

METODOLOGIA EMPREGADA PARA ESCALONAMENTO DE CIRCUITOS DE PENEIRAMENTO E BRITAGEM ¹

Neymayer Pereira Lima ²
Klaydison Carlaile Silva ²
Ivan Pena ³

Resumo

As operações unitárias de peneiramento e britagem são empregadas para praticamente todas as espécies minerais, visando adequações granulométricas, classificações e preparação das espécies minerais para outras operações, tais como moagem. Além de representar aproximadamente 10% do custo operacional de uma usina completa de tratamento de minérios (britagem, peneiramento, classificação, moagem, concentração, espessamento e filtragem), as operações de peneiramento e britagem devem ser bem dimensionadas, caso contrário podem contribuir para a redução do rendimento operacional da usina (horas úteis operadas), através de desgastes prematuros de revestimentos, perdas de capacidade e eficiências, dentre outros. Usualmente, o dimensionamento de britadores e peneiras é feito com base em informações de capacidades obtidas em catálogos de fornecedores de equipamentos, cujo banco de dados é muito vasto para minérios calcáreos, com aplicação de fatores para correção da densidade. Para os diferentes tipos de minérios de ferro (hematíticos, itabiríticos, goethíticos, etc) a aplicação das informações de catálogos pode levar a erros de dimensionamentos, mesmo aplicando correções de densidades. Este trabalho descreve a metodologia empregada para dimensionamento de circuitos de peneiramento e britagem com base em parâmetros obtidos em testes industriais. Para o caso de peneiras, foi avaliada a capacidade unitária por área útil ($t/h/m^2$) em função da granulometria de alimentação e eficiência de peneiramento. Para os estágios de britagem, em especial os estágios terciários e quaternários foram avaliadas as eficiências por malha e sua relação com a abertura do britador e as características dos minérios.

Palavras-chave: Peneiramento; Britagem; Dimensionamento.

METHODOLOGY APPLIED TO SCALE UP CRUSHING AND SCREENING CIRCUITS

Abstract

Screening and crushing are unit operations used in almost all mineral processing industries, aiming size distributions adjustment, classification, preparation of minerals to other operations (grinding mill), etc. Besides representing close to 10% of the operational costs in a complete mineral processing industry, screening and crushing operations must be well fitted, on the contrary can reduce the plant's performance through premature wear of linings, losses of capacity and performance of the equipments, etc. Usually, screenings and crushers are fitted using capacity informations by the suppliers, which database comprises calcareous rocks, after gravity correction. This methodology can cause problems of fitting for the different iron ores. This work describes the methodology applied for the fitting of screening and crushing besides the use of parametres obtained in industrial tests. The following parametres were obtained with the industrial tests: Unit capacity for screening area ($t/h/m^2$) as a function of size distribution on the feed and screening performance; Crushing performance for size distribution as a function of crushers parametres and mineral properties (size distribution and mineralogy).

Key words: Screening; Crushing; Scale-up.

¹ Contribuição técnica ao 39º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 10º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 22 a 26 de novembro de 2009, Ouro Preto, MG.

² Engenheiros de Processo, Gerência de Desenvolvimento de Projetos, Vale, Brasil.

³ Analista de Processo, Gerência de Desenvolvimento de Projetos, Vale, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

As operações de peneiramento e britagem são largamente empregadas no tratamento de minérios. O peneiramento industrial é geralmente limitado em malhas próximas de 250 μm , devido ao elevado custo, tendência ao “cegamento” e fragilidades de malhas mais finas.⁽¹⁾ Segundo Wills⁽¹⁾ os principais objetivos do peneiramento industrial são: redução de finos na alimentação da britagem, visando aumento de capacidade e eficiência; limitação de tamanho máximo de partículas (*topsize*) em etapas subsequentes, como moagem; preparação de produtos finais para comercialização. A eficiência de peneiramento é determinada pela perfeição de separação de material em relação à abertura da malha. Não existe um método universalmente aceito para definição da eficiência de peneiramento, existindo vários métodos. O critério mais usado para cálculo da eficiência refere-se ao percentual de partículas finas (abaixo da abertura da malha) no *oversize* ou de partículas grossas (acima da abertura da malha) no *undersize* ou uma combinação entre estes. Os principais parâmetros que afetam a eficiência de peneiramento são: taxa de alimentação, umidade, granulometria, amplitude e rotação de peneiramento, inclinação de alimentação. Estes parâmetros afetam o tempo de residência, a segregação de material ao longo da peneira, a probabilidade da partícula passar pela malha, o “cegamento” das telas etc, que por sua vez afetam diretamente a capacidade e a eficiência do peneiramento.

Dentre estes parâmetros, as características da alimentação são as que mais afetam a eficiência do peneiramento. A eficiência é largamente reduzida pela presença de partículas com tamanho próximo a abertura da malha (“nearsized”). Estas partículas tendem a “cegar” a malha, reduzindo o percentual de área útil e serem encaminhadas ao *oversize*.

A operação de fragmentação, no campo de tratamento de minérios, agrupa um conjunto de técnicas que têm por objetivo reduzir, por ação mecânica externa e algumas vezes interna, um sólido de determinado tamanho em fragmentos de tamanho menor.⁽²⁾

A operação de britagem visa redução granulométrica para etapas seguintes, como a moagem, sendo geralmente realizada em várias etapas.

Um material ideal se rompe quando o limite de ruptura é ultrapassado. Isto é, quando se rompem todas as ligações atômicas de certo plano. Isso não ocorre facilmente com as rochas e os minerais, pois são materiais heterogêneos, anisotrópicos e contêm falhas, tanto em escala micro como macroscópica.⁽³⁾

Os estudos relativos aos mecanismos de fragmentação de rochas, por mais úteis que sejam, considerando a complexidade do problema de fragmentação, ainda não formularam uma teoria geral satisfatória, com aplicação prática.

Os atuais britadores cônicos sofreram grandes transformações comparadas aos primeiros equipamentos desenvolvidos em meados de 1920 por Edgar B. Symons.⁽⁴⁾ Simulações matemáticas são atualmente empregadas visando dimensionamento e otimizações de equipamentos de britagem, devendo-se levar em consideração as características dos minérios que afetam o desempenho e capacidade destes equipamentos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Peneiramento

O parâmetro para dimensionamento de peneiras foi a capacidade unitária por área útil ($t/h/m^2$), obtida em função da granulometria da alimentação (% de *nearsized*) e da eficiência do peneiramento. Foram obtidas capacidades unitárias para diferentes malhas e estágios de peneiramento: 63 mm (peneiramento 2^o), 35 mm (peneiramento 3^o) e 12,5 mm (peneiramento 4^o).

Para todos os estágios de peneiramento foi considerado o percentual de *nearsized* (partículas com tamanhos próximos a malha de peneiramento) na alimentação e avaliado o efeito deste sobre a eficiência de peneiramento e, por consequência, sobre a capacidade unitária de peneiramento. Foram considerados os seguintes *nearsized*:

- peneiramento 2^o: 31,5 mm a 94,5 mm;
- peneiramento 3^o 17,5 mm a 52,5 mm; e
- peneiramento 4^o: 6,3 mm a 18,7 mm.

Foram construídos gráficos de capacidades unitárias de peneiramento em função do percentual de *nearsized* na alimentação para uma eficiência de peneiramento de 90%.

Os valores obtidos foram usados como referências para o escalonamento dos estágios de peneiramento 2^o, 3^o e 4^o para minérios de ferro.

Os valores foram obtidos com base em medidas industriais.

2.2 Britagem

Os parâmetros para dimensionamento de estágios de britagens 2^o, 3^o e 4^o foram: capacidades dos equipamentos, com base em valores históricos e eficiências de britagem por malha, obtidas em função da abertura do britador e características dos minérios.

Foi avaliada britagem 2^a em circuito aberto e britagens 3^a e 4^a em circuitos fechados, com malhas de 35 mm e 12,5 mm, respectivamente.

Foram avaliados diferentes tipos de minérios (itabiríticos e goethíticos), com variações de granulometrias.

Para o estágio de britagem 4^a, foi avaliado também o efeito da abertura do britador e tipos de revestimentos.

Após estabilização do circuito foram amostradas alimentação e descarga dos britadores para caracterização granulométrica. Assim, foram construídas curvas de eficiência de britagem por malha. As eficiências foram calculadas através da equação:

$$Eficiência = \left(1 - \frac{\% Ret. Acumulado Descarga}{\% Ret. Acumulado Alimentação} \right) \times 100\% \quad 1$$

Após obtenção das curvas de eficiência por malha foram obtidas equações na busca de correlações com alguns fatores: abertura dos britadores, características e granulometria da alimentação.

Todos os resultados obtidos foram usados para dimensionamento de um circuito de britagem e peneiramento visando à moagem de minérios itabiríticos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Peneiramento

A Figura 1 mostra a capacidade unitária de peneiramento em função do percentual de *nearsize* para uma eficiência de peneiramento de 90%.

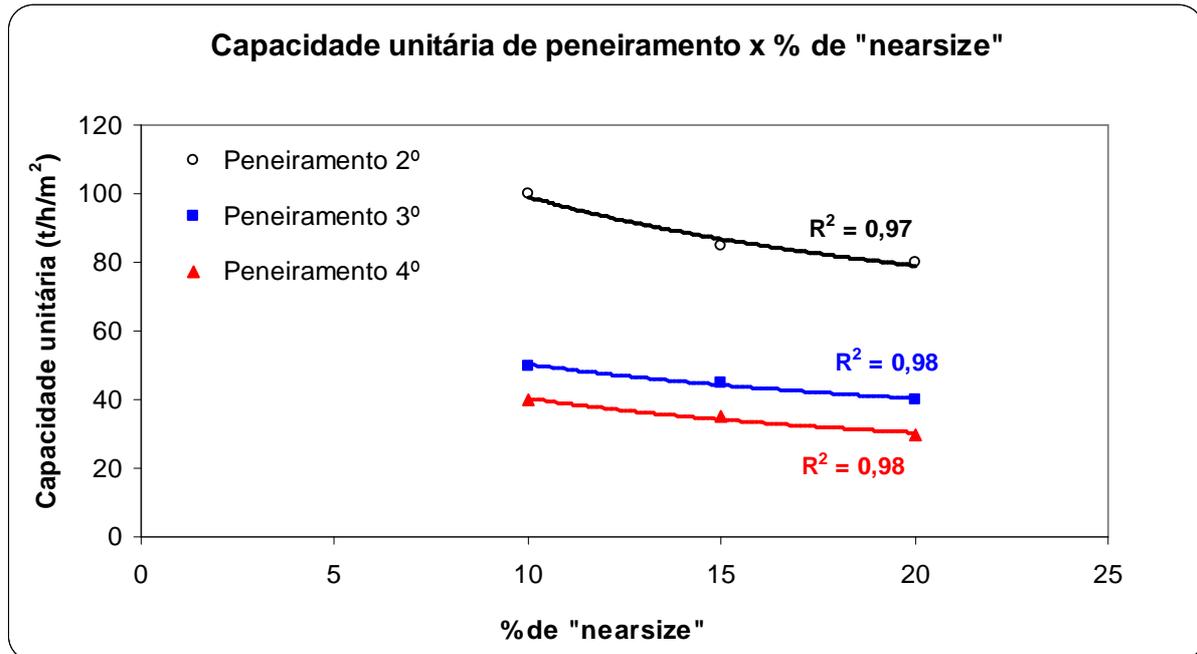


Figura 1- Capacidade unitária de peneiramento x % de *nearsize* para 90% de eficiência de peneiramento.

A Figura 1 foi obtida para diferentes tipos de minérios, sendo observado que para 90% de eficiência a capacidade unitária de peneiramento apresenta elevada correlação com o percentual de *nearsize* na alimentação do peneiramento.

Para valores de *nearsize* próximos de 15%, os seguintes valores de capacidades unitárias podem ser usados para o escalonamento de peneiras:

- peneiramento 2º: 85 t/h/m²;
- peneiramento 3º: 45 t/h/m²; e
- peneiramento 4º: 35 t/h/m².

3.2 Britagem 2ª

As eficiências de britagem 2ª obtidas industrialmente para um britador cônico tamanho 17"x84" para dois tipos de minérios, podem ser vistas através da Figura 2 à seguir.

A regulagem do britador e a vida útil e tipo do revestimento foram iguais para os dois minérios avaliados. Devido às diferenças granulométricas entre os minérios a taxa de alimentação foi diferente.

Observa-se que as curvas apresentam formatos muito próximos, sendo um polinômio de 2º grau a equação de maior coeficiente de correlação (R^2) para os dois minérios avaliados. As diferenças entre os coeficientes das equações devem-se, provavelmente, às diferenças entre os minérios.

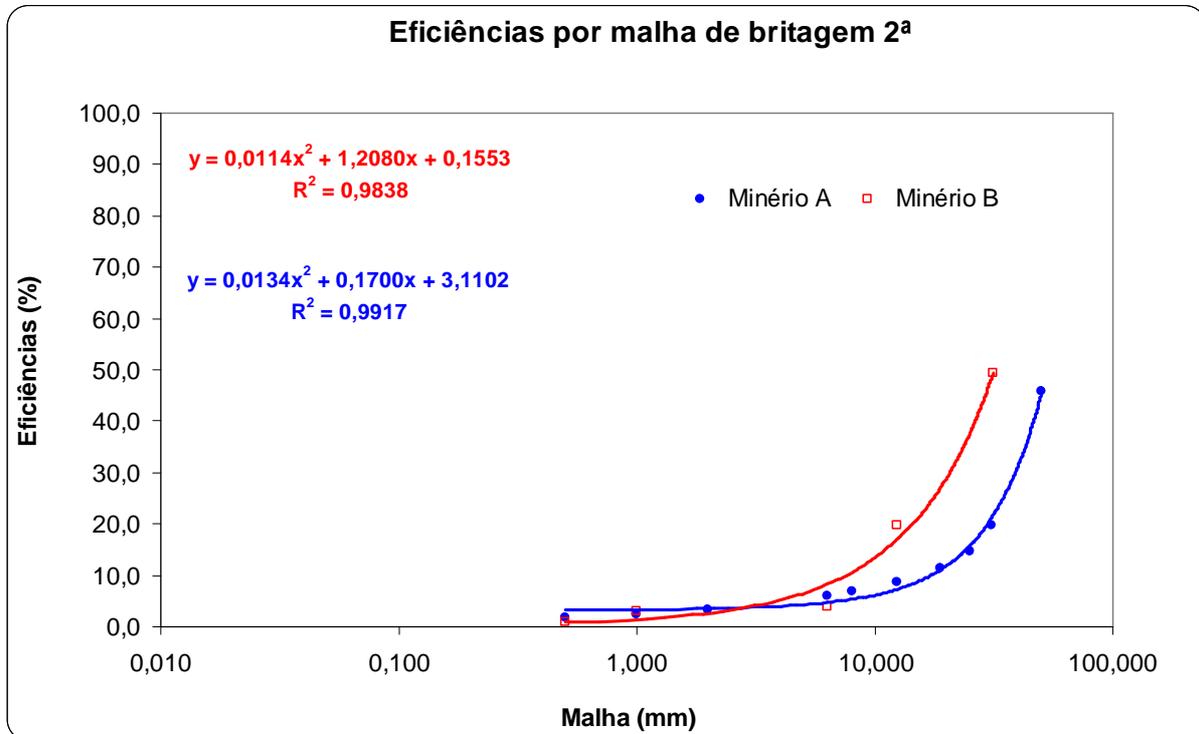


Figura 2- Eficiências de britagem 2ª obtidas num britador tamanho 17"x84".

A Figura 3 mostra a distribuição granulométrica das alimentações da britagem 2ª, referentes aos minérios A e B.

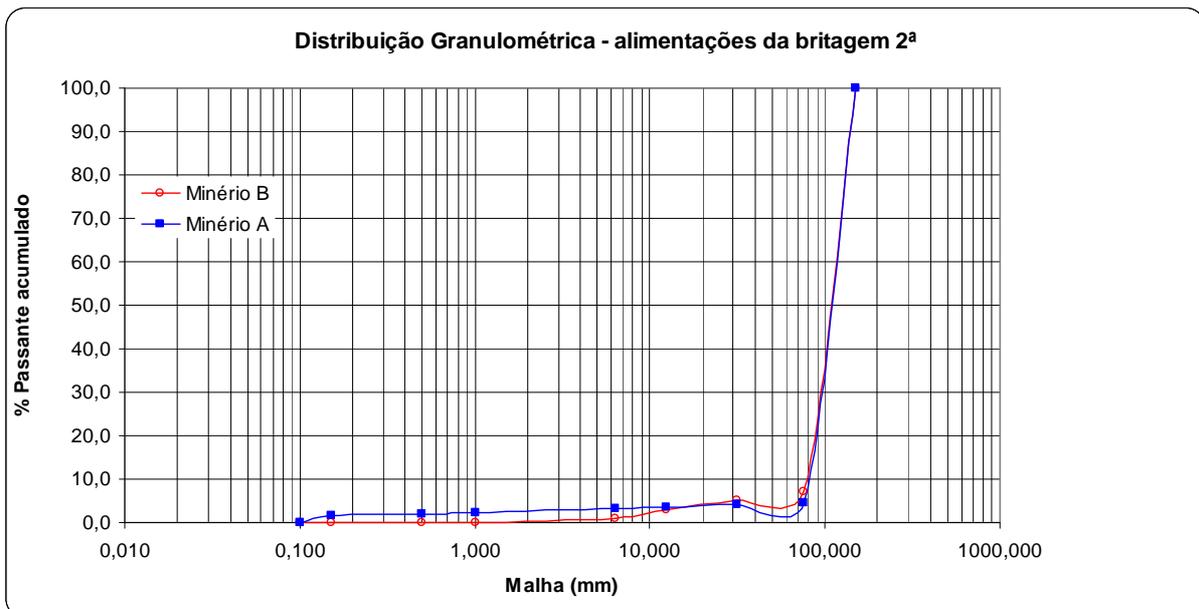


Figura 3- Distribuições granulométricas das alimentações da britagem 2ª.

Para os dois minérios avaliados, o britador operou abaixo de sua capacidade nominal (750 t/h), conforme especificação de catálogo.

O britador 2º apresentou maiores capacidades para o minério B, tipicamente itabirítico com baixíssimo grau de hidratação. O minério A é tipicamente hematítico com elevado percentual de goethitas e elevada hidratação, conforme mostra a Tabela 1. As diferenças químicas e mineralógicas entre os minérios A e B podem justificar as diferenças entre as curvas de eficiência no britador 2º.

Tabela 1- Análises químicas e mineralógicas dos minérios A e B

Minério	Fe (%)	SiO2 (%)	Al2O3 (%)	P (%)	PPC (%)	Hematitas (%)	Goethitas (%)
A	47,64	29,91	0,74	0,023	0,84	61,0	5,0
B	60,93	2,19	1,94	0,120	7,41	51,3	38,7

3.3 Britagem 3ª

A Figura 4 mostra as curvas de eficiência da britagem 3ª obtidas em um britador cônico tamanho 5"x84" para o minério A (tipicamente itabirítico). Foram realizados três testes industriais.

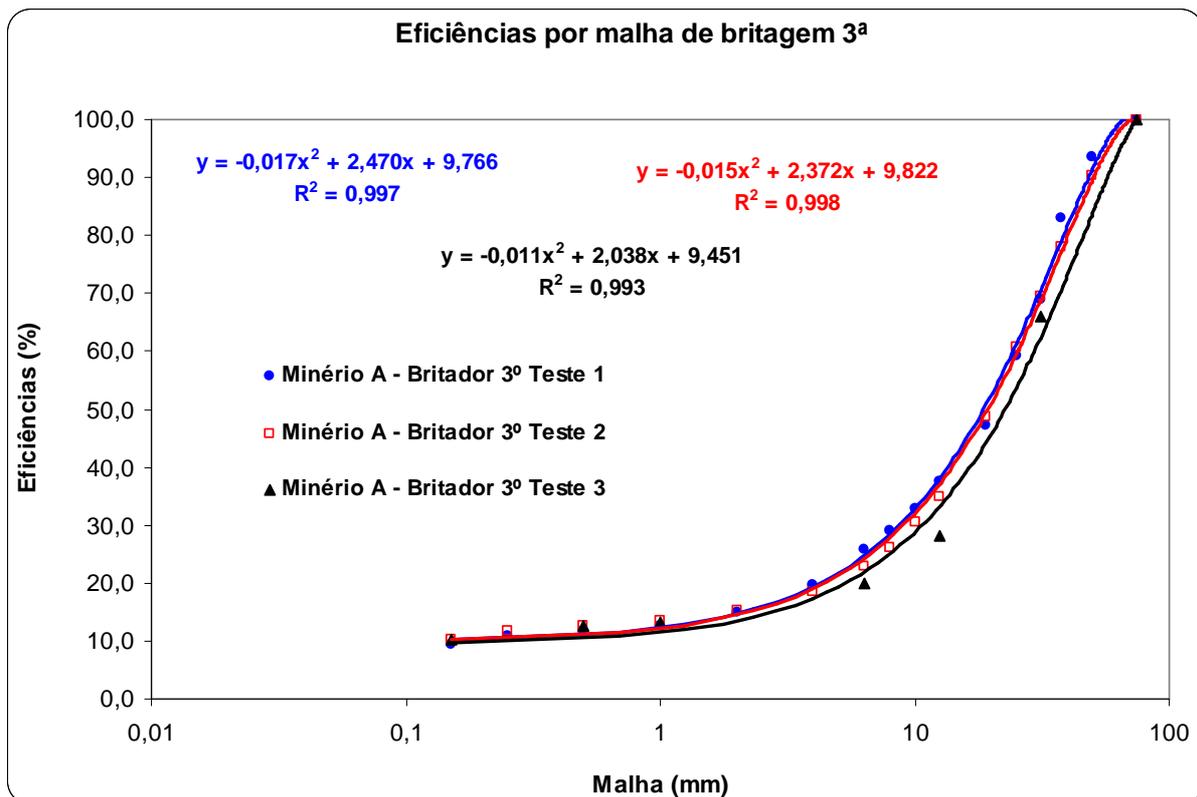


Figura 4- Eficiências de britagem 3ª obtidas num britador tamanho 5"x84".

Observa-se que as equações obtidas para os testes 1 e 2 foram muito próximas, sendo que o teste 3 apresentou a maior diferença, o que pode ser justificado pelas diferenças granulométricas entre a alimentação da britagem deste teste em relação a granulometria dos testes 1 e 2, conforme mostra a Figura 5.

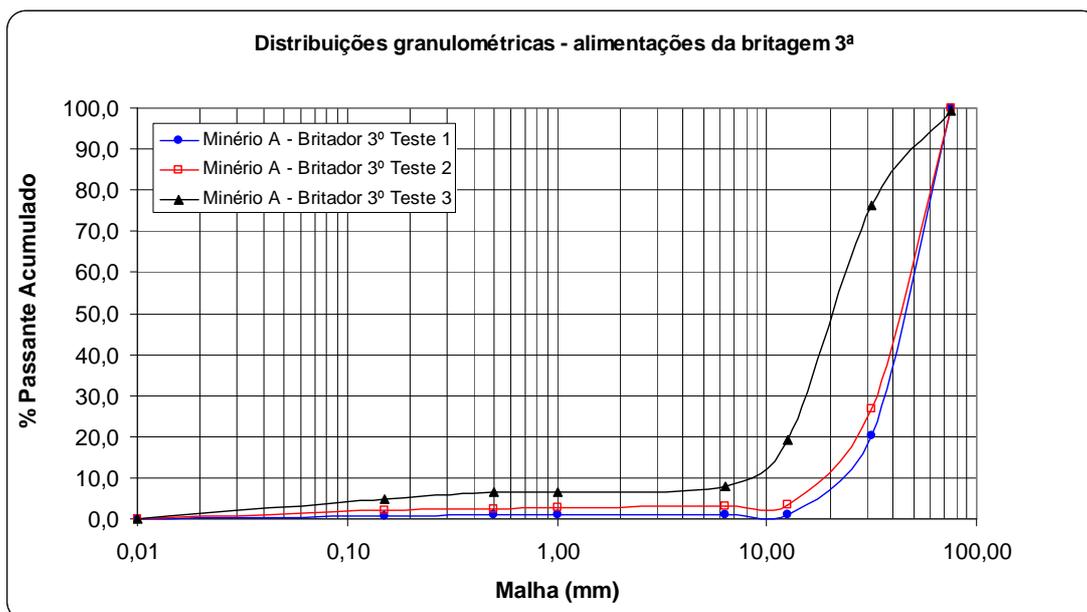


Figura 5- Distribuições granulométricas das alimentações da britagem 3ª.

A maior quantidade de finos presentes no teste 3 deve-se a maior ineficiência de peneiramento, o que pode justificar as menores eficiências de britagem observadas neste teste.

Durante os três testes o britador operou com taxa de alimentação próxima a 500 t/h, sem necessidade de redução de taxa devido a aumento da corrente do motor.

3.4 Britagem 4ª

A Figura 6 mostra as eficiências obtidas no britador 4º tipo cônico com diferentes aberturas para dois tipos de minérios (C e D), tipicamente hidratados, com elevado percentual de goethitas.

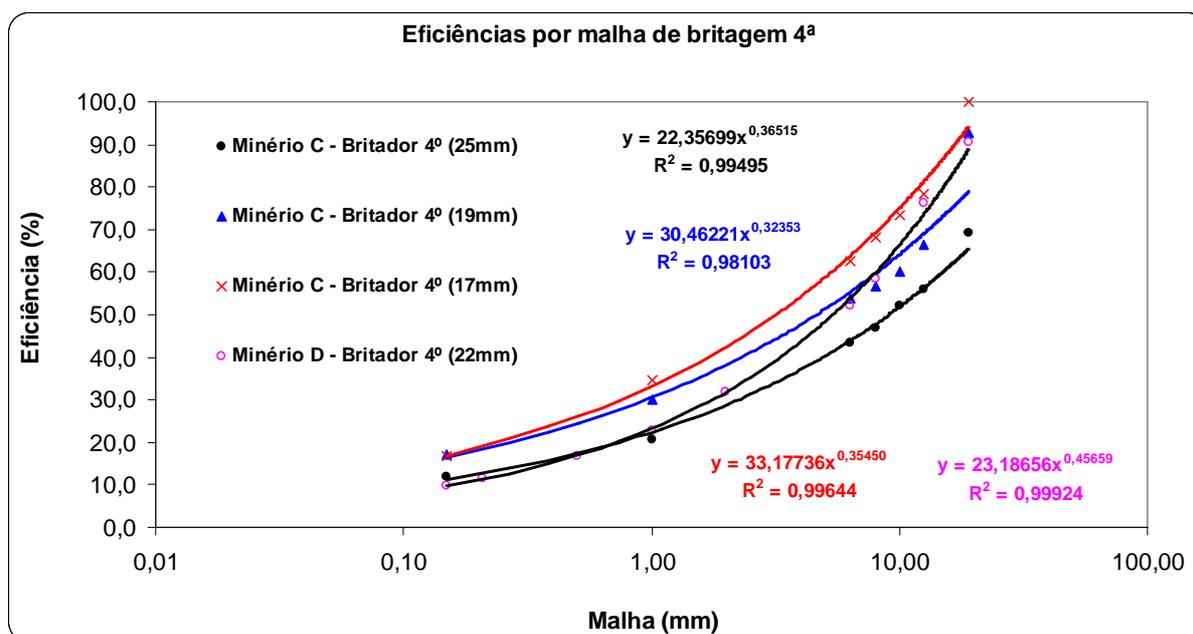


Figura 6- Eficiências por malha de britagem 4ª.

As equações de melhores ajustes para os testes na britagem 4ª foram do tipo exponencial ($y = ax^b$), onde y refere-se à eficiência, x a malha, a o coeficiente e b o expoente.

As maiores eficiências foram obtidas para menores aberturas do britador, conforme se esperava. Tratamento estatístico realizado indica que o coeficiente das equações (a) está relacionado à abertura do britador e o expoente ao percentual de finos (6,3mm) na alimentação do britador, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2- Análise de correlações entre parâmetros na britagem 4ª para minério s goethíticos

Parâmetro	Abertura	Coeficiente	Expoente	% -6.3mm	Eficiência (6.3mm)
Abertura	1				
Coeficiente	-0.9561987	1			
Expoente	0.3779254	-0.6207099	1		
% -6.3mm	0.0093559	-0.2935174	0.92776168	1	
Eficiência (6.3mm)	-0.9593938	0.86982709	-0.15669604	0.202912447	1

Durante os testes mostrados na Figura 6 a taxa de alimentação do britador 4º foi em média 280 t/h.

A Figura 7 mostra as eficiências obtidas no mesmo britador 4º, operando com minério essencialmente itabirítico em diferentes condições (abertura, taxa de alimentação, granulometria e tipo de revestimento).

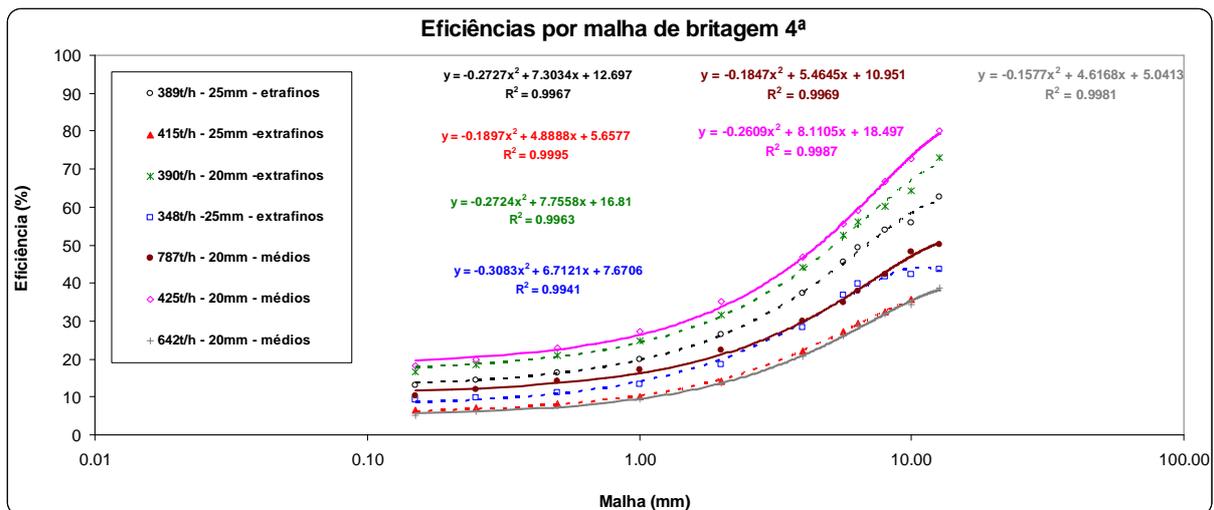


Figura 7- Eficiências por malha de britagem 4ª.

Observa-se que um polinômio de 2º grau do tipo $y = ax^2 + bx + c$ foi a equação de melhor ajuste para o minério itabirítico. A Tabela 3 mostra as correlações entre as variáveis:

- a taxa de alimentação é afetada pela abertura e tipo de revestimento;
- o parâmetro a da equação é afetado pela taxa de alimentação e pelo percentual de -6,3mm na alimentação do britador; e
- os parâmetros b e c da equação são afetados pelo percentual de -6,3 mm da alimentação do britador.

Tabela 3- Análise de correlações entre parâmetros na britagem 4ª para minérios itabiríticos

Parâmetro	Taxa	Abertura	Revestimento	a	b	c	%-6.3mm	Ef. (%)
Taxa	1.0000							
Abertura	-0.5769	1.0000						
revestimento	0.7578	-0.7500	1.0000					
a	0.7668	-0.3568	0.5607	1.0000				
b	-0.5872	-0.0701	-0.2270	-0.8390	1.0000			
c	-0.2468	-0.4192	0.0796	-0.5185	0.8890	1.0000		
%-6.3mm	0.3956	-0.0444	0.2547	0.6690	-0.7110	-0.6836	1.0000	
Ef. (%)	-0.4328	-0.2599	-0.0760	-0.6900	0.9710	0.9702	-0.6834	1.0000

Observa-se também que a taxa de alimentação do britador 4º para minério itabirítico variou de 348 t/h a 787 t/h, com média de 485 t/h, bem superior à obtida para minérios goethíticos com elevada hidratação (elevado percentual de PPC).

4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos mostram a importância de realização de testes industriais para obtenção de parâmetros visando o dimensionamento de equipamentos de peneiramento e britagem.

Os resultados confirmam a influência do percentual de “nearsized” sobre a capacidade unitária de peneiramento.

Testes industriais de britagem realizados sob diferentes condições e tipos de minérios permitiram a obtenção de equações matemáticas de eficiências de britagem por malha, sendo estas utilizadas para dimensionamento de circuitos de britagem e peneiramento. Os resultados obtidos confirmaram que, além das condições do britador (abertura e tipo de revestimento) as características dos minérios (mineralogia e granulometria) afetam as eficiências de britagem. O britador cônico 4º apresentou capacidade no mínimo 25% superior para minério itabirítico em relação a minérios goethíticos com elevada hidratação.

REFERÊNCIAS

- 1 WILLS, B.A. Mineral Processing Technology. An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Material Recovery. 6th edition. 1997.
- 2 HALL, R.G. AIME Transactions, Vol. 122, 1934.
- 3 HARDINGE, H. AIME Transactions, Birmingham, Ala - Oct. 1908.
- 4 LICHTER, J.; LIM, K.; POTAPOV, A.; KAJA, D.; New developments in cone crusher performance optimization. Minerals Engineering, 22, 2009, p. 613-617.
- 5 CHRISTIE, D. J. "Mineral Beneficiation Review". Mining Engineering, Vol. 24, no 2, 1972.
- 6 FAHLSTROM, S. "Comminution by Tumbling Autogenous Charges". Mine and Quarry Engineering, June 1961.
- 7