

## **CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DE BRITADORES APLICADOS AO PROCESSAMENTO MINERAL**

J. Varela

Dr.-Ing, Tecnologias de Britagem e Peneiramento, ThyssenKrupp Fördertechnik Latino Americana  
Rua Ceará, 1566, Belo Horizonte-MG, 30.150-311, e.mail: [james.varela@tkfla.com.br](mailto:james.varela@tkfla.com.br)

### **RESUMO**

Atualmente, a otimização do processo de britagem, especialmente do ponto de vista da produtividade, custos de investimento e operação, é um dos temas mais discutidos na indústria de mineração. Sem dúvida, a primeira etapa de fragmentação de uma rocha é realizada através do desmonte de rocha, seja este manual ou mecanizado, aliado ao uso de explosivos. Porém, do ponto de vista do processo, a britagem, realizada através de britadores, é a etapa responsável pela redução granulométrica e adequação do tamanho de partícula aos processos de classificação e concentração subsequentes. Entre os inúmeros fatores que influenciam a escolha e, conseqüentemente, o desempenho de um britador, encontra-se as características físicas das matérias-primas minerais, especialmente a dureza, a abrasividade e a coesividade. Desta forma, uma correta simulação do processo de britagem, aliada a escolha propriamente dita do britador ideal para uma determinada aplicação, seja na fase de projeto quanto na fase de operação, não é uma tarefa fácil e exige muito conhecimento técnico e análise de pontos críticos do processo. Neste trabalho serão discutidos os princípios de funcionamento dos principais modelos de britadores utilizados nas atuais plantas de processamento mineral, as forças envolvidas neste processo de cominuição e a influência das características físicas do material a ser processado no desempenho, dimensionamento e escolha destes equipamentos.








**PALAVRAS-CHAVE:** equipamentos de britagem, características físicas e químicas dos minérios, dimensionamento de equipamentos e desempenho de britadores.

## 1. INTRODUÇÃO

Sejam os depósitos de calcário utilizados na produção de cimento, assim como os diferentes tipos de rocha (granito, basalto, quartzito, etc.) utilizados como agregados para construção civil ou os diferentes minerais industriais e minérios transformados em produtos finais e comercializados em nossa sociedade, todos os bens minerais passam por uma ou mais etapas de cominuição. Basicamente, a cominuição pode ser definida como o processo de redução granulométrica de um material. Existem duas grandes áreas de cominuição, a saber, a britagem e a moagem. Os respectivos equipamentos utilizados nestes processos são britadores e moinhos. Neste artigo trataremos apenas dos equipamentos utilizados para a britagem. A britagem tem por objetivo a geração de um produto final ou preparação e adequação do mesmo a uma etapa posterior, seja ela uma cominuição, classificação ou concentração. A seguir são apresentados os principais critérios para avaliação do processo de britagem, equipamentos disponíveis no mercado e suas características, e por fim, recomendações de equipamentos segundo a aplicação de processo.

## 2. PRINCIPAIS CRITÉRIOS PARA DEFINIÇÃO DE UM BRITADOR

O objetivo do processo de britagem é reduzir o tamanho de partícula do material utilizando o menor número de estágios e, assim, reduzir custos de investimento, operação e manutenção, bem como realizar um processo eficiente em termos de produtividade e disponibilidade. Sendo assim, as características físicas da matéria-prima a ser processada são as primeiras informações a serem avaliadas no processo de britagem. Segundo Muckermann (2009) a tabela 1 resume alguns dados utilizados como critério de seleção para uma determinação preliminar do tipo de britador adequado a uma aplicação.

Tipo de britador	Máxima relação de redução	Resistência a compressão [ Mpa ]	Teor de Silica [ % ]	Umidade [ % ]
Britador de martelo de 1 ou 2 eixos 	1 : 50 (100)	< 200	< 3 - 8	< 15 - 20
Britador de Impacto 	1 : 15 (1 : 60) c/ pista de britagem	< 300	< 12	< 8
Britador cônico 	1 : 4	< 400	ilimitado	< 8
Britador de rolos 	1 : 4	< 180	< 10	< 30
Britador Sizer 	1 : 4 (1 : 6)	< 130	< 10	< 30 (15)
Britador de mandíbulas de 1 ou 2 eixos 	1 : 6	< 250 (500)	< 30 ilimitado	< 10
Britador giratório tipo Mandíbula 	1 : 7 (1 : 10)	< 400 (300)	ilimitado	< 5

**Tabela 1 - Critérios de seleção para britador**

Britadores primários utilizados nas plantas de britagem normalmente recebem tamanhos máximos de rocha da ordem de 1,0 - 2,0 m. Um dos parâmetros mais importantes para a definição do tipo e modelo de britador é o tamanho de partícula a ser processado e a relação de redução desejada. A relação de redução expressa a razão entre o tamanho máximo de entrada e de saída de um britador.

O conhecimento da dureza do material a ser britado é fundamental para o projeto de britagem. Os principais índices de dureza utilizados são a resistência a compressão, o índice de Los Angeles e a dureza Mohs. Além desta característica, a abrasividade da matéria-prima deverá ser analisada com muita atenção, para se evitar altos custos de manutenção. Normalmente esta pode ser descrita através do conteúdo de sílica e quartzo livre, relacionado com o índice de abrasão. A coesividade do material também deve ser considerada no projeto de britagem. Para tanto, deve-se ter informações a respeito da umidade, quantidade de argila e, em alguns casos, determinar o ângulo de repouso.

Para uma correta aplicação do britador, além das características do material processado mencionadas anteriormente, outras premissas do projeto de britagem devem ser levadas em consideração. Desta forma, embora muitas vezes avaliados como consequência, alguns aspectos técnicos limitam e definem qual o tipo de equipamento a ser utilizado no processo de cominuição. Entre estes fatores, ressaltam-se os parâmetros mecânicos e operacionais intrínsecos de cada tipo de equipamento, ver tabela 2.

Características do material	Parâmetros mecânicos e operacionais de equipamentos
Distribuição granulométrica	Energia requerida
Resistência a compressão	Forças envolvidas
Coesão e ângulo de atito	Desgaste de componentes
Britabilidade	Disponibilidade física
Dureza e abrasividade	Distribuição granulométrica
Umidade	Forma da partícula
Velocidade de propagação de onda	Taxa de produção máxima
Textura e microestrutura	

**Tabela 2 - Aspectos envolvidos na seleção de britadores**

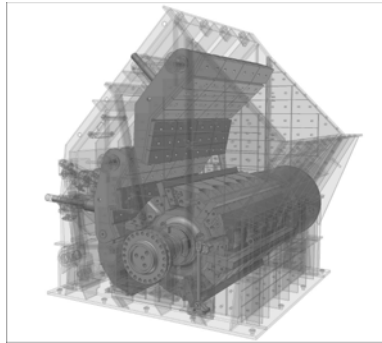
### 3. TIPOS DE BRITADORES

Para qualquer tipo de material existe um britador ideal ou uma combinação destes, que satisfaça as premissas de um projeto de britagem eficiente. A seguir serão abordadas algumas características dos principais britadores utilizados em plantas de processamento mineral.

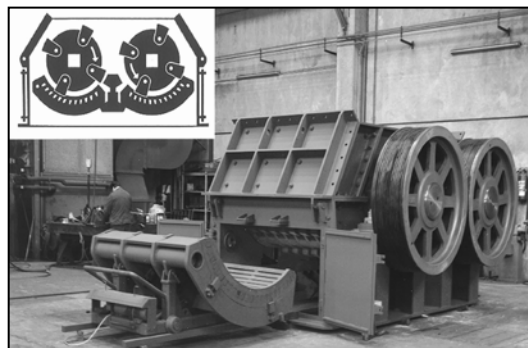
#### 3.1 Britador de impacto e britador de martelos

Os britadores de impacto e britadores de martelos consistem de rotores robustos, cujo projeto otimizado resulta em alto momento de inércia e energia cinética. A figura 1 apresenta um desenho em 3D da câmara de britagem, incluído rotor e placas de impacto com sistema de regulagem hidráulico. Dependendo das condições de operação, existem britadores de impacto que processam até 2.500 t/h. Uma característica especial deste tipo de britador é a possibilidade de inclusão de um sistema de proteção da câmara de britagem contra corpos metálicos estranhos. O princípio de cominuição do britador de martelos é a rotação de martelos entre o rotor e a bigorna e uma grelha posicionada na região de descarga do material (ThyssenKrupp, 2010), ver figura 2. O projeto da

grelha define o tamanho de produto. O britador de impacto, ao contrário de martelos, possui barras fixas no rotor que projetam o material contra placas, respectivamente uma pista de britagem.



**Figura 1 - Câmara de britagem de um moderno britador de impacto**

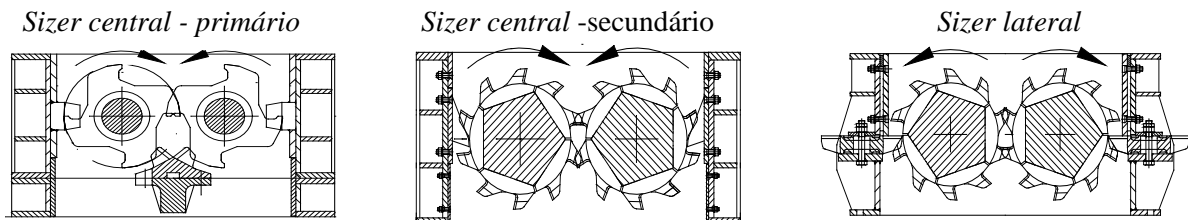


**Figura 2 - Britador de martelo de duplo eixo com grelha**

O britador de martelo de duplo eixo é adequado para o processamento de materiais com alta umidade. Para isto, a geometria da câmara de britagem, a bigorna e a grelha necessitam de adaptações para se evitar problemas com obstrução/entupimento.

### 3.2 Britador Sizer e britador de duplo rolo

O britador sizer e o britador de duplo rolo consistem em dois eixos inseridos em uma câmara de britagem em estrutura parafusada ou soldada. O britador sizer possui duas variações: o tipo central e lateral sendo a diferença relacionada com o sentido de rotação dos rolos, ver figura 3. O tamanho e número de dentes também influenciam na sua aplicação. Em geral, na britagem primária utiliza-se dentes maiores (fator de 10:1 entre o diâmetro do eixo e altura do dente), espaçamento entre dentes maior e um número de dentes menor quando comparado com britagens secundária e/ou terciária.



**Figura 3 - Diferenças nos tipos de britador sizer**

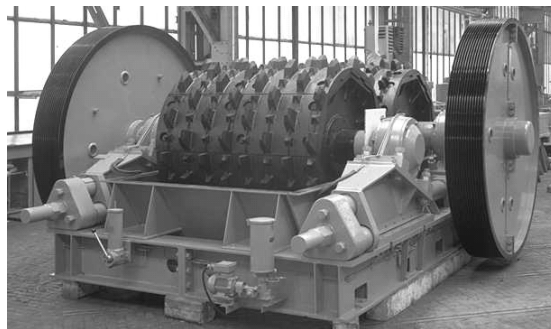
Existem 3 estágios envolvidos no processo de britagem com britador sizer do tipo central. A figura 4 ilustra o princípio de operação relacionado com estes 3 estágios, a saber, impacto na ponta do dentes, cisalhamento entre dentes e impacto na barra localizada abaixo dos rolos. A utilização da barra de impacto aumenta o fator de redução do britador sizer. Em geral esta redução pode variar de 3:1 para 5:1. No britador sizer tipo lateral, o impacto do material nas paredes laterais do equipamento auxilia o processo de redução do tamanho do material.



**Figura 4 - Representação dos estágios de britagem envolvidos no britador sizer tipo central**

Uma característica importante quanto à forma de alimentação do material no britador está relacionada com o arranjo em espiral ou em linha dos dentes. No arranjo espiral a movimentação do material é realizada em uma das extremidades do britador e a alimentação é realizada preferencialmente na extremidade oposta do britador. No arranjo em linha, o transporte do material é realizado para ambas as laterais do britador e a alimentação é preferencialmente na região central. O acionamento do britador sizer é direto e toda potência necessária é proveniente do motor. A transmissão é via eixo cardan, acoplamentos e um redutor acoplado aos dois eixos do britador.

O britador de duplo rolo distingue-se do britador tipo sizer, principalmente pela sua robustez e volante de inércia que auxilia na energia transferida para o processo de britagem em um rolo fixo e outro móvel (ver Figura 5). Este tipo de britador possui rolos com diâmetros maiores, o sentido de rotação dos rolos é exclusivamente na direção central e a velocidade de rotação é relativamente maior quando comparada com as utilizadas no britador sizer (Varela, 2011).



**Figura 5 - Britador de duplo rolo em fase de testes na fábrica**

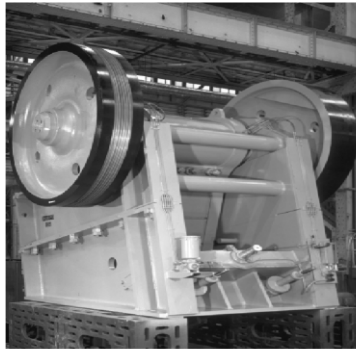
O sistema de acionamento é, preferencialmente, via conjunto de correia e polia. O sistema de fixação dos dentes pode ser concebido de várias formas, dependendo da aplicação. São utilizadas placas metálicas ou dentes individuais aparafusados. Este britador possui uma característica

particular relacionada ao sistema de pré-tensionamento hidráulico e alívio da pressão do rolo móvel. Os modelos industriais em operação deste tipo de britador podem chegar a uma taxa de produção de 14.000 t/h, com rotor de largura de 3,4 m e diâmetro de 2,6 m. Apesar do britador de rolo gerar uma quantidade maior de finos que o sizer, a relação de redução destes equipamentos é muito menor quando comparada com os britadores de impacto e o de martelos (que operam a altas velocidades periféricas). A prensa de rolos possui características similares ao britador de rolos. Este equipamento atualmente vem substituindo britadores terciários e quaternários, principalmente pela possibilidade de gerar uma elevada quantidade de finos com um baixo consumo de energia e reduzido desgaste. Devido a sua aplicação estar relacionada com etapas de moagem, o mesmo não será detalhado neste trabalho.

### 3.3 Britador de mandíbulas

O britador de mandíbulas, provavelmente o tipo de britador mais difundido no mundo, também é um britador muito robusto, cujo princípio de britagem está baseado em forças de compressão. O material é britado entre uma mandíbula fixa e outra mandíbula móvel, esta integrada a um volante. O sistema de acionamento deste equipamento é realizado por polias e correia em V, ver figura 6.

Os maiores modelos de britadores de mandíbulas possuem uma boca de entrada do material com 2 m de largura e 1,5 m de profundidade. Dependendo das condições de operação, a capacidade deste tipo de britador pode chegar a 1.300 t/h. Dependendo da forma de construção, estes britadores podem pesar 150 t. Alguns componentes de projeto que podem ser diferenciados são: rolamentos, espessura das placas de impacto, arranjo da câmara de britagem, volante de inércia.



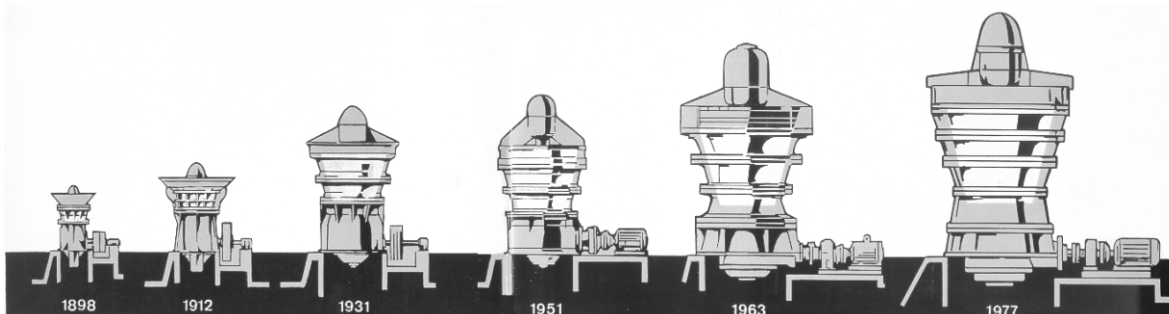
**Figura 6 - Britador de mandíbulas**

### 3.4 Britador giratório e britador cônico

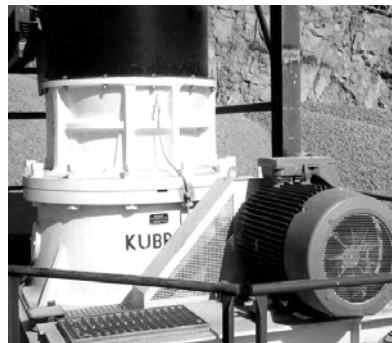
O princípio de funcionamento do britador giratório e do britador cônico é muito semelhante. Ambos distinguem-se basicamente pelo seu porte e geometrias da câmara de britagem e inclinação do eixo cônico (com maior ou menor inclinação). O britador giratório, de dimensões maiores, é aplicado em britagem primárias, enquanto o britador cônico é utilizado em etapas de rebitagem (geração de produtos com menor tamanho de partícula). Basicamente, o processo de cominuição nestes tipos de britadores acontece em uma câmara constituída entre um cone de britagem com movimento excêntrico e um manto fixo de britagem (Wotruba, 2005).

A figura 7 ilustra a evolução no tamanho dos britadores giratórios. Atualmente a boca de abertura do britador giratório pode chegar a 1.600 mm e o diâmetro do manto 2900 mm. O maior modelo de

britador giratório pesa aproximadamente 560 t. Este tipo de equipamento é utilizado para britar materiais de alta dureza e abrasividade, porém ele possui limitações com materiais coesivos. Dependendo das condições de operação, existem modelos de equipamento capazes de processar 600 a 14.000 t/h. Por outro lado, o britador giratório tipo mandíbula, com a boca de entrada de outro formato, dependendo das condições de operação, pode chegar a uma taxa de produção de até 3.000 t/h. Uma característica do britador giratório/cônico é a geração de uma distribuição granulométrica do produto bastante uniforme. A relação de redução do britador giratório é maior que o britador de mandíbulas. Outros aspectos a serem considerados na aplicação deste tipo de britador é a sua alta disponibilidade mecânica, elevada robustez, alívio de carga para o circuito de britagem secundário e aumento de capacidade do moinho (SAG, prensa de rolos, convencional). A figura 8 ilustra um britador cônico. Existem modelos de britadores cônicos capazes de produzir 1.500 t/h, dependendo do material processado e das condições operacionais.



**Figura 7 - Evolução dos modelos de britador giratório**



**Figura 8 - Britador cônico**

#### **4. RECOMENDAÇÃO DE BRITADOR SEGUNDO A APLICAÇÃO DE PROCESSO**

Britadores de impacto e de martelos são freqüentemente aplicados nas plantas de britagem de calcário e outros materiais de dureza baixa a moderada. Embora existam equipamentos especialmente desenvolvidos para britagem de materiais duros e reciclagem de materiais (Boehringer, 1987). Estes tipos de equipamentos apresentam uma elevada relação de redução, como por exemplo, um fragmento de 1 m pode ser britado em apenas um 1 estágio resultando em um produto com 95% menor que 25 mm ou 80 mm. Estes tipos de britadores operam com grandes velocidades periféricas, resultando em altas energias cinéticas e elevadas forças de impacto. A máxima taxa de compressão permitida para os britadores de martelo e britadores de impacto é de aproximadamente 150 MPa.

Nos britadores que operam com alta velocidade periférica do rotor, os elementos de britagem (martelos e barras de impacto) são expostos a altas taxas de desgaste. O limite para estes equipamentos é 8-12% de teor de sílica. Caso os valores de sílica estejam acima dos valores citados anteriormente, deve-se optar por outro sistema de britagem. Outra característica física muito importante para uma correta aplicação de britadores é a umidade do material. Enquanto o britador de impacto possui um limite de 8%, o britador de martelos pode processar materiais com até 20% de umidade. Esta vantagem permite inclusive o processamento concomitante de matérias-primas com características distintas, como, por exemplo, calcário e argila, obtendo-se uma pré-homogeneização já no processo de cominuição.

Em aplicações com valores muito altos de umidade ou teor de sílica utiliza-se britadores que requerem um número maior de etapas de britagem. Os britadores disponíveis para o processamento de materiais abrasivos são o britador de duplo rolo, o sizer, o de mandíbulas e o giratório/cônico. Enquanto a relação de redução destes britadores é aproximadamente a mesma, chegando a 1:6, a sua habilidade em processar materiais com elevada umidade e/ou abrasividade é decisiva.

Os britadores de mandíbulas e o giratório/cônico reduzem o material utilizando elevadas forças de compressão, o que torna estes equipamentos a escolha ideal para o processamento de materiais duros com resistência a compressão de até 400 MPa. Porém estes equipamentos não são indicados para o processamento de materiais com alta umidade e/ou contaminações de argila ou outros minerais coesivos. O princípio de operação do britador de duplo rolo e do tipo sizer combina forças de compressão, impacto e também de cisalhamento durante o processo de britagem (Schubert, 1989). Estes britadores são indicados para o processamento de materiais coesivos, porém, possuem limitações com materiais de elevada dureza (resistência a compressão de 130 a 180 MPa).

## 5. CONCLUSÃO

O processo de britagem é a primeira operação unitária em uma planta de processamento mineral. Uma correta análise das características dos materiais, especialmente a dureza, abrasividade, umidade, assim como a relação de redução, é de suma importância para a determinação de um processo de britagem eficiente. Existem inúmeros tipos de britadores e uma criteriosa avaliação das suas características também deve ser considerada no projeto, especialmente visando otimizar os custos de investimento, operação e manutenção. Sempre que possível, busca-se pela simplificação do número de estágios de britagem, embora na maioria dos casos a adoção de vários estágios seja inevitável devido as premissas de cada aplicação e as garantias e/ou riscos envolvidos.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Boehring, P. Stein und Erden - aufbereiten und verwerten. Schluetersche Vaerlaganstalt und Druckerei GmbH & Co, Hannover, 327p., 1987.
- Muckermann, J. Optimized Crusher Selection for the Cement Industry, APCAC, XXVI Technical Congress, Bogota – Colombia, 9 p., 2009.
- Schubert, H. Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe. Band I, 4. Ed., VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 363 p., 1989.
- ThyssenKrupp Foerdertechnik, Catálogo de Britador de impacto, 8p., 2010.
- Varela, 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.