

CETM

Curso de Especialização em
Tratamento de Minérios

Aglomeração mineral

2. Briquetagem

Prof. Dr. André Carlos Silva

1. INTRODUÇÃO

- A necessidade de recuperar partículas finas oriundas de um processo de beneficiamento de minérios ou de resíduos, provocou o desenvolvimento da tecnologia de **aglomeração**, visa o aproveitamento comercial da fração fina desses materiais e diminui o impacto ambiental causado pela produção de material fino ou particulado.

1. INTRODUÇÃO

- **Aglomeração** é o termo geral empregado para designar operações aplicadas a materiais de granulometria fina para transformá-los em corpos ou fragmentos coesos, por meio de mecanismos físicos e/ou químicos, conferindo-lhes tamanho e forma adequados ao uso posterior.

1. INTRODUÇÃO

- Nas áreas de mineração e metalurgia, o termo aglomeração designa operações aplicadas aos minérios, ou concentrados, de granulometria fina não adequada para utilização em processos industriais posteriores.

1. INTRODUÇÃO

- O conceito de **fração fina** na indústria de processamento mineral, depende do tipo de processo envolvido.
- Por exemplo, no beneficiamento convencional de carvão, as partículas com tamanho inferior a **0,6 mm** são consideradas finas.

1. INTRODUÇÃO

- Já no beneficiamento do minério de ferro, a fração fina não aproveitada pelo processo de flotação pode encontrar-se em uma granulometria inferior a **20 μm** .

1. INTRODUÇÃO

- Os três principais processos de aglomeração de finos usados na indústria minero-metalúrgica são:
 - Briquetagem (que dá origem ao briquete);
 - Sinterização (que dá origem ao sínter);
 - Pelotização (que dá origem à pelota).

1. INTRODUÇÃO

- As aplicações mais frequentes são verificadas para o aproveitamento de:
- Minérios ou concentrados de granulação fina, sem causar prejuízos à permeabilidade da carga e às condições de reação gás-sólido nos fornos metalúrgicos;

1. INTRODUÇÃO

- Resíduos, ou subprodutos finos de outros processos mineiros e metalúrgicos, para sua reutilização, ou reciclagem, de forma adequada, interna e/ou externamente;
- Resíduos metálicos (cobre, ferro, titânio) e outros materiais (papel, algodão, madeira) para transporte ou reciclagem.

2. BRIQUETAGEM

- Consiste na aglomeração de partículas finas por meio de **compressão**, com auxílio ou não de um aglutinante, permitindo a obtenção de um produto compactado, com forma, tamanho e parâmetros mecânicos adequados.

2. BRIQUETAGEM

- A redução de volume do material, em alguns casos, além dos benefícios tecnológicos, permite que materiais finos possam ser transportados e armazenados de forma mais econômica.
- A primeira patente relacionada à briquetagem foi concedida a William Easby, em 1848, para finos de carvão mineral nos USA.

2. BRIQUETAGEM

- Inicialmente tem-se a secagem do carvão, seguida da britagem e peneiramento.
- Posteriormente, tem-se a mistura dos finos com 6% de asfalto fundido - e depois a briquetagem propriamente dita, em máquinas de rolos, produzindo sólidos aglomerados.

2. BRIQUETAGEM

- Logo após a Segunda Guerra Mundial, mais de 6 milhões de toneladas anuais de briquetes de carvão mineral eram produzidas nos Estados Unidos, antes das indústrias utilizarem o óleo diesel e a gasolina como combustível para aquecimento doméstico.

2. BRIQUETAGEM

- A adição de **água** na briquetagem só não é realizada quando a substância aglomerante se apresenta na forma de solução aquosa ou como um fluído.
- A mistura, entre partículas finas e o aglutinante, é prensada a **frio** ou a **quente**, de modo a obter aglomerados, chamados de briquetes, que devem apresentar resistência adequada para empilhamento ou tratamento posterior.

3. TRATAMENTO TÉRMICO

- A fim de apresentarem a resistência mecânica desejada, os briquetes são submetidos a um tratamento de endurecimento realizado:
 - À temperatura ambiente;
 - Em estufas e secadores ($\sim 400^{\circ}\text{C}$);
 - Em fornos (acima de 1000°C).

3. TRATAMENTO TÉRMICO

- Os briquetes endurecidos à temperatura ambiente apresentam baixa resistência mecânica quando comparados aos briquetes endurecidos à temperaturas elevadas.
- O seu uso fica restrito aos processos onde se utiliza baixa pressão.

3. TRATAMENTO TÉRMICO

- Nos briquetes endurecidos em altas temperaturas o minério, os aditivos e as impurezas presentes são responsáveis pela ligação entre as partículas.

4. PROCESSO DE BRIQUETAGEM

- No processo de aglomeração de partículas finas em prensas, as forças de atração molecular de van der Waals apresentam uma forte influência na união das partículas.
- Tais ligações somente tornam-se efetivas quando a distância entre essas partículas é reduzida pela ação de uma elevada força externa.

4. PROCESSO DE BRIQUETAGEM

- A aplicação da compressão externa ao material pode se dar de três formas:
 - Briquetagem em prensas de rolos;
 - Briquetagem por extrusão contínua em máquinas do tipo maromba;
 - Briquetagem em prensas hidráulicas, em que os moldes são preenchidos de forma intermitente.

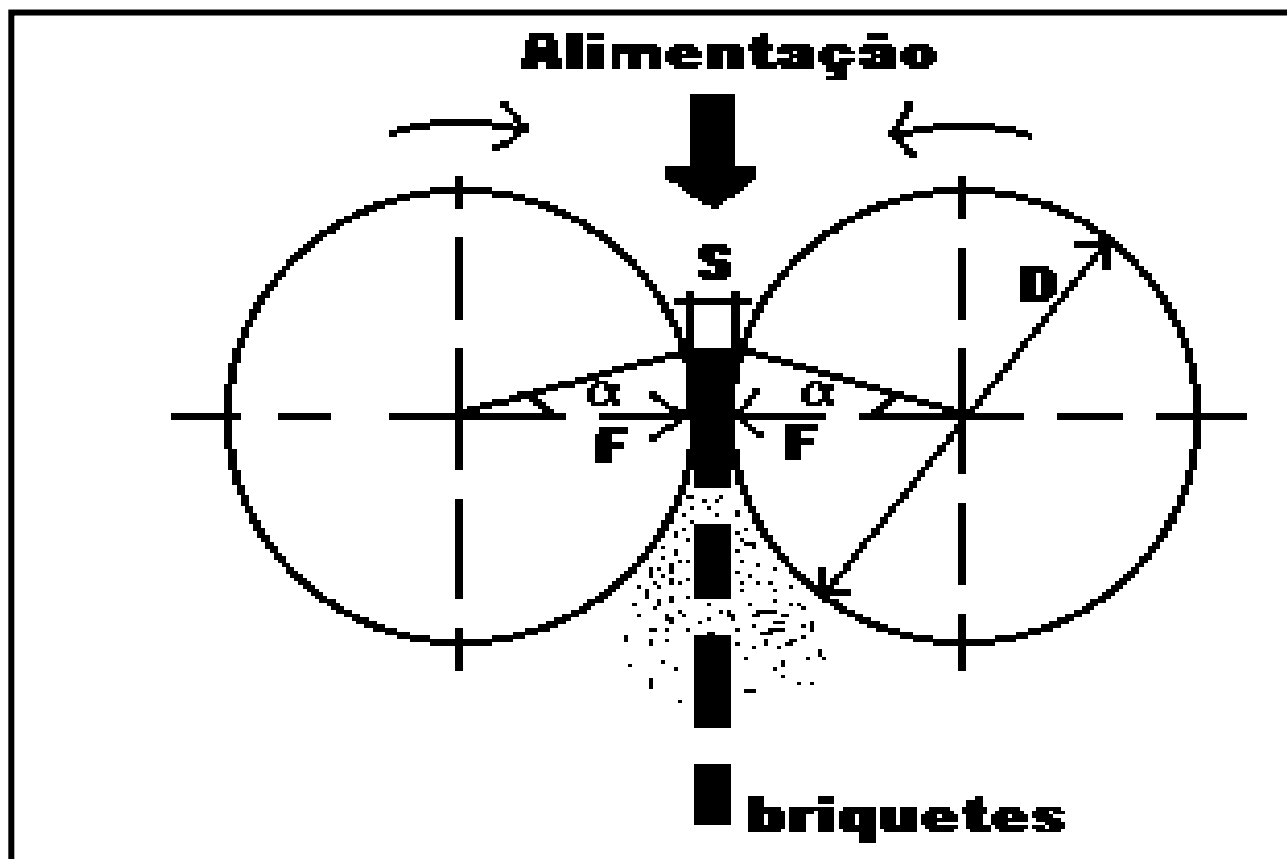
4.1. Briquetagem em prensas de rolos

- O material flui continuamente entre dois rolos paralelos dotados de cavidades (ou moldes) em sua superfície, de tamanho e forma adequados.
- Os rolos são ligados rigidamente entre si, girando com a mesma velocidade de rotação e em sentidos contrários.

4.1. Briquetagem em prensas de rolos

- Os rolos apresentam cavidades que dão forma aos briquetes.
- Normalmente apresentam uma faixa de **aço inoxidável** , ou de algum material resistente à abrasão ou à corrosão, soldada à sua circunferência ou superfície de trabalho.

4.1. Briquetagem em prensas de rolos



4.1. Briquetagem em prensas de rolos



Aglomeração mineral - 2. Briquetagem

4.1. Briquetagem em prensas de rolos



4.1. Briquetagem em prensas de rolos



Aglomeração mineral - 2. Briquetagem

4.1. Briquetagem em prensas de rolos



Briquetadeira para laboratório

4.1. Briquetagem em prensas de rolos

- Variáveis operacionais:
 - Tamanho dos rolos (diâmetro e largura), forma, tamanho e número das cavidades (ou moldes) nos rolos;
 - Força de compressão específica máxima dos rolos (definida como sendo a força de compressão máxima exercida por centímetro, ao longo da largura do rolo);
 - Velocidade de rotação dos rolos.

4.1. Briquetagem em prensas de rolos

- A força mínima de compressão exercida pelos rolos para um determinado material é determinada experimentalmente, com base nas características do material, no diâmetro dos rolos, na forma e no tamanho do briquete.
- Para um diâmetro de rolo de 1,0 m, a pressão de compressão pode variar de 10 a 140 kN/cm².

4.1. Briquetagem em prensas de rolos

- A velocidade periférica (V_p) de um rolo é definida como:

$$V_p = \omega . r = \frac{2 . \pi . n . r}{60}$$

- Onde ω é a velocidade angular, r é o raio do rolo (m) e velocidade de rotação n (rpm).

4.1. Briquetagem em prensas de rolos

- A velocidade periférica define o tempo de residência do material sob a ação da força de compressão dos rolos.
- Quanto mais fino for o material, maior será o volume de vazios a ser eliminado, o que provoca uma maior redução de volume durante a compactação.

MATERIAL	PRESSÃO DE COMP. ESPECÍFICA (kN/cm²)
Carvão mineral	10 a 30
Material cerâmico	40
Sal gema	60 a 80
Fertilizantes (com uréia)	40 a 60
Adubo (s/ fosfato e escória)	50 a 80
Adubo (c/ fosfato e escória)	≥ 80
Cal nitrogenada	60
Cloreto de potássio (120° C)	50
Cloreto de potássio (20° C)	70

**Força necessária para compressão de alguns materiais
utilizando uma prensa com diâmetro de rolo de 1,0 m**

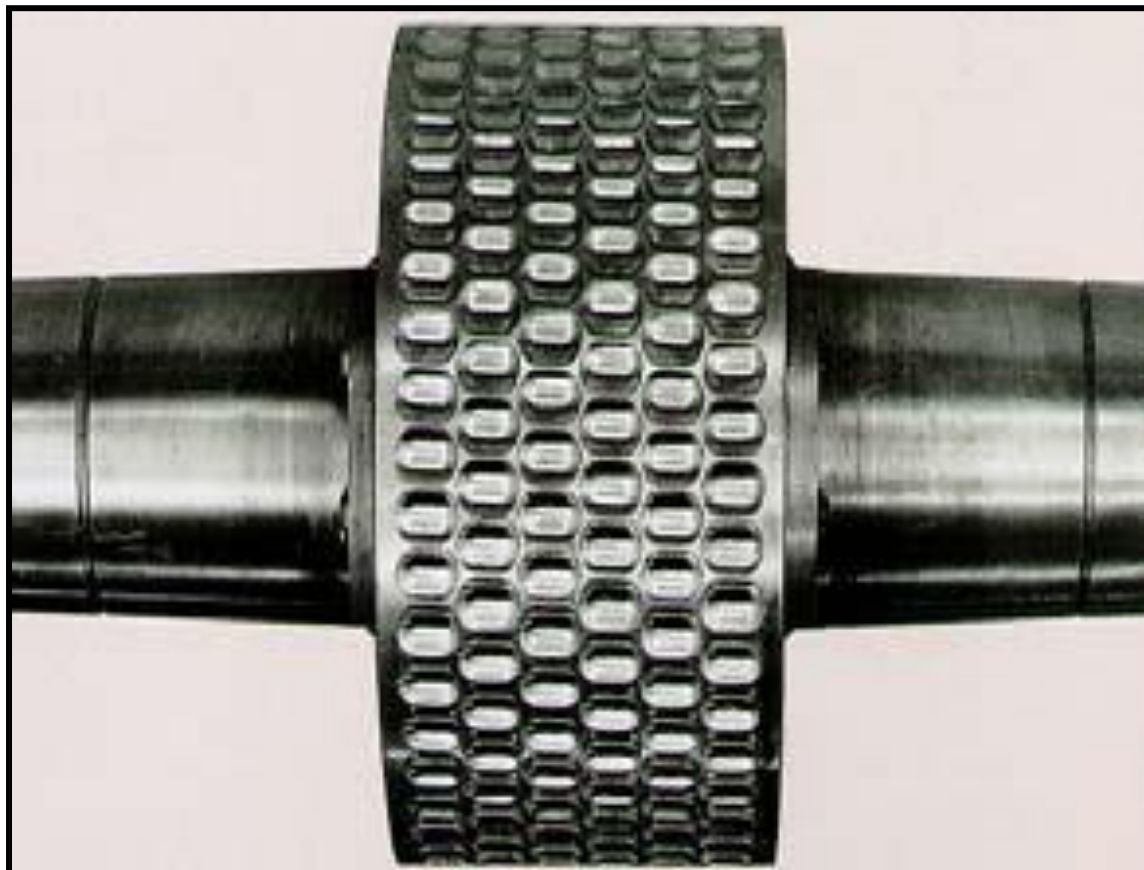
4.1. Briquetagem em prensas de rolos

- Os rolos podem ser classificados em:
 - Integrais;
 - Sólidos;
 - Segmentados.

4.1.1. Rolos integrais

- Não apresentam juntas ou superfícies unidas, sendo normalmente utilizados para briquetagem de produtos farmacêuticos ou alimentícios, já que não há aglomeração de materiais em regiões de difícil limpeza.

4.1.1. Rolos integrais



4.1.2. Rolos sólidos

- A maioria dos equipamentos utilizam rolos do tipo sólidos, que apresentam anéis substituíveis chavetados ou ajustados ao eixo.
- Ao contrário dos rolos integrais que precisam de materiais específicos para sua construção, os rolos sólidos e os seus eixos podem ser fabricados com diferentes tipos de materiais, apenas com a condição que sejam resistentes à corrosão e à abrasão.

4.1.2. Rolos sólidos



Rolos sólidos, que permitem a substituição das tiras que dão forma aos briquetes.

4.1.3. Rolos segmentados

- São produzidos em uma série de seções, ou segmentos, presos mecanicamente aos eixos.
- São recomendados para briquetagem a quente e/ou de materiais abrasivos.
- Da mesma forma que os rolos sólidos, podem ser produzidos com o material que mais se adapte ao processo.



Rolos segmentados para aplicações de materiais altamente abrasivos

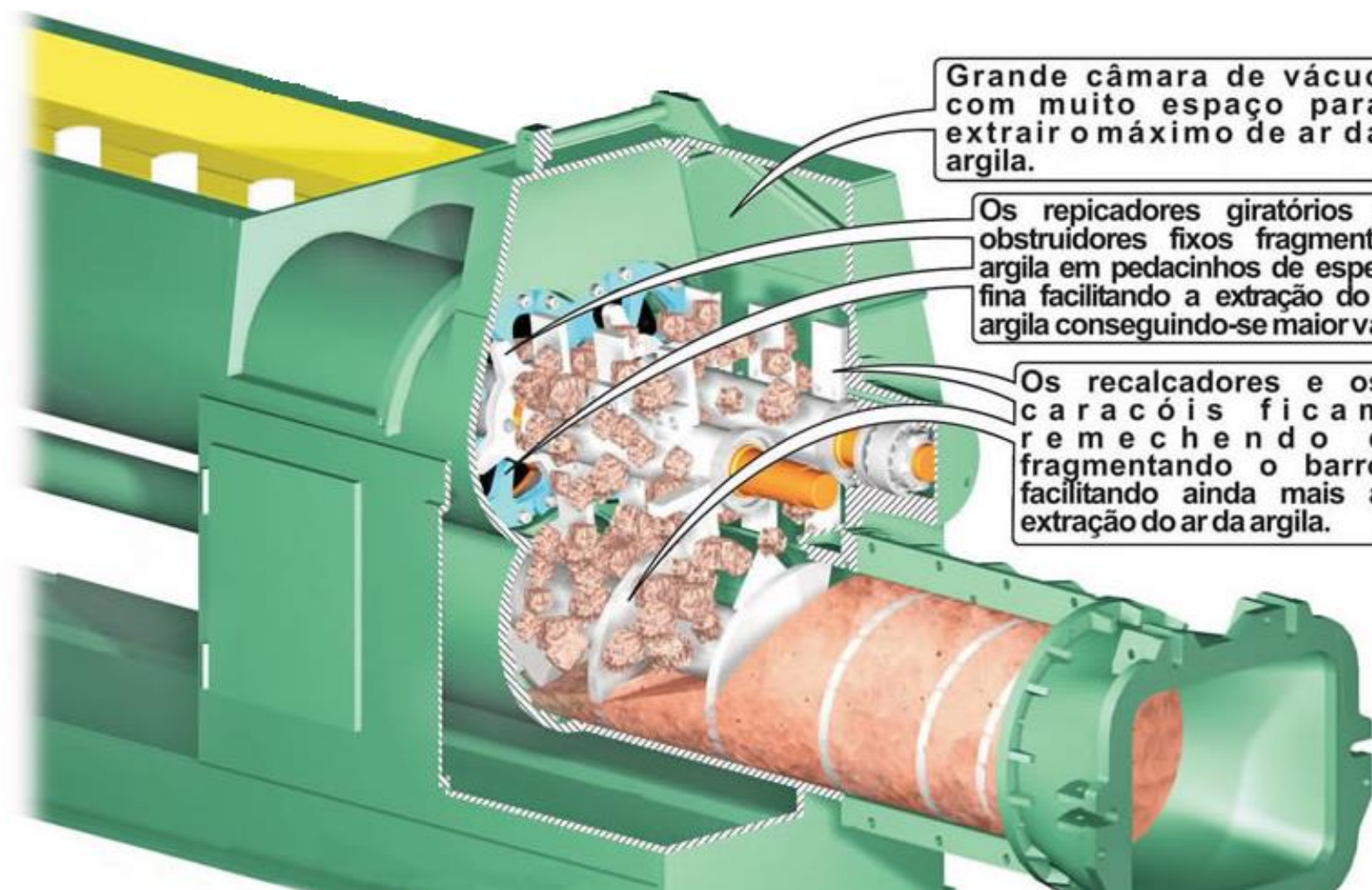
Aglomeração mineral - 2. Briquetagem

4.2. Briquetagem por extrusão contínua

- A compactação acontece por meio de golpes produzidos sobre o material por um pistão acionado por dois volantes.
- Do silo de armazenagem o material biomassa é transferido para um dosador e briquetada em forma cilíndrica.
- O volante serve para armazenar energia cinética para sustentar o funcionamento do contínuo do equipamento, que necessita de grande potência.

4.2. Briquetagem por extrusão contínua

- Primeiramente há uma diminuição da umidade do material. Logo após, ele sofre intenso atrito e forte pressão. O material é submetido a altas pressões, tornando-se mais compacto.
- No final do processo têm-se um briquete com elevada resistência mecânica.



Grande câmara de vácuo com muito espaço para extrair o máximo de ar da argila.

Os repicadores giratórios e os obstruidores fixos fragmentam a argila em pedacinhos de espessura fina facilitando a extração do ar da argila conseguindo-se maior vácuo.

Os recalçadores e os caracóis ficam remechendo e fragmentando o barro facilitando ainda mais a extração do ar da argila.

4.3. Briquetagem em prensas hidráulicas

- Nestas prensas os moldes são preenchidos de forma intermitente.





4.4. Tipo de alimentador

- Quando se trabalha com materiais que necessitam de aglutinante, a alimentação da prensa deve ser realizada com um alimentador por gravidade.
- Nesse caso, o processo de briquetagem é um processo simples de moldagem, sendo observado uma pequena alteração na densidade do produto, após a passagem no equipamento. A pressão necessária para essa aplicação é normalmente mais baixa.

4.4. Tipo de alimentador

- No caso de materiais secos ou finamente divididos, utilizam-se alimentadores do tipo rosca ou broca.
- Esses alimentadores podem pré-comprimir o material antes dos rolos, além de gerar uma fragmentação de partículas permitindo alcançar um tamanho mais favorável.

4.4. Tipo de alimentador

- Existe uma suposição de que a mobilidade das partículas, em um alimentador do tipo rosca, permite que os eixos dos cristais se alinhem sozinhos, gerando briquetes com melhores propriedades.
- Esses alimentadores proporcionam a obtenção de produtos de melhor qualidade, indiferente do processo apresentar ou não a utilização de aglutinante.

5. FABRICAÇÃO

- O processo de briquetagem em máquina de rolos pode ser dividido em quatro etapas:
 - Preparação;
 - Mistura;
 - Compressão (ou compactação) e
 - Tratamento térmico.

5.1. Preparação

- Consiste na determinação das **características de compactação** do material a ser briquetado e do tipo de equipamento que deve ser utilizado, para facilitar a adesão das partículas finas.
- A determinação das propriedades do material permite conhecer não só o valor máximo da pressão a ser aplicada, como também a taxa de compactação requerida pelo material.

5.1. Preparação

- O conhecimento do **coeficiente de atrito** do material permite gerar uma previsão do comportamento do mesmo, no momento da saída dos rolos e, também, se a superfície dos briquetes úmidos poderá ser ou não danificada durante uma eventual queda.

5.1. Preparação

- A quantidade de **aglutinante** (ou ligante) necessária à produção de briquetes com boa resistência mecânica depende, entre outros fatores, da qualidade do material a ser briquetado e do próprio aglutinante.
- Os principais fatores na determinação da quantidade de aglutinante são: superfície específica do material e quantidade de partículas finas ou grossas.

5.1. Preparação

- Quanto menor for a quantidade de partículas grossas, menor será a quantidade de aglutinante necessária para gerar um briquete de boa qualidade.
- No caso da briquetagem de carvão, a mistura não pode conter mais de 20% das partículas com tamanho maior do que 0,5 mm e não mais do que 5% de partículas com tamanho menor do que 90 μm .

5.1. Preparação

- A **umidade** ideal é um dos fatores mais importantes e depende do material e do tipo de aglutinante utilizado, além de influenciar o valor da pressão a ser aplicada.
- O ajuste da quantidade de água na mistura torna-se mais importante quando se aglomera materiais **termoplásticos** e também quando são utilizados aglutinantes solúveis em água.

5.1. Preparação

- Para carvões minerais, o teor de umidade normalmente utilizado é de $1,5-2\% \pm 0,5\%$, sendo que quanto maior for a umidade, menor será o poder calorífico do briquete.

5.2. Mistura

- A mistura dos reagentes é uma das etapas mais importantes da briquetagem.
- É de fundamental importância que o aglutinante seja distribuído uniformemente por toda superfície do material a ser briquetado.

5.2. Mistura

- O misturador deverá ser dimensionado de modo que o tempo de residência da mistura no equipamento não seja elevado.
- Quando há necessidade de tratamento térmico da mistura, o mesmo pode ser realizado no próprio equipamento por meio da aplicação de vapores saturados ou superaquecidos.

5.2. Mistura

- Para briquetagem de carvão utilizando piche como aglutinante, a temperatura de descarga da mistura deve estar pelo menos 7°C acima do ponto de amolecimento do piche.
- A mistura deve apresentar uma temperatura entre $85 - 90^{\circ}\text{C}$ na prensa e uma umidade de $3\% \pm 1\%$.

5.2. Mistura

- Caso a mistura não seja suficientemente seca no condicionador (entre o misturador e a prensa), os gases (na maioria das vezes vapor d'água) presos nos briquetes sofrem forte compressão.
- Quando os briquetes deixarem a prensa e a pressão for relaxada, os gases expandem, causando fraturas no briquete.

5.2. Mistura

- No manuseio de materiais com pequena densidade aparente, torna-se necessária a remoção dos grandes volumes de ar antes da alimentação do material na unidade de compactação.
- Nesses casos torna-se recomendável a utilização de alimentadores por meio de vácuo, sendo esse o responsável pela remoção do ar presente no alimentador.

5.3. Compactação

- A compressão do material se dá no espaço existente entre os dois rolos que, montados um diante do outro, giram com velocidade de rotação igual e sentidos contrários.

5.3. Compactação

- A pressão exercida sobre o material cresce de forma progressiva ao longo do segmento do rolo, a partir do ponto em que se inicia a ação da força de compressão sobre o material, atingindo o seu valor máximo no ponto de menor distância entre os rolos, caindo de forma abrupta até a liberação e saída do aglomerado.

5.3. Compactação

- A forma das cavidades do equipamento e, consequentemente do briquete, é função da susceptibilidade do material à compactação.
- Para materiais que apresentam dificuldade de compactação são utilizadas formas arqueadas, eliminando o plano de divisão dos briquetes, ocorrendo então uma distribuição mais uniforme da pressão.

5.3. Compactação

- Essa distribuição mais uniforme, permite a utilização de pressões mais elevadas.
- Entretanto, tal procedimento pode provocar a redução da vida útil dos elementos de compactação da prensa.

5.3. Compactação

- Quando se deseja um produto aglomerado com um tamanho menor que 8 mm, realiza-se normalmente uma primeira compactação do material, seguida da fragmentação e posterior classificação granulométrica, recuperando a fração que apresente o tamanho desejado.

5.3. Compactação

- A compactação inicial pode ser realizada por meio da briquetagem convencional ou na compressão de partículas na forma de **barras** ou de **folhas**, podendo essas serem do tipo lisas ou onduladas.

5.3. Compactação

- Alguns produtos, como por exemplo os **fertilizantes**, são compactados e granulados, evitando a formação de aglomerados quando acondicionados em recipientes apropriados.
- Os materiais particulados podem também ser aglomerados na forma de **tiras** ou **barras contínuas**, em equipamentos do tipo rolo.

5.3. Compactação

- No caso dos produtos obtidos em equipamentos do tipo tiras são removidas horizontalmente podendo alimentar diretamente os fornos, utilizados em etapas posteriores do processamento.

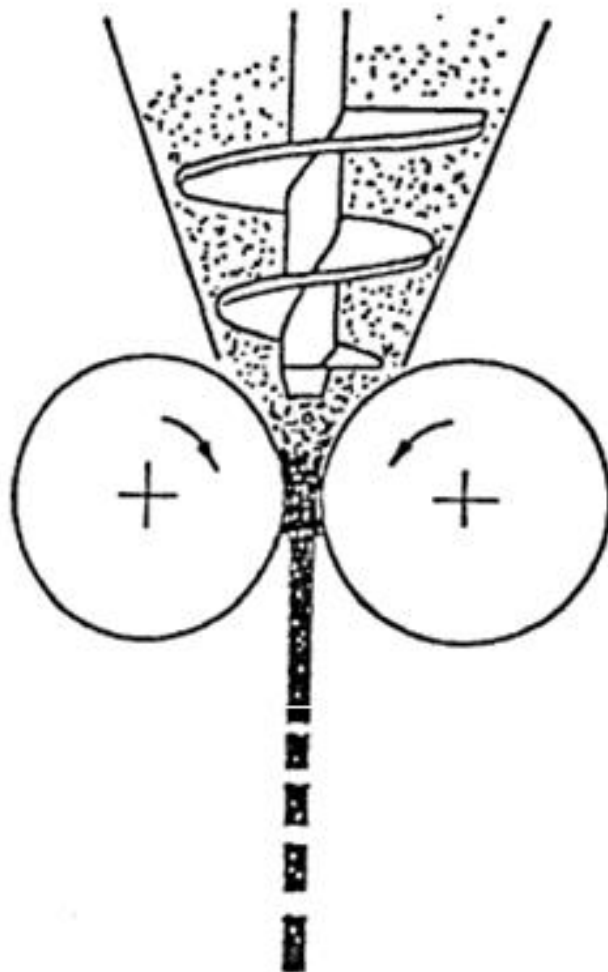
5.3. Compactação

- Cimento Portland, ferro esponja, coque, metais e ligas, minérios sinterizados, partículas finas provenientes da fabricação do aço e de outros processos metalúrgicos e muitos outros produtos podem ser processados dessa forma, observando-se um ganho na eficiência térmica do processo, devido à redução das perdas com partículas finas.

5.3. Compactação

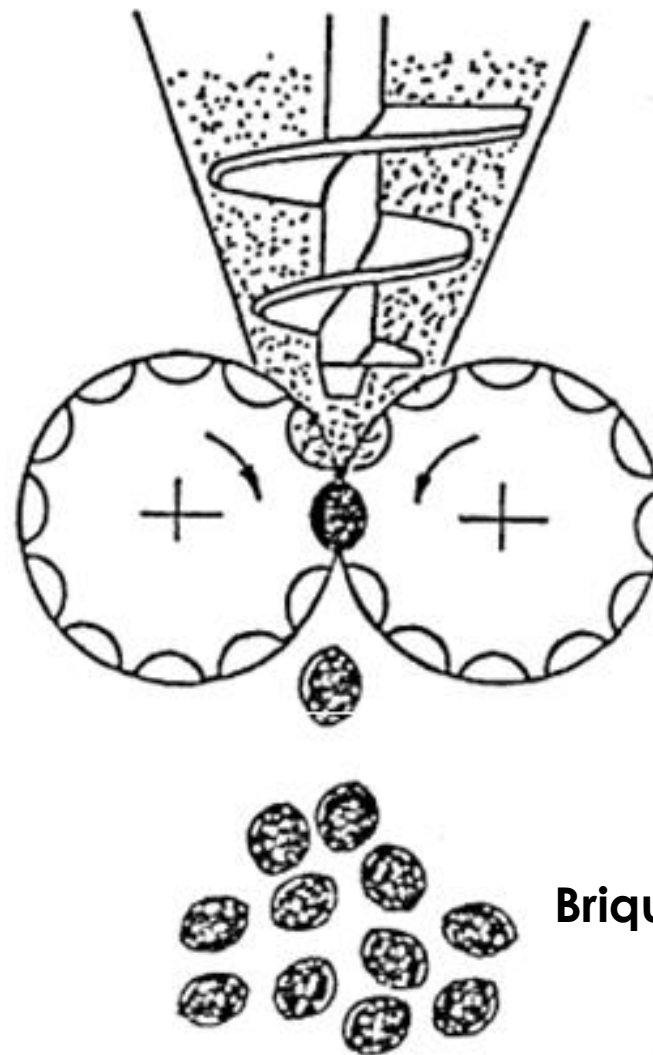
- Se os rolos possuírem superfícies lisas, o material adquire uma forma tabular, ou de uma barra e é denominado tablete, fita, barra etc.
- Quando as superfícies dos rolos possuem cavidades, ou moldes, de mesma forma e tamanho, a rotação dos rolos faz com que essas cavidades se situem em uma posição simétrica; o material aglomerado é denominado briquete e tem a forma e o tamanho dos moldes, como ilustrado na figura a seguir.

Compactação



Tabletes

Briquetagem



Briquetes

5.3. Compactação

- No processo de compactação, a vazão ou produção pode ser obtida pela seguinte relação:

$$m = B \cdot S \cdot V_p \cdot d_a$$

- Onde:
 - B é a largura do rolo;
 - V_p é a velocidade periférica do rolo;
 - S é a espessura do tablete e
 - d_a a densidade do aglomerado.

5.3. Compactação

- Já para o briquete a vazão ou produção da máquina é dada por:

$$M = V_b \cdot Z \cdot R \cdot n \cdot d_b$$

- Onde:
 - V_b é o volume de um briquete;
 - Z é o número de moldes em uma coluna na circunferência do rolo;
 - R é o número de colunas ao longo da largura do rolo;
 - n é a velocidade do rolo (rpm);
 - d_b é a densidade do briquete.

5.4. Tratamento térmico

- Para evitar a fratura devida à choques térmicos e também permitir o manuseio dos briquetes (ou tabletes), logo após a sua formação, os mesmos devem ser imediatamente aquecidos após a sua formação e em seguida resfriados lentamente, segundo uma velocidade controlada.

5.4. Tratamento térmico

- Na aglomeração de finos de carvões coqueificáveis, os briquetes produzidos devem ser aquecidos até 600°C , a fim de recuperar todo o alcatrão ainda presente no processo.
- Após esse tratamento térmico, a quantidade de materiais voláteis é reduzida de tal forma, que permite a utilização dos briquetes como material redutor em altos fornos.

6. Briquetagem com aglutinantes (ou ligantes)

- Os ligantes (ou aglutinantes) podem ser definidos com sendo uma substância através da qual se atinge uma compactação satisfatória, sob menor pressão aplicada, que a necessária correspondente à aglomeração sem ligante.

6. Briquetagem com aglutinantes (ou ligantes)

- As características desejáveis são:
 - Boa propriedade adesiva;
 - Viscosidade que permita sua distribuição entre as partículas;
 - Proporcionar aos briquetes boas características de resistência;
 - Barato.

6. Briquetagem com aglutinantes (ou ligantes)

- Podem ser do tipo:
 - Matriz;
 - Filme ou
 - Aglutinantes químicos.

6. Briquetagem com aglutinantes (ou ligantes)

Tipo Matriz	Tipo Filme	Aglutinantes Químicos
Alcatrão	Água	Ca(OH)_2 + melaço
Asfalto de petróleo	Silicato de sódio	Silicato de sódio + CO_2
Cimento Portland	Lignosulfonatos	Epóxies

Lignosulfonatos são polímeros complexos extraídos por processo químico de madeira. A madeira das árvores é constituída principalmente por três componentes – celulose, hemicelulose e lignina. No processo sulfito de polpação, a madeira em cavacos é cozida em ácidos e as ligninas são sulfonadas de modo a se tornarem solúveis em água e, assim, poderem ser separadas da celulose insolúvel. As ligninas solúveis em água são denominadas ***lignosulfonatos***.

6. Briquetagem com aglutinantes (ou ligantes)

- Os ligantes do tipo **matriz** provocam um embutimento das partículas dentro de uma fase substancialmente contínua, sendo as propriedades dos briquetes determinadas pelas características do ligante.

6. Briquetagem com aglutinantes (ou ligantes)

- Os ligantes do tipo **filme** apresentam função parecida com as colas adesivas e dependem, principalmente, da evaporação da água ou de algum solvente para desenvolver uma maior resistência mecânica.

6. Briquetagem com aglutinantes (ou ligantes)

- Os ligantes **químicos** podem ser utilizados tanto como matriz, como filme. Um bom exemplo são os ligantes químicos utilizados em areias de fundição.

6. Briquetagem com aglutinantes (ou ligantes)

- Alguns autores costumam utilizar outra forma de classificação, dividindo os ligantes em líquidos, sólidos, solúveis e insolúveis em água.

6. Briquetagem com aglutinantes (ou ligantes)

Material	Ligante
Minério de ferro	Cal e melaço
Cromita	Cal e melaço
Fluorita	Cal, melaço ou silicato de sódio
Bauxita	Cimento Portland
Carvão	Melaço
Cobre	Lignosulfonatos
Magnesita	Lignosulfonatos
Areia de quartzo	Água e NaOH
Barita	Melaço e black-ash

6. Briquetagem com aglutinantes (ou ligantes)

- o **Cimento Portland:**

- o É um material em forma de pó, constituído de silicatos e aluminatos de cálcio. Estes materiais ao serem misturados com água hidratam-se, endurecendo a massa e tendo por consequência uma elevada resistência mecânica.



Aglomeração mineral - 2. Briquetagem



Jazida de calcário - Holcim (Brasil) SA – Cantagalo/RJ



Jazida de calcário - Votorantim – Nobres/MT

6. Briquetagem com aglutinantes (ou ligantes)

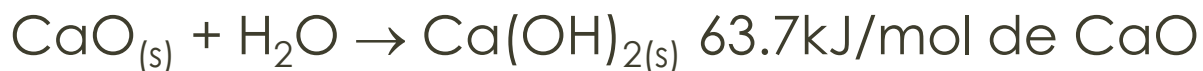
- Silicato de sódio ($\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$ (com $2 < n < 4$)):
 - São utilizados na produção de moldes na indústria de fundição, na produção de detergentes e sabões, como defloculantes e colas.
 - Pode ser produzido pela fusão, a aproximadamente 1300°C , de misturas de sílica e carbonato de sódio (Na_2CO_3).

6. Briquetagem com aglutinantes (ou ligantes)

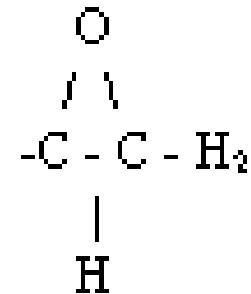
- Hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) ou cal hidratada:

- Apresenta-se como um pó branco, alcalino (pH 12,8) e pouco solúvel em água.

- Formação:

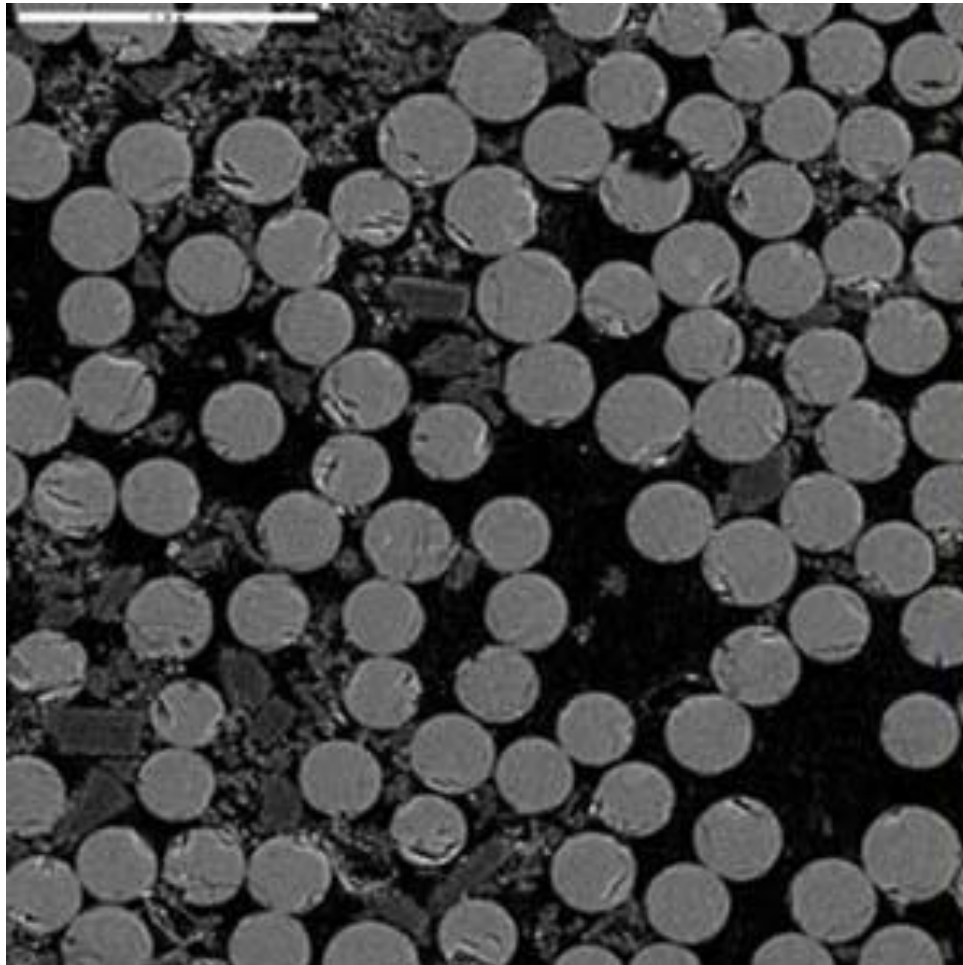


6. Briquetagem com aglutinantes (ou ligantes)



- **Resinas epóxis:**

- São polímeros caracterizados pela presença de **grupos glicídila** em sua molécula.
- Em combinação com outros produtos, proporcionam ótima aderência, flexibilidade e tenacidade, maior dureza, brilho, resistência à abrasão e excelentes propriedades físicas e mecânicas.



**Material compósito de resina epóxi com fibras de vidro.
Microscópio Eletrônico de Varredura (aumento 300x).**

6. Briquetagem com aglutinantes (ou ligantes)

- o **Melaço (*molasses*):**

- o É o líquido que se obtém como resíduo de fabricação do açúcar cristalizado, do melado ou da refinação do açúcar bruto. 1 tonelada de cana produz 100 kg de açúcar e de 20 a 50 kg de melaço.



6. Briquetagem com aglutinantes (ou ligantes)

- **Lignosulfonatos:**

- Quando molhados desenvolvem adesividade e poder de aglomeração em função da sua capacidade de reter e absorver água.
- Possuem capacidade de dispersar partículas sólidas em meio aquoso, através de um mecanismo eletrocinético. Cargas negativas são transferidas às partículas sólidas, resultando em repelência entre elas.

7. Briquetagem sem aglutinantes

- Muitos materiais orgânicos e inorgânicos podem ser briquetados sem a utilização de aglutinantes.
- As forças, que mantêm esses cristais unidos, não são necessariamente fortes, nem específicas, devendo apenas fazer com que os cristais individuais estejam suficientemente próximos uns dos outros.

7. Briquetagem sem aglutinantes

- As variáveis mais importantes na produção de briquetes sem aglutinantes são:
 - Umidade do material;
 - Capacidade de compressão das partículas;
 - Porosidade do briquete;
 - Tratamento térmico posterior à briquetagem.

7. Briquetagem sem aglutinantes

- No caso da aglomeração de finos de carvão, o uso ou não do aglutinante depende principalmente do tipo de carvão utilizado.
- Nos carvões betuminosos (ou hulhas, com 46% a 85% de carbono), a necessidade de aglutinantes é muito rara, enquanto que nos carvões semi-betuminosos (35% a 45% de carbono), a utilização do aglutinante é bastante comum.

7. Briquetagem sem aglutinantes

- Em estudo realizado no CETEM por Silva e Schinzel, para que o briquete de lignina (subproduto da fabricação do álcool com base em madeira seca, bagaço da cana e outras substâncias vegetais) apresentasse uma boa resistência mecânica, foi necessário aplicar uma pressão capaz de elevar a densidade aparente de $0,366 \text{ g/cm}^3$ para $0,95$ a $1,1 \text{ g/cm}^3$.

7. Briquetagem sem aglutinantes

- No entanto, a maior densidade aparente ocasionou a redução da porosidade, prejudicando a reatividade da lignina.
- Apesar da grande maioria dos processos de briquetagem, sem aglutinantes, utilizarem pressões baixas para a compactação, na produção de briquetes de óxido de cálcio e hidróxido de magnésio, torna-se necessária a utilização de pressões mais elevadas, de modo que seja alcançada uma maior resistência mecânica dos briquetes.

7. Briquetagem sem aglutinantes

- É comum a utilização de lubrificantes (água, grafite e outros) para redução do atrito entre as partículas e também entre os briquetes e os rolos.

8. Briquetagem a quente

- A briquetagem a quente é utilizada quando o material a ser aglomerado apresenta uma resistência mecânica elevada.
- O aquecimento das partículas a uma temperatura da ordem de 1.000°C torna possível a briquetagem de minério de ferro e dos pós gerados nos altos fornos.

8. Briquetagem a quente

- O limite superior da temperatura na briquetagem a quente é definido pela temperatura capaz de fundir as partículas em conjunto.
- A briquetagem a quente, também, é fortemente influenciada pelo tratamento térmico utilizado logo após a compactação.

8. Briquetagem a quente

- Alguns materiais necessitam de um resfriamento lento.
- A reciclagem de metais, principalmente dos resíduos produzidos em tornos ou em máquinas de furar, torna-se mais econômica através da utilização da briquetagem a quente.

8. Briquetagem a quente

- Os resíduos metálicos são aquecidos a 725°C , antes de serem encaminhados para um equipamento do tipo rolo, onde são comprimidos a uma pressão de aproximadamente 3.000 kg/cm .
- Após a compactação, os briquetes são imediatamente resfriados em água.

Resíduos metálicos e seus briquetes. Em (a) e (c) resíduos de latão e alumínio, respectivamente e em (b) e (d) os seus respectivos briquetes.



9. Avaliação da qualidade dos briquetes

- Os ensaios físicos mais utilizados são:
 - Resistência à compressão;
 - Resistência ao impacto;
 - Resistência à abrasão e
 - Resistência à penetração de água.
- Em alguns casos, é feita a avaliação da temperatura de choque.

9.1. Resistência à compressão

- Ensaio utilizado para determinar a resistência do briquete aos esforços compressivos, durante a sua estocagem.
- No ensaio, o briquete é submetido à pressão contínua e progressiva até que o mesmo frature.
- Uma resistência ideal para os briquetes é de $3,57 \text{ kg/cm}^2$.





INSTRON CALIBRATION LAB
Model: 4486
Capacity: 25 kN
Date: 10/10/2018
By: [Signature]
Next Due: 10/10/2019

Serial: 100000000
Date: 10/10/2018
By: [Signature]
Next Due: 10/10/2019

INSTRON

INSTRON

INSTRON



9.2. Resistência ao impacto

- Ensaio que determina a resistência do briquete ao suportar repetidas quedas, simulando aquelas que ocorrem durante o seu manuseio e transporte.
- Antes do tratamento térmico (cura), a resistência ao impacto dos briquetes pode ser determinada por meio de ensaios de queda livre, a partir de uma altura de 0,3 m.

9.3. Resistência ao impacto

- Nesse ensaio é utilizado como anteparo, uma placa de aço com espessura de 10 mm.
- Se o briquete for submetido a um tratamento térmico para aumentar sua resistência mecânica, a altura do ensaio de queda livre deverá passar para 1,5 m.

9.3. Resistência ao impacto

- A resistência ao impacto é determinada pelo número de quedas consecutivas que o briquete consegue resistir sem fragmentar.
- Para briquetes sem cura, considera-se 3 como um número razoável de quedas, enquanto que para briquetes submetidos a um tratamento térmico, o número de quedas passa para 10.

9.4. Resistência à ação da água

- Consiste na avaliação do ganho de massa obtido pelo briquete, após a imersão em um recipiente com água.
- É comum determinar a variação do peso, ao longo do tempo.
- Essa informação é muito importante para os casos em que os briquetes são estocados em ambientes externos.

9.5. Temperatura de choque

- É definida como a temperatura na qual 90% do briquete resiste, sem explodir, ao impacto de uma rápida elevação da temperatura.
- Essa propriedade é de fundamental importância para avaliação da qualidade dos briquetes que serão utilizados como combustível em fornos.

9.6. Resistência à abrasão

- Consiste na avaliação da degradação física sofrida por um briquete durante o seu transporte.
- Normalmente se quantifica a perda em peso de um briquete, devido à geração de partículas com tamanho inferior a 3,3mm, após 15min de peneiramento em peneirador vibratório.

9.6. Resistência à abrasão

- O briquete é considerado de excelente qualidade, quando menos de 5% das partículas do seu peso inicial apresentam tamanho inferior à malha teste após o ensaio.

9.6. Resistência à abrasão



Peneirador vibratório, do tipo *ro-tap*, utilizado nos ensaios de resistência à abrasão.

9.7. Densidade

- Trata-se de um dos parâmetros mais importantes para avaliar a qualidade do briquete.
- Pode ser determinado pelo quociente entre o peso do briquete e o volume, obtido a partir de suas dimensões.
- Uma outra forma de determinação do volume consiste no método clássico de medir o volume deslocado pelo briquete, quando o mesmo é imerso em um líquido.





1. Cromita com 2 1/4% de melaço e 2% de $\text{Ca}(\text{OH})_2$.
2. Coque com 8% de aglomerante de alcatrão.
3. Pó de carvão comprimido somente com pressão.
4. NaCl prensado com rolos lisos.
5. Sucata de PE prensada com rolos corrugados e axadrezados.
6. Pelotas de NaCl prensadas a 100°C somente com pressão.
7. Briquete de minério e coque composto.
8. Fluorita e cal comprimida somente com pressão.
9. Hematita com aglomerante de cal-melaço.
10. Carvão de menos 60 mesh comprimido somente com pressão.
11. Minério de chumbo e areia com aglomerante de cal-melaço.

12. Mistura de vidro com 8% de água.
13. Óxido de magnésio comprimido somente com pressão.
14. Minério de cromita com aglomerante de cal-melaço.
15. Peneiramentos de pelotas reduzidas de Midrex com 1 1/2% de silicato de sódio e 1% de Ca(OH)_2 como aglomerante.
16. Lateritas de níquel com 10% de água.
17. Aparas de torneamento de latão desengraxadas a quente comprimidas somente com pressão.
18. Limalha de furação de ferro fundido prensada a 650°C .
19. Pó metálico de níquel com 0,2% de aglomerante de Acrysol prensado em uma tira contínua.
20. Ferro reduzido prensado em uma tira contínua somente com pressão.





ALGODÃO E RESTOS DE
MADEIRA



LAMAS METÁLICAS



COBRE



ALUMÍNIO

Aglomeração mineral - 2. Briquetagem





02/08/2013



Aglomeração mineral - 2. Briquetagem

Briquete de minério de ferro

Briquete de óleo de palma





Briquete de resíduos de algodão



Briquetes de restos de madeira

COMPARATIVO DOS COMBUSTÍVEIS

Quantidade relativa para produção de 18,5 MBTU



Briquete

1 ton
1,6 m³



Lenha

2 ton
6,6 m³



Cavaco Verde

2,3 ton
6,5 m³



Óleo BPF 1A

500 kg
0,5 m³



GLP

404 kg
192 m³



Gás Natural

510 kg
728 m³

10. Briquetagem no Brasil

- Início da década de 60 na CSBM (Companhia Siderúrgica Belgo Mineira), em João Monlevade/MG com a instalação de um equipamento da empresa alemã Humboldt, para briquetagem de finos de carvão vegetal.

10. Briquetagem no Brasil

- Em 1965 a Companhia Brasileira de Briquetes, situada em Mateus Lemes/MG, iniciou suas atividades de prestação de serviços de briquetagem, principalmente de finos de carvão vegetal, com uma máquina de fabricação japonesa, para uso doméstico e na siderurgia.

10. Briquetagem no Brasil

- Já em 1974 a Empresa Carvel, em Contagem/MG, iniciou suas atividades na área de briquetagem, fabricando equipamentos e processando diversos materiais, entre os quais o carbonato de sódio, usado na dessulfuração de gusa nas usinas siderúrgicas.

10. Briquetagem no Brasil

- Em 1994 a CST (Companhia Siderúrgica de Tubarão) iniciou seus trabalhos voltados para o aproveitamento de seus resíduos, colocando em operação uma instalação experimental de briquetagem de lama de aciaria e outros resíduos, contando atualmente com uma capacidade instalada de briquetagem da ordem de 20.000 t/mês.