA, J.J. **Critérios de seleção de britadores aplicados ao processamento mineral**, Anais XXIV Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e metalurgia Extrativa, Salvador-BA-Brasil, 8 p., 2011a.

VARELA, J.J. **Lista de referências de aplicações de britadores ThyssenKrupp**, Relatório interno de avaliação de tecnologias de britagem, 11p. 2011b.

VARELA, J.J, **Relatório interno Projeto Yamana**, ThyssenKrupp Foerdertechnik, 9 p., 2011.

WOTRUBA, H. Zerkeinerungsprozesse und -maschinen, Capítulo 5, **Apostila de aula do Instituto de Processamento**, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule, RWTH-Aachen, Alemanha, 2005.